



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Συστημική Ανάλυση, Σχεδίαση, Κατασκευή με χρήση Εμπορικών
Εξαρτημάτων και Μέτρηση Βαθμίδας Ενδιάμεσων Συχνοτήτων (IF)
για Δέκτη Ασύρματου Δικτύου σύμφωνα με το Πρότυπο 802.11b/g**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία Δ. Κορδώνη

Γιάννης Γ. Λαμπρόπουλος

Επιβλέπων: Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2006



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Συστημική Ανάλυση, Σχεδίαση, Κατασκευή με χρήση Εμπορικών
Εξαρτημάτων και Μέτρηση Βαθμίδας Ενδιάμεσων Συχνοτήτων (IF)
για Δέκτη Ασύρματου Δικτύου σύμφωνα με το Πρότυπο 802.11b/g**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία Δ. Κορδώνη

Γιάννης Γ. Λαμπρόπουλος

Επιβλέπων: Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 22^η Μαρτίου 2006.

.....
Χ. Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Φ. Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δ. Κακλαμάνη
Επ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2004

.....
Μαρία Δ. Κορδώνη
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

.....
Γιάννης Γ. Λαμπρόπουλος
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μαρία Δ. Κορδώνη, 2006
Copyright © Γιάννης Γ. Λαμπρόπουλος, 2006
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική περιγράφεται η πορεία που ακολουθήθηκε για την τελική υλοποίηση με χρήση εμπορικών εξαρτημάτων μιας βαθμίδας επεξεργασίας σήματος ενδιάμεσων συχνοτήτων (Intermediate Frequencies, IF) για δέκτη ασύρματου τοπικού δικτύου (WLAN), σύμφωνα με το πρότυπο 802.11b/g.

Αρχικά γίνεται μια σύντομη παρουσίαση των συστημάτων κινητών και προσωπικών επικοινωνιών, ξεκινώντας από την πορεία που έχουν διανύσει μέχρι τις μέρες μας και φτάνοντας στις τάσεις για τη μελλοντική τους εξέλιξη. Εκτενής αναφορά γίνεται στα ασύρματα τοπικά δίκτυα, τις αρχές και τους μηχανισμούς που τα διέπουν, αφού αυτά θέτουν το πλαίσιο της εργασίας μας.

Το μεγαλύτερο μέρος του κειμένου αφιερώνεται στη συστημική ανάλυση και στην αναλυτική σχεδίαση του κάθε επιμέρους δομικού κυκλώματος που συμμετέχει στην IF βαθμίδα, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στη συνδεσμολογία των διακριτών εξαρτημάτων και στην προσαρμογή σε όλο το εύρος συχνοτήτων λειτουργίας. Μετά το στάδιο της επεξεργασίας σε υπολογιστικό περιβάλλον προσομοίωσης, περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την κατασκευή του τελικού τυπωμένου κυκλώματος και την ενσωμάτωση των διακριτών εμπορικών εξαρτημάτων. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν και επιβεβαιώνεται η επιτυχής υλοποίηση των αρχικών σχεδιαστικών στόχων.

Τέλος, διατυπώνονται προτάσεις για αξιοποίηση του πλεονεκτήματος του αναλογικά ελεγχόμενου μεταβλητού κέρδους και φάσης που παρουσιάζει η συγκεκριμένη IF βαθμίδα σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα δέκτη ασύρματου τοπικού δικτύου.

Λέξεις Κλειδιά

Ασύρματα τοπικά δίκτυα, Πρότυπο 802.11b/g, βαθμίδα ενδιάμεσων συχνοτήτων, ενισχυτής μεταβλητού κέρδους, συγκριτής κέρδους και φάσης, στροφέας φάσης, διαιρέτης ισχύος, προσαρμοσμένα δίκτυα, πολυστρωματικά τυπωμένα κυκλώματα.

ABSTRACT

The scope of this diploma thesis is to present the process that was followed during the implementation of the Intermediate Frequencies (IF) signal processing module for a WLAN receiver using commercial components and according to the 802.11b/g protocol.

Primarily, there is a brief presentation of the mobile and personal communications systems, starting with their progress up to date and going up to the trends for their future evolution. We examine thoroughly the Wireless Local Area Networks (WLAN), the logic and the mechanisms that control them, since they designate the framework of our project.

The main part of the document deals with system analysis and detailed design of all building blocks participating in the IF module and in particular with the association of all discrete components with each other and with the matching of the networks in the entire used bandwidth. Following the stage of simulation in computer environment, we describe the procedure that was followed for the production of the final printed circuit board and the embedment of all discrete commercial components. Then, the results of all test measurements conducted are set out and the successful implementation of initial functional specifications is verified.

Finally, we bring forward a proposal for the employment of the specific IF module in an integrated WLAN receiver, in order to benefit from its out coming analogically controlled variable gain and phase shifting.

Key Words

Wireless Local Area Networks (WLAN), 802.11b/g Protocol, Intermediate Frequencies (IF) module, VGA, Gain and Phase detector, Phase Shifter, Power Splitter-Combiner, Matching Networks, Printed Circuit Boards (PCB).

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Στέλιο Μυτιληναίο για την καθοδήγηση του και τη συνολική συμβολή του καθόλη τη διάρκεια διεξαγωγής της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, ευχαριστούμε τον καθηγητή κ. Χρήστο Καψάλη για τη ευκαιρία που μας έδωσε να εκπονήσουμε την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και τον κ. Eric Newman από την Analog Devices για τις χρήσιμες συμβουλές του.

Μαρία Κορδώνη

Γιάννης Λαμπρόπουλος

Φεβρουάριος 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή	19
1.1 Πρόλογος.....	19
1.2 Επικοινωνίες και κινητικότητα	20
1.2.1 Κινητές και προσωπικές επικοινωνίες.....	21
1.3 Ασύρματα συστήματα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών.....	22
1.3.1 Ασύρματη πρόσβαση σε μεγάλα δίκτυα για προσωπικές επικοινωνίες χαμηλών απαιτήσεων.....	23
1.3.2 Κυψελωτά δίκτυα κινητών επικοινωνιών και προσωπικές επικοινωνίες υψηλών απαιτήσεων	24
1.3.3 Ασύρματα τοπικά δίκτυα	25
1.4 Επίδραση της κινητικότητας στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και δίκτυα μετάδοσης δεδομένων	26
1.4.1 Κινητικότητα στα ασύρματα τοπικά δίκτυα.....	27
1.5 Γενικές τάσεις στην εξέλιξη των συστημάτων κινητών επικοινωνιών - Ολοκλήρωση των δικτύων	28
Κεφάλαιο 2 - Ασύρματα τοπικά δίκτυα	31
2.1 Ασύρματη μετάδοση δεδομένων.....	31
2.2 Τεχνολογίες ασυρμάτων LAN - Προτυποποίηση	32
2.3 Το πρότυπο IEEE 802.11	33
2.3.1 Φυσικό στρώμα.....	35
2.3.2 Υποστρώμα MAC.....	37
2.4 Το κύτταρο ενός ασύρματου δικτύου	37
2.4.1 Ο πομπός.....	38
2.4.2 Ο δέκτης.....	39
2.4.3 Ο ραδιοδιάυλος.....	41
2.5 Θέματα σχεδίασης ασύρματων δικτύων	41
2.6 Χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος διάδοσης.....	42
2.6.1 Μοντέλα διάδοσης σε εσωτερικούς χώρους.....	45
Κεφάλαιο 3 - Συστημική Ανάλυση	47
3.1 Επισκόπηση του δέκτη.....	47
3.2 Η δομή της βαθμίδας ενδιάμεσων συχνοτήτων	48
3.2.1 Το κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους.....	48
3.2.2 Το κύκλωμα των στροφών φάσης.....	55
3.2.3 Το κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης	59
3.2.4 Το κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος.....	68
3.3 Διασύνδεση των δομικών κυκλωμάτων.....	72

Κεφάλαιο 4 – Σχεδίαση.....	73
4.1 Σχεδίαση των δομικών κυκλωμάτων	73
4.1.1 Το κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους	73
4.1.2 Το κύκλωμα των στροφών φάσης.....	99
4.1.3 Το κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης	102
4.1.4 Το κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος.....	107
4.2 2η προσαρμογή στο ADS, με προσθήκη των γραμμών μεταφοράς ...	112
Κεφάλαιο 5 - Κατασκευή, Μετρήσεις.....	123
5.1 Κατασκευή των κυκλωμάτων	123
5.2 Μέτρηση των κυκλωμάτων.....	124
5.2.1 Το κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους	125
5.2.2 Το κύκλωμα των στροφών φάσης.....	132
5.2.3 Το κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης	141
5.2.4 Το κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος.....	142
Κεφάλαιο 6 - Επίλογος.....	147
6.1 Γενικά συμπεράσματα.....	147
6.2 Προτάσεις για ενσωμάτωση της βαθμίδας σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ασύρματου δέκτη	148
Παράρτημα 1 - Στοιχεία μικροκυματικής θεωρίας.....	151
Π.1.1 Ανάλυση κυμάτων σε γραμμές μεταφοράς που μεταβάλλονται ημιτονικά με το χρόνο	151
Π.1.2 Στάσιμα κύματα σε γραμμές μεταφοράς χωρίς απώλειες.....	155
Π.1.3 Προσαρμογή φορτίου σε γραμμές μεταφοράς	157
Π.1.4 Μικροκυματικά πολύθυρα & μήτρες σκέδασης S	158
Παράρτημα 2 - Το πρόγραμμα HP ADVANCED DESIGN SYSTEM της εταιρείας Agilent Technologies	163
Π.2.1 Το περιβάλλον του προγράμματος.....	163
Π.2.2 Προσαρμογή με χρήση των εργαλείων του ADS.....	165
Π.2.3 Σχεδίαση μάσκας με χρήση των εργαλείων του ADS.....	168
Π.2.4 Touchstone αρχεία.....	171
Παράρτημα 3 – Πίνακες Μετρήσεων.....	173
Βιβλιογραφία	235

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 2.1: Τοπολογία IEEE 802.11 με δίκτυο υποδομής.....	34
Σχήμα 2.2: Τοπολογία IEEE 802.11 με ad hoc.....	35
Σχήμα 3.1: Η τοπολογία του δέκτη.....	47
Σχήμα 3.2: Το λειτουργικό διάγραμμα του VGA AD8367 της Analog Devices.....	49
Σχήμα 3.3: το απλοποιημένο δομικό διάγραμμα.....	51
Σχήμα 3.4: Μια αντίσταση 50 Ω προστίθεται στην έξοδο για την αποφυγή συντονισμού στη συσκευασία του ολοκληρωμένου.....	53
Σχήμα 3.5: Το dc επίπεδο εξόδου πολώνεται στο μέσο της τροφοδοσίας από ένα βρόχο ελέγχου του οποίου η συχνότητα γονάτου καθορίζεται από τον C_{HP}	54
Σχήμα 3.6: Ολισθητής φάσης τύπου Reggia-Spencer.....	55
Σχήμα 3.7: Καμπύλη υστέρησης.....	56
Σχήμα 3.8: Ολισθητής φάσης σε κυκλικό κυματοδηγό με αντιστάθμιση της στροφής Faraday.....	56
Σχήμα 3.9: Λειτουργικό Δομικό Διάγραμμα.....	60
Σχήμα 3.10: Η δομή του AD8302.....	64
Σχήμα 3.11: Απλοποιημένο δομικό διάγραμμα των διεπαφών εξόδου.....	65
Σχήμα 3.12: Ιδανικός τρίθυρος διαιρέτης ισχύος, ενός σταδίου, που χρησιμοποιεί μετασχηματιστές $\lambda/4$	68
Σχήμα 3.13: Γεωμετρία μικροταινίας.....	69
Σχήμα 3.14: Ισοδύναμο κύκλωμα (π) διακριτών στοιχείων.....	69
Σχήμα 3.15: Η μάσκα ενός τυπικού τρίθυρου διαιρέτη ισχύος, ενός σταδίου.....	70
Σχήμα 3.16: Το ισοδύναμο κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος, ενός σταδίου, απο διακριτά στοιχεία.....	70
Σχήμα 3.17: Ιδανικός τρίθυρος διαιρέτης ισχύος, με δύο στάδια, που χρησιμοποιεί μετασχηματιστές $\lambda/4$	71
Σχήμα 3.18: Το λειτουργικό δομικό διάγραμμα του δέκτη.....	72
Σχήμα 4.1: Βασικές συνδέσεις στην κατάσταση λειτουργίας κέρδους ελεγχόμενου από τάση.....	73
Σχήμα 4.2: Το κύκλωμα προσαρμογής του VGA AD8367 με χρήση L-pads.....	76
Σχήμα 4.3: Το κύκλωμα προσαρμογής του VGA AD8367 με χρήση φίλτρων Chebyshev 5 ^{ης} τάξης.....	83
Σχήμα 4.4: Οι εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου AD8367, σε ίντσες και χιλιοστά του μέτρου.....	98
Σχήμα 4.5: Η μάσκα του κυκλώματος του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους.....	99
Σχήμα 4.6: Συνδεσμολογία του ολοκληρωμένου JSPHS-150.....	100
Σχήμα 4.7: Οι εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου JSPHS-150.....	101
Σχήμα 4.8: Το αποτύπωμα του JSPHS-150, για σχεδίαση μέσω προσωπικού υπολογιστή.....	101
Σχήμα 4.9: Η μάσκα του κυκλώματος του στροφέα φάσης.....	102
Σχήμα 4.10: Βασική συνδεσμολογία στην κατάσταση λειτουργίας μέτρησης.....	103
Σχήμα 4.11: Ο χάρτης Smith δείχνει τη σύνθετη αντίσταση εισόδου για το ένα κανάλι από τα 100 MHz έως τα 3 GHz.....	105
Σχήμα 4.12: Οι εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου AD8302, σε χιλιοστά του μέτρου.....	106
Σχήμα 4.13: Η μάσκα του κυκλώματος του συγκριτή κέρδους και φάσης.....	107
Σχήμα 4.14: Προσαρμογή του κυκλώματος του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος.....	108
Σχήμα 4.15: Η μάσκα του κυκλώματος του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος.....	112

Σχήμα 4.16: Το κύκλωμα προσαρμογής του VGA AD8367 με χρήση L-pads, 2η προσαρμογή με προσθήκη των γραμμών μεταφοράς.....	113
Σχήμα 4.17: Το κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος, 2η προσαρμογή με προσθήκη των γραμμών μεταφοράς	119
Σχήμα 5.1: Το τυπωμένο κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους, διακρίνεται το ολοκληρωμένο AD8367	125
Σχήμα 5.2: Το τυπωμένο κύκλωμα του στροφέα φάσης, διακρίνονται συνδεδεμένα σε σειρά, τα ολοκληρωμένα JSPHS-150 της Mini-Circuits και η κοινή τους τροφοδοσία	132
Σχήμα 5.3: Το τυπωμένο κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης, διακρίνεται το ολοκληρωμένο AD8302	141
Σχήμα 5.4: Το τυπωμένο κύκλωμα του διαιρέτη ισχύος	142
Σχήμα 6.1: Το συνολικό τυπωμένο κύκλωμα της βαθμίδας ενδιάμεσων συχνοτήτων	147
Σχήμα 6.2: Η τοπολογία του δέκτη.....	149
Σχήμα Π.1.1: Διέγερση γραμμής μεταφοράς.....	152
Σχήμα Π.1.2: Μικροκυματικό πολύθυρο.....	158
Σχήμα Π.2.1: Το κεντρικό παράθυρο του προγράμματος HP Advanced Design System	163
Σχήμα Π.2.2: Το παράθυρο σχεδίασης του προγράμματος HP Advanced Design System	165
Σχήμα Π.2.3: Το παράθυρο απεικόνισης δεδομένων (Data Display Window) του προγράμματος HP Advanced Design System.....	167
Σχήμα Π.2.4: το παράθυρο σχεδίασης της μάσκας (layout), του προγράμματος HP Advanced Design System	169

ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

Γράφημα 2.1: Λαμβανόμενη ισχύς συναρτήσει της απόστασης	46
Γράφημα 3.1: Η συνάρτηση του κέρδους μπορεί να είναι είτε αύξουσα είτε φθίνουσα συνάρτηση της τάσης V_{GAIN} ανάλογα με τη συνδεσμολογία του ακροδέκτη MODE	52
Γράφημα 3.2: Ο συντελεστής θορύβου, NF και το σημείο διακοπής τρίτης τάξης της εισόδου συναρτήσει του κέρδους (για αντίσταση πηγής $R_{SOURCE}=200\Omega$)	53
Γράφημα 3.3: Διάγραμμα μεταβολής της στροφής φάσης ως προς την τάση ελέγχου. 58	
Γράφημα 3.4: Διάγραμμα μεταβολής του λόγου στάσιμου κύματος ως προς την τάση ελέγχου.....	58
Γράφημα 3.5: Διάγραμμα μεταβολής των απωλειών εισόδου ως προς την τάση ελέγχου	59
Γράφημα 3.6: Το αποτέλεσμα της μετατόπισης του σημείου αναφοράς είναι η μείωση του μέγιστου δυναμικού εύρους	66
Γράφημα 3.7: Ιδανική χαρακτηριστική μετάδοσης για τη μέτρηση της φάσης	67
Γράφημα 4.1: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0 V$	77
Γράφημα 4.2: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0 V$	77
Γράφημα 4.3: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0 V$	77
Γράφημα 4.4: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 0 V$	78
Γράφημα 4.5: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0.5 V$	78
Γράφημα 4.6: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0.5 V$	78
Γράφημα 4.7: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0.5 V$	79
Γράφημα 4.8: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 0.5 V$	79
Γράφημα 4.9: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0.75 V$	79
Γράφημα 4.10: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0.75 V$	80
Γράφημα 4.11: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0.75 V$	80
Γράφημα 4.12: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 0.75 V$	80
Γράφημα 4.13: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 1 V$	81
Γράφημα 4.14: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 1 V$	81
Γράφημα 4.15: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 1 V$	81
Γράφημα 4.16: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 1 V$	82
Γράφημα 4.17: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0 V$	83
Γράφημα 4.18: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0 V$	84
Γράφημα 4.19: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0 V$	84
Γράφημα 4.20: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 0 V$	84
Γράφημα 4.21: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0.5 V$	85
Γράφημα 4.22: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0.5 V$	85
Γράφημα 4.23: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0.5 V$	85
Γράφημα 4.24: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 0.5 V$	86
Γράφημα 4.25: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0.75 V$	86
Γράφημα 4.26: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0.75 V$	86
Γράφημα 4.27: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0.75 V$	87
Γράφημα 4.28: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 0.75 V$	87
Γράφημα 4.29: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 1 V$	87
Γράφημα 4.30: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 1 V$	88
Γράφημα 4.31: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 1 V$	88
Γράφημα 4.32: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 1 V$	88

Γράφημα 4.33: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση L-pads για $V_{gain} = 0$ V.....	94
Γράφημα 4.34: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση L-pads για $V_{gain} = 0.5$ V.....	95
Γράφημα 4.35: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση L-pads για $V_{gain} = 0.75$ V.....	95
Γράφημα 4.36: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση L-pads για $V_{gain} = 1$ V.....	95
Γράφημα 4.37: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση φίλτρων Chebyshev για $V_{gain} = 0$ V.....	96
Γράφημα 4.38: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση φίλτρων Chebyshev για $V_{gain} = 0.5$ V.....	96
Γράφημα 4.39: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση φίλτρων Chebyshev για $V_{gain} = 0.75$ V.....	97
Γράφημα 4.40: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση φίλτρων Chebyshev για $V_{gain} = 1$ V.....	97
Γράφημα 4.41: Ιδανική χαρακτηριστική μετάδοσης για τη μέτρηση του κέρδους.....	104
Γράφημα 4.42: Ιδανική χαρακτηριστική μετάδοσης για τη μέτρηση της φάσης.....	104
Γράφημα 4.43: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$	109
Γράφημα 4.44: Συντελεστής μετάδοσης $S(3,1)$	109
Γράφημα 4.45: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 1, $S(1,1)$	110
Γράφημα 4.46: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 2, $S(2,2)$	110
Γράφημα 4.47: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 3, $S(3,3)$	110
Γράφημα 4.48: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,3)$	111
Γράφημα 4.49: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,3)$	111
Γράφημα 4.50: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0$ V.....	113
Γράφημα 4.51: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0$ V.....	114
Γράφημα 4.52: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0$ V.....	114
Γράφημα 4.53: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 0$ V.....	114
Γράφημα 4.54: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0.5$ V.....	115
Γράφημα 4.55: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0.5$ V.....	115
Γράφημα 4.56: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0.5$ V.....	115
Γράφημα 4.57: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 0.5$ V.....	116
Γράφημα 4.58: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0.75$ V.....	116
Γράφημα 4.59: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0.75$ V.....	116
Γράφημα 4.60: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0.75$ V.....	117
Γράφημα 4.61: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 0.75$ V.....	117
Γράφημα 4.62: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 1$ V.....	117
Γράφημα 4.63: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 1$ V.....	118
Γράφημα 4.64: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 1$ V.....	118
Γράφημα 4.65: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 1$ V.....	118
Γράφημα 4.66: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$	119
Γράφημα 4.67: Συντελεστής μετάδοσης $S(3,1)$	120
Γράφημα 4.68: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 1, $S(1,1)$	120
Γράφημα 4.69: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 2, $S(2,2)$	120
Γράφημα 4.70: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 3, $S(3,3)$	121
Γράφημα 4.71: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,3)$	121
Γράφημα 4.72: Συντελεστής μετάδοσης $S(3,2)$	121
Γράφημα 5.1: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0$ V.....	126
Γράφημα 5.2: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0$ V.....	126

Γράφημα 5.3: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$	127
Γράφημα 5.4: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$	127
Γράφημα 5.5: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$	127
Γράφημα 5.6: Συντελεστής μετάδοσης S(1,2) για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$	128
Γράφημα 5.7: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$	128
Γράφημα 5.8: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$	128
Γράφημα 5.9: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$	129
Γράφημα 5.10: Συντελεστής μετάδοσης S(1,2) για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$	129
Γράφημα 5.11: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$	129
Γράφημα 5.12: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$	130
Γράφημα 5.13: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$	130
Γράφημα 5.14: Συντελεστής μετάδοσης S(1,2) για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$	130
Γράφημα 5.15: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$	131
Γράφημα 5.16: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$	131
Γράφημα 5.17: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{supply}} = 0 \text{ V}$	133
Γράφημα 5.18: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{supply}} = 0 \text{ V}$	133
Γράφημα 5.19: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{supply}} = 0 \text{ V}$	133
Γράφημα 5.20: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{supply}} = 2 \text{ V}$	134
Γράφημα 5.21: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{supply}} = 2 \text{ V}$	134
Γράφημα 5.22: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{supply}} = 2 \text{ V}$	134
Γράφημα 5.23: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{supply}} = 4 \text{ V}$	135
Γράφημα 5.24: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{supply}} = 4 \text{ V}$	135
Γράφημα 5.25: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{supply}} = 4 \text{ V}$	135
Γράφημα 5.26: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{supply}} = 6 \text{ V}$	136
Γράφημα 5.27: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{supply}} = 6 \text{ V}$	136
Γράφημα 5.28: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{supply}} = 6 \text{ V}$	136
Γράφημα 5.29: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{supply}} = 8 \text{ V}$	137
Γράφημα 5.30: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{supply}} = 8 \text{ V}$	137
Γράφημα 5.31: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{supply}} = 8 \text{ V}$	137
Γράφημα 5.32: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{supply}} = 10 \text{ V}$	138
Γράφημα 5.33: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{supply}} = 10 \text{ V}$	138
Γράφημα 5.34: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{supply}} = 10 \text{ V}$	138
Γράφημα 5.35: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{supply}} = 12 \text{ V}$	139
Γράφημα 5.36: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{supply}} = 12 \text{ V}$	139
Γράφημα 5.37: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{supply}} = 12 \text{ V}$	139
Γράφημα 5.38: Φάση του S(2,1) στη συχνότητα των 150 MHz για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου/τροφοδοσίας V_{supply}	140
Γράφημα 5.39: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) στην είσοδο 1	141
Γράφημα 5.40: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) στην είσοδο 2	142
Γράφημα 5.41: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1)	143
Γράφημα 5.42: Συντελεστής μετάδοσης S(3,1)	143
Γράφημα 5.43: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 1, S(1,1)	144
Γράφημα 5.44: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 2, S(2,2)	144
Γράφημα 5.45: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 3, S(3,3)	144
Γράφημα 5.46: Συντελεστής μετάδοσης S(2,3)	145
Γράφημα 5.47: Συντελεστής μετάδοσης S(3,2)	145

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1: Στατιστικό μοντέλο για διάδοση σε εσωτερικούς χώρους και μικροκυψελωτά περιβάλλοντα - Λαμβανόμενη ισχύς συναρτήσεως της απόστασης.....	46
Πίνακας 3.1: Περιγραφή της λειτουργίας των ακροδεκτών του AD8367.....	50
Πίνακας 3.2 : Περιγραφή της λειτουργίας των ακροδεκτών του AD8302.....	62
Πίνακας 4.1: Διακριτά εξαρτήματα για τη συνδεσμολογία του σχήματος 4.1.....	74
Πίνακας 4.2: Αντικείμενα προσομοίωσης - προσαρμογή του VGA AD8367 με χρήση L-pads	76
Πίνακας 4.3: Οι βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων στην είσοδο και στην έξοδο του κυκλώματος.....	76
Πίνακας 4.4 : Αντικείμενα προσομοίωσης - προσαρμογή του VGA AD8367 με χρήση φίλτρων Chebyshev 5 ^{ης} τάξης.....	82
Πίνακας 4.5: Οι βέλτιστες τιμές των διακριτών αντικειμένων στην είσοδο και έξοδο του κυκλώματος προσαρμογής με χρήση φίλτρων Chebyshev 5 ^{ης} τάξης	83
Πίνακας 4.6: η λειτουργία των ακροδεκτών του ολοκληρωμένου JSPHS-150	100
Πίνακας 4.7: Αντικείμενα προσομοίωσης - προσαρμογή του κυκλώματος του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος	108
Πίνακας 4.8: Οι βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων για το ισοδύναμο κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος	109
Πίνακας Π.2.1: Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη προσαρμογή των κυκλωμάτων.....	166
Πίνακας Π.2.2: Οι ρυθμίσεις για τα αντικείμενα της προσομοίωσης.....	167
Πίνακας Π.2.3: Τύποι διαγραμμάτων απεικόνισης δεδομένων	168
Πίνακας Π.3.1: S-παραμέτροι για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} = 0 \text{ V}$	176
Πίνακας Π.3.2: S-παραμέτροι για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} = 0.5 \text{ V}$	180
Πίνακας Π.3.3: S-παραμέτροι για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} = 0.75 \text{ V}$	184
Πίνακας Π.3.4: S-παραμέτροι για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} = 1 \text{ V}$	188
Πίνακας Π.3.5 : S-παραμέτροι του κυκλώματος των στροφέων φάσης, για τάση τροφοδοσίας 0V	192
Πίνακας Π.3.6: S-παραμέτροι του κυκλώματος των στροφέων φάσης για τάση τροφοδοσίας 2V	196
Πίνακας Π.3.7 : S-παραμέτροι του κυκλώματος των στροφέων φάσης για τάση τροφοδοσίας 4V	200
Πίνακας Π.3.8: S-παραμέτροι του κυκλώματος των στροφέων φάσης για τάση τροφοδοσίας 6V	204
Πίνακας Π.3.9 : S-παραμέτροι του κυκλώματος των στροφέων φάσης για τάση τροφοδοσίας 8V	208
Πίνακας Π.3.10: S-παραμέτροι του κυκλώματος των στροφέων φάσης για τάση τροφοδοσίας 10V	212
Πίνακας Π.3.11: S-παραμέτροι του κυκλώματος των στροφέων φάσης για τάση τροφοδοσίας 12V	216
Πίνακας Π.3.12 : Συντελεστές ανάκλασης στις δύο εισόδους σήματος.....	220
Πίνακας Π.3.13 : Συντελεστές μετάδοσης από τη θύρα 1 στις θύρες 2 και 3	224
Πίνακας Π.3.14: Συντελεστές ανάκλασης στις θύρες 1, 2 και 3	228
Πίνακας Π.3.15: Συντελεστές μετάδοσης από τη θύρα 2 στη θύρα 3 και αντίστροφα	232

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

1.1 Πρόλογος

Κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, οι τεχνολογίες που γνώρισαν τη μεγαλύτερη ώθηση, είναι αυτές που έχουν να κάνουν με τη συλλογή, την επεξεργασία και τη διανομή της πληροφορίας. Εξαιτίας της ραγδαίας τεχνολογικής προόδου, οι γνωστικές περιοχές των υπολογιστών και των επικοινωνιών συγκλίνουν ταχύτατα και οι διαφορές μεταξύ της συλλογής, μεταφοράς, αποθήκευσης και επεξεργασίας της πληροφορίας εξαφανίζονται γρήγορα. Καθώς αναπτύσσεται η ικανότητά μας να συλλέγουμε, να επεξεργαζόμαστε και να διανέμουμε πληροφορία, η ανάγκη για περισσότερο προηγμένη επεξεργασία της πληροφορίας μεγαλώνει ακόμα ταχύτερα.

Η βιομηχανία των υπολογιστών έχει εξελιχθεί θεαματικά σε σύντομο χρονικό διάστημα. Κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων δεκαετιών της ύπαρξής τους, τα υπολογιστικά συστήματα ήταν ιδιαίτερος συγκεντρωμένα, συνήθως μέσα σε μία μεγάλη αίθουσα. Η ιδέα ότι μέσα σε είκοσι χρόνια, θα παράγονταν μαζικά εξίσου ισχυροί υπολογιστές, πολύ μικρού μεγέθους, ήταν καθαρά επιστημονική φαντασία. Η σύγκλιση υπολογιστών και επικοινωνιών είχε σημαντική επίδραση στον τρόπο με τον οποίο οργανώνονται τα υπολογιστικά συστήματα. Η ιδέα του "υπολογιστικού κέντρου", ως ενός δωματίου με έναν μεγάλο υπολογιστή, όπου οι χρήστες φέρνουν τη δουλειά τους για επεξεργασία είναι τώρα εντελώς ξεπερασμένη. Το παλιό μοντέλο, ενός μοναδικού υπολογιστή που εξυπηρετεί όλες τις υπολογιστικές ανάγκες ενός οργανισμού, έχει αντικατασταθεί από εκείνο, όπου ένας μεγάλος αριθμός ξεχωριστών αλλά διασυνδεδεμένων υπολογιστών κάνουν τη δουλειά. Τα συστήματα αυτά αποκαλούνται δίκτυα υπολογιστών (computer networks). Όταν χρησιμοποιούμε τον όρο "δίκτυο υπολογιστών", εννοούμε μία διασυνδεδεμένη συλλογή από αυτόνομους υπολογιστές. Δύο υπολογιστές αποκαλούνται διασυνδεδεμένοι αν είναι σε θέση να ανταλλάζουν πληροφορίες. Η σύνδεση δεν είναι κατ' ανάγκη μέσω χάλκινου σύρματος, μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθούν οπτικές ίνες, μικροκυματικές ζεύξεις και επικοινωνιακοί δορυφόροι. Με την απαίτηση οι υπολογιστές να είναι αυτόνομοι, επιθυμούμε να αποκλείσουμε από τον ορισμό μας συστήματα, στα οποία υπάρχει μια καθαρή σχέση κυρίου-εξαρτημένου (master-slave). [1]

Παράλληλα με την εξέλιξη των υπολογιστών, παρατηρήσαμε την ραγδαία ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Η τηλεπικοινωνιακή επανάσταση που πραγματοποιείται στις μέρες μας, μας μεταφέρει από ένα τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον, όπου οι χρήστες του τηλεφώνου ήταν υποχρεωμένοι να επικοινωνούν πάνω από σταθερές τηλεφωνικές γραμμές, σε ένα άλλο όπου οι ασύρματες και κινητές επικοινωνίες είναι πια πραγματικότητα. Η εύκολια πρόσβασης και η καλή ποιότητα υπηρεσίας, η οποία μπορεί να παρέχεται στον χρήστη από τα ασυρματικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, δίνουν μια πολύ μεγάλη ώθηση ανάπτυξης στον τομέα αυτό της τηλεπικοινωνιακής βιομηχανίας, μια ανάπτυξη που πρόκειται να συνεχιστεί για πολλά ακόμη χρόνια.

Μέχρι τώρα, ο τομέας των κινητών επικοινωνιών έχει καλύψει κυρίως τις απαιτήσεις για υπηρεσίες φωνής και για υπηρεσίες τηλεειδοποίησης με μηνύματα. Ωστόσο, η αυξανόμενη εμπιστοσύνη του επιχειρηματικού κόσμου στις επικοινωνίες δεδομένων

έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης για υπηρεσίες ασύρματης μετάδοσης δεδομένων, στις ποικίλες μορφές τους. Μετά τον δέκτη τηλεειδοποίησης και το κινητό τηλέφωνο που έχουν γίνει απαραίτητα στοιχεία στον χαρτοφύλακα κάθε ταξιδιώτη επιχειρηματία, οι φορητοί υπολογιστές γίνονται ολοένα και πιο συνηθισμένα στοιχεία του "κινητού γραφείου". Η γρήγορη ανάπτυξη των μικρών αυτών φορητών υπολογιστών, βοηθούμενη και από τη βελτίωση των μεθόδων ασύρματης μετάδοσης, είναι σίγουρο ότι θα δημιουργήσει μια τεράστια ζήτηση για ασύρματες υπηρεσίες δεδομένων. [2]

Οι κινητοί υπολογιστές, όπως οι φορητοί υπολογιστές (notebook computers) και οι προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί PDA (Personal Digital Assistants), αποτελούν τον πλέον γοργά αναπτυσσόμενο τομέα της βιομηχανίας υπολογιστών. Πολλοί από τους ιδιοκτήτες αυτών των υπολογιστών διαθέτουν στο γραφείο τους επιτραπέζιες μηχανές συνδεδεμένες σε τοπικά δίκτυα (Local Area Networks) ή σε δίκτυα ευρείας περιοχής (Wide Area Networks) και επιθυμούν να είναι συνδεδεμένοι με τη βάση τους ακόμη και όταν απουσιάζουν ή όταν βρίσκονται στον δρόμο. Εφόσον είναι αδύνατη η ενσύρματη σύνδεση μέσα σε αυτοκίνητα και αεροπλάνα, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για ασύρματα δίκτυα.

Στην πραγματικότητα, η ψηφιακή ασύρματη μετάδοση δεν είναι καινούργια ιδέα. Ήδη από το 1901, ο Ιταλός φυσικός Γουλιέλμος Μαρκόνι πραγματοποίησε την επίδειξη ενός ασύρματου τηλεγράφου για επικοινωνία πλοίου με την ακτή, χρησιμοποιώντας τον κώδικα Morse. Τα σύγχρονα ψηφιακά ασύρματα συστήματα αποδίδουν καλύτερα, αλλά η βασική ιδέα παραμένει η ίδια. Τα ασύρματα δίκτυα έχουν πολλές χρήσεις. Μια συνηθισμένη είναι το φορητό γραφείο. Συχνά, κάποιοι που βρίσκονται στον δρόμο θέλουν να χρησιμοποιήσουν τον φορητό τους ηλεκτρονικό εξοπλισμό για να στείλουν και να λάβουν τηλεφωνικές κλήσεις, φαξ, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, να διαβάσουν απομακρυσμένα αρχεία, να εισέλθουν σε απομακρυσμένες μηχανές και να κάνουν όλα αυτά από οποιοδήποτε μέρος, στη θάλασσα, στον ουρανό ή στη γη.

Αν και τα ασύρματα LAN είναι εύκολα στην εγκατάσταση έχουν, ωστόσο, κάποια μειονεκτήματα. Συνήθως έχουν χωρητικότητα της τάξης των μερικών Mbps, που είναι πολύ χαμηλότερη αυτής των ενσύρματων LAN. Οι ρυθμοί λαθών είναι συχνά πολύ υψηλότεροι και οι μεταδόσεις από διαφορετικούς υπολογιστές μπορεί να παρεμβληθούν μεταξύ τους. Τα παραπάνω προβλήματα ώθησαν το IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), στην ανάπτυξη ενός προτύπου για Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LAN). Το πρωτόκολλο 802.11 το οποίο συναντάται σε πέντε διαφορετικές εκδόσεις a, b, g, i και n. Το b με ταχύτητα 11Mbps θεωρείται ήδη ξεπερασμένο αφού τα 802.11a και 802.11g υποστηρίζουν ήδη τα 54Mbps. Το i είναι προσανατολισμένο στην ασφάλεια υποστηρίζοντας μεθόδους κρυπτογράφησης. Το μέλλον, όμως, φαίνεται να ανήκει στο 802.11n που υπόσχεται ταχύτητα 100Mbps. [1]

1.2 Επικοινωνίες και κινητικότητα

Από τα αρχαία ακόμη χρόνια, υπάρχει οικονομική σχέση μεταξύ του εμπορίου και των μεταφορών από τη μια μεριά, και της ανταλλαγής πληροφοριών από την άλλη. Αρχικά η πληροφορία μεταφερόταν μέσω της υποδομής που υπήρχε για τις φυσικές μεταφορές και, κατά συνέπεια, μεταφερόταν μεταξύ τόπων όπου υπήρχαν εμπορικές δραστηριότητες, όπως μεταξύ των πόλεων. Με την έλευση των τηλεπικοινωνιών, η σχέση μεταξύ

της διαδρομής μεταφοράς της πληροφορίας και της φυσικής διαδρομής μεταφοράς των αγαθών άλλαξε δραματικά. Στα πρώτα τηλεγραφικά συστήματα, η αφετηρία και ο προορισμός της πληροφορίας καθοριζόταν κυρίως από τις θέσεις όπου υπήρχαν ανθρώπινες δραστηριότητες. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι τα μηνύματα στέλλονταν κατά κύριο λόγο από πόλη σε πόλη, δεν χρησιμοποιούσαν πια την υποδομή που είχε ως κύριο προορισμό τη φυσική μεταφορά των εμπορευμάτων. Η έλευση των βασικών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών βελτίωσε κατά πολύ την απόδοση της μεταφοράς εφοδίων. Στις μέρες μας, οι βελτιωμένες τεχνικές ανταλλαγής δεδομένων, που είναι στη διάθεσή μας χάρη στις επικοινωνίες υπολογιστών, έχουν αυξήσει την απόδοση της μεταφοράς αγαθών και έχουν συντελέσει στην ομαλοποίηση της αγοράς. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας του φαξ εξηγείται από την κλασσική ανάγκη ανταλλαγής μηνυμάτων (μεταξύ σταθερών θέσεων) σε γραπτή ή τυπωμένη μορφή και από την πανταχού παρούσα ηλεκτρονική υποδομή, δηλαδή το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο.

Οι ασύρματες επικοινωνίες, βασική εφαρμογή των οποίων αποτελούν και οι κινητές επικοινωνίες, διαφοροποίησαν περαιτέρω τη χωρική σχέση μεταξύ της τηλεπικοινωνιακής υποδομής και εκείνης των φυσικών μεταφορών. Τα τηλεπικοινωνιακά και τα μεταφορικά μέσα είναι πλέον ξεχωριστά στον χώρο, αλλά και η αφετηρία και ο προορισμός των μηνυμάτων δεν συμπίπτει γενικά πια με την αφετηρία ή τον προορισμό της φυσικής μεταφοράς. Ο ασύρματος τηλεγράφος, για παράδειγμα, του Ιταλού φυσικού Γουλιέλμου Μαρκόνι χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία πλοίων με την ακτή. Η δυνατότητα ανταλλαγής πληροφοριών με πλοία κατά τη μετακίνησή τους από ένα σημείο σε άλλο, γενίκευσε τη χωρική σχέση μεταξύ της ροής της κίνησης της πληροφορίας και της υποδομής για φυσική μεταφορά σε έναν πιο δυναμικό τρόπο λειτουργίας, που εξαρτάται από τη γεωγραφική περιοχή. [2]

1.2.1 Κινητές και προσωπικές επικοινωνίες

Ο όρος κινητές και προσωπικές επικοινωνίες (mobile and personal communications) σημαίνει διαφορετικά πράγματα για διαφορετικούς ανθρώπους. Καλύπτει πολλές απόψεις των ασύρματων επικοινωνιών που αφορούν διάφορες εφαρμογές σε ποικίλα περιβάλλοντα και ποικίλες γεωγραφικές εκτάσεις. Σκοπός των επερχόμενων υπηρεσιών κινητών και προσωπικών επικοινωνιών είναι να καταστήσουν δυνατή την οποιασδήποτε μορφής επικοινωνία, με οποιοδήποτε πρόσωπο, σε οποιοδήποτε μέρος. Οι έννοιες που καθιστούν δυνατή την παροχή προσωπικών επικοινωνιών οπουδήποτε, είναι: η κινητικότητα του τερματικού (terminal mobility) που παρέχεται από την ασύρματη πρόσβαση, η προσωπική κινητικότητα (personal mobility) που βασίζεται σε προσωπικούς αριθμούς κλήσης, και η μεταφερσιμότητα των υπηρεσιών (service portability) που επιτυγχάνεται μέσω της διαχείρισης του προφίλ εξυπηρέτησης των χρηστών. Οι έννοιες αυτές χρησιμοποιούνται σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο για να καθορίσουν και να τυποποιήσουν ένα σύνολο συστημάτων και υπηρεσιών κινητών και προσωπικών επικοινωνιών.

Κατά ένα μεγάλο μέρος, οι προδιαγραφές για πολλά από τα συστήματα κινητών επικοινωνιών της δεύτερης γενιάς αναπτύχθηκαν κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να ικανοποιούν τον επιχειρηματικό τομέα και τις απαιτήσεις ορισμένων χωρών ή περιοχών οδηγώντας έτσι σε ασύρματα συστήματα που δεν μπορούν να παρέχουν παγκόσμια κινητικότητα.

Τα πρότυπα για τα μελλοντικά συστήματα κινητών επικοινωνιών, που αναπτύσσονται από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union), τα ITU-R (Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών) και ITU-T (Τομέας Προτυποποίησης Τηλεπικοινωνιών) για τα ασύρματα συστήματα της επόμενης (τρίτης) γενιάς, θα συνενώσουν πολλές υπηρεσίες που παρέχονται με κινητό τερματικό σε ένα μόνο παγκόσμιο πρότυπο. Τα πρότυπα για τα μελλοντικά συστήματα κινητών επικοινωνιών έχουν σκοπό να εξασφαλίσουν διαλειτουργικότητα μεταξύ των διάφορων ασυρμάτων περιβαλλόντων και κινητικότητα σε παγκόσμια κλίμακα.

Όσον αφορά τις υπηρεσίες προσωπικής κινητικότητας, αποτελεί ειδική μέριμνα των τηλεπικοινωνιακών οργανισμών η παροχή χαρακτηριστικών υπηρεσιών, όπως η προώθηση κλήσης (call forwarding), η αναμονή κλήσης (call waiting), η αυτόματη κλήση με πιστωτική κάρτα (automatic credit card calling) και ο προσωπικός αριθμός (personal number), ώστε να εξασφαλίζεται κατά κάποιο βαθμό η προσωπική κινητικότητα στους χρήστες. Τα πρότυπα για τις παγκόσμιες προσωπικές επικοινωνίες (Universal Personal Telecommunications, UPT), που αναπτύσσονται στην ITU- T για την προσωπική κινητικότητα, θα χρησιμοποιούν τεχνικές ευφυών δικτύων (Intelligent Networks, IN) και ψηφιακών δικτύων ολοκληρωμένων υπηρεσιών (Integrated Services Digital Networks, ISDN) για να παρέχουν λειτουργίες δικτύου που υποστηρίζουν την προσωπική κινητικότητα και τη μεταφερσιμότητα των υπηρεσιών.

Για τη σχεδίαση συστημάτων κινητών και προσωπικών επικοινωνιών μεγάλης κλίμακας, με υψηλή προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσίας, καλή απόδοση και υψηλή χωρητικότητα, απαιτείται βαθιά γνώση μιας ευρείας περιοχής θεμάτων που αφορούν την ηλεκτρονική τεχνολογία, την ασύρματη μετάδοση και τα δίκτυα επικοινωνιών. [2]

1.3 Ασύρματα συστήματα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών

Υπάρχουν τρεις κύριες περιοχές εφαρμογής των ασυρμάτων κινητών επικοινωνιών, οι οποίες εμφανίζουν τεράστια ανάπτυξη και συνεπώς παρουσιάζουν μεγάλο σχεδιαστικό και ερευνητικό ενδιαφέρον:

- α)** Η ασύρματη πρόσβαση σε μεγάλα δίκτυα για προσωπικές επικοινωνίες χαμηλών απαιτήσεων
- β)** Τα ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών
- γ)** Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα

Υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των τριών αυτών περιοχών, όσον αφορά τα προβλήματα που εμφανίζουν και τους τρόπους αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών. Ωστόσο, οι σχεδιαστικοί συμβιβασμοί που γίνονται για τις ανωτέρω εφαρμογές θέτουν διαφορετική έμφαση σε συγκεκριμένες παραμέτρους ή σε τεχνικές προσεγγίσεις και συχνά καταλήγουν σε εντελώς διαφορετικές αρχιτεκτονικές συστημάτων και διαδικασίες ελέγχου. Παρακάτω θα γίνουν αναφορές σε συστήματα που ανήκουν και στις τρεις περιοχές. [2]

1.3.1 Ασύρματη πρόσβαση σε μεγάλα δίκτυα για προσωπικές επικοινωνίες χαμηλών απαιτήσεων

Οι προσωπικές επικοινωνίες χαμηλών απαιτήσεων στοχεύουν στο να παρέχουν κινητές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων, με μικρές φορητές συσκευές, σε πεζούς και σχεδόν στάσιμους χρήστες, μέσα σε σπίτια και κτίρια ή γύρω από αυτά. Στις αναπτυγμένες χώρες, πολλοί από τους κατοίκους των πυκνοκατοικημένων περιοχών βρίσκονται τον περισσότερο χρόνο της μέρας σε τέτοιο περιβάλλον και, κατά συνέπεια, δεν απαιτείται από τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα που τους εξυπηρετούν να υποστηρίζουν κινητικότητα μεγάλης ταχύτητας. Οι προσωπικές επικοινωνίες αυτής της μορφής αποτελούν εξέλιξη των ασύρματων αναλογικών οικιακών τηλεφώνων, η χρήση των οποίων παρουσίασε ραγδαία αύξηση από τις αρχές της δεκαετίας 1980. Οι υπηρεσίες προσωπικών επικοινωνιών, που υποστηρίζονται από αυτά τα ασύρματα τηλέφωνα, δεν είναι τόσο προηγμένες όσο είναι στα κυβελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών. Τα βήματα εξέλιξης των συστημάτων προσωπικών επικοινωνιών χαμηλών απαιτήσεων περιλαμβάνουν: α) την ψηφιακή λειτουργία των ασύρματων τηλεφώνων, β) την ολοκλήρωσή τους με το σύστημα telepoint, δηλαδή τη δυνατότητα πραγματοποίησης κλήσεων και από δημόσιους σταθμούς βάσης τοποθετημένους σε δημόσιους χώρους, χρησιμοποιώντας ασύρματες συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στους οικιακούς σταθμούς βάσης, και γ) ολοκλήρωσή τους με μικρά συστήματα μεταγωγής για την παροχή ασύρματης πρόσβασης σε κτίριο γραφείων. Παγκοσμίως διατίθενται ζώνες συχνοτήτων κοντά στα 1 GHz και 2 GHz για τη λειτουργία νέων συστημάτων προσωπικών επικοινωνιών.

Οι κυριότεροι σχεδιαστικοί περιορισμοί στα συστήματα προσωπικών επικοινωνιών χαμηλών απαιτήσεων προέρχονται τόσο από τις εφαρμογές που πρέπει να υποστηριχθούν όσο και από το περιβάλλον. Η ασύρματη συσκευή φωνής / δεδομένων (μαζί με τη μπαταρία της), που πρέπει να κουβαλούν οι χρήστες, σε συνδυασμό με την ανάγκη να χρησιμοποιείται η συσκευή όλη τη μέρα χωρίς επαναφόρτιση της μπαταρίας, καθιστά το μέγεθος, το βάρος της και την κατανάλωση ισχύος της, σχεδιαστικούς στόχους μεγάλης σημασίας. Ο στόχος της ελαχιστοποίησης της κατανάλωσης ισχύος θέτει περιορισμούς στην ισχύ εκπομπής και στην πολυπλοκότητα των κυκλωμάτων επεξεργασίας σήματος. Η χαμηλή ισχύς εκπομπής των πομπών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτά και η ανάγκη να παρέχεται ευρεία κάλυψη σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, υπαγορεύουν πυκνή διάταξη από σταθμούς βάσης, οι οποίοι παρέχουν πρόσβαση σε μεγάλα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Επειδή οι σταθμοί βάσης που απαιτούνται για ένα μεγάλο σύστημα είναι πάρα πολλοί, πρέπει το κόστος τους να είναι χαμηλό και, κατά συνέπεια, δεν μπορεί οι σταθμοί αυτοί να υποστηρίζουν πολύπλοκες λειτουργίες.

Οι συσκευές των προσωπικών συστημάτων επικοινωνιών (Personal Communication Services, PCS), που καλύπτουν τις τηλεπικοινωνιακές ανάγκες μέσα και γύρω από σπίτια και κτίρια, συναγωνίζονται, ως προς την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας, τις ενσύρματες συσκευές. Συνεπώς, η ποιότητα του κυκλώματος επικοινωνίας που προέρχεται από την ασύρματη πρόσβαση στο δίκτυο επικοινωνίας πρέπει να είναι συγκρίσιμη με εκείνη της ενσύρματης πρόσβασης. Τα πρώτα ασύρματα τηλέφωνα δεν παρείχαν κατάλληλη ποιότητα και δεν έτυχαν ευρείας αποδοχής μέχρι την εποχή που βελτιώθηκε η ποιότητά τους πλησιάζοντας εκείνη των ενσύρματων τηλεφώνων. Λόγω της εξαιρετικής ανάγκης για οικονομία ισχύος, μικρό μέγεθος, βάρος και μικρή πολυπλοκότητα των τερματικών καθώς και λόγω της ανάγκης για παροχή κυκλώματος

καλής ποιότητας, τα συστήματα που παρέχουν προσωπικές επικοινωνίες χαμηλών απαιτήσεων δέχονται συμβιβασμούς σε ότι αφορά τον αριθμό των χρηστών ανά MHz, τον αριθμό των χρηστών ανά σταθμό βάσης και την περιοχή κάλυψης. Λόγω του μικρού μεγέθους και της κινητικότητας των τερματικών PCS, υποστηρίζονται μέτριοι ρυθμοί μετάδοσης, από μερικές δεκάδες μέχρι μερικές εκατοντάδες kbps. [2]

1.3.2 Κυψελωτά δίκτυα κινητών επικοινωνιών και προσωπικές επικοινωνίες υψηλών απαιτήσεων

Τα κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών έχουν ως στόχο την παροχή υπηρεσιών σε κινητά τερματικά, που εμφανίζουν μεγάλη διασπορά σε δρόμους και λεωφόρους αστικών, ημιαστικών και αγροτικών περιοχών. Η σπουδαιότερη απαίτηση σ' αυτά τα συστήματα είναι η εξυπηρέτηση κινητών τερματικών μεγάλης ταχύτητας. Παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται, ευρέως πλέον, μικρές φορητές συσκευές, η αρχική τους σχεδίαση των συστημάτων αυτών δεν έχει γίνει για υποστήριξη τέτοιων συσκευών ούτε και έχουν βελτιστοποιηθεί από τότε για εξυπηρέτηση μικρών φορητών συσκευών.

Τα ασύρματα συστήματα κινητών επικοινωνιών αναπτύσσονται από τα μέσα της δεκαετίας 1940. Τα αναλογικά κυψελωτά συστήματα άρχισαν να αναπτύσσονται περί τα μέσα της δεκαετίας του '70 και η εκμετάλλευσή τους άρχισε στο τέλος της δεκαετίας του '70 και αρχές του '80. Ο αριθμός των χρηστών αυξήθηκε απότομα και τα συστήματα εξαπλώθηκαν σ' όλον τον κόσμο. Τα αναλογικά κυψελωτά συστήματα είναι πολύ προηγμένα, όσον αφορά την ολοκλήρωση της ασύρματης τεχνολογίας και της ευφυΐας δικτύου. Η ολοκλήρωση συμπεριλαμβάνει τη σηματοδοσία, τα πρωτόκολλα, τη μεταγωγή και τις βάσεις δεδομένων. Οι αναλογικοί ραδιοδίαυλοι FM διαφέρουν λίγο από εκείνους που χρησιμοποιούνταν για πολλά χρόνια στις κινητές ραδιοεπικοινωνίες. Η κυριότερη προσθήκη στα κυψελωτά συστήματα είναι ο εκτεταμένος έλεγχος που υπάρχει. Η συνολική χωρητικότητα των συστημάτων γίνεται μεγαλύτερη με τη χρησιμοποίηση μικρότερων κυψελών, ενώ τα πρώτα ασύρματα συστήματα κινητών επικοινωνιών μεγιστοποιούσαν τη ραδιοκάλυψη των σταθμών βάσης τοποθετώντας τις κεραιές στις κορυφές λόφων και κτιρίων και μεταδίδοντας μεγαλύτερη ισχύ από εκείνη που χρησιμοποιείται στα κυψελωτά συστήματα. Επίσης τα κυψελωτά συστήματα πρέπει να μετάγουν την κίνηση από ραδιοδίαυλο ενός σταθμού βάσης σε ραδιοδίαυλο άλλου σταθμού, καθώς το κινητό βγαίνει από την περιοχή κάλυψης του ενός και μπαίνει στην περιοχή του άλλου, έχοντας επικοινωνία σε εξέλιξη. Η διαπομπή των κλήσεων που βρίσκονται σε εξέλιξη απαιτεί εξαιρετικό συντονισμό και έλεγχο από σύστημα υπολογιστών. Επίσης απαιτείται έλεγχος των σταθμών βάσης, των κινητών τερματικών και των κέντρων μεταγωγής μέσω διαύλων σηματοδοσίας και πρωτοκόλλων.

Τα βήματα εξέλιξης που ακολουθήθηκαν στα κυψελωτά συστήματα είναι η μετάβαση σε ψηφιακή μετάδοση και η βελτίωση των διαδικασιών ελέγχου, ώστε η εγκατάσταση των κλήσεων και οι διαπομπές να γίνουν πιο περίτεχνες και αποτελεσματικές. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης πολύ μικρές περιοχές ραδιοκάλυψης, οι ονομαζόμενες μικροκυψέλες, για την παροχή υψηλής χωρητικότητας σε μικρές περιοχές μέσα και έξω από κτίρια, όπου η πυκνότητα χρηστών είναι μεγάλη. Η χρήση μικροκυψελών σε κυψελωτά συστήματα είναι μια κίνηση προς την κατεύθυνση των προσωπικών

επικοινωνιών χωρίς αλλαγές στην τεχνολογία, ώστε να περιορίζεται η κατανάλωση ισχύος, η πολυπλοκότητα και το κόστος.

Λόγω της μεγάλης επιδίωξης του στόχου να μεγιστοποιηθεί ο αριθμός των χρηστών ανά MHz και ανά κυψέλη, η εξέλιξη των ψηφιακών κυψελωτών συστημάτων δέχτηκε συμβιβασμούς, που οδήγησαν σε υψηλή πολυπλοκότητα των συσκευών των χρηστών. Συνολικά, οι συμβιβασμοί δέχονται υψηλή πολυπλοκότητα τερματικών, υψηλή κατανάλωση ισχύος εκπομπής και επεξεργασίας σήματος και χαμηλή ποιότητα κυκλωμάτων.

Έγιναν δεκτές, επίσης, προσεγγίσεις που αυξάνουν την πολυπλοκότητα του σταθερού δικτύου, λόγω του σχετικά μικρού αριθμού σταθμών βάσης που απαιτούνται για να καλύψουν μια περιοχή, σε σύγκριση με τον μεγάλο αριθμό σταθμών βάσης που απαιτείται για προσωπικές επικοινωνίες χαμηλών απαιτήσεων.

Τα κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών που αναπτύχθηκαν είχαν ως στόχο την υποστήριξη χαμηλού ρυθμού δεδομένων, της τάξεως των 10 kbps ή μικρότερου. Δορυφορικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την παροχή κάλυψης σε αραιοκατοικημένες περιοχές. [2]

1.3.3 Ασύρματα τοπικά δίκτυα

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless LAN, WLAN) έχουν ως στόχο την παροχή υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης (αρκετά Mbps) σε φορητά τερματικά, που μετακινούνται σε περιορισμένες περιοχές, όπως μέσα σε μεγάλα κτίρια ή σε πανεπιστημιούπολεις, νοσοκομειακούς χώρους, εμπορικά κέντρα. Στην περίπτωση αυτή, η ανάγκη της μεταφερσιμότητας είναι πιο έντονη από ότι η κινητικότητα, ωστόσο, μπορεί να υποστηρίζεται και η διαπομπή σε μερικά συστήματα. Τα ασύρματα αυτά δίκτυα είναι ως επί το πλείστον μεταγωγής πακέτου και, μερικές φορές, αναφέρονται ως PCS δεδομένων.

Τα WLAN είναι ακόμη στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης και δεν αποτελούν καλά καθιερωμένα συστήματα ευρείας χρήσης. Ωστόσο, υπάρχουν τουλάχιστον δέκα μη προτυποποιημένα WLAN που πωλούνται από μεγάλες ή μικρές εταιρίες. Οι ρυθμοί μετάδοσης στους ασύρματους διαύλους κυμαίνονται από μερικές δεκάδες kbps μέχρι μερικές δεκάδες Mbps. Τα περισσότερα συστήματα λειτουργούν στις περιοχές συχνοτήτων που προορίζονται για βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές εφαρμογές (Industrial, Scientific Medical, ISM Bands), κοντά στα 900 MHz και 2.4 GHz, ένα λειτουργεί στα 18 GHz και μερικά βασίζονται στην τεχνολογία των υπέρυθρων ακτίνων. Η χρησιμοποίηση περιοχής ISM Bands δεν απαιτεί άδεια λειτουργίας και επιτρέπει ισχύ εκπομπής μέχρι 1 W, αν τα σήματα εκπληρούν προκαθορισμένα κριτήρια απλωμένου φάσματος.

Υπάρχει επίσης εφαρμοσμένη έρευνα που στοχεύει σε προηγμένα WLAN απλωμένου φάσματος. Ένα μέρος του φάσματος, που εκχωρήθηκε στην περιοχή των 2GHz, προορίζεται για συστήματα που δεν έχουν άδεια και δεν είναι υποχρεωτικό να χρησιμοποιούν απλωμένο φάσμα, αλλά πρέπει να λειτουργούν με καθορισμένο πρωτόκολλο το οποίο θα έχει ως στόχο την παρεμπόδιση της εισαγωγής ανεξέλεγκτης παρεμβολής στη ζώνη συχνοτήτων. Αυτή η νέα εκχώρηση συχνοτήτων είναι

ενδεχόμενο να οδηγήσει σε εκτεταμένη έρευνα, ώστε να αναπτυχθούν προηγμένα WLAN που θα χρησιμοποιούν τεχνολογίες διαφορετικές από εκείνη του απλωμένου φάσματος. Λόγω των υψηλών ρυθμών μετάδοσης που χρησιμοποιούνται στη ζεύξη και των περιορισμών ισχύος που υπάρχουν για τα φορητά τερματικά, η περιοχή κάλυψης των πομποδεκτών των WLAN, είναι πολύ περιορισμένη, της τάξεως μερικών μέτρων μέσα σε κτίρια.

Επειδή η ανάπτυξη των WLAN είναι νέα, οι ανάγκες και οι απαιτήσεις των χρηστών δεν είναι τόσο σαφείς, οπότε καταβάλλονται προσπάθειες ικανοποίησης πολλών διαφορετικών αναγκών στα πρώτα προϊόντα. Δεν υπάρχει, προς το παρόν, συγκεκριμένη κατεύθυνση, γεγονός που προκύπτει και από την ευρεία περιοχή ρυθμών μετάδοσης που παρέχεται. Μια φιλοσοφία της ασύρματης δικτύωσης για μετάδοση δεδομένων βασίζεται σε σταθερούς σταθμούς βάσης, συνδεδεμένους μέσω σταθερού δικτύου και ελεγχόμενους από κεντρικό σημείο. Αυτός ο τύπος WLAN έχει αρχιτεκτονική και δομή ελέγχου ανάλογες με εκείνες του PCS και των κυψελωτών συστημάτων. Φορητά τερματικά δεδομένων μπορούν να έχουν πρόσβαση σε τέτοιο δίκτυο δεδομένων μέσα σε σχετικά καθορισμένη περιοχή που καλύπτεται από τους σταθμούς βάσης, π.χ. μεγάλο κτίριο, περιοχή μιας βιομηχανίας, νοσοκομείο, πανεπιστημιούπολη. Η άλλη τεχνική δικτύωσης βασίζεται σε φορητά τερματικά με μόνο έναν ή λίγους σταθερούς σταθμούς βάσης, που χρησιμεύουν ως πύλες προς εξωτερικά δίκτυα δεδομένων. Τα δίκτυα αυτά δεν έχουν κεντρικό έλεγχο και εφαρμόζουν πρωτόκολλα μεταξύ όλων των οντοτήτων, φορητών και σταθερών, ώστε να σχηματίζεται ένα αυτοοργανούμενο δίκτυο κατανεμημένου ελέγχου. Ένα τέτοιο WLAN δεν υπάρχει μέχρι τη στιγμή όπου μια οντότητα αρχίζει τη διαδικασία οργάνωσής του. Οι σταθεροί σταθμοί βάσης χρησιμεύουν μόνο ως πύλες προς σταθερά δίκτυα και δεν έχουν ρόλο ειδικού ελεγκτή στο κατανεμημένο δίκτυο. [2]

1.4 Επίδραση της κινητικότητας στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και δίκτυα μετάδοσης δεδομένων

Οι προσπάθειες για την εξέλιξη των μελλοντικών δικτύων επικοινωνιών επικεντρώνονται σε δύο θέματα:

- α) Στη βελτίωση της ποιότητας και της ποικιλίας των υπηρεσιών που προσφέρονται.
- β) Στην υποστήριξη της κινητικότητας (mobility) επικοινωνίας, σε όποια μορφή και αν εμφανίζεται αυτή.

Οι κινητές επικοινωνίες πολυμέσων (mobile multimedia) υποδηλώνουν ήδη τον συνδυασμό αυτών των στόχων. Η αναζήτηση τεχνολογιών, που θα καθιστούν ικανή την επίτευξη υψηλής ποιότητας στις προσφερόμενες υπηρεσίες σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών, αποτελεί ένα βασικό μέρος της έρευνας και ανάπτυξης. Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) είναι αντικείμενο πολλών ερευνητικών προγραμμάτων και αναμένεται ότι θα βοηθήσει στην επίτευξη πολλών στόχων, συμπεριλαμβανομένου και του στόχου για παροχή υπηρεσιών υψηλής ποιότητας, με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, απεριόριστη δυνατότητα κίνησης και παγκόσμια χρησιμοποίηση. Φαίνεται πως το UMTS τελικά είναι ένας μεγάλος αποδέκτης, που συνενώνει και ολοκληρώνει τα χαρακτηριστικά, τις εξελίξεις και τις υπηρεσίες από όλα τα δίκτυα που είναι διαθέσιμα σήμερα. Παρόλα αυτά, το UMTS δεν είναι παρά ένας υψηλός στόχος μιας μεγάλης

έρευνας και της διαδικασίας της τυποποίησης. Η επίτευξη αυτού του στόχου, δηλαδή η υλοποίηση όλων αυτών των ιδεών, ώστε να αποτελέσουν ένα πραγματικό σύστημα που να δουλεύει, θα είναι ένα μακράς διάρκειας και δύσκολο έργο με αρκετά αναμενόμενα προβλήματα. Επίσης, στα προφανή τεχνικά προβλήματα μπορεί να προστεθεί και το ερώτημα, κατά πόσο είναι πραγματικά χρήσιμο να προσαρμοστεί όλο το εύρος των προσφερόμενων υπηρεσιών του ενσύρματου περιβάλλοντος στο περιβάλλον των κινητών επικοινωνιών. Ένα άλλο θέμα εδώ, είναι οι ποικίλοι τρόποι προσδιορισμού της κινητικότητας στα διαφορετικά περιβάλλοντα. Στις τηλεπικοινωνίες π.χ., η κινητή τηλεφωνία απαιτεί διαφορετικά χαρακτηριστικά δικτύου από ότι στις επικοινωνίες δεδομένων. Παρόλα αυτά οι δύο αυτοί χώροι σίγουρα συγκλίνουν. [2]

1.4.1 Κινητικότητα στα ασύρματα τοπικά δίκτυα

Μια πρώτη εφαρμογή της κινητικότητας τερματικού συναντάται σε περιβάλλοντα εταιρειών, όπου οι χρήστες περιφέρονται σε μια πεπερασμένη περιοχή με ταχύτητα πεζού. Σύμφωνα με έρευνες που έγιναν, οι επαγγελματίες περνούν πάνω από 90% του χρόνου απασχόλησής τους έξω από το γραφείο τους, είτε στο ίδιο κτίριο με αυτό του γραφείου είτε σε χώρους κοντά σ' αυτό. Η μετακίνηση ενός γραφείου χρειάζεται βδομάδες να οργανωθεί και απαιτείται συνήθως υψηλό κόστος ανακαλωδίασης, το οποίο αυξάνει ανάλογα με την ηλικία και την πολυπλοκότητα του κτιρίου. Επίσης, από τη στιγμή που οι εργασίες αναθέτονται ολοένα και περισσότερο σε ομάδες υψηλού δυναμικού και όχι σε μεμονωμένα άτομα, μπορεί να εκτιμηθεί ότι γίνονται αλλαγές θέσης των τερματικών των χρηστών από μια ως και τρεις φορές τον χρόνο. Η τεχνολογία, που μπορεί να καλύψει τις ανάγκες μιας τέτοιας επικοινωνίας δεδομένων με χαμηλό βαθμό κινητικότητας, μέσα σε κτίρια, είναι τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless LAN, WLAN).

Ενώ τα WLAN στοχεύουν στο να παρέχουν στους χρήστες την ελευθερία να περιφέρονται οπουδήποτε και όποια χρονική στιγμή θελήσουν, χωρίς να χάνουν την επαφή με το δίκτυο, οι προσπάθειες για την ανάπτυξή τους κατευθύνονται κυρίως στη χρησιμοποίηση ασύρματων στοιχείων ως διεπαφών των LAN προς τα ενσύρματα δίκτυα κορμού σε δύσκολα περιβάλλοντα γραφείου, αντικαθιστώντας τα τελευταία 30-50 μέτρα της καλωδίασης προς το τερματικό σύστημα. Για παράδειγμα, τα WLAN χρησιμοποιούνται σε γραφεία που καταλαμβάνουν ολόκληρους ορόφους χωρίς διαχωριστικούς τοίχους, όπου η εγκατάσταση καλωδίων στο πάτωμα και η συντήρησή τους είναι δαπανηρή, καθώς και σε προσωρινές εγκαταστάσεις γραφείων, όπως συμβαίνει στα διάφορα συνέδρια ή εκθέσεις.

Λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους των παραδοσιακών LAN και της υψηλότερης QoS που προσφέρουν σε σύγκριση με τα ασύρματα ομόλογά τους, δεν αναμένεται ότι τα WLAN θα αντικαταστήσουν τις τωρινές εγκαταστάσεις στο εγγύς μέλλον. Οι σημερινοί χρήστες των LAN δεν θα ξηλώσουν τα Ethernet ή τους δακτυλίους με σκυτάλη (Token Ring) που χρησιμοποιούν για να εγκαταστήσουν μια άγνωστη τεχνολογία. Ωστόσο, τα WLAN προσφέρουν ένα πεδίο για νέες εφαρμογές, που εισάγονται με τη συνεχώς αυξανόμενη αγορά των φορητών υπολογιστών. Οι καθηγητές, για παράδειγμα, θα μπορούσαν να κάνουν on-line επιδείξεις στις παραδόσεις τους με φορητό υπολογιστή, ή, στα νοσοκομεία, οι ιατρικές διαγνώσεις θα μπορούσαν να διευκολυνθούν με τη χρησιμοποίηση Προσωπικού Ψηφιακού Βοηθού (Personal Digital Assistant, PDA) για την αναζήτηση επιπρόσθετων πληροφοριών για τον ασθενή.

Ένα τελείως διαφορετικό πεδίο εφαρμογών των WLAN είναι η εγκατάσταση περιστασιακών (ad hoc) δικτύων, π.χ. σε μια συνεδρίαση ή σε άλλες θέσεις για προσωρινή χρήση. Οι σταθμοί που εμπλέκονται είναι δυνατό να αποτελέσουν ένα αυτοδιαχειριζόμενο και δυναμικό δίκτυο, δηλαδή οι φορητοί υπολογιστές μπορεί ελεύθερα να μπαίνουν ή να βγαίνουν από μια σύνοδο. Παρά την αυξημένη πολυπλοκότητα των πρωτοκόλλων, το περιστασιακό δίκτυο αποτελεί ένα εύκολα εγκαθιστάμενο, και γι' αυτό φθινό, μέσο για τοπική δικτύωση. Με πολύ απλά λόγια μπορεί να ειπωθεί, ότι τοποθετούνται τα συστήματα μέσα σε μια περιοχή με λογικά όρια και συγχρονίζονται, και στη συνέχεια, αφού συμφωνηθεί μια διάταξη, φτιάχνεται το δίκτυο. Σύμφωνα με τις κατηγορίες κινητικότητας, αυτό είναι ένα βήμα μπροστά σε σχέση με τις παραδοσιακές εφαρμογές των WLAN. Μια ομάδα από κινητούς χρήστες μπορεί να αποτελέσει ένα αυτόνομο τοπικό δίκτυο οπουδήποτε, οποιαδήποτε στιγμή, με αμελητέα προσπάθεια.

Τα WLAN έχουν ως στόχο τους να παρέχουν υψηλούς ρυθμούς δεδομένων σε σχετικά μικρή περιοχή για περιορισμένο αριθμό προσαρτημένων σταθμών. Η θεωρούμενη ταχύτητα μετακίνησης των χρηστών είναι της τάξης των μερικών χιλιομέτρων την ώρα. Μπορούμε να πούμε, ότι στα συστήματα αυτά η κινητικότητα αντιμετωπίζεται περισσότερο off-line παρά on-line, και κυρίως μέσα σε κτίρια παρά σε ελεύθερους χώρους. Ωστόσο, ακόμα και η χαμηλού βαθμού κινητικότητα σε μια περιορισμένη περιοχή απαιτεί την εισαγωγή εκτεταμένης επιπρόσθετης λειτουργικότητας στο υπόστρωμα MAC, η οποία, σύμφωνα με το μοντέλο αναφοράς, θα κατευθύνεται από τα υψηλότερα στρώματα OSI.

Η αποδοχή των WLAN από τους χρήστες έγινε αργά. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη ενιαίου προτύπου, που να προσφέρει ομοιογένεια μεταξύ συστημάτων από διαφορετικούς κατασκευαστές, καθώς και στο αυστηρά περιορισμένο πεδίο εφαρμογής. Η αντικατάσταση των παραδοσιακών ενσύρματων LAN είναι ένας άφραστος στόχος για τις γενικά πιο αναξιόπιστες και περιορισμένου εύρους ζώνης ασύρματες λύσεις. Ωστόσο, εκτιμάται ότι, στα αμέσως επόμενα χρόνια, η μισή από την αγορά των LAN θα αφορά φορητούς υπολογιστές. Η αυξανόμενη σημασία των κινητών επικοινωνιών, και η υποστήριξή τους από σημαντικό αριθμό μελλοντικών προτύπων, είναι πολύ πιθανό να οδηγήσουν σε ευρύτερη ανάπτυξη των WLAN. [2]

1.5 Γενικές τάσεις στην εξέλιξη των συστημάτων κινητών επικοινωνιών - Ολοκλήρωση των δικτύων

Ταυτόχρονα με την ολοκλήρωση των υπηρεσιών φωνής και δεδομένων, η εξέλιξη στα δίκτυα κατευθύνεται και προς την παροχή προσωπικών επικοινωνιών και κινητικότητας. Τα δίκτυα κινητών ολοκληρωμένων υπηρεσιών μπορούν να προέλθουν είτε από τα ήδη υπάρχοντα κυβελωτά συστήματα βελτιώνοντας το προφίλ υπηρεσιών που προσφέρονται, είτε από τα ήδη υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα προσθέτοντας ασύρματες διεπαφές.

Στα σημερινά ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, ένα μεγάλο και συνεχώς αυξανόμενο μέρος της κίνησης αφορά σε κίνηση δεδομένων και τα πρώτα σημάδια του κινητού διαδικτύου έχουν ήδη φανεί. Η δημοτικότητα των υπηρεσιών δεδομένων αυξάνει διαρκώς και στο μέλλον θα επικρατήσουν των υπηρεσιών φωνής.

Επιπρόσθετα, το έτος 2001 είναι το έτος εισαγωγής των συστημάτων 3ης γενιάς και οι συνδρομητές του κινητού Διαδικτύου θα συνεχίσουν να αυξάνονται. Εκτιμάται ότι στο τέλος του 2006 θα υπάρχουν 1.6 δισεκατομμύρια χρήστες κινητών επικοινωνιών, από τους οποίους περισσότερο από 1 δισεκατομμύριο θα είναι χρήστες κινητού Διαδικτύου σε συστήματα 3^{ης} γενιάς.

Με την εισαγωγή των υπηρεσιών δεδομένων, θα αυξηθεί επίσης και η χρήση μετρούμενη σε λεπτά/μήνα/συνδρομητή από περίπου 200 που είναι σήμερα σε 600 στο τέλος του 2006. Η αυξημένη χρήση εξηγείται εν μέρει από την μετατόπιση της κίνησης από τα σταθερά δίκτυα στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών αλλά και από την εισαγωγή νέων υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες αυτές μπορούν να χωριστούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Κοινωνικές επικοινωνίες και ασφάλεια, με παραδείγματα όπως η βιντεοτηλεφωνία, η αποστολή φωτογραφιών, αποστολή μηνυμάτων, γνωστοποίηση συναγερμών και εντοπισμός επείγοντος περιστατικού.
- Εξοικονόμησης χρόνου και εξουσιοδότησης, με παραδείγματα τις αγορές, τις τραπεζικές συναλλαγές, αναζήτηση πληροφοριών στο Διαδίκτυο, ειδήσεις, τηλεέλεγχος κατοικίας και πλοήγηση.
- Διασκέδαση, με παραδείγματα τα στοιχήματα, τα παιχνίδια, τις πληροφορίες για τα διάφορα αθλήματα και τη μουσική.

Με την ευρύτερη έννοια, παρατηρούμε τη συγκλίνουσα τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία να προχωρά προσθέτοντας Διαδίκτυο και πολλαπλές υπηρεσίες στην ασύρματη επικοινωνία και στην κινητικότητα. Αναπτύσσονται νέες εφαρμογές, εκμεταλλευόμενες το πλεονέκτημα από τον συνδυασμό υψηλών ρυθμών μετάδοσης και κινητικότητας.

Πέρα από την ανάπτυξη των συστημάτων 3^{ης} γενιάς είναι τα συστήματα κινητών επικοινωνιών 4^{ης} γενιάς. Πιστεύεται ότι τα συστήματα 4^{ης} γενιάς θα βασιστούν στα συστήματα 3^{ης} γενιάς και τις εξελιγμένες εκδοχές τους. Προς το παρόν ερευνώνται διάφορα θέματα και είναι ακόμη ασαφές ποια θα είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των συστημάτων 4^{ης} γενιάς. Μια περίπτωση που πιθανό να δικαιολογεί την ανάπτυξη συστημάτων 4^{ης} γενιάς θα μπορούσε να είναι οι αυξανόμενες εφαρμογές νοητής πραγματικότητας, οι οποίες απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης τόσο στην ασύρματη διεπαφή όσο και στο σταθερό δίκτυο. Τα θέματα της ασύρματης διεπαφής, τα ad hoc δίκτυα και τα δίκτυα πολλαπλών βημάτων χρησιμοποιούνται ως παραδείγματα στην έρευνα για τα συστήματα 4^{ης} γενιάς.

Ας θεωρηθεί το παράδειγμα ενός χρήστη που έχει μαζί του μερικές ηλεκτρονικές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, PDA κ.ο.κ. Σήμερα οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται ανεξάρτητα μεταξύ τους. Εντούτοις, οι συσκευές μπορεί να αλληλεπιδρούν, όπως για παράδειγμα στην επεξεργασία κειμένου μεταξύ φορητών υπολογιστών σε μια συνάντηση ή την παράδοση του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου σε PDA αντί σε σταθερό υπολογιστή. Αν οι συσκευές έχουν διατάξεις ασύρματης επικοινωνίας, όπως π.χ. σύνδεση Bluetooth, μπορεί να απαρτίσουν ένα προσωπικό δίκτυο (Personal Area Network, PAN). Στη διάταξη αυτή, ο χρήστης μεταφέρει τουλάχιστον ένα κινητό τερματικό και ένα PC ή PDA, αλλά και άλλες συσκευές όπως εκτυπωτές και κάμερες μπορεί να ενσωματωθούν στο PAN. Το κινητό

τερματικό χρησιμοποιείται για τη σύνδεση σε δίκτυο ασύρματης πρόσβασης ευρείας περιοχής, όπως π.χ. ένα δίκτυο GSM ή WCDMA ή και τα δύο.

Εκτός από το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης ευρείας περιοχής, ένα PC μπορεί να επίσης να συνδεθεί στο κυψελωτό σύστημα μέσω σύνδεσης Bluetooth μεταξύ του PC και του κινητού τερματικού. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται στο PC κάλυψη ευρείας περιοχής μέσω του Bluetooth και των συστημάτων 2^{ης}/3^{ης} γενιάς. Όταν ο χρήστης κινείται μέσα σε ένα γραφείο, ραδιοκάλυψη παρέχεται είτε από το κυψελωτό δίκτυο ευρείας περιοχής είτε από ειδικά εσωτερικά συστήματα, που βασίζονται στην κυψελωτή τεχνολογία ή στα πρότυπα των WLAN.

Οι απαιτήσεις των εφαρμογών πολυμέσων και η τρέχουσα κατάσταση της τεχνολογίας των ασύρματων μεταδόσεων θα επιτρέψουν την κινητικότητα το πολύ μέσα σε περιορισμένες νησίδες ευρείας ζώνης. Οι ολοκληρωμένες υπηρεσίες, όπως αυτές παρέχονται από τα κυψελωτά δίκτυα, εμφανίζουν χαμηλότερη QoS συγκριτικά με εκείνες που παρέχονται από το δίκτυο ISDN ευρείας ζώνης (Broadband ISDN, B-ISDN). Από την άλλη πλευρά, αν ληφθούν υπόψη οι βελτιωμένες υπηρεσίες του B-ISDN, οι απόψεις της QoS θα δημιουργήσουν προβλήματα, όταν συμπεριληφθούν κινητά περιβάλλοντα, διότι:

- Η θέση των συνδρομητών δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων και μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια της σύνδεσης.
- Η ποιότητα στη μετάδοση είναι γενικά χειρότερη και εξαρτώμενη από τον χρόνο (λόγω διαλείψεων κλπ).
- Το εύρος ζώνης επικοινωνίας είναι πεπερασμένο.

Γενικά, το "γινόμενο" της προσφερόμενης ποιότητας και της κινητικότητας είναι σχεδόν σταθερό, π.χ. ένας μέγιστος βαθμός της QoS θα συνεπάγεται περιορισμούς στην κινητικότητα.

Όπως μπορεί να διαπιστώσει κανείς, η κινητικότητα του τερματικού και η ποιότητα υπηρεσίας είναι εν μέρει αντικρουόμενοι στόχοι στην ανάπτυξη των δικτύων. Βέβαια, γίνονται αρκετές προσπάθειες σήμερα να βελτιωθεί το γινόμενο της κινητικότητας και της QoS, εντούτοις το βασικό ερώτημα που παραμένει είναι το αν πράγματι χρειαζόμαστε υπηρεσίες πολυμέσων με απεριόριστη κινητικότητα. [2]

Κεφάλαιο 2 - Ασύρματα τοπικά δίκτυα

2.1 Ασύρματη μετάδοση δεδομένων

Η υπολογιστική επεξεργασία μέσω ασύρματης πρόσβασης (Wireless Computing) είναι μια αναπτυσσόμενη τεχνολογία, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να συνδέονται σε δίκτυο υπολογιστών χωρίς να δεσμεύονται από την ύπαρξη ενσύρματου δικτύου. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless LAN, WLAN), όπως και τα ενσύρματα ομόλογά τους, έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν υψηλό εύρος ζώνης σε χρήστες που περιφέρονται σε περιορισμένη γεωγραφική περιοχή. Παρά το γεγονός ότι τα WLAN στοχεύουν στο να παρέχουν στους χρήστες την ελευθερία να περιφέρονται οπουδήποτε και όποια χρονική στιγμή θελήσουν, χωρίς να χάνουν την επαφή με το δίκτυο, οι προσπάθειες για την ανάπτυξή τους κατευθύνονται κυρίως στη χρησιμοποίηση ασύρματων στοιχείων ως διεπαφών των LAN προς τα ενσύρματα δίκτυα κορμού σε δύσκολα περιβάλλοντα γραφείου, που η καλωδίωση είναι δύσκολη ή μη πρακτική και απαιτείται κάποιος βαθμός κινητικότητας.

Στην ιδανική περίπτωση, οι χρήστες των ασυρμάτων τοπικών δικτύων θα επιθυμούσαν να έχουν τις ίδιες δυνατότητες και την ίδια εξυπηρέτηση, όπως και στα ενσύρματα δίκτυα. Ωστόσο, για την εκπλήρωση αυτών των στόχων, υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί, που δεν εμφανίζονται στα ενσύρματα τοπικά δίκτυα. Οι περιορισμοί αυτοί είναι οι εξής:

- **Κατανομή συχνοτήτων.** Η λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου προϋποθέτει ότι όλοι οι χρήστες εξυπηρετούνται από μια κοινή ζώνη συχνοτήτων. Οι ζώνες συχνοτήτων για συγκεκριμένες χρήσεις πρέπει να εγκρίνονται από κεντρική κρατική επιτροπή και να χορηγείται η σχετική άδεια, διαδικασία που είναι χρονοβόρα, λόγω της μεγάλης ζήτησης για το διαθέσιμο ασύρματο φάσμα συχνοτήτων.
- **Παρεμβολές και αξιοπιστία.** Οι παρεμβολές στις ασύρματες επικοινωνίες μπορεί να προέλθουν από ταυτόχρονες εκπομπές δύο ή περισσότερων πηγών που μοιράζονται την ίδια ζώνη συχνοτήτων. Όταν υπάρχουν πολλοί σταθμοί που περιμένουν να απελευθερωθεί ο δίαυλος και να αρχίσουν να εκπέμπουν, εμφανίζονται συγκρούσεις. Συγκρούσεις εμφανίζονται λόγω του προβλήματος του "κρυμμένου τερματικού", όπου κάποιος σταθμός, πιστεύοντας ότι ο δίαυλος είναι ελεύθερος, αρχίζει την εκπομπή χωρίς να ανιχνεύει επιτυχώς την ήδη ευρισκόμενη σε εξέλιξη μετάδοση. Παρεμβολές επίσης εμφανίζονται από τις διαλείψεις πολλαπλών διαδρομών, που χαρακτηρίζονται από τυχαίες διακυμάνσεις του πλάτους και της φάσης στη λήψη. Η αξιοπιστία ενός διαύλου επικοινωνιών μετρείται συνήθως με τον μέσο ρυθμό εσφαλμένων bit (BER). Για μετάδοση φωνής με πακέτα, ρυθμοί απωλειών πακέτων της τάξεως 10^{-2} είναι γενικά αποδεκτοί. Για μη κωδικοποιημένα δεδομένα, ένας ρυθμός BER= 10^{-5} θεωρείται αποδεκτή τιμή. Η αυτόματη αναμετάδοση και η διόρθωση λαθών χρησιμοποιούνται για την αύξηση της αξιοπιστίας.
- **Ασφάλεια επικοινωνίας.** Στα ενσύρματα δίκτυα, το μέσο μετάδοσης μπορεί να παρέχει φυσική ασφάλεια και η πρόσβαση στο δίκτυο ελέγχεται εύκολα. Στα ασύρματα δίκτυα, η ασφάλεια επικοινωνίας είναι δυσκολότερο να ελεγχθεί, καθότι το μέσο μετάδοσης είναι ανοικτό σε οποιονδήποτε βρίσκεται στη ραδιοκάλυψη ενός πομπού. Η ασφάλεια των δεδομένων στο ασύρματο τμήμα επιτυγχάνεται με

απόκρυψη. Ωστόσο, η διαδικασία της απόκρυψης αυξάνει το κόστος του συστήματος και μειώνει την επίδοσή του.

- **Κατανάλωση ισχύος.** Συνήθως, οι διάφορες συσκευές που συνδέονται σε ενσύρματο δίκτυο τροφοδοτούνται από το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ισχύος του κτιρίου. Οι ασύρματες συσκευές, όμως, έχει νόημα να είναι φορητές και/ή κινητές και τροφοδοτούνται από μπαταρίες. Συνεπώς, πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να είναι πολύ αποτελεσματικές, να έχουν κατάσταση ηρεμίας με χαμηλή κατανάλωση ισχύος, να έχουν οθόνες χαμηλής ισχύος, ώστε οι χρήστες να μπορούν να κάνουν επιλογές όσον αφορά το κόστος και την επίδοση της τερματικής συσκευής ή το κόστος και τις δυνατότητές της.
- **Ασφάλεια χρηστών.** Διεξάγονται διαρκώς έρευνες για να καθοριστεί κατά πόσο οι ραδιομεταδόσεις από κινητά τερματικά βλάπτουν την υγεία των χρηστών. Τα συστήματα πρέπει να σχεδιάζονται κατά τρόπο που να ελαχιστοποιείται η εκπεμπόμενη ισχύς. Στα WLAN υπέρυθρων ακτίνων π.χ., οι οπτικοί πομποί πρέπει να σχεδιάζονται κατά τρόπο που να μην βλάπτουν την όραση.
- **Κινητικότητα.** Σε αντίθεση με τα ενσύρματα τερματικά, ένα από τα πρωτεύοντα πλεονεκτήματα των ασύρματων τερματικών είναι η ελευθερία κινήσεων. Συνεπώς, η σχεδίαση του συστήματος πρέπει να υποστηρίζει τη διαπομπή και τη δρομολόγηση της κίνησης σε κινούμενους χρήστες.
- **Διέλευση.** Η χωρητικότητα των ασύρματων LAN πρέπει, στην ιδανική περίπτωση, να προσεγγίζει εκείνη των ενσύρματων. Ωστόσο, λόγω φυσικών περιορισμών και λόγω περιορισμένου διαθέσιμου εύρους ζώνης, τα WLAN προδιαγράφονται, προς το παρόν, να λειτουργούν σε ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ 1-20 Mbps. Για την υποστήριξη πολλών ταυτόχρονων μεταδόσεων, χρησιμοποιούνται συχνά τεχνικές απλωμένου φάσματος. [2]

2.2 Τεχνολογίες ασυρμάτων LAN - Προτυποποίηση

Τα WLAN στοχεύουν κυρίως σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (γενικά ≥ 1 Mbps) και σε εφαρμογές μέσα σε κτίρια. Υπάρχει σήμερα ένας αριθμός τέτοιων δικτύων, που λειτουργούν χωρίς άδεια στις ζώνες που έχουν δεσμευθεί για βιομηχανικές (Industrial), επιστημονικές (Scientific) και ιατρικές (Medical) διατάξεις, που ονομάζονται ζώνες ISM.

Τα WLAN αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα από οποιοδήποτε υπάρχον πρότυπο και μέχρι τώρα δεν έχει καθιερωθεί κανένα τέτοιο πρότυπο που να τα καλύπτει. Υπάρχουν δύο πρότυπα σε εξέλιξη που αφορούν τα WLAN. Το ένα είναι του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standard Institute, ETSI) και ονομάζεται High - Performance European Radio LAN (HIPERLAN), και το άλλο είναι το IEEE 802.11 WLAN. Και τα δύο υπό εξέλιξη πρότυπα καλύπτουν τις προδιαγραφές του φυσικού στρώματος και του υποστρώματος MAC του μοντέλου αναφοράς OSI.

Υπάρχουν αρκετές ομοιότητες μεταξύ του HIPERLAN και του IEEE 802.11. Και τα δύο πρότυπα στοχεύουν σε ρυθμούς μετάδοσης που υπερβαίνουν το 1 Mbps και θα υποστηρίζουν αρχιτεκτονικές με υποδομή στην οποία τα τερματικά επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους (peer-to-peer), χωρίς τη μεσολάβηση σταθερού σταθμού βάσης. Υπηρεσίες σημείου προς σημείο, σημείου προς πολλαπλά σημεία καθώς και υπηρεσίες εκπομπής θα είναι επίσης διαθέσιμες. Όταν η ασύγχρονη μετάδοση πακέτων θα είναι ο

κυρίαρχος τρόπος μετάδοσης, θα υποστηρίζονται επίσης και καταναλωμένες, υπηρεσίες με χρονικούς περιορισμούς (distributed time-bounded services, DTBS). Τέλος, επειδή πολλά τερματικά θα λειτουργούν με μπαταρίες, τα πρότυπα προβλέπουν και λειτουργία ελάχιστης κατανάλωσης (sleep mode) για τη διαχείριση ισχύος.

Υπάρχουν, επίσης, μερικές διαφορές μεταξύ του IEEE 802.11 και του HIPERLAN. Το IEEE 802.11 επικεντρώθηκε αρχικά στην ανάπτυξη ενός μόνο προτύπου για το στρώμα MAC και πολλαπλών προτύπων για το φυσικό στρώμα, που είναι συμβατά με το MAC. Η αρχική δουλειά για τα πρότυπα του φυσικού στρώματος επικεντρώνεται και στην εξάπλωση φάσματος ευθείας ακολουθίας και στη μεταπήδηση συχνότητας για τη ζώνη ISM των 2.4 GHz. Προβλέπονται και άλλα πρότυπα για το φυσικό στρώμα, συμπεριλαμβανομένου και ενός για τη ζώνη PCS των 1.9 GHz, ενώ αναπτύσσεται πρότυπο για φυσικό στρώμα με υπέρυθρες στη βασική ζώνη. Το HIPERLAN επικεντρώνεται σε υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης από ότι το IEEE 802.11. Τούτο καθίσταται δυνατό με μια υψηλής εξειδίκευσης αρχιτεκτονική συστήματος, η οποία το καθιστά ικανό να ανταποκρίνεται στην επιθυμητό ρυθμό μετάδοσης των 20 Mb/s. Για να υποστηρίξει τέτοιους υπερβολικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέσα σε ένα ασύρματο περιβάλλον, η Conference of European Posts and Telecommunications (CEPT) εκχώρησε στο σύστημα ευρείες περιοχές συχνοτήτων (150 MHz στη ζώνη των 5,2 GHz και 200 MHz στη ζώνη των 17 GHz). Επιπλέον, το πρότυπο HIPERLAN προγραμματίζεται να παρέχει ευέλικτο μηχανισμό προώθησης για δίκτυα χωρίς υποδομή για να επεκτείνει την ενεργό περιοχή των τερματικών. Οι κόμβοι υποδιαιρούνται σε κόμβους προώθησης και μη προώθησης και έτσι δημιουργείται ένα αυτοπροσαρμοζόμενο ασύρματο LAN. Τέλος, το HIPERLAN θέτει μεγαλύτερη έμφαση στις υπηρεσίες DTBS. [2]

2.3 Το πρότυπο IEEE 802.11

Το 1990 ιδρύθηκε η υποεπιτροπή IEEE 802.11 με σκοπό να βοηθήσει στην καθιέρωση ενός οικουμενικού προτύπου που να καλύπτει την αγορά των ασύρματων LAN. Οι περισσότεροι κατασκευαστές WLAN είναι μέλη που ψηφίζουν μέσα στην υποεπιτροπή και, γι' αυτό τον λόγο, ένα από τα κύρια θέματα είναι η διαλειτουργικότητα των συστημάτων που προέρχονται από διάφορους κατασκευαστές

Οι λειτουργικές απαιτήσεις για τις προδιαγραφές των ασύρματων LAN έχουν ορισθεί ως εξής:

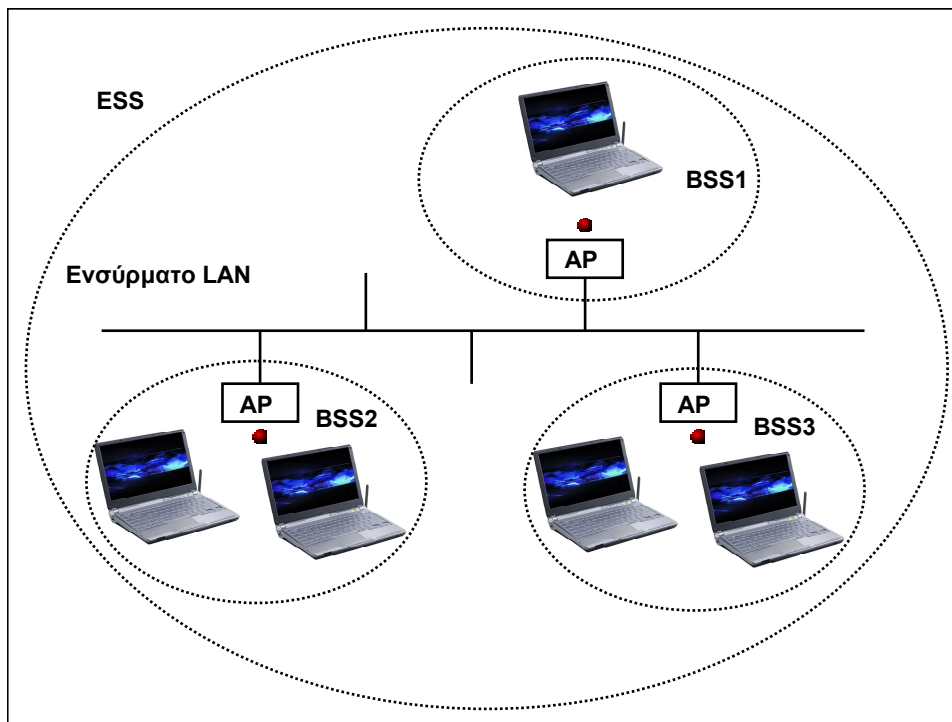
- α) Το πρωτόκολλο πρέπει να μπορεί να διαχειριστεί σταθερούς σταθμούς και φορητούς (μετακινούμενους σταθμούς που χρησιμοποιούνται μόνο σε συγκεκριμένες θέσεις), καθώς επίσης και κινητούς σταθμούς με πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης ενώ κινούνται.
- β) Το ελάχιστο λειτουργικό εύρος ζώνης που θα μπορεί να υποστηριχθεί έχει προσδιοριστεί στο 1Mb/s.

Για να υποστηριχθούν εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real time), πρέπει να υλοποιηθεί μια υπηρεσία που να περιορίζει τη διακύμανση της καθυστέρησης των πακέτων. Άλλες απαιτήσεις αφορούν την ανάγκη για ασφαλή και αξιόπιστη παράδοση των πακέτων, που αποτελεί ένα σημαντικό θέμα λόγω των διαλείψεων κατά τη μετάδοση του σήματος αλλά και λόγω των πολλαπλών διαδρομών στους αναξιόπιστους ραδιοδιαύ-

λους. Τέλος, ένα σημαντικό μέρος των προδιαγραφών ασχολείται με τις λειτουργίες διαχείρισης της ισχύος, για τα τερματικά που τροφοδοτούνται με μπαταρίες.

Το πρότυπο 802.11 της IEEE προδιαγράφει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 2 Mbps, χρησιμοποιώντας τεχνολογία απλωμένου φάσματος στην περιοχή συχνοτήτων 2.4 GHz. Για να καλυφθούν τα ποικιλόμορφα ενδιαφέροντα που παρουσιάστηκαν από τα μέλη της επιτροπής, κρατήθηκε η αρχιτεκτονική του συστήματος σε όσο το δυνατό πιο γενικά επίπεδα. Διακρίνει δύο τοπολογίες δικτύου: την τοπολογία με δίκτυο υποδομής και την ad hoc τοπολογία.

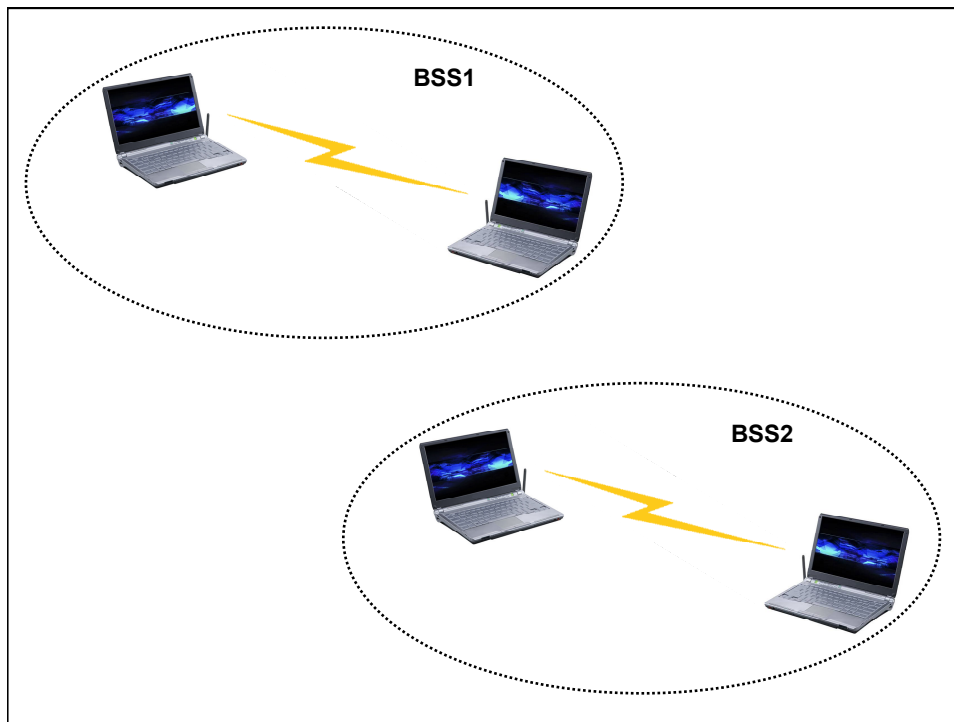
Στην τοπολογία με δίκτυο υποδομής (Σχήμα 2.1), τα κινητά τερματικά επικοινωνούν με το δίκτυο κορμού μέσω ενός σημείου πρόσβασης (Access Point, AP). Το AP είναι μια γέφυρα που συνδέει το δίκτυο 802.11 με την υποδομή του ενσύρματου δικτύου κορμού. Στη διάταξη αυτή, ένα σύστημα διανομής διασυνδέει πολλές ομάδες βασικής εξυπηρέτησης (Basic Service Sets, BSSs) μέσω σημείων πρόσβασης, ώστε να σχηματιστεί μια ενιαία υποδομή που ονομάζεται εκτεταμένη ομάδα εξυπηρέτησης (Extended Service Set, ESS). Ένα κινητό τερματικό μπορεί να περιφέρεται σε διαφορετικά BSS ενός ESS χωρίς να χάνει τη σύνδεσή του με το δίκτυο κορμού. Η ασύρματη πρόσβαση είναι λογικά διαχωρισμένη από το σύστημα διανομής, επιτρέποντας έτσι τη γενικότερη δυνατή τοπολογία. Οποιαδήποτε συγγενής τεχνολογία προς το LLC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το δίκτυο κορμού, επιτρέποντας τη δημιουργία ασύρματων δικτύων με αυθαίρετο μέγεθος και πολυπλοκότητα .



Σχήμα 2.1: Τοπολογία IEEE 802.11 με δίκτυο υποδομής

Στην περίπτωση διάταξης ad hoc (Σχήμα 2.2), οι προδιαγραφές συμπεριλαμβάνουν μηχανισμούς πρωτοκόλλων διανομής, ώστε να δημιουργήσουν ένα αυτόνομο περιστασιακό δίκτυο υπό την προϋπόθεση ότι οι σταθμοί που εμπλέκονται σ' αυτό είναι εντός των ορίων. Τα κινητά τερματικά επικοινωνούν μεταξύ τους σε ανεξάρτητο BSS χωρίς σύνδεση προς το ενσύρματο δίκτυο κορμού. Στην περίπτωση αυτή, μερικές

από τις λειτουργίες του AP, που χρειάζονται για τον σχηματισμό και τη διατήρηση ενός BSS, παρέχονται από ένα κινητό τερματικό. Επιπρόσθετα με τη μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης CSMA/CA, που είναι κατάλληλη για ασύγχρονες μεταδόσεις, το IEEE 802.11 παρέχει και έναν μηχανισμό με προτεραιότητες, χωρίς ανταγωνισμό, ελεγχόμενο από ένα σημείο, για την υποστήριξη ισόχρονων εφαρμογών με χρονικούς περιορισμούς. Ο μηχανισμός αυτός παρέχει μικρή εξασφάλιση για την ποιότητα υπηρεσίας. Οι υπηρεσίες του στρώματος MAC στο IEEE 802.11 υποστηρίζουν μηχανισμούς για έλεγχο αυθεντικότητας, απόκρυψη, διαχείριση συχνοτήτων και εξοικονόμηση ισχύος. [2]



Σχήμα 2.2: Τοπολογία IEEE 802.11 με ad hoc

2.3.1 Φυσικό στρώμα

Το πρότυπο 802.11 προβλέπει τη χρησιμοποίηση τριών διαφορετικών τύπων φυσικού στρώματος:

- Ραδιοδιάυλος 2.4 GHz με απλωμένο φάσμα και πήδημα συχνότητας (FH spread spectrum), στην περιοχή ISM.
- Ραδιοδιάυλος 2.4 GHz με απλωμένο φάσμα ευθείας ακολουθίας (DS spread spectrum), στην περιοχή ISM.
- Υπέρυθρες ακτίνες.

Επιπρόσθετα, για κάθε φυσικό στρώμα, έχουν καθοριστεί δύο διαφορετικοί ρυθμοί μετάδοσης, 1 Mbps και 2 Mbps.

Η υποστήριξη πολλαπλών φυσικών στρωμάτων προέκυψε από τη σύνθεση της επιτροπής, όπου οι διάφορες εταιρείες πρότειναν χωριστές αρχιτεκτονικές. Το όφελος

από αυτή την προσέγγιση είναι, ότι οι διάφοροι χρήστες που θέλουν ασύρματο LAN συμβατό με το πρότυπο 802.11 μπορούν να εκμεταλλευτούν τα διάφορα πλεονεκτήματα κάθε φυσικού στρώματος. Το μειονέκτημα είναι ότι δύο χρήστες που θέλουν να επικοινωνήσουν πρέπει να καθορίσουν επιπρόσθετα τον τύπο και τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στο σύστημα του ασύρματου LAN τους, για να επιτραπεί διαλειτουργικότητα.

Οι δύο τύποι των ραδιοσυστημάτων μεταδίδουν σε στάθμη ισχύος 100 mW ή μικρότερη, γεγονός που επιτρέπει να καλύπτουν αποστάσεις μέχρι 100 m σε εσωτερικούς χώρους, ανάλογα με τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και την κατασκευή και διαρρύθμιση των κτιρίων.

Στα συστήματα FH, η συχνότητα με την οποία μεταδίδονται τα δεδομένα λαμβάνει διάφορες τιμές που επιλέγονται από μια ομάδα συχνοτήτων (π.χ. 79 συχνότητες για την Αμερικανική / Ευρωπαϊκή έκδοση του προτύπου 802.11, και 23 συχνότητες για την Ιαπωνική έκδοση). Έτσι, ο πομπός στέλνει δεδομένα σε δοθείσα συχνότητα για ένα σταθερό χρονικό διάστημα και στη συνέχεια μετάγει στην επόμενη συχνότητα για ένα άλλο σταθερό χρονικό διάστημα. Το σχέδιο πηδήματος συχνότητας είναι γνωστό στον δέκτη, οπότε ο συνθέτης συχνοτήτων στον δέκτη μπορεί να κάνει πηδήματα συγχρονισμού και να ανακτήσει το αρχικό σήμα δεδομένων. Στα συστήματα FH, γειτονικές ή επικαλυπτόμενες κυψέλες χρησιμοποιούν διαφορετικά σχέδια πηδήματος και είναι απίθανο να χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα ταυτόχρονα σε δύο γειτονικές κυψέλες. Το πρότυπο καθορίζει τρεις διαφορετικές ομάδες σχεδίων πηδήματος, κάθε μια από τις οποίες αποτελείται από 26 σχέδια (δηλαδή, 26 λογικούς διαύλους). Τα σχέδια μέσα σε μια ομάδα έχουν επιλεγεί κατά τρόπο που να εμφανίζουν καλές ιδιότητες.

Στα συστήματα DS-SS, το αρχικό σήμα δεδομένων διαμορφώνεται από ένα σήμα εξάπλωσης ευρείας ζώνης. Αυτό το σήμα εξάπλωσης είναι γνωστό στον δέκτη, ο οποίος μπορεί στη συνέχεια να ανακτήσει το αρχικό σήμα δεδομένων. Ας σημειωθεί ότι, στο φυσικό στρώμα του 802.11 DS-SS χρησιμοποιείται μόνο ένα προκαθορισμένο σήμα εξάπλωσης. Ο παράγοντας κατά τον οποίο επεκτείνεται το εύρος ζώνης του σήματος είναι γνωστός ως κέρδος επεξεργασίας (processing gain) του συστήματος DS-SS. Στο 802.11 το κέρδος είναι 11 (40 dB), γεγονός που επιτρέπει κάποια ανθεκτικότητα στον θόρυβο στενής ζώνης, καθώς επίσης και τη δυνατότητα κατάτμησης του διατιθέμενου εύρους ζώνης σε μερικούς διαύλους.

Συνοψίζοντας, παρατηρούμε ότι ένα σύστημα FH, επειδή μπορεί να παρέχει μεγαλύτερο αριθμό διαύλων (δηλαδή, σχεδίων πηδήματος συχνότητας) από ότι ένα σύστημα DS-SS, ίσως να είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί σε πυκνά περιβάλλοντα, όπου οι κυψέλες έχουν επικάλυψη με πολλές γειτονικές κυψέλες. Επιπλέον, τα συστήματα FH και DS-SS εμφανίζουν διαφορετικού τύπου ανθεκτικότητα στην παρεμβολή στενής ζώνης. Τα συστήματα FH υφίστανται την παρεμβολή μόνο για ένα κλάσμα του χρόνου, ενώ τα συστήματα DS-SS υφίστανται ένα μέρος της ισχύος παρεμβολής όλο τον χρόνο. Συνεπώς, τα συστήματα FH έχουν καλύτερη επίδοση αν η παρεμβολή είναι ισχυρή, ενώ τα DS-SS αν η παρεμβολή είναι ασθενής. Και τα δύο ραδιοσυστήματα έχουν κατασκευαστές που τα υποστηρίζουν. Παραμένει να δούμε κατά πόσο θα επικρατήσει μόνο ένα σύστημα ή θα κατέχουν και τα δύο από ένα μεγάλο μέρος της αγοράς. [2]

2.3.2 Υποστρώμα MAC

Η ομάδα της IEEE 802.11 προσδιόρισε ένα πρωτόκολλο MAC ανεξάρτητο του μέσου μετάδοσης, το οποίο στηρίζεται σε μια ομάδα φυσικών προδιαγραφών που εξαρτώνται από το μέσο μετάδοσης. Στις προδιαγραφές αυτές περιλαμβάνονται το απλωμένο φάσμα άμεσης ακολουθίας (direct sequence spread spectrum), το απλωμένο φάσμα με πήδημα συχνότητας (frequency hopping spread spectrum), τα μικροκύματα στενής ζώνης, και η υπέρυθη ακτινοβολία με παραλλαγές που ακόμη εξετάζονται.

Μετά από επίπονη διαδικασία επιλογής, υπήρξε κοινή συμφωνία ότι η ολοκλήρωση είναι προτιμότερη από την απομόνωση, γεγονός που οδήγησε στο πρωτόκολλο Distributed Foundation Wireless MAC (DFWMAC). Το χαμηλότερο στρώμα του πρωτοκόλλου υποστηρίζει ασύγχρονη επικοινωνία μεταξύ των σταθμών με χρήση μηχανισμού πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA-CA). Η λειτουργία του CSMA-CA είναι παρεμφερής με αυτήν που χρησιμοποιείται από το Ethernet προσδιορίζοντας κατά πόσο η ενέργεια στον υπό εξέταση δίαυλο είναι πάνω από ένα προσυμφωνημένο κατώφλι (κατείλημμένος) ή όχι (ελεύθερος). Η αποφυγή σύγκρουσης βασίζεται στη λογική μείωσης της πιθανότητας σύγκρουσης στο σημείο που είναι πιο πιθανό να συμβεί, δηλαδή αμέσως μετά την εκ νέου απελευθέρωση του διαύλου. Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου DFWMAC εξυπηρετεί και τα ad-hoc WLAN και εκείνα με υποδομή, και εγγυάται διαλειτουργικότητα με τα υπάρχοντα πρότυπα για τα LAN της μεγάλης οικογένειας πρωτοκόλλων 802.

Το υποστρώμα MAC είναι υπεύθυνο για τις διαδικασίες εκχώρησης διαύλων, τη διευθυνσιοδότηση των μονάδων δεδομένων πρωτοκόλλου (protocol data unit, PDU), τον σχηματισμό των πλαισίων, τον έλεγχο λαθών, τον τεμαχισμό και την επανασύνδεση. Το μέσο μετάδοσης μπορεί να λειτουργεί αποκλειστικά σε υπηρεσία με σύνδεση, με όλους τους σταθμούς να ανταγωνίζονται για πρόσβαση στον δίαυλο για κάθε μεταδιδόμενο πακέτο. Το πρότυπο IEEE 802.11 υποστηρίζει τρεις διαφορετικούς τύπους πλαισίων: διαχείρισης, ελέγχου και δεδομένων.[2]

2.4 Το κύτταρο ενός ασύρματου δικτύου

Η μετάδοση ενός σήματος, στο οποίο έχει ενσωματωθεί η προς μετάδοση πληροφορία, απαιτεί συνήθως την εκτέλεση μιας σειράς διαδικασιών που τροποποιούν την αρχική μορφή του σήματος σε άλλη καταλληλότερη για τη μετάδοση. Οι διαδικασίες αυτές πραγματοποιούνται στον πομπό σε διάφορα στάδια. Ο πομπός ενός συστήματος επικοινωνιών περιλαμβάνει συνήθως εκτός από το διαμορφωτή και άλλα υποσυστήματα, όπως μετατροπέα A/D, πολυπλέκτη, κωδικοποιητή, βαθμίδα ενδιάμεσης συχνότητας και διάφορες βαθμίδες ενίσχυσης. Το τελικό σήμα που παράγει ο πομπός μεταδίδεται μέσω του τηλεπικοινωνιακού διαύλου στο δέκτη, όπου εφαρμόζεται μια σειρά διαδικασιών με στόχο την αποκατάσταση του σήματος στην αρχική του μορφή και, στη συνέχεια, την εξαγωγή της πληροφορίας. Τα υποσυστήματα του δέκτη που πραγματοποιούν τις διαδικασίες αυτές είναι η βαθμίδα εισόδου, ο αποδιαμορφωτής, ο αποκωδικοποιητής, ο αποπολυπλέκτης και ο μετατροπέας D/A. Η σειρά με την οποία τα ανωτέρω υποσυστήματα επεξεργάζονται το σήμα είναι αντίστροφη αυτής των αντίστοιχων διαδικασιών του πομπού. Η ύπαρξη πολυάριθμων και ορισμένες φορές πολύπλοκων υποσυστημάτων στον πομπό και το δέκτη οδηγεί στην

ικανοποίηση των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων των διαφόρων εφαρμογών των συγχρόνων επικοινωνιών με αντιστάθμισμα την παράλληλη αύξηση της πολυπλοκότητας, του κόστους και του απαιτούμενου εύρους ζώνης συχνοτήτων. Ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή, ενδέχεται ορισμένα από τα τμήματα του πομπού ή του δέκτη που περιγράφονται παρακάτω να μην υπάρχουν.[4]

2.4.1 Ο πομπός

Είναι το σύστημα με τη δυνατότητα να εκπέμπει με αποδοτικό τρόπο ένα σήμα. Οι κύριες βαθμίδες που απαρτίζουν έναν πομπό είναι η βαθμίδα εισόδου, η βαθμίδα επεξεργασίας ενδιάμεσων συχνοτήτων (Intermediate Frequencies, IF) και η βαθμίδα ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequencies, RF). Σε ορισμένου τύπου πομπούς, ενδέχεται ορισμένες μονάδες ή και ολόκληρες βαθμίδες να μην υπάρχουν.

Η βαθμίδα εισόδου

Τη βαθμίδα αυτή αποτελούν οι ακόλουθες μονάδες, που δίνονται κατά τη συνήθη σειρά εμφάνισής τους στην αλυσίδα επεξεργασίας:

- Ο μετατροπέας A/D, ο οποίος χρησιμεύει για τη μετατροπή των αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά.
- Ο πολυπλέκτης, μέσω του οποίου διάφορα σήματα αναλογικής μορφής πολυπλέκονται για τη δημιουργία του συνολικού προς μετάδοση σήματος ή για τη δημιουργία της συνολικής ακολουθίας των προς μετάδοση ψηφίων.
- Ο κωδικοποιητής, ο οποίος δημιουργεί το σήμα βασικής ζώνης που πρόκειται να εκπεμφθεί.

Η βαθμίδα επεξεργασίας IF

Στη βαθμίδα αυτή περιλαμβάνονται:

- Ο διαμορφωτής, ο οποίος διαμορφώνει το σήμα βασικής ζώνης στην ενδιάμεση συχνότητα του πομπού.
- Ο ενισχυτής IF, όπου παρέχεται μία πρώτη ενίσχυση του σύνθετου σήματος στην περιοχή της ενδιάμεσης συχνότητας του πομπού. Η ενδιάμεση συχνότητα κάθε πομπού εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής που εξυπηρετεί και είναι κοινή παγκοσμίως για κάθε εφαρμογή. Ο ρόλος της βαθμίδας αυτής είναι σημαντικός, αφού καθιστά δυνατή με απλό και οικονομικό τρόπο την ενίσχυση των σημάτων αλλά και άλλες διαδικασίες.

Η βαθμίδα ραδιοσυχνοτήτων

Τη βαθμίδα αυτή αποτελούν οι εξής μονάδες:

- Ο μετατροπέας συχνότητας, μέσω του οποίου το προς εκπομπή σήμα μετατοπίζεται φασματικά από την περιοχή της ενδιάμεσης συχνότητας στη ραδιοσυχνότητα εκπομπής.
- Ο ενισχυτής ισχύος (High Power Amplifier, HPA), που πραγματοποιεί σημαντική ενίσχυση του σήματος προσδίδοντάς του την τελική ισχύ εκπομπής.
- Το φίλτρο ραδιοσυχνοτήτων που καταπιέζει το φασματικό μέρος του προς εκπομπή σήματος που προκύπτει εκτός της διατιθέμενης ζώνης συχνοτήτων.

Επίσης, το φίλτρο ραδιοσυχνοτήτων μορφοποιεί το φάσμα του σήματος, ώστε να ανταποκρίνεται στις διεθνείς προδιαγραφές.

- Η διάταξη σύζευξης του σήματος προς το μέσο μετάδοσης. Στην περίπτωση ασύρματης εκπομπής, διάταξη σύζευξης, είναι η κεραία. [4]

2.4.2 Ο δέκτης

Είναι το σύστημα με τη δυνατότητα να λαμβάνει και να επεξεργάζεται σήματα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα δεκτών είναι οι ραδιοφωνικοί και οι τηλεοπτικοί δέκτες, οι επίγειοι δορυφορικοί σταθμοί, οι δορυφορικοί αναμεταδότες, οι μικροκυματικοί επαναλήπτες της τηλεφωνίας κλπ. Οι δέκτες διακρίνονται σε ομόδυνους, όταν η συχνότητα λειτουργίας τους συμπίπτει με τη συχνότητα του ραδιοκύματος που λαμβάνουν, και σε ετερόδυνους, όταν το λαμβανόμενο ραδιοκύμα μετατοπίζεται φασματικά περί την ενδιάμεση συχνότητα. Τα κύρια τμήματα ενός δέκτη είναι η βαθμίδα εισόδου, η βαθμίδα ενδιάμεσων συχνοτήτων και η βαθμίδα επεξεργασίας.

Η βαθμίδα εισόδου

Τη βαθμίδα εισόδου αποτελούν κατά τη συνήθη σειρά εμφάνισής τους στην αλυσίδα επεξεργασίας του σήματος οι εξής μονάδες:

- Η κεραία ή, γενικότερα, το στοιχείο συλλογής της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας.
- Ο ενισχυτής χαμηλού θορύβου (Low Noise Amplifier, LNA) που παρέχει την πρώτη ενίσχυση στο σήμα λήψης και λειτουργεί σε όλο το εύρος συχνοτήτων λειτουργίας του δέκτη.
- Το ενσύρματο μέσο μετάδοσης, κυματοδηγός ή γραμμή μεταφοράς, που μεταδίδει το σήμα από το σημείο λήψης και πρώτης ενίσχυσης, στο υπόλοιπο τμήμα του δέκτη.
- Τα φίλτρα ραδιοσυχνοτήτων RF που καταπιέζουν το θόρυβο και τις παρεμβολές που εκτείνονται εκτός του εύρους ζώνης του σήματος.
- Τα εξισωτικά κυκλώματα που έχουν ως στόχο την αντιστάθμιση της δυσμενούς επίδρασης του τηλεπικοινωνιακού διαύλου λόγω μεταβολής των χαρακτηριστικών του με τη συχνότητα.

Η βαθμίδα εισόδου καθορίζει κατά κύριο λόγο την επιλεκτικότητα του δέκτη, δηλαδή την ικανότητά του να διαχωρίζει σήματα από διαφορετικούς πομπούς. Οι διάφορες μονάδες της, όπως και όλες οι μονάδες που απαρτίζουν τις βαθμίδες του δέκτη, είναι προσαρμοσμένες μεταξύ τους για μέγιστη μεταβίβαση ισχύος. Ενδεχομένως, ορισμένες από τις προηγούμενες μονάδες να μην υπάρχουν ή η σειρά τους να μην είναι αυτή που προαναφέρθηκε. Πάντως, κατά τη σχεδίαση της βαθμίδας εισόδου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η πρώτη βαθμίδα, κυρίως, και το πολύ και η δεύτερη βαθμίδα, καθορίζουν τη συνολική χειροτέρευση της σηματοθορυβικής σχέσης από την είσοδο στην έξοδο του δέκτη. Συνεπώς, οι βαθμίδες αυτές πρέπει να χαρακτηρίζονται από χαμηλό εσωτερικό θόρυβο. Για το λόγο αυτό, σε επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, όπου η εξασθένηση του σήματος είναι ιδιαίτερος μεγάλη, ο ενισχυτής χαμηλού θορύβου προηγείται και του ενσύρματου μέσου μετάδοσης (το οποίο πάντως, δεν πρέπει να έχει μεγάλο μήκος), αλλά και του φίλτρου RF. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί

ότι τα περισσότερα είδη δεκτών, χαρακτηρίζονται από ένα σηματοθορυβικό λόγο κατωφλίου CNR_T , ο οποίος καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τη βαθμίδα εισόδου. Αν ο σηματοθορυβικός λόγος στην είσοδο του δέκτη υπολείπεται του CNR_T , θεωρείται ότι δεν είναι δυνατή η λειτουργία του δέκτη σύμφωνα με τις προδιαγραφές του.

Η βαθμίδα ενδιάμεσων συχνοτήτων IF

Ο ρόλος της βαθμίδας αυτής είναι σημαντικός γιατί σε αυτή γίνεται το μεγαλύτερο μέρος της ενίσχυσης του σήματος. Το φάσμα του σήματος υποβιβάζεται από την περιοχή ραδιοσυχνοτήτων στην ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη. Η ενδιάμεση συχνότητα διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος της επικοινωνιακής εφαρμογής την οποία εξυπηρετεί ο δέκτης και είναι σαφώς μικρότερη της ραδιοσυχνότητας και μεγαλύτερη της συχνότητας βασικής ζώνης των σημάτων που δέχεται ο δέκτης. Ο υποβιβασμός της φέρουσας συχνότητας των σημάτων που δέχεται ο δέκτης στη σταθερή ενδιάμεση συχνότητα παρέχει τη δυνατότητα ώστε το μεγαλύτερο μέρος της ενίσχυσης να διενεργείται από ενισχυτές με εύρος συχνοτήτων λειτουργίας όσο και το εύρος ζώνης των σημάτων που αναμένει ο δέκτης και όχι όσο το συνολικό εύρος ραδιοσυχνοτήτων που καλείται να εξυπηρετήσει. Αποτέλεσμα της ανωτέρω διαδικασίας που ονομάζεται ετερόδουνη λειτουργία είναι η μεγάλη μείωση του κόστους και η σαφής βελτίωση των συστημάτων διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης. Η ετερόδουνη λειτουργία, εκτός από τη σημαντική μείωση του κόστους ενός δέκτη, επιτυγχάνει και τη σημαντική βελτίωση της ευαισθησίας του, δηλαδή της ικανότητάς του να λαμβάνει ασθενή σήματα.

Η βαθμίδα επεξεργασίας

Είναι η βαθμίδα που ακολουθεί αυτήν της IF επεξεργασίας, σε περίπτωση ετερόδουνης λειτουργίας, ή απευθείας τη βαθμίδα εισόδου σε περίπτωση ομόδουνης λειτουργίας. Αποτελείται από αποδιαμορφωτή, ενισχυτή βασικών συχνοτήτων και, ανάλογα με το είδος των σημάτων που δέχεται ο δέκτης, από μετατροπέα D/A ή και αποπολυπλέκτη. Ορισμένα είδη δεκτών λειτουργούν ταυτόχρονα και ως πομποί. Στην περίπτωση αυτή η βαθμίδα επεξεργασίας εκτελεί εκτός από την αποδιαμόρφωση και την ενίσχυση του σήματος που λαμβάνεται, την επαναδιαμόρφωση για την επανεκπομπή του.

Για τη βέλτιστη λειτουργία του δέκτη υπάρχουν και διάφορα συστήματα που συνεργάζονται με όλες τις βαθμίδες παρέχοντας υποστήριξη στη λειτουργία τους. Τέτοια συστήματα είναι το κύκλωμα ανάκτησης του φέροντος και το κύκλωμα ανάκτησης του ρυθμού μετάδοσης. Το πρώτο σύστημα υποβοηθεί τον τοπικό ταλαντωτή του δέκτη να αναπαράγει με πολύ μεγάλη ακρίβεια τα χαρακτηριστικά του φέροντος σήματος, τα οποία υπόκεινται σε διαρκείς μεταβολές λόγω της διολίσθησης συχνότητας των ταλαντωτών και των μικτών του πομπού. Το δεύτερο σύστημα υπάρχει μόνο σε ψηφιακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα και ελέγχει με πολύ μεγάλη ακρίβεια το κύκλωμα συγχρονισμού του δέκτη, ώστε να λειτουργεί στον πραγματικό ρυθμό μετάδοσης ψηφίων του πομπού. Η ακριβής γνώση της συχνότητας και της φάσης του φέροντος σήματος, καθώς και του ρυθμού μετάδοσης στην περίπτωση ψηφιακών συστημάτων, είναι πολύ μεγάλης σημασίας για την πιστή αναπαραγωγή της πληροφορίας και την αξιοπιστία του δέκτη. [4]

2.4.3 Ο ραδιοδιάυλος

Η μετάδοση του σήματος πραγματοποιείται είτε κατά ενσύρματο είτε κατά ασύρματο τρόπο. Σε αρκετές περιπτώσεις η μετάδοση είναι κατά ένα μέρος ενσύρματη και κατά ένα άλλο μέρος ασύρματη. Κατά την ενσύρματη μετάδοση, ο διάυλος είναι γραμμή μεταφοράς, κυματοδηγός, ή οπτική ίνα, ενώ κατά την ασύρματη μετάδοση είναι ο ελεύθερος χώρος. Ανάλογα με το είδος του διαύλου, το προς μετάδοση σήμα θα υποστεί την επίδραση ενός ή περισσότερων δυσμενών παραγόντων. Αυτοί οι δυσμενείς παράγοντες είναι η εξασθένηση, η παραμόρφωση, οι διαλείψεις, ο θόρυβος και οι παρεμβολές.

Η εξασθένηση λόγω μετάδοσης πολλές φορές αναφέρεται και ως απώλειες μετάδοσης. Οι απώλειες μετάδοσης που εμφανίζονται κατά την ασύρματη μετάδοση διακρίνονται σε απώλειες ελευθέρου χώρου και λοιπές απώλειες. Οι πρώτες εξαρτώνται αποκλειστικά από το μήκος κύματος λ που αντιστοιχεί στη φέρουσα συχνότητα και από την απόσταση πομπού και δέκτη d . Στην περίπτωση ομοιογενούς μέσου σε όλο το μήκος της μετάδοσης, οι απώλειες ελευθέρου χώρου σε dB δίνονται από τη σχέση:

$$L_f = 20 \cdot \log_{10}(4\pi d/\lambda) \quad (2.1)$$

Η παραμόρφωση ενός σήματος λόγω μετάδοσης οφείλεται στο ότι η συμπεριφορά ορισμένων διαύλων εξαρτάται από τη συχνότητα, με αποτέλεσμα τη διαφορετική μεταχείριση των φασματικών συνιστωσών ενός σήματος. Σε ορισμένους τύπους διαύλων, είναι δυνατό να προσδιορισθεί η συνάρτηση που περιγράφει τη συμπεριφορά του διαύλου καθώς μεταβάλλεται η συχνότητα και είναι γνωστή ως συνάρτηση μεταφοράς του διαύλου. Αν και η συμπεριφορά ενός διαύλου μεταβάλλεται με το χρόνο, είναι δυνατό με χρήση προσαρμοζόμενων εξισωτικών κυκλωμάτων να επιτυγχάνεται μία ικανοποιητική εκτίμηση της συνάρτησης μεταφοράς σε κάθε χρονική στιγμή και να αντισταθμίζεται η εξαρτημένη από τη συχνότητα συμπεριφορά του διαύλου. Έτσι, η συνολική συμπεριφορά του συστήματος ανεξαρτητοποιείται από τη συχνότητα στο εύρος συχνοτήτων λειτουργίας του. Η παραμόρφωση που εισάγεται κατά την ασύρματη μετάδοση είναι πολύ μικρή σε σχέση με αυτήν της ενσύρματης μετάδοσης. Εντούτοις, οι ασύρματες μεταδόσεις αντιμετωπίζουν επιπλέον και το σημαντικό πρόβλημα των διαλείψεων.

2.5 Θέματα σχεδίασης ασύρματων δικτύων

Αρχικά η μεγαλύτερη προσπάθεια κατά τη σχεδίαση καταβλήθηκε για θέματα που αφορούσαν τον ραδιοδιάυλο. Μερικά συστήματα σχεδιάστηκαν κατά τρόπο που να παρέχεται μεγάλη απομόνωση μεταξύ των διαφόρων ραδιοζεύξεων. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων ήταν τα μικροκυματικά σημείου προς σημείο και τα πρώτα ασύρματα συστήματα κινητών επικοινωνιών. Μια ραδιοζεύξη μοντελοποιείται ως ζωνοπεριορισμένο, ζωνοπερατό γραμμικό σύστημα, στη σχεδίαση του οποίου λαμβάνονται σοβαρά υπόψη, η διαμόρφωση, η φώραση, ο συγχρονισμός (για τα ψηφιακά συστήματα) και η ανάκτηση του φέροντος. Η πρώτη υποβάθμιση που μελετήθηκε στον διάυλο ήταν ο προσθετικός θόρυβος Gauss που προκύπτει στον ενισχυτή του δέκτη, καθώς και οι περιορισμοί στις κεραίες και η απόσβεση λόγω διαδρομής, η οποία είναι σταθερή και εξαρτάται από τη συχνότητα. Συνεπώς, η

χωρητικότητα ραδιοδιαύλου με προσθετικό θόρυβο Gauss ήταν το κύριο αντικείμενο ενδιαφέροντος. Οι κινητές όμως ραδιοζεύξεις μέσα σε κτίρια και γύρω από αυτά εμφανίζουν μεταβολές του σήματος λόγω πολλαπλών διαδρομών, οι οποίες μοντελοποιούνται ως ανεξάρτητες της συχνότητας. Επίσης, φαινόμενα επιλεκτικά ως προς τη συχνότητα ή φαινόμενα χρονικής διασποράς δίνουν ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο για πολλές ασύρματες ζεύξεις μέσα ή γύρω από κτίρια. Η χωρική μεταβολή της συχνότητας λόγω πολλαπλών διαδρομών συντελεί στο γεγονός, δύο ή περισσότερες διαδρομές σήματος να εμφανίζουν διαλείψεις με διαφορετική εξασθένηση, γεγονός που μπορεί να αντιμετωπιστεί με διαφορεική λήψη. Οι υποβαθμίσεις στον ραδιοδίαυλο αναιρούνται μερικώς εφαρμόζοντας εξισορρόπηση και έλεγχο σφαλμάτων. Η κίνηση του τερματικού επιφέρει χρονική μεταβολή των διαλείψεων στον δίαυλο. Επίσης, επειδή τα σήματα μπορεί να λαμβάνονται και από άλλους δέκτες, ενδιαφέρει πολύ η κρυπτογράφηση για να εξασφαλίζεται το απόρρητο.

Η εισαγωγή περισσότερων του ενός ραδιοδιαύλων στον σταθμό βάσης προσέδωσε άλλες διαστάσεις στη σχεδίαση των ασύρματων συστημάτων. Τα θέματα πολυπλεξίας και πολλαπλής πρόσβασης έχουν διερευνηθεί αρκετά, καθώς επίσης και η παρεμβολή μεταξύ γειτονικών διαύλων και η ανάγκη απομόνωσης μεταξύ των διαύλων. Η πρόσβαση χρηστών που η κατάστασή τους αλλάζει τυχαία από ανενεργή σε ενεργή, καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη μηχανισμών πρόσβασης στον δίαυλο και εκχώρησης διαύλων, καθώς επίσης και την αναμονή των χρηστών που επιχειρούν πρόσβαση. Η χωρητικότητα του συστήματος εξαρτάται από περισσότερους παράγοντες από ότι στην περίπτωση της απλής ζεύξης. Η χρησιμοποίηση πολλών σταθμών βάσης με πολλαπλούς ραδιοδιαύλους συντελεί στη χωρική απομόνωση των διαύλων και επιτρέπει χωρική πολυπλεξία, μέσω της επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων, αλλά εισάγει ομοδιαυλική παρεμβολή. Οι διαδικασίες πρόσβασης στον δίαυλο και εκχώρησης διαύλου εισάγουν την ανάγκη μέτρησης της ποιότητας του διαύλου, ενώ η κίνηση των χρηστών κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας απαιτεί διαπομπή από έναν σταθμό βάσης σε άλλο. Το θέμα της ολικής χωρητικότητας του συστήματος γίνεται πολύ πολύπλοκο, δεδομένου ότι τώρα περιλαμβάνει τη χωρική κατανομή των σταθμών βάσης και την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, καθώς και την αύξηση του αριθμού των χρηστών ανά συχνότητα. Η σχέση της χωρητικότητας του συστήματος προς τη χωρητικότητα ενός απλού διαύλου με προσθετικό θόρυβο Gauss, ή προς εκείνη του διαύλου πολλαπλής πρόσβασης ενός σταθμού βάσης καθίσταται απόμακρη. Η τελική χωρητικότητα ενός τέτοιου συστήματος τείνει να γίνει απεριόριστη, όσο περιορίζεται η απόσταση μεταξύ των σταθμών βάσης. Τέλος, κατά τη σχεδίαση είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη θέματα ασφάλειας που πλέον γίνονται περισσότερο περίπλοκα. [2]

2.6 Χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος διάδοσης

Στα προηγούμενα αναφέρθηκε ότι λόγω της προσθετικής ή αφαιρετικής επίδρασης των συνιστωσών πολλαπλών διαδρομών που λαμβάνονται σε διαφορετικές θέσεις, η πολυδιαδρομική διάδοση προκαλεί ουσιαστικές διακυμάνσεις στο πλάτος ενός λαμβανόμενου ραδιοσήματος. Επίσης, οι μετατοπίσεις Doppler που μεταδίδονται στα διάφορα πολυδιαδρομικά σήματα, εξαιτίας της κίνησης των τερματικών είτε της κίνησης των ανθρώπων ή των αντικειμένων γύρω από τον πομπό και το δέκτη, προκαλούν φασματική διαπλάτυνση του λαμβανόμενου σήματος. Τα φαινόμενα πολυδιαδρομικής διάδοσης και Doppler θέτουν περιορισμούς στο ρυθμό μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί σε ένα κανάλι και συνδέονται με τρεις παραμέτρους:

- Τον εκθέτη απόστασης – ισχύος (α).
- Τη ρίζα της μέσης τετραγωνικής (root mean square, rms) διασποράς καθυστέρησης (τ_{rms}) του καναλιού.
- Τη διασπορά Doppler του καναλιού (f_d).

Ο εκθέτης απόστασης – ισχύος χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της μείωσης της ισχύος συναρτήσει της απόστασης από τον πομπό. Σαν απλός κανόνας, 10α είναι η μέση απόσβεση για κάθε αύξηση κατά μια δεκάδα της απόστασης από τον πομπό. Η εξάπλωση Doppler συνδέεται με το συνολικό άθροισμα των μετατοπίσεων Doppler των συνιστωσών από διαφορετικές διαδρομές. Η κάθε μετατόπιση προσεγγίζεται από τη σχέση v_m/λ , όπου v_m είναι η ενεργή τελική ταχύτητα του μονοπατιού και λ είναι το μήκος κύματος της φέρουσας συχνότητας. Η rms πολυδιαδρομική καθυστέρηση διάδοσης περιορίζει το ρυθμό μετάδοσης συμβόλων R μιας απλής τεχνικής διαμόρφωσης στην προσεγγιστική τιμή $R \cong 0.1/\tau_{\text{rms}}$. Γενικά, οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με χρήση τεχνικών και εξοπλισμού είτε στενής είτε ευρείας ζώνης, και τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη μοντέλων στενής ή ευρείας ζώνης αντίστοιχα. Οι μετρήσεις στενής ζώνης μπορούν να δώσουν τις παραμέτρους α και f_d , ενώ η τ_{rms} μπορεί να προσδιοριστεί από τα αποτελέσματα των μετρήσεων ευρείας ζώνης.

Σε αυτήν την παράγραφο περιγράφονται τεχνικές μέτρησης και μοντελοποίησης που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών στενής ζώνης της ραδιοδιάδοσης. Μετρήσεις στενής ζώνης γίνονται όταν ο ρυθμός μετάδοσης της προτεινόμενης εφαρμογής είναι αρκετά χαμηλότερα από το εύρος ζώνης συνοχής του καναλιού. Για παράδειγμα, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, το εύρος ζώνης συνοχής του ραδιοκαναλιού σε εσωτερικούς χώρους και σε αποστάσεις μικρότερες από 100m μεταξύ του πομπού και του δέκτη είναι περίπου λίγα MHz, που σημαίνει ότι θεωρείται στενής ζώνης.

Η λαμβανόμενη ισχύς πάντα παρουσιάζει διακυμάνσεις με μικρές τοπικές αλλαγές, της τάξης του μήκους κύματος της φέρουσας συχνότητας, στη θέση του πομπού και του δέκτη ή στην κίνηση των αντικειμένων περιμετρικά αυτών. Ωστόσο, η μέση λαμβανόμενη ισχύς σε μια μικρή περιοχή σχετίζεται με την απόσταση από τον πομπό μέχρι το κέντρο της περιοχής λήψης. Τα χαρακτηριστικά του καναλιού που εξάγονται από μετρήσεις στενής ζώνης είναι: (1) η σχέση μεταξύ της απόστασης και της μέσης λαμβανόμενης ισχύος, (2) τα στατιστικά των κυματισμών στη λαμβανόμενη ισχύ σήματος στην τοπική ή στην ευρύτερη περιοχή και (3) η εξάπλωση Doppler, η οποία παρέχει ένα μέτρο του ρυθμού εξασθένησης (fading) στο κανάλι.

Η σχέση απόστασης – ισχύος σε εσωτερικούς χώρους σχετίζεται με το σχέδιο του κτιρίου και με τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του. Τα στατιστικά των διακυμάνσεων του πλάτους παρέχουν στοιχεία για τον υπολογισμό της πιθανότητας λάθους και της πιθανότητας απώλειας πληροφορίας για διαφορετικές τεχνικές διαμόρφωσης. Η εξάπλωση Doppler είναι χρήσιμη στον προσδιορισμό και στη σχεδίαση προσαρμοστικών αλγορίθμων όπως ο αυτοματοποιημένος έλεγχος κέρδους και τα κυκλώματα ανάκτησης χρόνου ή φάσης.

Σχέση απόστασης – ισχύος και σκίαση

Η απλούστερη μέθοδος συσχέτισης της λαμβανόμενης ισχύος με την απόσταση είναι να δηλωθεί ότι η λαμβανόμενη ισχύς σήματος P_r είναι ανάλογη προς την απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη d , υψωμένη σε ένα συγκεκριμένο εκθέτη που αναφέρεται παράγοντας απόστασης – ισχύος, ως εξής:

$$P_r = \frac{P_0}{d^\alpha} \quad (2.2)$$

όπου P_0 είναι η λαμβανόμενη ισχύς σε απόσταση 1m από τον πομπό. Για διαδρομή ελεύθερου χώρου είναι $\alpha=2$, και για το απλοποιημένο μοντέλο δύο διαδρομών σε ένα ραδιοδιάλυτο σε αστική περιοχή είναι $\alpha=4$. Για ραδιοδιαύλους σε εσωτερικούς χώρους και σε αστικές περιοχές η σχέση απόστασης - ισχύος θα αλλάξει ανάλογα με τη διάρθρωση των κτιρίων και των δρόμων, καθώς και ανάλογα με τα κατασκευαστικά υλικά, την πυκνότητα και το ύψος των κτιρίων στην περιοχή. Γενικά, οι διακυμάνσεις στην τιμή του παράγοντα απόστασης – ισχύος σε διαφορετικούς εξωτερικούς χώρους είναι μικρότερες από τις διακυμάνσεις που παρατηρούνται σε εσωτερικούς χώρους. Τα αποτελέσματα των μελετών για τη ραδιοδιάδοση σε εσωτερικούς χώρους δείχνουν τιμές για το α μικρότερες από 2 σε διαδρόμους ή σε μεγάλους εσωτερικούς χώρους και τιμές που αγγίζουν το 6 σε μεταλλικά κτίρια.

Η σχέση απόστασης – ισχύος (σε decibels) δίνεται από:

$$10 \log_{10} P_r = 10 \log_{10} P_0 - 10\alpha \log_{10} d \quad (2.3)$$

όπου $10 \log_{10} P_r$ και $10 \log_{10} P_0$ είναι αντίστοιχα η μεταδιδόμενη και η λαμβανόμενη ισχύς σε απόσταση 1m σε decibels. Ο τελευταίος όρος στο δεξί σκέλος της εξίσωσης αντιπροσωπεύει την απώλεια ισχύος σε decibels με αναφορά τη λαμβανόμενη ισχύ στο 1m, και δείχνει ότι για αύξηση κατά μια δεκάδα στην απόσταση η απώλεια ισχύος είναι 10α dB, ενώ για αύξηση κατά μια οκτάδα στην απόσταση είναι 3α dB. Για διαδρομή ελεύθερου χώρου η απώλεια ισχύος είναι 20 dB ανά δεκάδα ή 6 dB ανά οκτάδα αύξησης της απόστασης. Σε αστικές περιοχές, με δεδομένη την προσέγγιση δύο ακτινών, η απόσβεση είναι 40 dB ανά δεκάδα ή 12 dB ανά οκτάδα. Αν καθοριστεί η απώλεια ισχύος σε decibels σε απόσταση 1m, σαν $L_0=10\log_{10} P_t - 10\log_{10}P_0$, τότε οι συνολικές απώλειες διαδρομής σε decibels δίνονται από τη σχέση:

$$L_p = L_0 + 10\alpha \log_{10} d \quad (2.4)$$

που αντιπροσωπεύει τις συνολικές απώλειες διαδρομής σαν τις απώλειες διαδρομής στο πρώτο μέτρο συν τις απώλειες ισχύος σχετικά με την ισχύ που λαμβάνεται στο 1m. Η λαμβανόμενη ισχύς σε decibels είναι η μεταδιδόμενη ισχύς σε decibels μείον τις συνολικές απώλειες διαδρομής L_p . Αυτή η κανονικοποιημένη εξίσωση περιστασιακά χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία για να παραστήσει τη σχέση απόστασης – ισχύος.

Για να μετρηθεί ο παράγοντας της σχέσης απόστασης – ισχύος σε μια δοσμένη περιοχή, ο δέκτης είναι σταθερά τοποθετημένος σε ένα σημείο και ο πομπός τοποθετείται σε έναν αριθμό θέσεων με διαφορετική απόσταση μεταξύ πομπού – δέκτη. Σχηματίζονται γραφικές παραστάσεις είτε της λαμβανόμενης ισχύος είτε των απωλειών διαδρομής σε decibels σε σχέση με την απόσταση σε λογαριθμική κλίμακα. Η κλίση της γραμμής που ταιριάζει καλύτερα (best-fit line) στο γράφημα των μετρήσεων λαμβάνεται σαν ο παράγοντας της σχέσης απόστασης – ισχύος. Ο παράγοντας απόστασης – ισχύος είτε όταν λαμβάνεται από μετρήσεις στενής ζώνης

είτε όταν λαμβάνεται από μετρήσεις ευρείας ζώνης έχει τις ίδιες τιμές. Ο υπολογισμός της ισχύος από τα αποτελέσματα μετρήσεων ευρείας ζώνης παρέχει τη μέση λαμβανόμενη ισχύ σε μια μικρή περιοχή, με αποτέλεσμα να υπάρχουν μικρότερες αποκλίσεις από τη γραμμή που ταιριάζει καλύτερα (best-fit line). [10]

2.6.1 Μοντέλα διάδοσης σε εσωτερικούς χώρους

Οι εξισώσεις που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, προϋποθέτουν μια ακριβή σχέση μεταξύ των απωλειών διαδρομής και της απόστασης. Όμως, σε γενικές γραμμές τα κτίρια δεν είναι συμμετρικά και η επίπλωση των εσωτερικών χώρων δεν είναι η ίδια σε όλες τις κατευθύνσεις. Έτσι αναμένεται να βρεθούν διαφορετικές απώλειες διαδρομών σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Ένα ντετερμινιστικό μοντέλο για αυτές τις αποκλίσεις δεν είναι επιτεύξιμο και για αυτό το λόγο συνήθως καταφεύγουμε σε στατιστικά μοντέλα. Η αιτία αυτής της απώλειας ισχύος είναι τα εμπόδια που τίθενται από διάφορα αντικείμενα γύρω από το δέκτη και συνήθως αναφέρεται σαν απώλειες σκίασης ή σκίαση μεγάλης κλίμακας.

Στατιστικό μοντέλο για διάδοση σε εσωτερικούς χώρους και μικροκυβελωτά περιβάλλοντα

Η περιοχή ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη, συχνά δεν είναι ομογενής, ώστε να περιγράφεται με έναν απλό παράγοντα απόστασης – ισχύος. Σε αυτήν την περίπτωση οι απώλειες ισχύος πρέπει να περιγραφούν με μεταβλητούς παράγοντες απόστασης – ισχύος, που ο καθένας συνδέεται με ένα ευθύγραμμο τμήμα του μονοπατιού ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη. Αποτελέσματα μετρήσεων σε εσωτερικούς χώρους, εμφάνισαν σημαντικές αποκλίσεις όσον αφορά τις τιμές του παράγοντα απόστασης – ισχύος σε διαφορετικά σημεία του κτιρίου. Σύμφωνα με αυτές τις μετρήσεις, οι απώλειες διαδρομής, μοντελοποιήθηκαν ώστε να περιγράφονται από τέσσερις διαφορετικούς παράγοντες. Το μοντέλο που αναπτύχθηκε συνιστά έναν παράγοντα $\alpha=2$ για αποστάσεις $1 < d < 10\text{m}$, $\alpha=3$ για $10 < d < 20\text{m}$, $\alpha=6$ για $20 < d < 40\text{m}$ και $\alpha=12$ για $d > 40\text{m}$. Τα παραπάνω οδηγούν στις ακόλουθες εξισώσεις για τις απώλειες διαδρομής [10]:

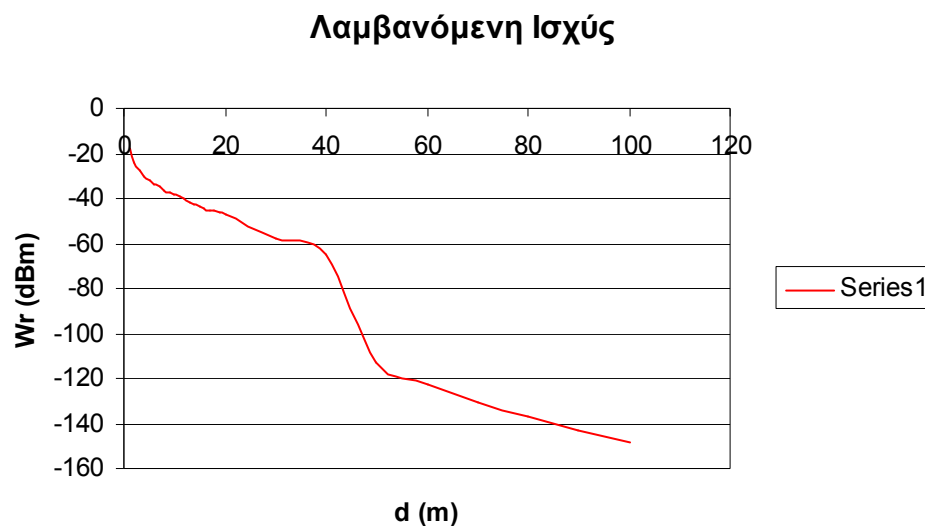
$$L_p = L_0 + \begin{cases} 20 \log_{10} d, & 1 < d < 10 \text{ m} \\ 20 + 30 \log_{10} \frac{d}{10}, & 10 < d < 20 \text{ m} \\ 29 + 60 \log_{10} \frac{d}{20}, & 20 < d < 40 \text{ m} \\ 47 + 120 \log_{10} \frac{d}{40}, & d > 40 \text{ m} \end{cases} \quad (2.5)$$

όπου $L_0 = 38 \text{ dB}$ η εξασθένηση του σήματος σε απόσταση ενός μέτρου και d η απόσταση ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη.

Με βάση τις εξισώσεις (2.5), παρακάτω υπολογίστηκε η ισχύς που λαμβάνει ο δέκτης για αποστάσεις $1 < d < 100\text{m}$ και για ισχύ εκπομπής 100mW (20dBm) όπως ορίζει το πρότυπο 802.11. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον επόμενο πίνακα και απεικονίζονται στο γράφημα 2.1:

Στατιστικό μοντέλο για διάδοση σε εσωτερικούς χώρους και μικροκυψελωτά περιβάλλοντα					
d(m)	Wr (dBm)	Wr (W)	d(m)	Wr (dBm)	Wr (W)
1	-18	1,58489E-05	15	-43,28273777	4,69598E-08
2	-24,02059991	3,96223E-06	16	-44,12359948	3,86937E-08
3	-27,54242509	1,76099E-06	17	-44,91346764	3,22592E-08
4	-30,04119983	9,90558E-07	18	-45,65817515	2,71758E-08
5	-31,97940009	6,33957E-07	19	-46,36260803	2,31068E-08
6	-33,56302501	4,40248E-07	20	-47,03089987	1,98112E-08
7	-34,9019608	3,23448E-07	30	-57,56547554	1,75167E-09
8	-36,06179974	2,4764E-07	40	-65,06179974	3,1176E-10
9	-37,08485019	1,95666E-07	50	-112,752801	5,30542E-15
10	-38	1,58489E-07	60	-122,2545506	5,95038E-16
11	-39,24178055	1,19075E-07	70	-130,2881653	9,35801E-17
12	-40,37543738	9,17184E-08	80	-137,247199	1,88486E-17
13	-41,41830057	7,2139E-08	90	-143,3855017	4,58617E-18
14	-42,38384107	5,77585E-08	100	-148,8764005	1,29527E-18

Πίνακας 2.1: Στατιστικό μοντέλο για διάδοση σε εσωτερικούς χώρους και μικροκυψελωτά περιβάλλοντα - Λαμβανόμενη ισχύς συναρτήσει της απόστασης

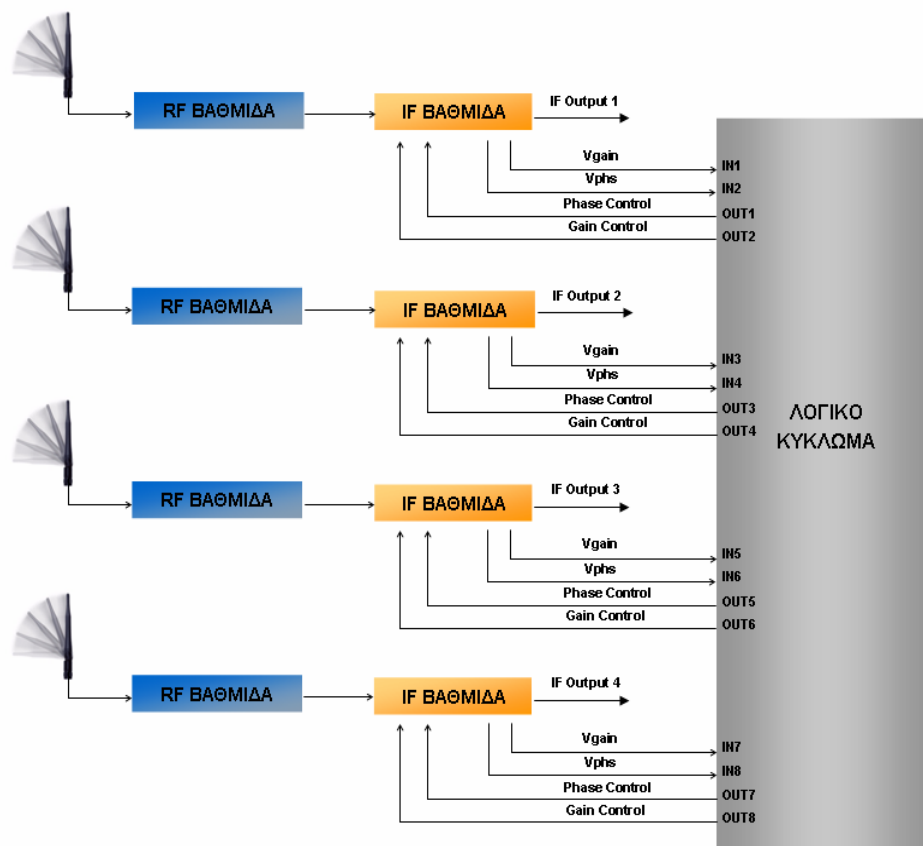


Γράφημα 2.1: Λαμβανόμενη ισχύς συναρτήσει της απόστασης

Κεφάλαιο 3 - Συστημική Ανάλυση

3.1 Επισκόπηση του δέκτη

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η σχεδίαση, συστημική ανάλυση και υλοποίηση βαθμίδας ενδιάμεσων συχνοτήτων (Intermediate Frequencies, IF) για ασύρματο δέκτη, σύμφωνα με το πρωτόκολλο 802.11b/g, με χρήση εμπορικών εξαρτημάτων. Οι προδιαγραφές για τη σχεδίαση και κατασκευή της IF βαθμίδας προκύπτουν από τη γενικότερη τοπολογία του δέκτη, (σχήμα 3.1). Ο δέκτης αφορά εφαρμογές ασύρματων δικτύων υπολογιστών και θα λειτουργεί στη συχνότητα των 2.4 GHz.



Σχήμα 3.1: Η τοπολογία του δέκτη

Η κεραία του δέκτη αποτελείται από τέσσερα μονόπολα, τα οποία συνθέτουν μια στοιχειοκεραία. Τα μονόπολα αυτά, συλλέγουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από το χώρο. Στη συνέχεια το σήμα που επάγεται σε κάθε ένα από αυτά, οδηγείται για επεξεργασία αρχικά στη βαθμίδα RF και στη συνέχεια στη βαθμίδα IF. Σε αυτό το σημείο ουσιαστικά πραγματοποιείται η σύνθεση του λοβού ακτινοβολίας επεμβαίνοντας ξεχωριστά στο πλάτος και στη φάση του καθενός από τα τέσσερα σήματα μέσω ενός βρόχου ανάδρασης που διασυνδέεται με ένα λογικό κύκλωμα 8 εισόδων και 8 εξόδων. Στο τέλος, τα τέσσερα σήματα που προκύπτουν στην έξοδο της κάθε IF βαθμίδας αθροίζονται και οδηγούνται προς επεξεργασία βασικής ζώνης.

3.2 Η δομή της βαθμίδας ενδιάμεσων συχνοτήτων

Η βαθμίδα ενδιάμεσων συχνοτήτων (Intermediate Frequencies, IF), σχεδιάστηκε με στόχο το εύρος λειτουργίας της να εκτείνεται από τα 100 MHz μέχρι τα 200 MHz (εύρος ζώνης 100 MHz). Το ζητούμενο είναι η βαθμίδα να μπορεί να υποστηρίξει down conversion από WLAN το οποίο έχει εύρος ζώνης γύρω στα 83.5 MHz. Ταυτόχρονα, ο χρήστης θα μπορεί με σχετικά απλό αναλογικό τρόπο να έχει συνεχή και όχι διακριτό έλεγχο στο κέρδος και στη φάση, κάτι που είναι ιδιαίτερα επιθυμητό σε εφαρμογές beam-forming δικτύων, όπου απαιτείται η δυνατότητα για προσδιορισμό και ηλεκτρονική στροφή του διαγράμματος ακτινοβολίας μιας στοιχειοκεραίας.

Η βαθμίδα ενδιάμεσων συχνοτήτων αποτελείται από τέσσερα βασικά δομικά κυκλώματα:

- Το κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους.
- Το κύκλωμα των στροφών φάσης.
- Το κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης.
- Το κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος.

Η δομή και η λειτουργία του καθενός από αυτά αναλύεται με λεπτομέρειες στις επόμενες παραγράφους.

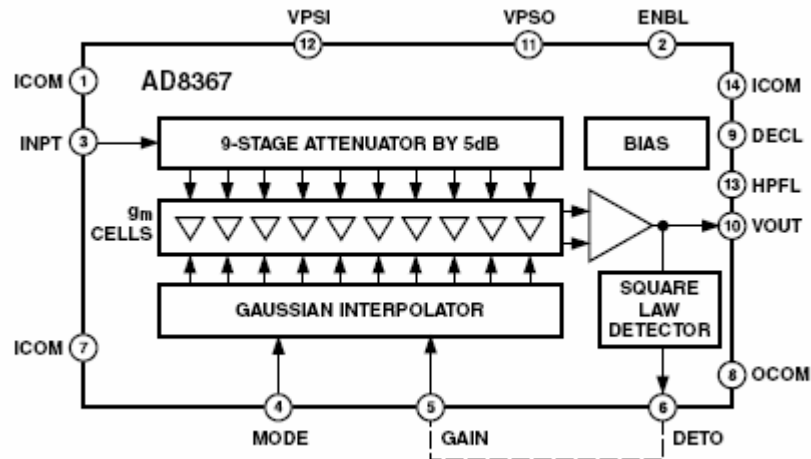
3.2.1 Το κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους

Το κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους είναι αυτό το οποίο προσφέρει την απαιτούμενη ενίσχυση στο σήμα ώστε να καταστεί κατάλληλο για επεξεργασία. Για τις ανάγκες της παρούσας εφαρμογής επιλέχτηκε ο ενισχυτής μεταβλητού κέρδους **AD8367 [13]** της εταιρείας **Analog Devices**.

Ο **AD8367** είναι ένας υψηλής απόδοσης ενισχυτής μεταβλητού κέρδους 45dB, που προσφέρει γραμμικό σε dB έλεγχο κέρδους, από χαμηλές συχνότητες μέχρι αρκετές εκατοντάδες MHz. Το εύρος λειτουργίας, η σταθερότητα/ομοιομορφία και η ακρίβεια της απόκρισης κέρδους, επιτυγχάνονται χάρη στην αρχιτεκτονική **X-AMP[®]** της **Analog Devices**, η οποία αποτελεί το πιο πρόσφατο αποτέλεσμα μιας μακροχρόνιας εξελικτικής πορείας στο πεδίο των εφαρμογών μεταβλητού κέρδους και η οποία υπερέρχει σε σύγκριση με ανταγωνιστικές τεχνικές. Τα κύρια χαρακτηριστικά του ενισχυτή είναι:

- ✓ Αναλογικό μεταβλητό κέρδος μεγάλου εύρους από -2.5 dB έως +42.5 dB.
- ✓ Συχνότητα αποκοπής 3 dB στα 500 MHz.
- ✓ Κατάσταση λειτουργίας αυξανόμενου και μειωνόμενου κέρδους, γραμμική σε dB, κλιμακούμενη κατά 20 mV/dB.
- ✓ Ωμική αντίσταση εισόδου με αναφορά τη γείωση.
- ✓ Ονομαστική τιμή $Z_{IN}=200 \Omega$.
- ✓ Ενσωματωμένος ανιχνευτής τετραγωνικού νόμου.
- ✓ Λειτουργία με μονή τροφοδοσία από 2.7 V έως 5.5 V.

Στο επόμενο σχήμα [13] απεικονίζεται το λειτουργικό διάγραμμα του ολοκληρωμένου:



Σχήμα 3.2: Το λειτουργικό διάγραμμα του VGA AD8367 της Analog Devices

Η είσοδος εφαρμόζεται σε μια κλίμακα αντιστάσεων 200Ω , που περιλαμβάνει εννέα στάδια απώλειας 5dB το καθένα, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται συνολική εξασθένιση 45dB . Για μέγιστη ενίσχυση επιλέγεται το πρώτο στάδιο, ενώ για προοδευτικά χαμηλότερο κέρδος γίνεται μετακίνηση ομαλά και συνεχόμενα προς τα στάδια που χαρακτηρίζονται από υψηλότερες τιμές εξασθένισης. Ο εξασθενητής ακολουθείται από έναν ενισχυτή με ανάδραση, σταθερού κέρδους 42.5dB . Ουσιαστικά, πρόκειται για έναν τελεστικό ενισχυτή που προσφέρει υψηλό εύρος ζώνης ενίσχυσης, της τάξης των 100GHz , και χαρακτηρίζεται από μεγάλη γραμμικότητα, ακόμα και στις υψηλές συχνότητες. Το επίπεδο τάσης διακοπής τρίτης τάξης της εξόδου (OIP3) είναι $+20\text{ dBV}$ στα 100 MHz (δηλαδή $+27\text{ dBm}$ σε σύστημα αντίστασης 200Ω), μετρούμενο σε έξοδο 1 V p-p με τάση τροφοδοσίας $V_S = 5\text{ V}$.

Η διεπαφή ελέγχου του αναλογικού κέρδους είναι αρκετά απλή στη χρήση. Κλιμακώνεται κατά 20 mV/dB , ενώ η τάση ελέγχου, V_{GAIN} , παίρνει τιμές από 50 mV στα -2.5 dB μέχρι 950 mV στα $+42.5\text{ dB}$.

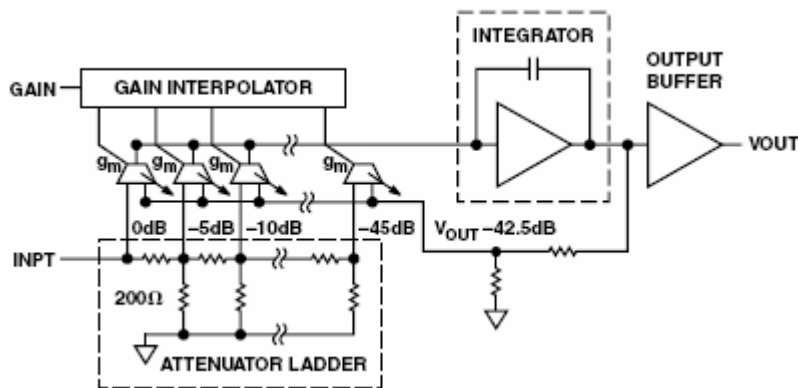
Ο **AD8367** μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να απενεργοποιηθεί με την εφαρμογή τάσης στον ακροδέκτη ENBL. Όταν αυτή η τάση είναι στο λογικό LO, η συνολική παροχή ισχύος πέφτει στο επίπεδο των mWatt . Όταν όμως, εφαρμόζεται λογικό HI, το ολοκληρωμένο ενεργοποιείται άμεσα και πολύ γρήγορα φτάνει να διαρρέεται από το κανονικό ρεύμα ηρεμίας, με τιμή 26 mA υπό θερμοκρασία 25°C . Ο **AD8367** διατίθεται σε συσκευασία 14 ακροδεκτών που λειτουργεί σε θερμοκρασιακό εύρος από -40°C μέχρι $+85^\circ\text{C}$. Στον επόμενο πίνακα, περιγράφεται η λειτουργία των ακροδεκτών του **AD8367**:

Αριθμός Ακροδέκτη	Μνημονικό	Περιγραφή Λειτουργίας
1, 7, 14	ICOM	Συνδέεται σε γείωση χαμηλής σύνθετης αντίστασης.
2	ENBL	Με εφαρμογή λογικού HI σε αυτό τον ακροδέκτη ενεργοποιείται η συσκευή.
3	INPT	Είσοδος σήματος με σύνθετη αντίσταση 200 Ω με αναφορά τη γείωση.
4	MODE	Έλεγχος της κατεύθυνσης του κέρδους. Εφαρμογή λογικού HI για θετική κλίση και λογικού LO για αρνητική κλίση.
5	GAIN	Είσοδος της τάσης ελέγχου του κέρδους.
6	DETO	Έξοδος του ανιχνευτή. Παρέχει ρεύμα εξόδου για λειτουργία RSSI και AGC ελέγχου.
8	OCOM	Συνδέεται σε γείωση χαμηλής σύνθετης αντίστασης.
9	DECL	Ακροδέκτης αποσύζευξης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροποποίηση του επιπέδου αναφοράς της εξόδου.
10	VOUT	Έξοδος σήματος. Γενικά είναι συζευγμένος σε ac.
11	VPSO	Θετική τάση τροφοδοσίας τιμών από 2.7 V έως 5.5 V. Οι ακροδέκτες VPSI και VPSO είναι εσωτερικά συνδεδεμένοι με πλάτη-προς-πλάτη PN ενώσεις. Πρέπει επίσης να είναι συνδεδεμένοι εξωτερικά και να παρακάμπτονται κατάλληλα.
12	VPSI	Θετική τάση τροφοδοσίας τιμών από 2.7 V έως 5.5 V
13	HPFL	Σύνδεση υψηπερατού φίλτρου. Ένας πυκνωτής προς τη γείωση καθορίζει τη γωνιακή συχνότητα του βρόχου ελέγχου της μετατόπισης της εξόδου.

Πίνακας 3.1: Περιγραφή της λειτουργίας των ακροδεκτών του AD8367

Θεωρία Λειτουργίας

Ο **AD8367** είναι ένας μονά τερματισμένος ενισχυτής μεταβλητού κέρδους σχεδιασμένος να λειτουργεί σε IF συχνότητες, με βάση την κατοχυρωμένη αρχιτεκτονική X-AMP. Προσφέρει ακριβή έλεγχο του κέρδους σε διάστημα 45 dB και σε εύρος ζώνης 500 MHz. Με κατάλληλη συνδεσμολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σαν παραδοσιακός ενισχυτής ελεγχόμενος από τάση (Voltage Gain Amplifier, VGA) με κλιμάκωση κέρδους 50 dB/V είτε σαν ενισχυτής αναλογικού ελέγχου του κέρδους (Analog Gain Control, AGC) με χρήση του ενσωματωμένου ανιχνευτή rms. Βέβαια, για τους σκοπούς της συγκεκριμένης εφαρμογής ενδιαφέρει η κατάσταση λειτουργίας VGA, οπότε η δεύτερη περίπτωση θα αγνοηθεί στα επόμενα. Στο επόμενο σχήμα [13] φαίνεται το απλοποιημένο δομικό διάγραμμα του ενισχυτή:



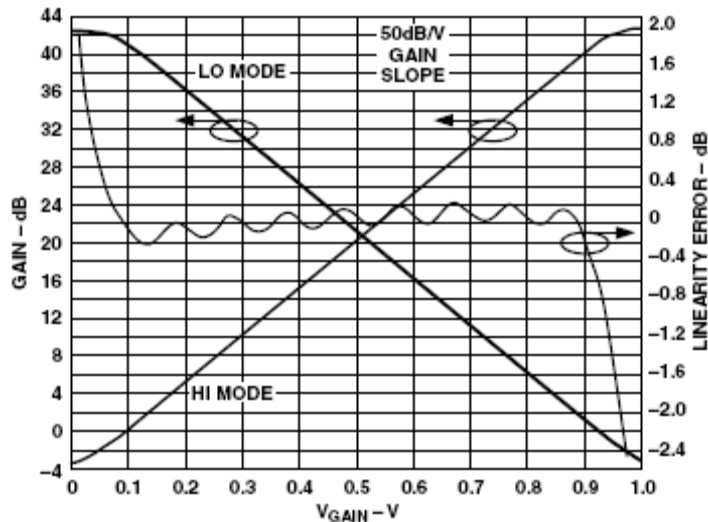
Σχήμα 3.3: το απλοποιημένο δομικό διάγραμμα

Το κυρίως μονοπάτι σήματος αποτελείται από ένα μεταβλητό εξασθενητή ελεγχόμενο από τάση ο οποίος ακολουθείται από έναν ενισχυτή σταθερού κέρδους 42.5 dB. Ο **AD8367** είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί βέλτιστα σε σύστημα σύνθετης αντίστασης 200 Ω.

Ο εξασθενητής της εισόδου και ο έλεγχος του κέρδους

Ο μεταβλητός εξασθενητής αποτελείται από μια μονά τερματισμένη κλίμακα αντιστάσεων τιμής 200 Ω, η οποία περιέχει εννέα στάδια των 5 dB και έναν παρεμβαλλόμενο διακόπτη (interpolator) που επιλέγει τον παράγοντα εξασθένησης. Κάθε επόμενο σημείο επιλογής εισάγει επιπλέον εξασθένηση στο σήμα εισόδου σύμφωνα με ένα σταθερό παράγοντα σε dB. Ο έλεγχος του κέρδους επιτυγχάνεται σηματοδοτώντας διαφορετικά σημεία επιλογής με μεταβλητά στάδια υπεραγωγιμότητας. Με βάση την τάση ελέγχου του κέρδους, ο παρεμβαλλόμενος διακόπτης καθορίζει ποιο ή ποια στάδια είναι ενεργά. Για παράδειγμα, αν μόνο το πρώτο στάδιο είναι ενεργό, τότε σηματοδοτείται το σημείο επιλογής 0 dB. Αν πάλι, το τελευταίο στάδιο είναι ενεργό, τότε σηματοδοτείται το σημείο επιλογής 45 dB. Τα επίπεδα εξασθένησης που βρίσκονται στο ενδιάμεσο των σημείων επιλογής επιτυγχάνονται με την ταυτόχρονη ενεργοποίηση γειτονικών σταδίων υπεραγωγιμότητας g_m , ώστε να δημιουργείται ένας σταθμισμένος μέσος όρος των διακριτών σημείων επιλογής εξασθένησης. Με αυτόν τον τρόπο συντίθεται μια ομαλή, μονοτονική συνάρτηση εξασθένησης, η οποία είναι γραμμική σε dB με πολύ ακριβή κλιμάκωση.

Το κέρδος του **AD8367** μπορεί να είναι αύξουσα ή φθίνουσα συνάρτηση της τάσης ελέγχου V_{GAIN} , ανάλογα με το αν ο ακροδέκτης MODE είναι συνδεδεμένος στη θετική τροφοδοσία ή στη γείωση. Όταν ο ακροδέκτης MODE τροφοδοτείται, με αύξηση της τάσης V_{GAIN} το κέρδος αυξάνεται αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο επόμενο γράφημα [13]:



Γράφημα 3.1: Η συνάρτηση του κέρδους μπορεί να είναι είτε αύξουσα είτε φθίνουσα συνάρτηση της τάσης V_{GAIN} ανάλογα με τη συνδεσμολογία του ακροδέκτη **MODE**

Η ιδανική συνάρτηση μεταφοράς είναι κλιμακούμενη γραμμικά σε dB και δίνεται από την εξίσωση:

$$\text{Gain (dB)} = 50 \times V_{\text{GAIN}} - 5 \quad (3.1)$$

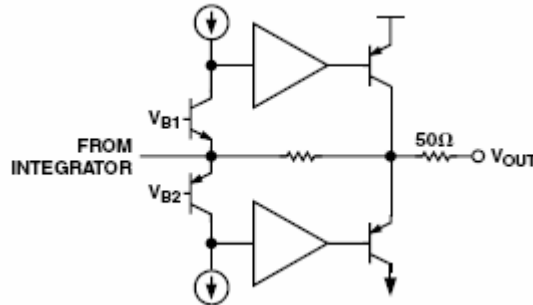
όπου η τάση V_{GAIN} είναι εκφρασμένη σε Volts. Η εξίσωση αυτή περιέχει τον παράγοντα κλιμάκωσης του κέρδους, τιμής 50 dB/V (20 mV/dB), καθώς και το σημείο διακοπής του κέρδους, τιμής -5 dB, που αντιπροσωπεύει το εξαγόμενο κέρδος για $V_{\text{GAIN}} = 0$ V. Το κέρδος εκτείνεται από τα -2.5 dB μέχρι τα 42.5 dB καθώς η τάση V_{GAIN} αυξάνεται από τα 50 mV μέχρι τα 950 mV. Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται επίσης η απόκλιση από την εξίσωση (3.1), δηλαδή το σφάλμα συμμόρφωσης του κέρδους. Οι διακυμάνσεις στο σφάλμα είναι το αποτέλεσμα της διαδικασίας παρεμβολής ανάμεσα στα σημεία επιλογής. Ο **AD8367** παρουσιάζει σφάλμα συμμόρφωσης μικρότερο από 0.5 dB για εύρος κέρδους που ξεπερνά τα 40 dB στα 200 MHz.

Διεπαφές Εισόδου και Εξόδου

Ο **AD8367** είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί καλύτερα σε σύστημα σύνθετης αντίστασης 200 Ω. Το εύρος του κέρδους, ο νόμος συμμόρφωσης, ο θόρυβος και η παραμόρφωση είναι υπολογισμένα με βάση την υπόθεση ότι οι σύνθετες αντιστάσεις πηγής και φορτίου που χρησιμοποιούνται είναι 200 Ω. Η διεπαφή του **AD8367** με άλλες συνήθειες σύνθετες αντιστάσεις (από τα 50 Ω που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ραδιοσυχνοτήτων μέχρι το 1 kΩ που παρουσιάζουν οι μετατροπείς πληροφορίας) μπορεί να επιτευχθεί με χρήση ωμικών ή αντιδρώντων παθητικών δικτύων, των οποίων η σχεδίαση εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις του εκάστοτε συστήματος, όπως το εύρος ζώνης, η απώλεια απόκρισης, η ισχύς θορύβου και το απόλυτο εύρος του κέρδους.

Η ονομαστική τιμή της σύνθετης αντίστασης εισόδου του **AD8367** είναι 200 Ω και καθορίζεται από το δίκτυο της κλίμακας αντιστάσεων. Αυτό εμφανίζει 200 Ω αντίσταση σε dc με αναφορά τη γείωση, ενώ σε περιπτώσεις όπου το δυνητικό εύρος του σήματος είναι αυξημένο, είναι απαραίτητη η σύζευξη σε ac. Το επίπεδο του

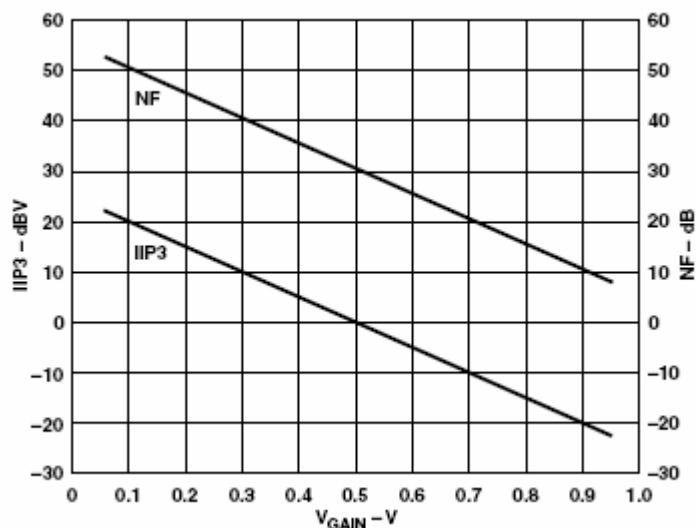
σήματος εισόδου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 700 mV p-p ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτωση του σταδίου εισόδου. Η αντίσταση εξόδου καθορίζεται από μια εσωτερική αντίσταση απόσβεσης του πλάτους ταλάντωσης, με τιμή 50 Ω, όπως φαίνεται στο επόμενο απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα [13]:



Σχήμα 3.4: Μια αντίσταση 50 Ω προστίθεται στην έξοδο για την αποφυγή συντονισμού στη συσκευασία του ολοκληρωμένου

Θόρυβος και Παραμόρφωση

Καθώς ο AD8367 αποτελείται από έναν παθητικό μεταβλητό εξασθενητή ακολουθούμενο από έναν ενισχυτή σταθερού κέρδους, τα χαρακτηριστικά του θορύβου και της παραμόρφωσης σε συνάρτηση της τάσης κέρδους μπορούν εύκολα να προβλεφθούν. Ο αναφερόμενος στην είσοδο θόρυβος αυξάνεται ανάλογα με το επίπεδο εξασθένησης. Το επόμενο γράφημα [13] δείχνει τη μορφή του συντελεστή θορύβου, NF, σε συνάρτηση της τάσης ελέγχου V_{GAIN} όταν ο ακροδέκτης MODE σηματοδοτείται:



Γράφημα 3.2: Ο συντελεστής θορύβου, NF και το σημείο διακοπής τρίτης τάξης της εισόδου συναρτήσει του κέρδους (για αντίσταση πηγής $R_{SOURCE}=200\Omega$)

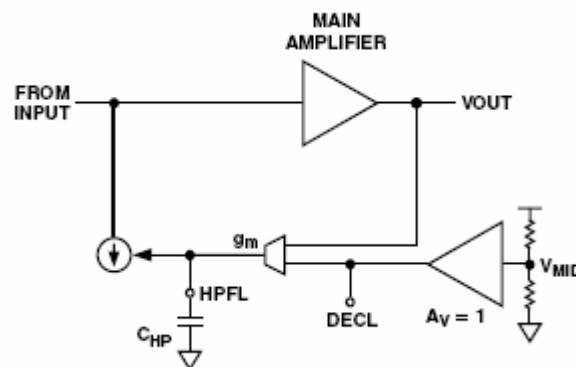
Το ελάχιστο NF με τιμή 7.5 dB παρατηρείται στο μέγιστο κέρδος και αυξάνεται κατά 1 dB κάθε φορά που το κέρδος πέφτει κατά 1 dB. Σε εφαρμογές δέκτη, το ελάχιστο NF θα πρέπει να παρατηρείται στο μέγιστο κέρδος όπου το λαμβανόμενο σήμα υποτίθεται

ότι είναι αδύναμο. Σε υψηλότερα επίπεδα, το απαιτούμενο κέρδος είναι χαμηλότερο, και έτσι το αυξημένο NF καθίσταται λιγότερο σημαντικό.

Η αναφερόμενη στην είσοδο παραμόρφωση μεταβάλλεται κατά παρόμοιο τρόπο όπως και ο θόρυβος. Στο γράφημα 3.2, φαίνεται πώς το σημείο διακοπής τρίτης τάξης στην είσοδο, IP3, συμπεριφέρεται σα συνάρτηση της τάσης V_{GAIN} . Το υψηλότερο IP3 με τιμή 20 dBV rms (δηλαδή 27 dBm σε σύστημα σύνθετης αντίστασης 200 Ω) εμφανίζεται στο ελάχιστο κέρδος. Έπειτα, το IP3 μειώνεται κατά 1 dB κάθε φορά που το κέρδος αυξάνεται κατά 1 dB. Σε χαμηλότερα επίπεδα, ένα υποβαθμισμένο IP3 είναι αποδεκτό. Γενικά, το δυναμικό εύρος, το οποίο αντιπροσωπεύεται από τη διαφορά μεταξύ του IP3 και του NF, παραμένει σχετικά σταθερό σα συνάρτηση του κέρδους. Η παραμόρφωση και η συμπίεση στην έξοδο ουσιαστικά είναι ανεξάρτητες από το κέρδος. Σε χαμηλά κέρδη, όταν το επίπεδο του σήματος εισόδου είναι υψηλό, είναι πιθανό να εμφανιστεί υπερφόρτωση της εισόδου, η οποία να προκαλέσει παραμόρφωση.

Πόλωση της εξόδου

Το επίπεδο της εξόδου πολώνεται στο μέσο μεταξύ της γείωσης και της τροφοδοσίας όταν ο ακροδέκτης DECL αφήνεται ασύνδετος. Εναλλακτικά, το επίπεδο της εξόδου μπορεί να καθοριστεί οδηγώντας τον ακροδέκτη DECL με το επιθυμητό επίπεδο αναφοράς. Όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα [13], ο βρόχος καταφέρει να καταπιέσει τις όποιες αποκλίσεις από την αναφορά όταν πρόκειται για σήματα εξόδου που βρίσκονται χαμηλότερα από τη συχνότητα γονάτου, ενώ δεν επηρεάζει καθόλου σήματα που βρίσκονται πάνω από αυτή:



Σχήμα 3.5: Το dc επίπεδο εξόδου πολώνεται στο μέσο της τροφοδοσίας από ένα βρόχο ελέγχου του οποίου η συχνότητα γονάτου καθορίζεται από τον C_{HP}

Η μέγιστη συχνότητα γονάτου χωρίς τη χρήση εξωτερικού πυκνωτή είναι 500 kHz. Αυτή η συχνότητα μπορεί να μειωθεί αυθαίρετα με την προσθήκη εξωτερικού πυκνωτή C_{HP} , σύμφωνα με την επόμενη σχέση:

$$f_{HP}(\text{kHz}) = \frac{10}{C_{HP}(\text{nF}) + 0.02} \quad (3.2)$$

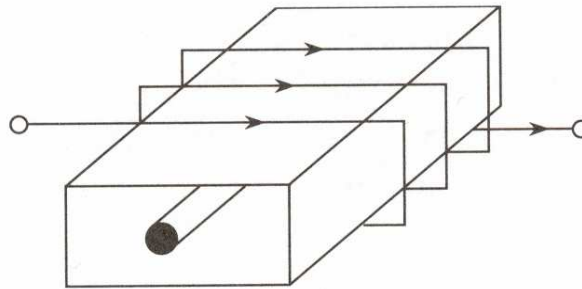
Τέλος, συνίσταται η σύνδεση ενός πυκνωτή στον ακροδέκτη DECL για την αποσύζευξη του επιπέδου αναφοράς στο οποίο κεντράρεται η έξοδος.

Προσαρμογή της Εισόδου και της Εξόδου

Ο **AD8367** είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί σε σύστημα σύνθετης αντίστασης 200 Ω. Ο ενισχυτής της εξόδου είναι ένας απομονωτής τάσης με χαμηλή σύνθετη αντίσταση εξόδου και συνδέεται σε μια αντίσταση 50 Ω, ώστε να απευαισθητοποιείται από την επαγωγική ή χωρητική αντίσταση και τα παρασιτικά του φορτίου. Η προαναφερόμενη συμπεριφορά περιλαμβάνει τη διαίρεση τάσης μεταξύ της αντίστασης των 50 Ω και του φορτίου των 200 Ω. Σε περιπτώσεις όπου είναι ανεκτές πρόσθετες απώλειες και θόρυβος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν T ή L-pads αντιστάσεων για το μετασχηματισμό της σύνθετης αντιστάσεως στην είσοδο και στην έξοδο του ενισχυτή.

3.2.2 Το κύκλωμα των στροφών φάσης

Η πιο απλή μορφή ολισθητή φάσης είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα [5] που ακολουθεί, όπου στον άξονα ενός ορθογώνιου κυματοδηγού τοποθετείται μια φερριτική ράβδος που πολώνεται μ' ένα αξονικό μαγνητικό πεδίο.

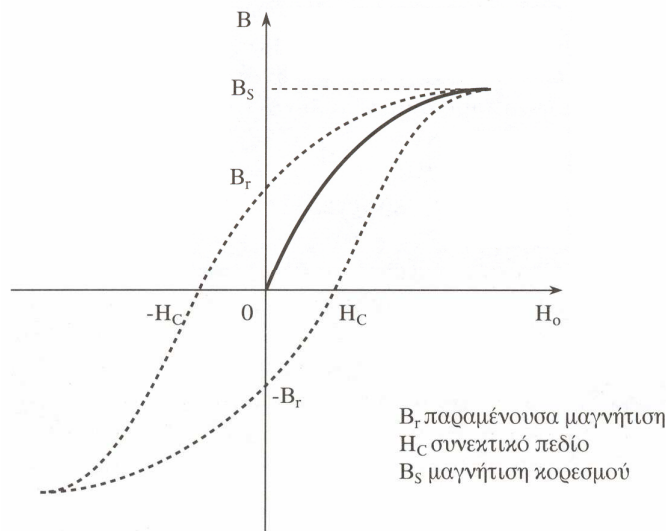


Σχήμα 3.6: Ολισθητής φάσης τύπου Reggia-Spencer

Ο τύπος αυτός ολισθητή φάσης ονομάζεται Reggia - Spencer. Επειδή ο ορθογώνιος κυματοδηγός επιτρέπει τη διάδοση μόνο του ρυθμού TE_{10} δεν μπορεί να υπάρξει στην περιοχή του φερρίτη φαινόμενο στροφής Faraday. Η μεταβολή της έντασης του στατικού πεδίου H_0 έχει σαν αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η σταθερά φάσης στην περιοχή του κυματοδηγού όπου έχει τοποθετηθεί ο φερρίτης. Η μαγνητική κατάσταση ενός φερριτικού υλικού μπορεί να περιγραφεί με το διάνυσμα μαγνήτισης \mathbf{M} , που ορίζεται σαν το όριο του αθροίσματος των μαγνητικών ροπών σε ένα στοιχειώδη όγκο. Από τον ορισμό αυτό προκύπτει ότι μέσα στο σώμα του φερριτικού υλικού το διάνυσμα μαγνητικής επαγωγής δίνεται από την εξίσωση:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \cdot (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (3.3)$$

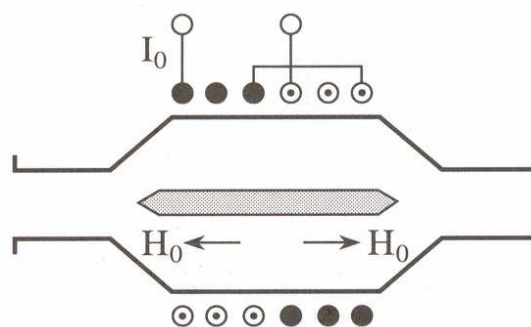
Όταν σ' ένα φερριτικό υλικό εφαρμοστεί ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο \mathbf{H}_0 , η απόκριση του υλικού σε μορφή μαγνητικής επαγωγής παρουσιάζει τη γνωστή από τα σιδηρομαγνητικά υλικά καμπύλη υστέρησης που φαίνεται στο επόμενο σχήμα [5]:



Σχήμα 3.7: Καμπύλη υστέρησης

Οι μαγνητικές ιδιότητες των φερριτικών υλικών εξαφανίζονται όταν αυτά θερμανθούν πάνω από το σημείο "Curie" T_c , που κυμαίνεται από τους 200°C μέχρι τους 500°C .

Ολισθητές φάσης που χρησιμοποιούν το ρυθμό TE_{11} των κυκλικών κυματοδηγών λειτουργούν με την ίδια αρχή της εξάρτησης της σταθεράς φάσης από το μαγνητικό πεδίο. Επειδή όμως στον κυκλικό κυματοδηγό επιτρέπεται η διάδοση δύο ρυθμών TE_{11} με $\sin\phi$ και $\cos\phi$ εξάρτηση αντίστοιχα, εμφανίζεται το φαινόμενο στροφής του επιπέδου πόλωσης, δηλαδή η στροφή Faraday. Για να έχουμε έξοδο από τον κυματοδηγό της ίδιας πόλωσης με την είσοδο πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιος μηχανισμός αντιστάθμισης της στροφής Faraday. Ο πιο απλός τρόπος αντιστάθμισης είναι αυτός που δίνεται στο επόμενο σχήμα [5]. Με την εφαρμογή αντίθετου μαγνητικού πεδίου στις δύο περιοχές του φερρίτη επιτυγχάνεται ακριβώς αντίθετη στροφή φάσης στις δύο περιοχές.



Σχήμα 3.8: Ολισθητής φάσης σε κυκλικό κυματοδηγό με αντιστάθμιση της στροφής Faraday

Η συνολική όμως ολίσθηση φάσης αφού εξαρτάται από το άθροισμα $(\beta_+ + \beta_-)$ η αλλαγή του μαγνητικού πεδίου επιφέρει μεταβολή της προστιθέμενης φάσης από τον φερρίτη.

Οι παραπάνω δύο τύποι ολισθητών φάσης έχουν αναλογικό χαρακτήρα από πλευράς ελέγχου της φάσης με το σταθερό ρεύμα του πηνίου. Για τη λειτουργία των ολισθητών αυτών απαιτείται η ροή του σταθερού ρεύματος να είναι συνεχής οπότε έχουμε κατανάλωση ενέργειας [5].

Ο στροφέας φάσης JSPHS-150

Οι προδιαγραφές της ενδιάμεσης βαθμίδας υπαγορεύουν αναλογικά ελεγχόμενη από τάση στροφή φάσης από 0° μέχρι 360° και με εύρος ζώνης λειτουργίας από 100 MHz έως 200 MHz (ας σημειωθεί ότι για να καλύπτονται οι προδιαγραφές που θέτει το πρότυπο 802.11b/g, αρκεί το εύρος ζώνης λειτουργίας να είναι από 100 MHz έως 183.5 MHz) . Μετά από έρευνα στην αγορά για προϊόντα που πληρούν τις προηγούμενες προδιαγραφές προτιμήθηκε η χρήση του ολοκληρωμένου **JSPHS-150** της εταιρείας **Mini-Circuits** [15] που προσφέρει στροφή φάσης μέχρι 180° . Θεωρητικά το εύρος λειτουργίας του **JSPHS-150** κυμαίνεται από 100 MHz έως 150 MHz, στην πράξη όμως το γραμμικό εύρος λειτουργίας είναι αρκετά μεγαλύτερο και ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της εφαρμογής. Η χρήση δύο στροφέων φάσης σε σειρά μας δίνει αθροιστικά την επιθυμητή στροφή από 0° μέχρι 360° .

Ο συγκεκριμένος στροφέας φάσης χαρακτηρίζεται από:

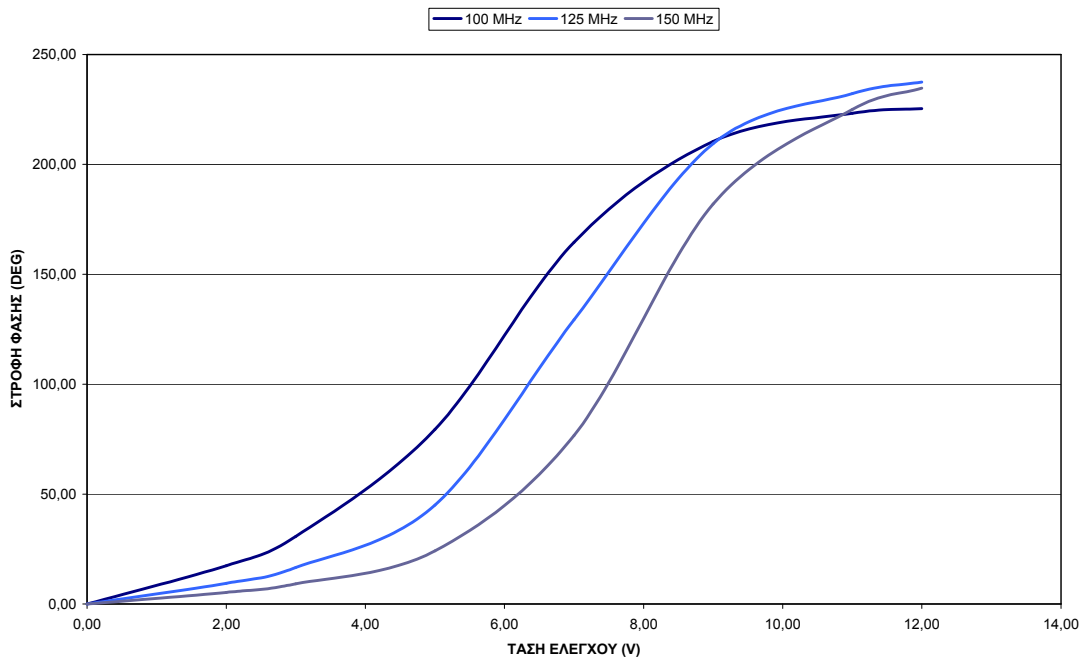
- ✓ Λόγο στάσιμου κύματος VSWR 1.2:1.
- ✓ Χαμηλή τάση ελέγχου πόλωσης (voltage bias control), 10V.
- ✓ Χαμηλές απώλειες εισόδου με τυπική τιμή 1.2dB.
- ✓ Επιμεταλλωμένους ακροδέκτες που προσφέρουν υψηλή συγκολλητικότητα και αυξημένη μηχανική αντοχή.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά κάνουν τον **JSPHS-150** να υπερτερεί σε σχέση με τα ανταγωνιστικά προϊόντα και να είναι ο πλέον κατάλληλος για χρήση στη συγκεκριμένη εφαρμογή.

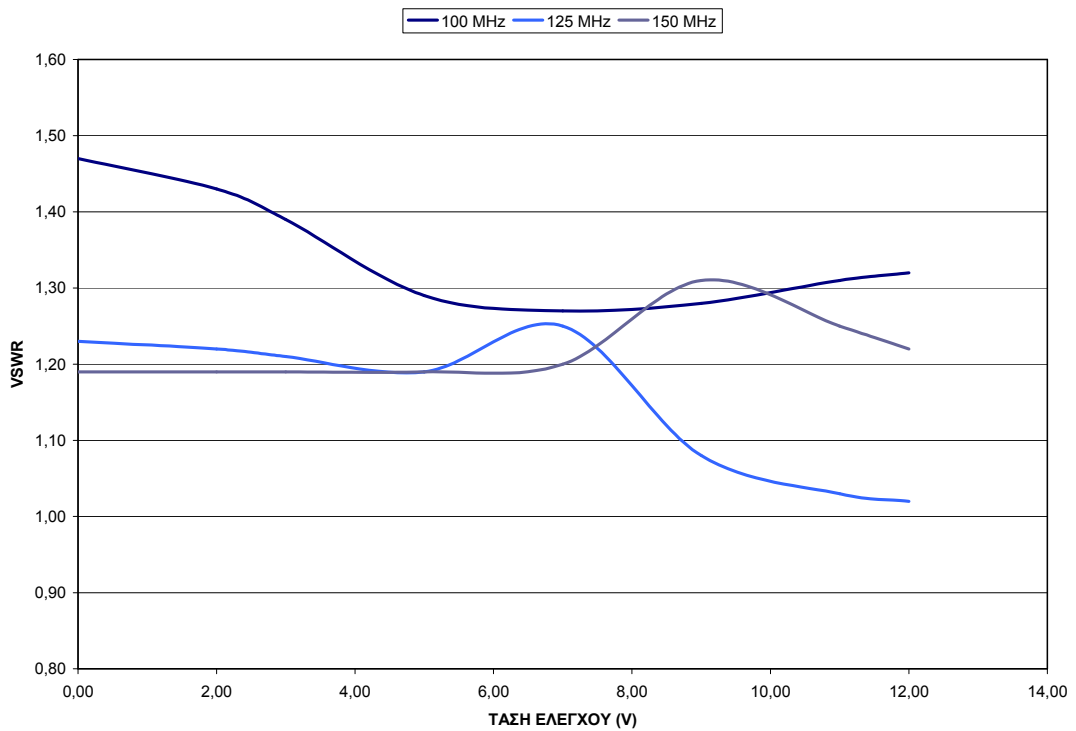
Τα μέγιστα επιτρεπτά όρια λειτουργίας είναι:

- ✓ Θερμοκρασία λειτουργίας από -20°C μέχρι 85°C .
- ✓ Μέγιστη ισχύς εισόδου 0dBm.
- ✓ Μέγιστη τάση ελέγχου στα 20V.

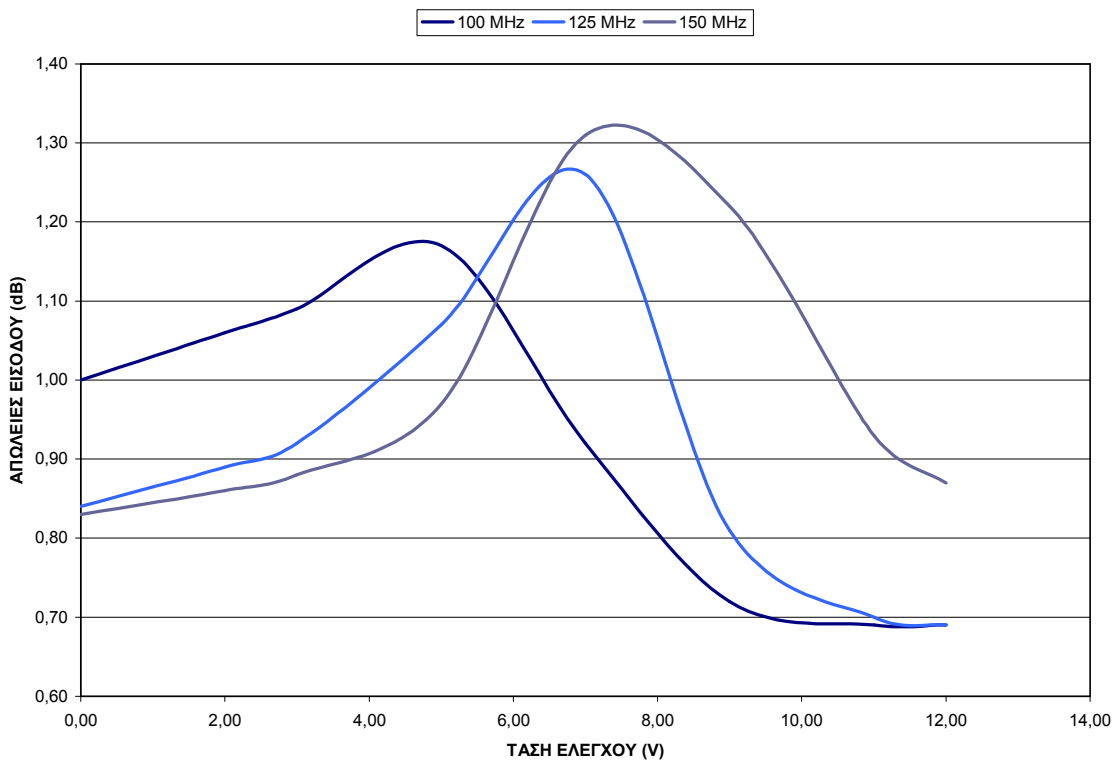
Στα επόμενα γραφήματα απεικονίζεται η στροφή φάσης, ο λόγος στάσιμου κύματος και οι απώλειες εισόδου ως προς την τάση ελέγχου.



Γράφημα 3.3: Διάγραμμα μεταβολής της στροφής φάσης ως προς την τάση ελέγχου



Γράφημα 3.4: Διάγραμμα μεταβολής του λόγου στάσιμου κύματος ως προς την τάση ελέγχου



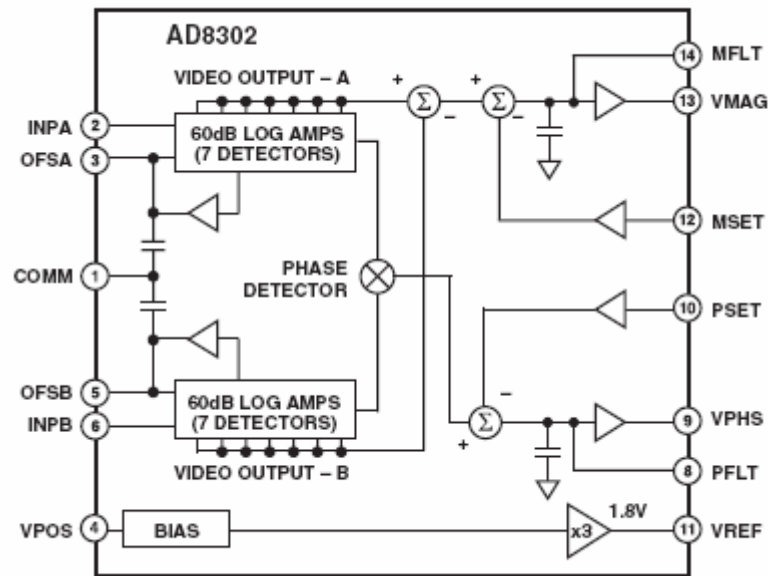
Γράφημα 3.5: Διάγραμμα μεταβολής των απωλειών εισόδου ως προς την τάση ελέγχου

Για την κατασκευή του τελικού κυκλώματος θα χρησιμοποιηθούν δύο στροφείς φάσης **JSPHS-150**, συνδεδεμένοι σε σειρά, που αθροιστικά μπορούν να δώσουν την επιθυμητή στροφή φάσης των 360° , αφού το καθένα ξεχωριστά δίνει στροφή μέχρι και 180° . Πρέπει να σημειωθεί ότι η στροφή φάσης των 180° είναι η τυπική τιμή που μπορεί να αποδώσει το ολοκληρωμένο κατά τη γραμμική λειτουργία του. Στην πραγματικότητα, όπως φαίνεται και στο γράφημα 3.4, όπου απεικονίζεται η μεταβολή της στροφής φάσης ως προς την τάση ελέγχου, η μέγιστη στροφή φάσης που μπορεί να επιτευχθεί ξεπερνά τις 225° όταν η τάση ελέγχου που εφαρμόζεται είναι κοντά στο όριο των 12V.

3.2.3 Το κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης

Το κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης είναι αυτό το οποίο προσφέρει έλεγχο στο κέρδος και στη φάση του σήματος που εμφανίζεται στην έξοδο της IF βαθμίδας. Τυπικά δεν ανήκει στα κυκλώματα επεξεργασίας του σήματος ενδιάμεσων συχνοτήτων αλλά στο βρόχο ανάδρασης της βαθμίδας. Οι δύο εισοδοί του τροφοδοτούνται με το σήμα από την είσοδο και από την έξοδο της IF βαθμίδας, δηλαδή το σήμα πριν και μετά την επεξεργασία. Η πληροφορία που παρέχει ο συγκριτής στις δύο εξόδους του καθορίζει μέσω του λογικού κυκλώματος την τελική ενίσχυση και την τελική στροφή φάσης που εισάγει η IF βαθμίδα. Για τις ανάγκες της παρούσας εφαρμογής επιλέχθηκε ο συγκριτής **AD8302** [14] της εταιρείας **Analog Devices**.

Στο επόμενο σχήμα [14] απεικονίζεται το λειτουργικό διάγραμμα του ολοκληρωμένου:



Σχήμα 3.9: Λειτουργικό Δομικό Διάγραμμα

Τα κύρια χαρακτηριστικά του συγκριτή είναι:

- ✓ Μέτρηση κέρδους/απώλειας και φάσης σε συχνότητες μέχρι τα 2.7 GHz.
- ✓ Λογαριθμικοί ενισχυτές διπλής αποδιαμόρφωσης και ανιχνευτής φάσης.
- ✓ Εύρος εισόδου από -60 dBm έως 0 dBm σε σύστημα χαρακτηριστικής αντίστασης 50Ω.
- ✓ Ακριβής κλιμάκωση της μέτρησης κέρδους (30 mV/dB).
- ✓ Τυπική μη γραμμικότητα < 0.5 dB.
- ✓ Ακριβής κλιμάκωση της μέτρησης φάσης (10 mV/ο).
- ✓ Τυπική μη γραμμικότητα < 1ο.
- ✓ Κατάσταση λειτουργίας Μέτρησης/Ελέγχου/Συγκριτή επιπέδου.
- ✓ Λειτουργεί σε τάση τροφοδοσίας 2.7 V–5.5 V.
- ✓ Σταθερή αναφορά τάσης εξόδου 1.8 V.
- ✓ Εύρος περιβάλλουσας μικρού σήματος από DC έως 30 MHz.

Ο **AD8302** είναι ένα πλήρως ολοκληρωμένο σύστημα για τη μέτρηση κέρδους/απώλειας και φάσης σε ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών λήψης, μετάδοσης και χρήσης οργάνων. Απαιτεί τη σύνδεση λίγων εξωτερικών εξαρτημάτων και μονή τάση τροφοδοσίας 2.7 V – 5.5 V. Τα ac-συζευγμένα σήματα εισόδου μπορούν να έχουν εύρος από -60 dBm έως 0 dBm σε σύστημα αντίστασης 50Ω, ξεκινώντας από χαμηλές συχνότητες και μέχρι τα 2.7 GHz. Οι έξοδοι δίνουν μια ακριβή μέτρηση είτε του κέρδους είτε της απώλειας σε εύρος ±30 dB κλιμακούμενη κατά 30 mV/dB, και μια ακριβή μέτρηση της φάσης σε εύρος από 0° έως 180° κλιμακούμενη κατά 10 mV/°. Και τα δύο υποσυστήματα έχουν στην έξοδο εύρος ζώνης της τάξεως των 30 MHz, το οποίο θα μπορούσε προαιρετικά να μειωθεί με την προσθήκη εξωτερικών πυκνωτών φιλτραρίσματος (external filter capacitors). Ο **AD8302** μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατάσταση λειτουργίας ελέγχου με σκοπό να εξαναγκάζει το κέρδος και τη φάση μιας αλυσίδας σήματος να παραμένει σε σταθερά προκαθορισμένα επίπεδα.

Ο **AD8302** περιλαμβάνει ένα καλά προσαρμοσμένο ζεύγος λογαριθμικών ενισχυτών αποδιαμόρφωσης, ο καθένας από τους οποίους έχει εύρος μέτρησης 60 dB. Λαμβάνοντας τη διαφορά των εξόδων τους, προκύπτει μια μέτρηση του λόγου πλάτους ή του κέρδους μεταξύ των δύο σημάτων εισόδου. Τα σήματα αυτά μπορεί να είναι ακόμα και διαφορετικών συχνοτήτων, επιτρέποντας τη μέτρηση μετασχηματισμένου κέρδους ή απώλειας. Ο **AD8302** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του απόλυτου επιπέδου σήματος εφαρμόζοντας το άγνωστο σήμα στη μια του είσοδο και ένα βαθμονομημένο σήμα αναφοράς στην άλλη. Αφήνοντας τη σύνδεση ανάδρασης του σταδίου εξόδου ανοιχτοκυκλωμένη (disabled) μπορεί να πραγματοποιηθεί ένας συγκριτής, χρησιμοποιώντας τις θύρες MSET και PSET για τον προγραμματισμό των κατωφλίων.

Τα σήματα εισόδου είναι μονά τερματισμένα (single-ended), επιτρέποντας έτσι την προσαρμογή τους και την απευθείας σύνδεσή τους σε έναν κατευθυντικό συζεύκτη. Η ονομαστική σύνθετη αντίσταση εισόδου τους είναι 3 kΩ σε χαμηλές συχνότητες.

Ο **AD8302** περικλείει έναν ανιχνευτή φάσης πολλαπλασιαστικού τύπου, αλλά με ακριβή ισορροπία φάσης οδηγούμενη από τα πλήρως περιορισμένα σήματα που εμφανίζονται στις εξόδους των δύο λογαριθμικών ενισχυτών. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η ακρίβεια της μέτρησης φάσης είναι ανεξάρτητη από το επίπεδο του σήματος για ένα μεγάλο εύρος.

Οι τάσεις εξόδου που αφορούν τη φάση και το κέρδος παρέχονται ταυτόχρονα σε εξόδους όπου μπορεί να συνδεθεί φορτίο και έχουν καθορισμένο εύρος από 0 V έως 1.8 V αναφερόμενες ως προς τη γείωση. Οι οδηγοί εξόδου μπορούν να αποδώσουν ή να απορροφήσουν ρεύμα εντάσεως μέχρι και 8 mA. Μια σταθερή αναφορά τάσης πλάτους 1.8 V είναι διαθέσιμη για την ακριβή πόλωση της εξόδου από τον χρήστη.

Το ολοκληρωμένο **AD8302** διατίθεται σε συσκευασία TSSOP 14 εισόδων και μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασιακό εύρος από -40°C έως $+85^{\circ}\text{C}$. Στον πίνακα που ακολουθεί, περιγράφεται η λειτουργία των ακροδεκτών του.

Αριθμός Ακροδέκτη	Μνημονικό	Περιγραφή Λειτουργίας
1, 7	COMM	Συνδέεται σε γείωση χαμηλής σύνθετης αντίστασης.
2	INPA	Εισόδος στο κανάλι Α μεγάλης σύνθετης αντίστασης. Πρέπει να είναι συζευγμένη σε ac.
3	OFSA	Ένας πυκνωτής προς τη γείωση σε αυτή την είσοδο καθορίζει τη μετατόπιση της γωνίας ανόρθωσης του φίλτρου (offset compensation filter corner) και παρέχει αποσύζευξη της εισόδου.
4	VPOS	Τροφοδοσία τάσης (Vs), 2.7 V έως 5.5 V
5	OFSB	Ένας πυκνωτής προς τη γείωση σε αυτή την είσοδο καθορίζει τη μετατόπιση της γωνίας ανόρθωσης του φίλτρου και παρέχει αποσύζευξη της εισόδου.
6	INPB	Είσοδος στο κανάλι Β. Ίδια δομή με την είσοδο INPA.
8	PFLT	Τερματισμός βαθυπερατού φίλτρου για την έξοδο της φάσης.
9	VPHS	Μονά τερματισμένη έξοδος ανάλογη με τη διαφορά φάσης μεταξύ των εισόδων INPA και INPB.
10	PSET	Είσοδος ανάδρασης για την κλιμάκωση της τάσης εξόδου VPHS σε κατάσταση λειτουργίας μέτρησης. Σε κατάσταση λειτουργίας ελέγχου εφαρμόζεται ένα επίπεδο τάσης.
11	VREF	Εσωτερικά δημιουργούμενη τάση αναφοράς (ονομαστική τιμή 1.8 V).
12	MSET	Είσοδος ανάδρασης για την κλιμάκωση της τάσης εξόδου VPHS σε κατάσταση λειτουργίας μέτρησης. Σε κατάσταση λειτουργίας ελέγχου εφαρμόζεται ένα επίπεδο τάσης.
13	VMAG	Μονά τερματισμένη έξοδος. Η τάση εξόδου είναι ανάλογη με το λόγο decibel μεταξύ των σημάτων που εφαρμόζονται στις εισόδους INPA και INPB.
14	MFLT	Τερματισμός βαθυπερατού φίλτρου για την έξοδο του πλάτους.

Πίνακας 3.2 : Περιγραφή της λειτουργίας των ακροδεκτών του AD8302

Θεωρία Λειτουργίας

Ο **AD8302** μετράει το λόγο πλάτους, που εδώ ορίζεται ως κέρδος, και τη διαφορά φάσης μεταξύ δύο σημάτων. Ένα ζεύγος προσαρμοσμένων λογαριθμικών ενισχυτών παρέχει τη μέτρηση και οι ισχυρά περιορισμένες έξοδοί τους οδηγούν έναν ανιχνευτή φάσης. Οι λογαριθμικοί ενισχυτές (log amps) παρέχουν μια λογαριθμική συνάρτηση συμπίεσης η οποία μετατρέπει ένα μεγάλο εύρος επιπέδων σήματος εισόδου σε μια συμπιεσμένη έξοδο λογαριθμικής κλίμακας. Η γενική μαθηματική σχέση που δίνει την τάση στην έξοδο, είναι:

$$V_{OUT} = V_{SLP} \log(V_{IN}/V_Z) \quad (3.4)$$

όπου V_{IN} είναι η τάση εισόδου, V_Z είναι η τάση διακοπής (intercept voltage) και V_{SLP} είναι η κλίση της τάσης (slope voltage). Σε όλα τα επόμενα γίνεται η υπόθεση ότι με $\log(x)$ παριστάνεται η συνάρτηση $\log_{10}(x)$. Έτσι, η κλίση V_{SLP} μετριέται σε volts/δεκάδα, και εφόσον μια δεκάδα τάσης αντιστοιχεί σε 20 dB, προκύπτει ότι η παράσταση $V_{SLP}/20$ αντιστοιχεί σε volts/dB. V_Z είναι η τιμή του σήματος εισόδου που δίνει σαν αποτέλεσμα μηδενική έξοδο και δεν είναι απαραίτητο να αντιστοιχεί σε ένα φυσικά πραγματοποιήσιμο τμήμα του εύρους σήματος του λογαριθμικού ενισχυτή. Ενώ η κλίση είναι εξ' ορισμού χαρακτηριστικό του λογαριθμικού ενισχυτή, η τάση διακοπής είναι συνάρτηση της κυματομορφής εισόδου. Επιπλέον, το επίπεδο της τάσης διακοπής παρουσιάζει τυπικά μεγαλύτερη ευαισθησία ως προς τη θερμοκρασία και τη συχνότητα παρά ως προς την κλίση. Όταν οι λογαριθμικοί ενισχυτές δε χρησιμοποιούνται ανά ζεύγη για τη μέτρηση ισχύος, αυτή η προκύπτουσα διακύμανση εισάγει λάθη στην απόλυτη ακρίβεια της μέτρησης καθώς η τάση διακοπής αντιπροσωπεύει ένα επίπεδο αναφοράς.

Ο **AD8302** λαμβάνει τη διαφορά στην έξοδο των δύο πανομοιότυπων λογαριθμικών ενισχυτών, καθένας από τους οποίους οδηγείται από σήματα παρόμοιων κυματομορφών αλλά σε διαφορετικά επίπεδα. Εφόσον η αφαίρεση στο λογαριθμικό πεδίο ισοδυναμεί με λόγο στο γραμμικό πεδίο, το αποτέλεσμα της εξόδου μπορεί να γραφτεί:

$$V_{MAG}=V_{SLP} \log(V_{INA}/V_{INB}) \quad (3.5)$$

όπου V_{INA} και V_{INB} είναι οι τάσεις εισόδου, V_{MAG} είναι η έξοδος που αντιστοιχεί στο μέγεθος της διαφοράς επιπέδου των σημάτων και V_{SLP} είναι η κλίση. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι η τάση διακοπής V_Z πλέον απουσιάζει. Αντίθετα με ότι συμβαίνει στην περίπτωση μέτρησης ισχύος, όταν μετράται μια αδιάστατη ποσότητα όπως είναι το σχετικό επίπεδο σήματος, καμιά ανεξάρτητη αναφορά ή τάση διακοπής δε χρειάζεται να συμπεριληφθεί. Σε αυτή την περίπτωση το ένα σήμα ουσιαστικά λειτουργεί σαν αναφορά του άλλου. Οι διακυμάνσεις της τάσης διακοπής που οφείλονται στη συχνότητα, στην επεξεργασία, στη θερμοκρασία και στην τάση τροφοδοσίας επηρεάζουν και τα δύο κανάλια με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και έτσι δεν επιδρούν στη μέτρηση της διαφοράς. Η αποτελεσματικότητα αυτής της τεχνικής εξαρτάται από το πόσο καλά προσαρμοσμένοι είναι οι δύο λογαριθμικοί ενισχυτές όσον αφορά την κλίση και την τάση διακοπής, ώστε να διασφαλίζεται η αλληλεξουδετέρωση των διακυμάνσεων. Αυτή είναι η συνθήκη που πρέπει να πληρεί ένα ζεύγος λογαριθμικών ενισχυτών. Ας παρατηρηθεί ότι αν τα δύο σήματα έχουν διαφορετικές κυματομορφές (για παράδειγμα διαφορετικούς λόγους μέγιστης προς μέση τιμή) ή διαφορετικές συχνότητες, είναι πιθανό να εμφανιστεί μια διαφορά στην τάση διακοπής (intercept difference) η οποία να εισάγει μια συστηματική μετατόπιση.

Η δομή του λογαριθμικού ενισχυτή αποτελείται από μια διαδοχική ακολουθία γραμμικών/περιοριστικών σταδίων κέρδους με ανιχνευτές που εκτελούν αποδιαμόρφωση. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη δομή και τη λειτουργία των λογαριθμικών ενισχυτών μπορούν να βρεθούν στα φυλλάδια τεχνικών προδιαγραφών (data sheets) άλλων λογαριθμικών ενισχυτών που παράγονται από την **Analog Devices** (π.χ. **AD8307**). Η έξοδος του τελικού σταδίου ενός λογαριθμικού ενισχυτή είναι ένα πλήρως περιορισμένο σήμα που μπορεί να εκτείνεται στο μεγαλύτερο μέρος του δυναμικού εύρους της εισόδου. Οι περιορισμένες έξοδοι και των δύο λογαριθμικών ενισχυτών οδηγούν έναν ψηφιακό ανιχνευτή φάσης της μορφής αποκλειστικού-OR (exclusive-OR). Καθώς ο τελευταίος λειτουργεί αυστηρά με βάση

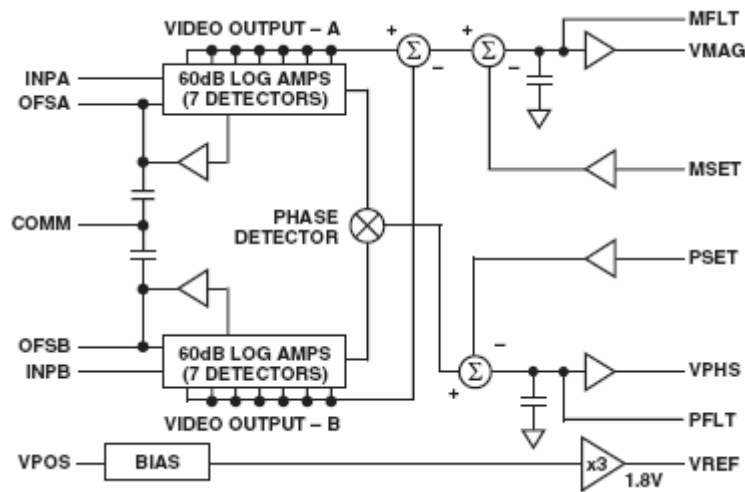
τα σχετικά σημεία τομής των μηδενισμών των σημάτων εισόδου, η παραγόμενη διαφορά φάσης είναι ανεξάρτητη από τα αρχικά επίπεδα των σημάτων εισόδου. Η έξοδος που αφορά τη φάση ακολουθεί το γενικό τύπο:

$$V_{PHS} = V_{\Phi} [\Phi(V_{INA}) - \Phi(V_{INB})] \quad (3.6)$$

όπου V_{Φ} είναι η κλίση της χαρακτηριστικής της φάσης σε $mV/^{\circ}$ και Φ είναι η αντίστοιχη φάση του κάθε σήματος σε μοίρες.

Η εσωτερική αρχιτεκτονική του AD8302

Η γενική εσωτερική διάρθρωση του AD8302 φαίνεται στο επόμενο σχήμα [14]:



Σχήμα 3.10: Η δομή του AD8302

Οι κύριες βαθμίδες αποτελούνται από δύο λογαριθμικούς ενισχυτές που εκτελούν αποδιαμόρφωση, έναν ανιχνευτή φάσης, ενισχυτές της εξόδου, ένα κύτταρο πόλωσης και έναν απομονωτή της τάσης αναφοράς στην έξοδο. Οι λογαριθμικοί ενισχυτές και ο ανιχνευτής φάσης επεξεργάζονται τα υψίσυχνα σήματα και τροφοδοτούν τους ενισχυτές της εξόδου με την πληροφορία για το κέρδος και τη φάση σε μορφή ρεύματος. Η έξοδος των ενισχυτών αυτών καθορίζει την τελική κλιμάκωση του κέρδους και της φάσης. Με χρήση εξωτερικών πυκνωτών φίλτρου (filter capacitors) μπορούν να διαμορφωθούν οι μέσες χρονικές σταθερές των αντίστοιχων εξόδων. Ο απομονωτής παρέχει μια τάση αναφοράς πλάτους 1.80 V η οποία παρακολουθεί τις εσωτερικές σταθερές κλιμάκωσης.

Καθένας από τους λογαριθμικούς ενισχυτές αποτελείται από μια αλυσίδα έξι σταδίων κέρδους 10 dB, με επτά συσχετισμένους ανιχνευτές. Κάθε ξεχωριστό στάδιο κέρδους διαθέτει εύρος ζώνης 3 dB που εκτείνεται μέχρι τα 5 GHz. Το μονοπάτι σήματος είναι απόλυτα διαφορικό ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση των σημάτων κοινής μορφής (common-mode signals) και του θορύβου. Εφόσον υπάρχει ένα σύνολο αλυσιδωτού κέρδους της τάξης των 60 dB, μικρές dc μετατοπίσεις μπορούν να προκαλέσουν περιορισμό στα επόμενα στάδια με αποτέλεσμα να προκληθούν λάθη μετρήσεων όταν πρόκειται για μικρά σήματα. Αυτό διορθώνεται μέσω ενός βρόχου ανάδρασης. Η ονομαστική τιμή της υπερεπατής γωνιακής συχνότητας (f_{HP}) αυτού του βρόχου τίθεται εσωτερικά στα 200 MHz αλλά μπορεί να μειωθεί με την προσθήκη εξωτερικών πυκνωτών στις θύρες OFSA και OFSB. Τα σήματα που βρίσκονται σε συχνότητες

αρκετά χαμηλότερα από την υψιπερατή γωνία δεν μπορούν να διαχωριστούν από τις dc μετατοπίσεις και μηδενίζονται. Η διαφορά στις εξόδους των λογαριθμικών ενισχυτών υπολογίζεται στο πεδίο του ρεύματος, το οποίο παράγεται με βάση την εξίσωση:

$$I_{LA} = I_{SLP} \log(V_{INA}/V_{INB}) \quad (3.7)$$

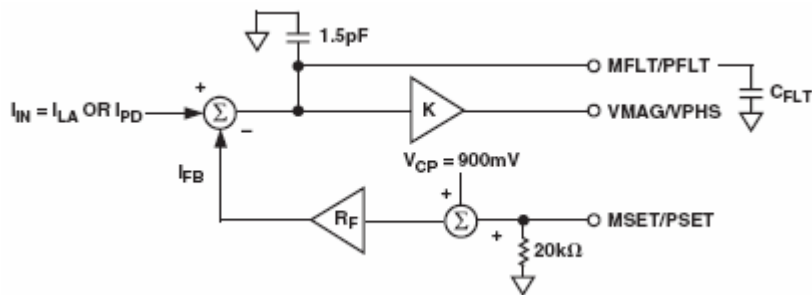
όπου I_{LA} και I_{SLP} είναι αντίστοιχα η παραγόμενη διαφορά ρεύματος και η κλίση της χαρακτηριστικής (του ρεύματος) των λογαριθμικών ενισχυτών. Η κλίση εξάγεται με βάση μια ακριβή αναφορά σχεδιασμένη να είναι αναισθητή σε μεταβολές της θερμοκρασίας και της τάσης τροφοδοσίας.

Ο ανιχνευτής φάσης έχει πλήρως συμμετρική δομή όσον αφορά τις δύο εισόδους του, ώστε να διατηρεί ισορροπημένες καθυστερήσεις κατά μήκος και των δύο μονοπατιών σήματος. Η πλήρως διαφορική σηματοδότηση και πάλι ελαχιστοποιεί την ευαισθησία σε διαταραχές από σήματα κοινής μορφής. Η εξίσωση ρεύματος που αντιστοιχεί στην τάση εξόδου που αφορά τη φάση (σχέση 3.6) έχει την ακόλουθη μορφή:

$$I_{PD} = I_{\Phi} [\Phi(V_{INA}) - \Phi(V_{INB}) - 90^\circ] \quad (3.8)$$

όπου I_{PD} και I_{Φ} είναι αντίστοιχα το ρεύμα εξόδου και κλίση της χαρακτηριστικής που σχετίζεται με τον ανιχνευτή φάσης. Η κλίση εξάγεται με βάση την ίδια αναφορά όπως και η κλίση των λογαριθμικών ενισχυτών. Ας σημειωθεί ότι, κατά σύμβαση, η διαφορά φάσης λαμβάνεται στο εύρος από -180° έως $+180^\circ$. Εφόσον αυτός ο τρόπος λειτουργίας του ανιχνευτή φάσης δεν κάνει διαχωρισμό μεταξύ των $\pm 90^\circ$, λαμβάνεται μια ευκρινής διαφορά φάσης εύρους 180° , η οποία μπορεί να εκτείνεται είτε από 0° έως $+180^\circ$ με κέντρο στις $+90^\circ$, είτε από 0° έως -180° με κέντρο στις -90° .

Η βασική διάρθρωση και των δύο διεπαφών εξόδου φαίνεται στο επόμενο σχήμα [14]:



Σχήμα 3.11: Απλοποιημένο δομικό διάγραμμα των διεπαφών εξόδου

Κάθε διεπαφή δέχεται μια είσοδο ανάθεσης σταθερού επιπέδου (setpoint) και περιλαμβάνει έναν εσωτερικό πυκνωτή ολοκλήρωσης/μέσου όρου και έναν ενισχυτή απομόνωσης κέρδους K . Με εξωτερική επέμβαση σε αυτό το σταθερό επίπεδο μπορούν να εξασφαλιστούν διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας του ολοκληρωμένου και να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά μετάδοσης του κέρδους και της φάσης με ευέλικτο τρόπο. Η διεπαφή της βαθμίδας ανάθεσης, χαρακτηριζόμενη από μια υπεραντίσταση R_F , παράγει ρεύμα ανάλογο προς την τάση που εμφανίζεται στη θύρα εισόδου της, MSET ή PSET. Μια ακριβής τάση μετατόπισης της τάξης των 900 mV εισάγεται εσωτερικά για να ορίσει το κεντρικό σημείο (V_{CP}) των συναρτήσεων του κέρδους και της φάσης, δηλαδή, τα επίπεδα τάσης που τίθενται να αντιστοιχούν σε κέρδος 0 dB και σε διαφορά φάσης 90° . Το παραγόμενο ρεύμα αφαιρείται από το σήμα ρεύματος, I_{IN} , που έρχεται από τους λογαριθμικούς ενισχυτές στο κανάλι του κέρδους ή από τον

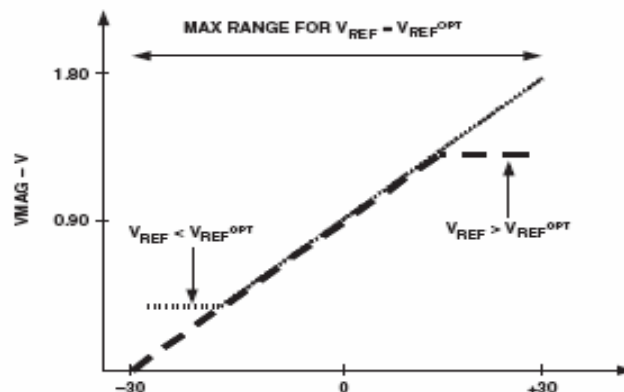
ανιχνευτή φάσης στο κανάλι της φάσης. Η παραγόμενη διαφορά υφίσταται ολοκλήρωση στους πυκνωτές μέσου όρου σε καθεμιά από τις θύρες MFLT και PFLT και στη συνέχεια απομονώνεται από τον ενισχυτή εξόδου στις αντίστοιχες θύρες εξόδου, VMAG και VPHS. Με αυτή τη διάταξη ανοιχτού βρόχου, η τάση εξόδου προκύπτει σε μια απλή ολοκλήρωση της διαφοράς μεταξύ του μετρούμενου κέρδους/φάσης και του επιθυμητού επιπέδου ανάθεσης, με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$V_{OUT} = R_F (I_{IN} - I_{FB}) / (sT) \quad (3.9)$$

I_{FB} είναι το ρεύμα ανάδρασης που είναι ίσο με $(V_{SET} - V_{CP})/R_F$, όπου V_{SET} είναι η είσοδος ανάθεσης, και T είναι η σταθερά χρόνου ολοκλήρωσης που είναι ίση με $R_F C_{AVE}/K$, όπου C_{AVE} είναι ο παράλληλος συνδυασμός του εσωτερικού πυκνωτή των 1.5 pF και του εξωτερικού πυκνωτή C_{FLT} .

Δυναμικό Εύρος

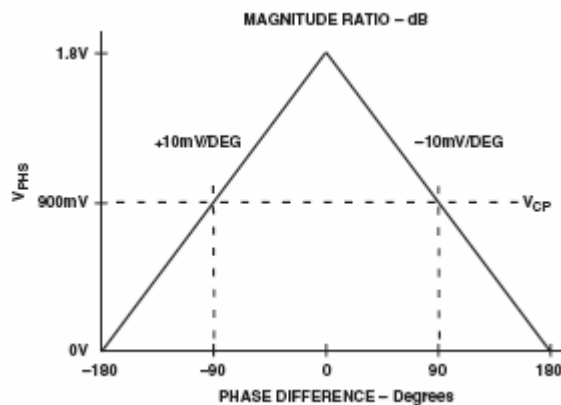
Το μέγιστο εύρος μέτρησης για το υποσύστημα που αφορά το κέρδος περιορίζεται στο σύνολο των 60 dB καταναμεμένο από τα -30 dB έως τα +30 dB. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να μετρηθεί τόσο κέρδος όσο και εξασθένιση. Τα όρια καθορίζονται από τα ελάχιστα και τα μέγιστα επίπεδα σήματος που ο κάθε λογαριθμικός ενισχυτής μπορεί να ανιχνεύσει. Στον **AD8302** ο κάθε λογαριθμικός ενισχυτής μπορεί να ανιχνεύσει σήματα εισόδου που εκτείνονται από τα -73 dBV (223 μV, -60 dBm re: 50 Ω) μέχρι τα -13 dBV (223 mV, 0 dBm re: 50 Ω). Ας σημειωθεί ότι οι λογαριθμικοί ενισχυτές αποκρίνονται σε τάση και όχι σε ισχύ. Η ισοδύναμη ισχύς μπορεί να εξαχθεί αν είναι δοσμένη η τιμή της σύνθετης αντίστασης, για παράδειγμα, για τη μετατροπή από dBV σε dBm σε ένα σύστημα αντίστασης 50 Ω απλά προστίθενται 13 dB. Για να καλυφθεί όλο το δοσμένο εύρος, πρέπει να εφαρμοστεί στον ένα λογαριθμικό ενισχυτή ένα επίπεδο αναφοράς που αντιστοιχεί ακριβώς στο μέσο του εύρους του. Στον **AD8302** αυτό το επίπεδο αναφοράς βρίσκεται στα -43 dBV, το οποίο αντιστοιχεί σε -30 dBm σε περιβάλλον 50 Ω. Το άλλο κανάλι μπορεί τότε να σαρώνει όλο το εύρος από το κατώτερο όριο, 30 dB κάτω από το μέσο του εύρους, μέχρι το ανώτερο όριο, 30 dB πάνω από το μέσο του εύρους. Αν το επίπεδο αναφοράς μετατοπιστεί από το μέσο του εύρους, μέρος από τα άκρα του εύρους των μετρήσεων θα χαθεί. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε αν γίνει υπέρβαση του εύρους των λογαριθμικών ενισχυτών είτε αν η τιμή του σήματος πλησιάζει στο φράγμα των 0 V ή του 1.8 V. Στο επόμενο γράφημα [14] αποτυπώνεται η επίδραση της εκάστοτε τοποθέτησης του επιπέδου αναφοράς του καναλιού:



Γράφημα 3.6: Το αποτέλεσμα της μετατόπισης του σημείου αναφοράς είναι η μείωση του μέγιστου δυναμικού εύρους

Αν το επίπεδο αναφοράς επιλεγεί να είναι χαμηλότερα από το μέσο του εύρους κατά 10 dB, τότε το κατώτερο όριο θα είναι στα -20 dB αντί στα -30 dB. Αν αντίστοιχα το επίπεδο αναφοράς επιλεγεί να είναι υψηλότερα από το μέσο του εύρους κατά 10 dB, τότε το ανώτερο όριο θα είναι στα 20 dB αντί στα 30 dB.

Το εύρος μέτρησης της φάσης είναι από τις 0° μέχρι τις 180°. Για διαφορές φάσης από τις 0° μέχρι τις -180°, η χαρακτηριστική μετάδοσης είναι αντισυμμετρική με κλίση αντίθετου προσήμου, όπως φαίνεται στο επόμενο γράφημα [14]:



Γράφημα 3.7: Ιδανική χαρακτηριστική μετάδοσης για τη μέτρηση της φάσης

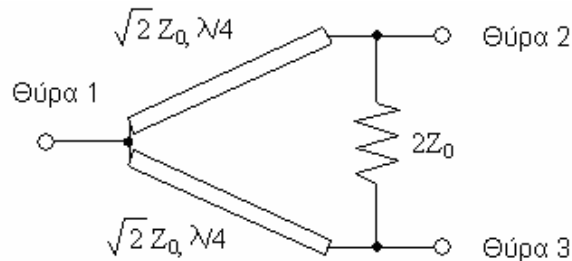
Ο ανιχνευτής φάσης αποκρίνεται στη σχετική θέση των σημείων τομής των μηδενισμών των σημάτων μεταξύ των δύο καναλιών εισόδου. Σε υψηλότερες συχνότητες, οι πεπερασμένοι χρόνοι των ανόδων και των καθόδων των περιορισμένου εύρους σημάτων δημιουργούν μια διαφορούμενη κατάσταση που οδηγεί σε μη προσβάσιμες νεκρές ζώνες στα όρια των 0° και των 180°. Για την κάλυψη της μέγιστης διαφοράς φάσης, το επίπεδο αναφοράς της διαφοράς φάσης πρέπει να τοποθετηθεί στις 90°.

Ετεροδιαμόρφωση (Cross Modulation)

Κατά τη λειτουργία σε υψηλές συχνότητες, αναπόφευκτα συμβαίνει ανεπιθύμητη σύζευξη (cross coupling) μεταξύ των σημάτων στα κανάλια A και B εξαιτίας παρασιτικών σημάτων που αναπτύσσονται στο ολοκληρωμένο και στο επίπεδο του υποστρώματος. Όταν τα δύο σήματα που παρουσιάζονται στις εισόδους του **AD8302** είναι σε πολύ διαφορετικά επίπεδα, η σύζευξη αυτή εισάγει ταυτόχρονη διαμόρφωση των αποκρίσεων της φάσης και του πλάτους. Αν τα δύο σήματα κρατηθούν στα ίδια σχετικά επίπεδα και η μεταξύ τους φάση διαμορφώνεται τότε μόνο η έξοδος της φάσης θα πρέπει να αποκριθεί. Λόγω της διαμόρφωσης φάσης προς πλάτος, η έξοδος του πλάτους παρουσιάζει υπολοιπούμενη (residual) απόκριση. Ένα παρόμοιο φαινόμενο συμβαίνει όταν η σχετική φάση κρατιέται σταθερή ενώ η διαφορά πλάτους διαμορφώνεται, δηλαδή, παρατηρείται η αναμενόμενη απόκριση πλάτους και υπολοιπούμενη απόκριση φάσης λόγω διαμόρφωσης πλάτους προς φάση. Το σημείο στο οποίο τα φαινόμενα αυτά είναι παρατηρήσιμα εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος και από το εύρος της διαφοράς. Τυπικά, για διαφορές πλάτους μικρότερες από 20 dB, η επίδραση της ταυτόχρονης διαμόρφωσης είναι αμελητέα στα 900 MHz.

3.2.4 Το κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος

Οι τρίθυροι διαιρέτες ισχύος χρησιμοποιούνται για τη διαίρεση της ισχύος μιας πηγής σε δύο ή στην άθροιση της ισχύος δύο κυμάτων που έχουν μηδενική διαφορά φάσης μεταξύ τους. Σύμφωνα με το σχήμα 3.12, οι προδιαγραφές που πρέπει να ικανοποιούνται από τον τρίθυρο διαιρέτη ισχύος είναι:

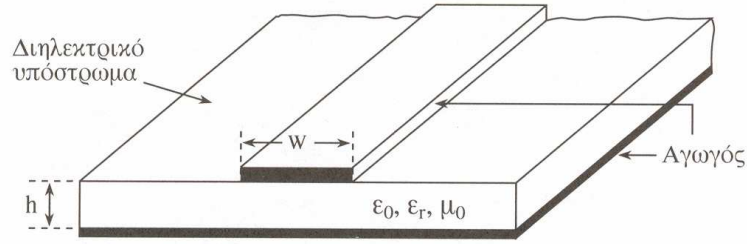


Σχήμα 3.12: Ιδανικός τρίθυρος διαιρέτης ισχύος, ενός σταδίου, που χρησιμοποιεί μετασχηματιστές $\lambda/4$

- α) Οποιαδήποτε θύρα πρέπει να είναι προσαρμοσμένη όταν στις δύο άλλες θύρες έχουμε συνδέσει αντίσταση Z_0 ,
- β) Η ισχύς που εισέρχεται στη θύρα εισόδου 1, πρέπει να διαιρείται ίση στις θύρες 2 και 3.
- γ) Όταν σε όλες τις θύρες έχουν συνδεθεί φορτία με αντίσταση Z_0 δεν πρέπει να έχουμε σύζευξη μεταξύ των θυρών 2 και 3.

Σχεδίαση τρίθυρων διαιρετών ισχύος με χρήση χωρητικών και επαγωγικών διακριτών στοιχείων (L, C). [12]

Οι διαιρέτες ισχύος γνωστοί και ως διαιρέτες Wilkinson, χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικροκυματικά κυκλώματα (Ο διαιρέτης ισχύος, εφευρέθηκε από το μηχανικό Έρνεστ Γουίλκινσον (Ernest J. Wilkinson). Με την εργασία του, στα 1960, "**An N-way Hybrid Power Divider**" στο συνέδριο του οργανισμού IRE (Transactions on Microwave Theory and Techniques) όπου διατύπωσε τη θεωρία λειτουργίας του γενικευμένου διαιρέτη ισχύος N-θυρών). Μερικές από τις εφαρμογές τους, περιλαμβάνουν εξισορροπημένους ενισχυτές, πομπούς υψηλής ισχύος και στοιχειοκεραίες. Αυτοί οι διαιρέτες ισχύος, χρησιμοποιούν μετασχηματιστές $\lambda/4$. Η προσαρμογή μεταξύ της κοινής θύρας και των υπόλοιπων θυρών, επιτυγχάνεται παρεμβάλλοντας γραμμές μεταφοράς μήκους $d = \lambda/4$ δηλαδή τμήμα γραμμής που έχει μήκος ενός τετάρτου του μήκους κύματος λ . Η χρησιμοποίηση μετασχηματιστών $\lambda/4$, για την επίτευξη προσαρμογής, γίνεται στη κεντρική συχνότητα σχεδίασης. Αυτό σημαίνει ότι στη περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων και στις χαμηλές μικροκυματικές μπάντες όπου το μήκος κύματος είναι σχετικά μεγάλο, οι γραμμές μεταφοράς μήκους $d = \lambda/4$ θα έχουν μη ρεαλιστικές διαστάσεις. Για παράδειγμα θα εξετάσουμε μια μικροταινία μήκους $d = \lambda/4$. Η μικροταινία αποτελείται από έναν αγωγό πλάτους w και βρίσκεται στη πάνω επιφάνεια διηλεκτρικής πλάκας πάχους h που ονομάζεται υπόστρωμα. Η άλλη πλευρά του διηλεκτρικού υποστρώματος είναι καλυμμένη με αγωγό.



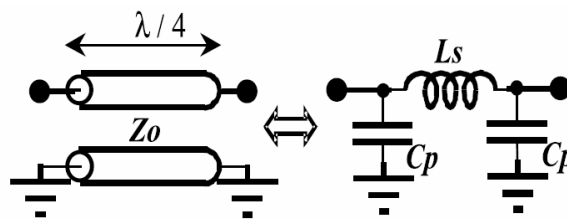
Σχήμα 3.13: Γεωμετρία μικροταινίας

Οι ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες του διηλεκτρικού μέσου ορίζονται με τη σχετική διηλεκτρική επιτρεπτότητα ϵ_r . Συνήθως το υπόστρωμα είναι μαγνητικά αδρανές δηλαδή $\mu = \mu_0$. Στην περίπτωση που δεν έχουμε διηλεκτρικό υπόστρωμα (δηλαδή $\epsilon_r = 1$) ο τύπος αυτός της γραμμής μεταφοράς ονομάζεται ταινιογραμμή. [5]

Μία μικροταινία $\lambda/4$ με χαρακτηριστική αντίσταση $Z_0 = 70.7 \Omega$ σε υπόβαθρο FR-4 με διηλεκτρική επιτρεπτότητα $\epsilon_r = 4.3$ και πάχος διηλεκτρικής πλάκας $h = 1.0 \text{ mm}$, έχει μήκος περίπου 43mm στη συχνότητα των 1 GHz. Σε μερικές περιπτώσεις είναι προτιμητέα η χρησιμοποίηση διακριτών στοιχείων, αντικαθιστώντας τις γραμμές μεταφοράς $\lambda/4$, με SMD (surface mount devices) ή MMIC (monolithic microwave integrated circuit) διακριτά στοιχεία. Με αυτόν τον τρόπο μειώνουμε σημαντικά τις διαστάσεις του κυκλώματος.

Ισοδύναμα κυκλώματα διακριτών στοιχείων

Είναι γνωστό ότι μια γραμμή μεταφοράς μήκους $d = \lambda/4$ μπορεί να αντικατασταθεί από ένα (π) ισοδύναμο κύκλωμα διακριτών στοιχείων. Το ίδιο ισχύει και για γραμμή μεταφοράς μήκους $d = 3\lambda/4$. Συγκεκριμένα, μία γραμμή μεταφοράς μήκους $d = \lambda/4$, με χαρακτηριστική αντίσταση Z_0 σε μια συχνότητα f_0 , μπορεί να αντικατασταθεί από ένα (π) ισοδύναμο κύκλωμα χωρητικών και επαγωγικών διακριτών στοιχείων (L, C), όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα [12].



Σχήμα 3.14: ισοδύναμο κύκλωμα (π) διακριτών στοιχείων

Οι τιμές των στοιχείων, δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

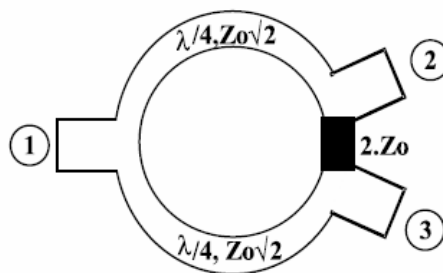
$$C_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot Z_0} \quad (3.10)$$

$$L_s = \frac{Z_0}{2 \cdot \pi \cdot f_0} \quad (3.11)$$

Το κύκλωμα (π) χωρητικών και επαγωγικών διακριτών στοιχείων (L, C), αποτελεί το ακριβές ισοδύναμο της γραμμής μεταφοράς μήκους $d = \lambda/4$, στην κεντρική συχνότητα f_0 , αλλά η προσέγγιση ισχύει για μικρό εύρος συχνοτήτων.

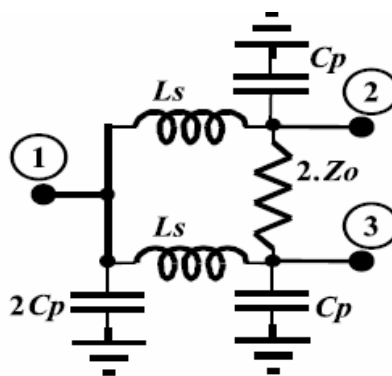
Σχεδίαση τρίθυρου διαιρέτη ισχύος χρησιμοποιώντας χωρητικά και επαγωγικά διακριτά στοιχεία

Στο επόμενο σχήμα [12] φαίνεται η μάσκα ενός τυπικού τρίθυρου διαιρέτη ισχύος, ενός σταδίου, που χρησιμοποιεί δύο μετασχηματιστές $\lambda/4$ στην κεντρική συχνότητα f_0 , με χαρακτηριστική αντίσταση $Z_0 \cdot \sqrt{2}$ και μία ωμική αντίσταση $2 \cdot Z_0$ ανάμεσα στις θύρες εξόδου. Η ωμική αντίσταση προσφέρει χαμηλές απώλειες, ίσο μοίρασμα της ισχύος (ιδανικά 3 dB), προσαρμογή σε όλες τις θύρες και υψηλή απομόνωση ανάμεσα στις θύρες εξόδου.



Σχήμα 3.15: Η μάσκα ενός τυπικού τρίθυρου διαιρέτη ισχύος, ενός σταδίου

Αντικαθιστώντας τους δύο μετασχηματιστές $\lambda/4$ με τα ισοδύναμα κυκλώματα (π) χωρητικών και επαγωγικών διακριτών στοιχείων (L, C), καταλήγουμε στο ισοδύναμο κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος, ενός σταδίου, απο διακριτά στοιχεία, που απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα [12]:

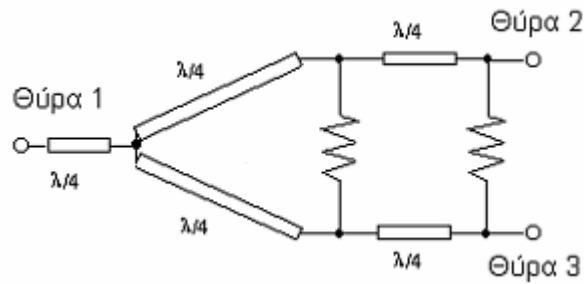


Σχήμα 3.16: Το ισοδύναμο κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος ενός σταδίου, απο διακριτά στοιχεία

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αυτό το κύκλωμα είναι ισοδύναμο του αρχικού, για μία κεντρική συχνότητα f_0 . Συνεπώς, το εύρος λειτουργίας του, περιορίζεται σε μια στενή περιοχή γύρω απο την κεντρική συχνότητα f_0 . Επιπλέον, τα ισοδύναμα

κυκλώματα (π) χωρητικών και επαγωγικών διακριτών στοιχείων (L, C), επιδεικνύουν συμπεριφορά βαθυπερατού φίλτρου απορρίπτοντας τις υψηλές συχνότητες. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να είναι επιθυμητή, εάν η εφαρμογή απαιτεί φιλτράρισμα των αρμονικών συνιστωσών.

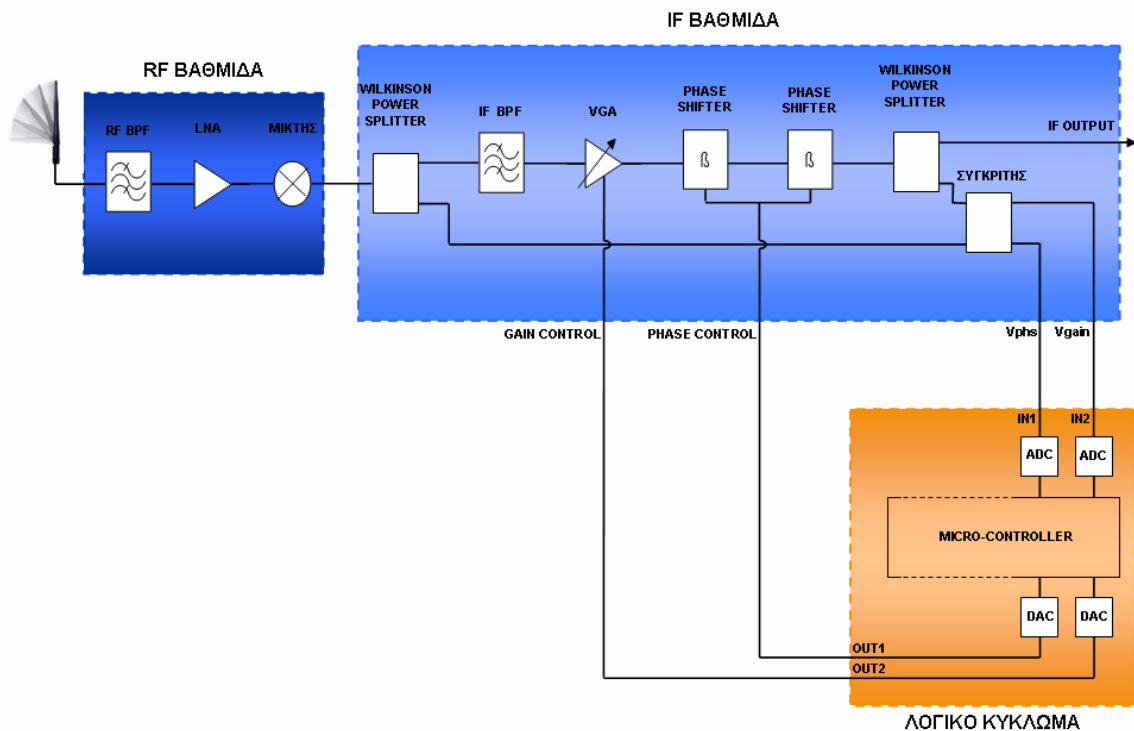
Προσθέτοντας δύο επιπλέον μετασχηματιστές $\lambda/4$, προκύπτει το κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος με δύο στάδια, που απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα. Το νέο κύκλωμα διαθέτει αυξημένο εύρος λειτουργίας. Με αυτόν τον τρόπο θα επιδιώξουμε να καλύψουμε τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής για λειτουργία σε εύρος συχνοτήτων 100 MHz – 200 MHz.



Σχήμα 3.17: Ιδανικός τρίθυρος διαιρέτης ισχύος, με δύο στάδια, που χρησιμοποιεί μετασχηματιστές $\lambda/4$

3.3 Διασύνδεση των δομικών κυκλωμάτων

Με κατάλληλη διασύνδεση των δομικών κυκλωμάτων που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, προκύπτει η βαθμίδα επεξεργασίας σήματος ενδιάμεσων συχνοτήτων. Προσθέτοντας το λογικό κύκλωμα, τη βαθμίδα ραδιοσυχνότητας (Radio Frequencies, RF) και ένα κατάλληλο δίπολο πριν από αυτή προκύπτει το λειτουργικό διάγραμμα του δέκτη που απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 3.18: Το λειτουργικό δομικό διάγραμμα του δέκτη

Στην RF βαθμίδα το σήμα που συλλέγεται από το δίπολο φιλτράρεται ώστε να απαλλαγεί από το θόρυβο, ενισχύεται ώστε να είναι κατάλληλο για επεξεργασία και στη συνέχεια μετατίθεται στη ζώνη συχνοτήτων από 100 MHz έως 200 MHz.

Στην είσοδο της IF βαθμίδας το σήμα διαχωρίζεται σε δύο ίσα μέρη μέσω του Wilkinson Power Splitter, από τα οποία το ένα μεταφέρεται απευθείας στη μια είσοδο του συγκριτή ενώ το δεύτερο μεταφέρεται στη δεύτερη είσοδο του συγκριτή αφού πρώτα υποστεί ενίσχυση από το VGA (Voltage Gain Amplifier, Ενισχυτής ελεγχόμενος από τάση) και στροφή φάσης από τους δύο Phase Shifters. Οι δύο έξοδοι του συγκριτή δίνουν την πληροφορία για το κέρδος και τη στροφή φάσης που έχει εισάγει η IF βαθμίδα και τροφοδοτούν τις εισόδους του λογικού κυκλώματος που συνθέτει το βρόχο ανάδρασης.

Κεφάλαιο 4 – Σχεδίαση

4.1 Σχεδίαση των δομικών κυκλωμάτων

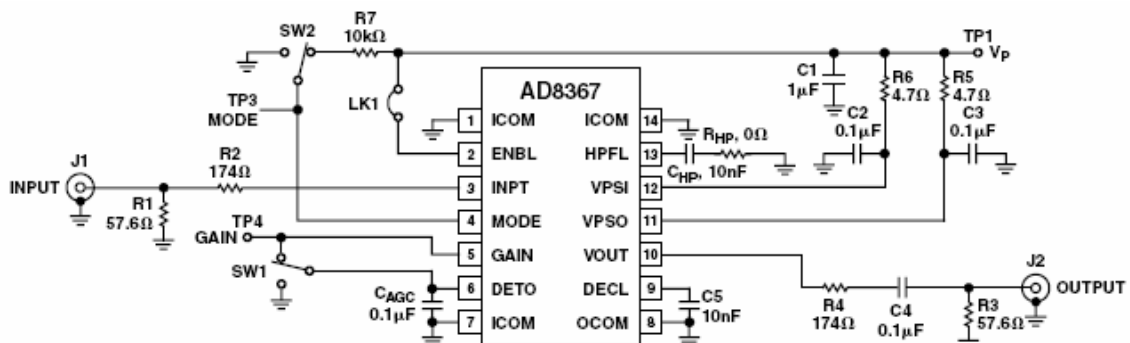
Η σχεδίαση των κυκλωμάτων έγινε μέσω του προγράμματος, **HP ADVANCED DESIGN SYSTEM 2002** της εταιρίας **Agilent Technologies**. Το πρόγραμμα, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη, να προσομοιώσει ολόκληρη τη διαδρομή του ηλεκτρικού σήματος σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Στο περιβάλλον σχεδίασης του προγράμματος, ο χρήστης, μπορεί να διαμορφώσει τα σχηματικά διαγράμματα των κυκλωμάτων, να δημιουργήσει μεταβλητές και εξισώσεις που να τα χαρακτηρίζουν, να προσομοιώσει και να βελτιστοποιήσει τη λειτουργία τους και να μελετήσει τα δεδομένα της προσομοίωσης. Επίσης, μπορεί να δημιουργήσει το αναλυτικό σχέδιο για τη διάταξη παραγωγής εργοστασίου (layout). Στο παράρτημα 2, γίνεται αναφορά στο περιβάλλον του προγράμματος καθώς και στα εργαλεία και στις ρυθμίσεις που χρησιμοποιήσαμε κατά τη σχεδίαση και τις προσομοιώσεις.

4.1.1 Το κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους

Το κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους είναι αυτό το οποίο προσφέρει την απαιτούμενη ενίσχυση στο σήμα ώστε να καταστεί κατάλληλο για επεξεργασία. Για τις ανάγκες της παρούσας εφαρμογής επιλέχτηκε ο ενισχυτής μεταβλητού κέρδους **AD8367** [13] της εταιρείας **Analog Devices**.

Ο **AD8367** είναι ένας γενικής χρήσης ενισχυτής μεταβλητού κέρδους (Variable Gain Amplifier, VGA) κατάλληλος για χρήση σε μεγάλη ποικιλία εφαρμογών όπου είναι επιθυμητός ο έλεγχος του κέρδους από τάση. Αν και έχει εύρος ζώνης 500 MHz, η χρήση του δεν περιορίζεται στην επεξεργασία σήματος υψηλών συχνοτήτων. Η ακριβής, σταθερή σε σχέση με τη θερμοκρασία και την τροφοδοσία, γραμμική σε dB κλίμακωσή του είναι πολύτιμη όταν είναι σημαντικό η εξάρτηση της απόκρισης από την τάση ελέγχου να είναι πιο ισχυρή από ότι στις συνήθεις περιπτώσεις χρήσης VGA αυτού του είδους.

Στο επόμενο σχήμα [13] φαίνονται οι βασικές συνδέσεις του **AD8367**:



Σχήμα 4.1: Βασικές συνδέσεις στην κατάσταση λειτουργίας κέρδους ελεγχόμενου από τάση

Στον πίνακα 4.1, περιέχονται τα διακριτά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στη συνδεσμολογία του σχήματος 4.1, καθώς και μια σύντομη περιγραφή της λειτουργίας τους.

Εξάρτημα	Λειτουργία	Τιμή
R1, R2	Διεπαφή εισόδου: οι R1 και R2 χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό ενός L-pad δικτύου που προσαρμόζει τη σύνθετη αντίσταση. Το ευρυζωνικό δίκτυο προσαρμογής μετασχηματίζει μια πηγή 50 Ω ώστε να προσαρμόζει ένα φορτίο 200 Ω με 11.5 dB απώλεια παρεμβολής.	R1=57.6 Ω (Size 0603) R2=174 Ω (Size 0603)
R3, R4, C4	Διεπαφή εξόδου: οι R3 και R4 χρησιμοποιούνται για να μετασχηματίσουν έναν τερματισμό φορτίου 50 Ω ώστε να φαίνεται σα φορτίο 200 Ω με 11.5 dB απώλεια παρεμβολής. Ο πυκνωτής AC σύζευξης, C4, μπορεί να αυξηθεί ώστε να επιτευχθεί χαμηλότερη υψιπερατή συχνότητα γονάτου.	R3=57.6 Ω (Size 0603) R4=174 Ω (Size 0603) C4=0.1μF (Size 0603)
C1, C2, C3, R5, R6	Αποσύζευξη της τροφοδοσίας ισχύος: η ονομαστική αποσύζευξη τροφοδοσίας αποτελείται από έναν πυκνωτή προς τη γείωση τιμής 1 μF, μια αντίσταση 4.7 Ω σε σειρά, και έναν πυκνωτή προς τη γείωση τιμής 0.1 μF. Το ίδιο δίκτυο αποσύζευξης πρέπει να χρησιμοποιηθεί και στις δύο γραμμές τροφοδοσίας VPSI και VPSO.	C1=1μF (Size 0603) R5=R6=4.7 Ω (Size 0805) C2=C3=0.1μF (Size 0603)
C5	Εσωτερική αποσύζευξη τροφοδοσίας: ο πυκνωτής C5 παρέχει αποσύζευξη στο μέσο της τροφοδοσίας.(mid-supply decoupling)	C5=10 nF (Size 0603)
C _{HPFL}	Πυκνωτής φίλτρου: ο πυκνωτής HPFL καθορίζει την υψιπερατή συχνότητα γονάτου.	C _{HPFL} =0.1 μF (Size 0805)
R7	Φορτίο στον ακροδέκτη ENBL	R _{HP} =0 Ω (Size 0603) R7=10 kΩ (Size 0805)

Πίνακας 4.1: Διακριτά εξαρτήματα για τη συνδεσμολογία του σχήματος 4.1

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, παρατηρούμε ότι τα διακριτά εξαρτήματα R1, R2, R3, R4, C4 συνθέτουν τα κυκλώματα προσαρμογής στην είσοδο και στην έξοδο. Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία **Analog Devices**, οι αντιστάσεις R1, R2 στην είσοδο και R3, R4 στην έξοδο, συμμετέχουν στο σχηματισμό L-pad παθητικών δικτύων. Αυτά τα παθητικά δίκτυα στην είσοδο μετασχηματίζουν μια πηγή με σύνθετη αντίσταση 50 Ω ώστε να προσαρμόζει ένα φορτίο 200 Ω με 11.5 dB απώλεια παρεμβολής και στην έξοδο μετασχηματίζουν έναν τερματισμό φορτίου 50 Ω ώστε να φαίνεται σα φορτίο 200 Ω με 11.5 dB απώλεια παρεμβολής.

Εκτιμώντας τις επιπλέον απαιτήσεις της παρούσας εφαρμογής, που αποβλέπει σε εύρος ζώνης γραμμικής λειτουργίας της βαθμίδας ενδιάμεσων συχνοτήτων από 100 έως 200

MHz. Η σχεδίαση των προσαρμοστικών διατάξεων στην είσοδο και στην έξοδο, έγινε εξολοκλήρου από την αρχή δοκιμάζοντας διαφορετικές τεχνικές οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

Σύμφωνα με την ανάλυση του προηγούμενου κεφαλαίου, ο ενισχυτής μεταβλητού κέρδους, πρέπει να συνδεθεί σε πηγή και φορτίο που εμφανίζουν αντίσταση 200 Ω. Η διασύνδεση του VGA **AD8367** στα 50 Ω που απαιτεί η συγκεκριμένη εφαρμογή, επιτυγχάνεται παρεμβάλλοντας κατάλληλες προσαρμοστικές διατάξεις. Η σχεδίαση αυτών, εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις του συστήματος, όπως, το εύρος ζώνης, οι απώλειες, η θερμοκρασία θορύβου και το κέρδος.

Προκειμένου να μετασχηματίσουμε την αντίσταση εισόδου και την αντίσταση εξόδου από τα 200 Ω στα 50 Ω, υπάρχουν τρεις επιλογές:

- α) Η σχεδίαση και χρησιμοποίηση ωμικών και επαγωγικών παθητικών δικτύων, όπως φίλτρα, τα οποία μετασχηματίζουν τις αντιστάσεις εισόδου-εξόδου. Η συγκεκριμένη λύση, όμως, εμφανίζει προβλήματα, σε εφαρμογές ευρείας ζώνης.
- β) Η χρησιμοποίηση στην είσοδο και στην έξοδο T ή L-pads αντιστάσεων. Αυτά τα παθητικά δίκτυα αντιστάσεων εισάγουν επιπλέον απόσβεση στο κύκλωμα και έχουν σαν αποτέλεσμα, στην είσοδο, να αυξηθούν τα μεγέθη NF, IP3 και IP1dB, κατά ένα ποσοστό σε dB, αντίστοιχο της απόσβεσης που αυτά εισάγουν. Στην έξοδο, να μειωθούν τα μεγέθη, OIP3 και OP1dB κατά ένα ποσοστό σε dB, αντίστοιχο της απόσβεσης που εισάγουν και το NF κατά ένα μικρότερο ποσοστό. Αν τα παραπάνω είναι αποδεκτά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, τότε η χρησιμοποίηση στην είσοδο και στην έξοδο T ή L-pads αντιστάσεων, παρέχουν την πιο επίπεδη και προβλέψιμη απόκριση.
- γ) Η χρήση στην είσοδο και στην έξοδο, υψηλής ποιότητας μετασχηματιστών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, κατά τη σχεδίαση των προσαρμοστικών διατάξεων, δοκιμάστηκαν δύο διαφορετικές τεχνικές:

- Η χρησιμοποίηση στην είσοδο και στην έξοδο του VGA **AD8367**, L-pads.
- Η χρησιμοποίηση στην είσοδο και στην έξοδο του VGA **AD8367**, φίλτρων Chebyshev 5^{ης} τάξης.

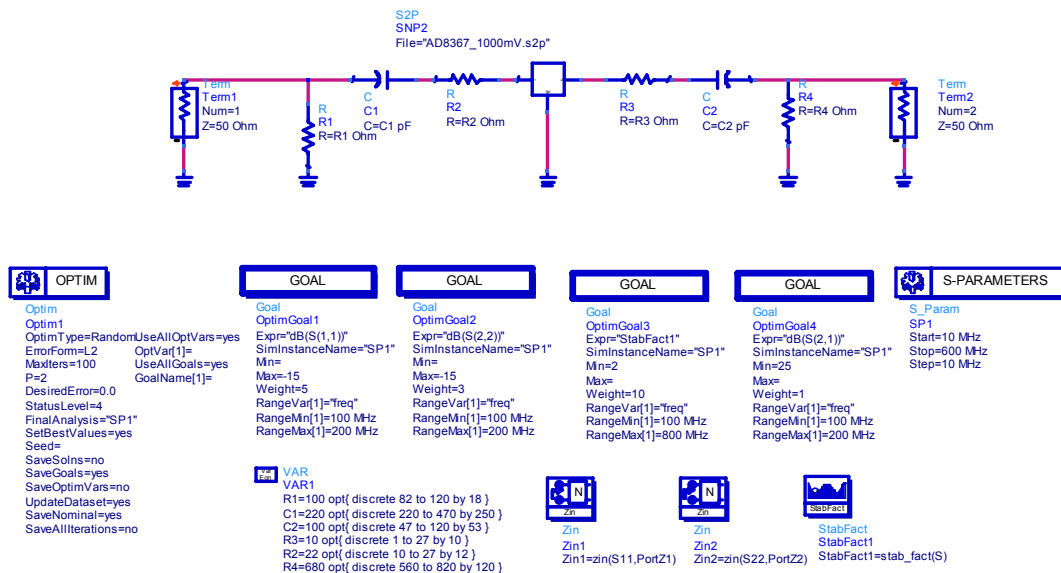
Για την προσομοίωση του κυκλώματος του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους, ώστε να ελέγξουμε την λειτουργία των προσαρμοστικών διατάξεων, απαιτείται ένα αρχείο δεδομένων που να περιέχει τις S – παραμέτρους (βλέπε παράγραφο Π.1.4) του ενισχυτή στο εύρος ζώνης λειτουργίας του. Αυτό το αρχείο πρέπει να είναι σε μορφή Touchstone (βλέπε παράγραφο Π.2.4) και παρέχεται από τον κατασκευαστή του ενισχυτή **AD8367**, την εταιρεία **Analog Devices**. Το συγκεκριμένο αρχείο, προκειμένου να ληφθεί υπόψη από τον προσομοιωτή, αποθηκεύεται στον υποκατάλογο Data του καταλόγου Project (βλέπε Παράρτημα 2) όπου δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της σχεδίασης.

Προσαρμογή του VGA AD8367 με χρήση L-pads

Από τις βιβλιοθήκες του προγράμματος **HP Advanced Design System** χρησιμοποιήθηκαν τα εξαρτήματα που περιέχονται στον επόμενο πίνακα:

Βιβλιοθήκη	Εξάρτημα	Περιγραφή
Lumped-Components	R	Ωμική αντίσταση
Lumped-Components	L	Πηνίο αυτεπαγωγής L
Lumped-Components	C	Πυκνωτής χωρητικότητας C
Simulation-S_Param	Term	Τερματισμός θύρας σύνθετης αντίστασης
Simulation-S_Param	S_Param	Προσωμοίωση S παραμέτρων
Simulation-S_Param	Zin	Σύνθετη αντίσταση θύρας εισόδου
Simulation-S_Param	StabFact	Παράγοντας ευστάθειας (K)
Data Items	S2P	Αρχείο S παραμέτρων διθύρου
Data Items	VAR	Μεταβλητές και εξισώσεις
Optim/Stat/Yield/DOE	Optim	Ονομαστική βελτιστοποίηση
Optim/Stat/Yield/DOE	Goal	Στόχος για βελτιστοποίηση ονομαστικού τύπου

Πίνακας 4.2: Αντικείμενα προσομοίωσης - προσαρμογή του VGA AD8367 με χρήση L-pads



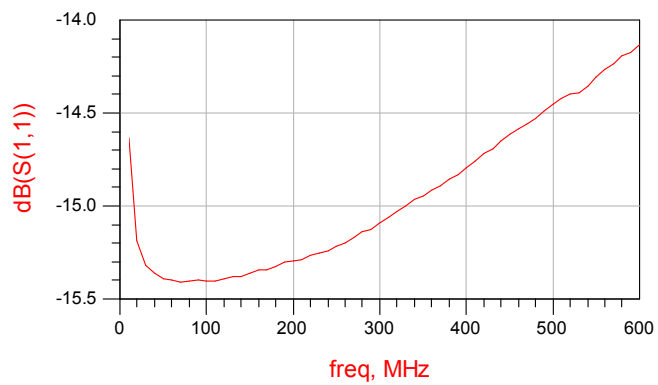
Σχήμα 4.2: Το κύκλωμα προσαρμογής του VGA AD8367 με χρήση L-pads

Απο τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων καταλήξαμε στις βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων στην είσοδο και έξοδο του κυκλώματος, που παρατίθενται στον επόμενο πίνακα:

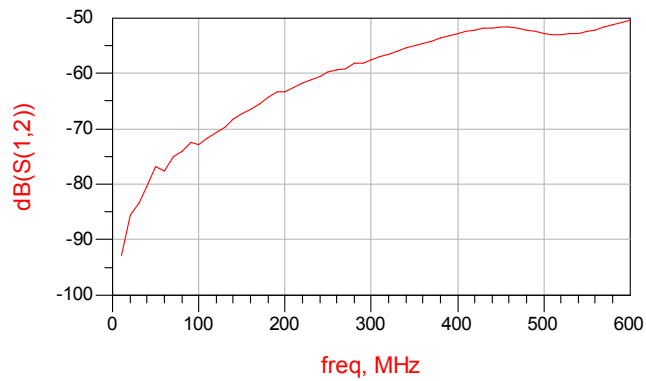
Είσοδος	Έξοδος
$R_1=100 \Omega$	$R_3=10 \Omega$
$R_2=22 \Omega$	$R_4=680 \Omega$
$C_1=220 \text{ pF}$	$C_2=100 \text{ pF}$

Πίνακας 4.3: Οι βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων στην είσοδο και στην έξοδο του κυκλώματος

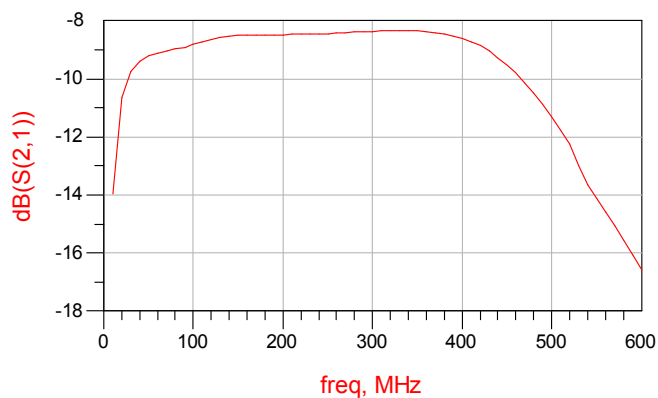
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων του πίνακα 4.3, φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα:



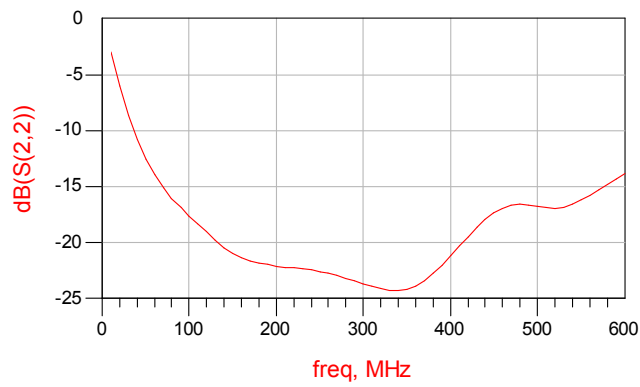
Γράφημα 4.1: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$



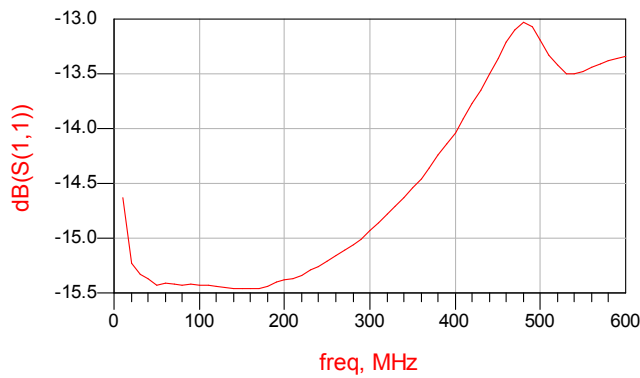
Γράφημα 4.2: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$



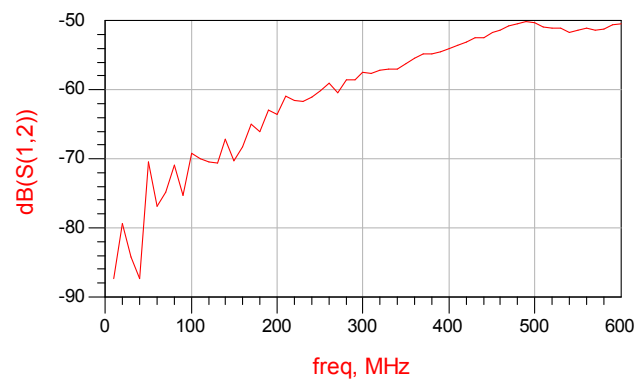
Γράφημα 4.3: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$



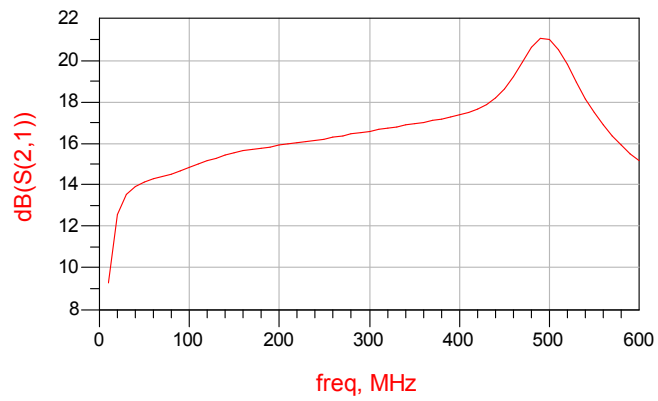
Γράφημα 4.4: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$



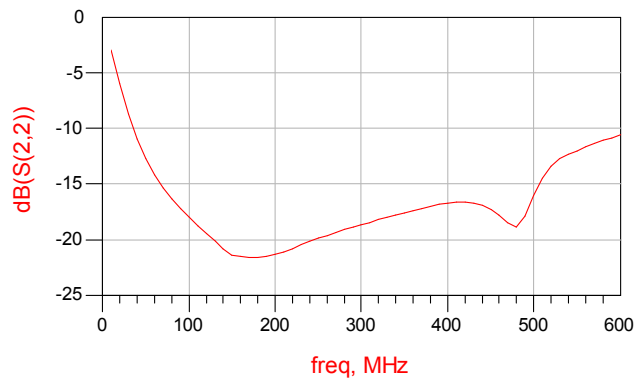
Γράφημα 4.5: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$



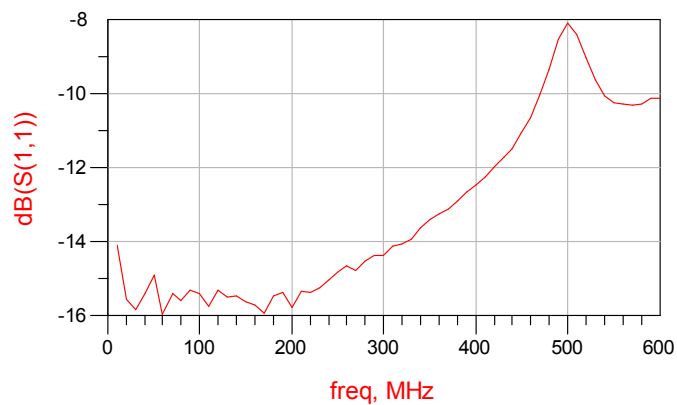
Γράφημα 4.6: Συντελεστής μετάδοσης S(1,2) για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$



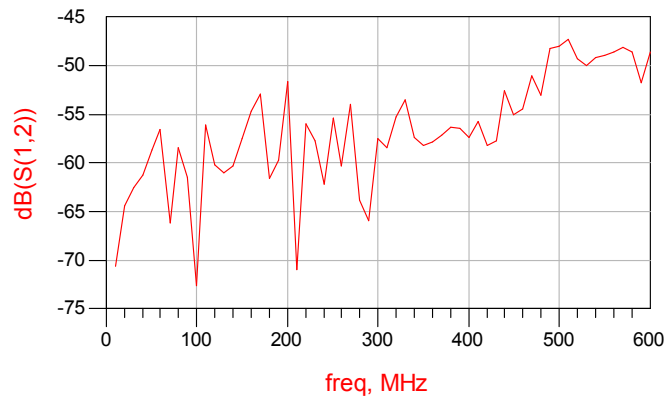
Γράφημα 4.7: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$



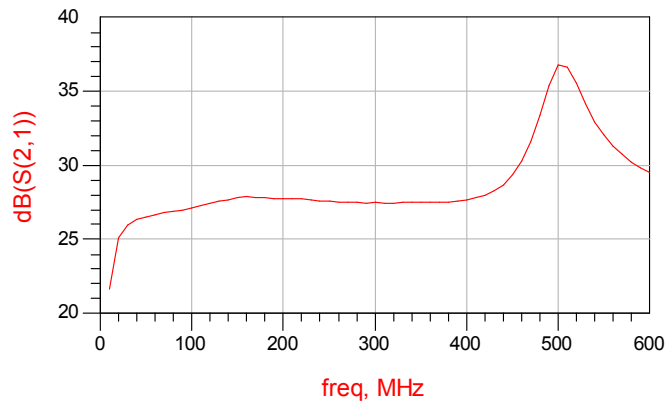
Γράφημα 4.8: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$



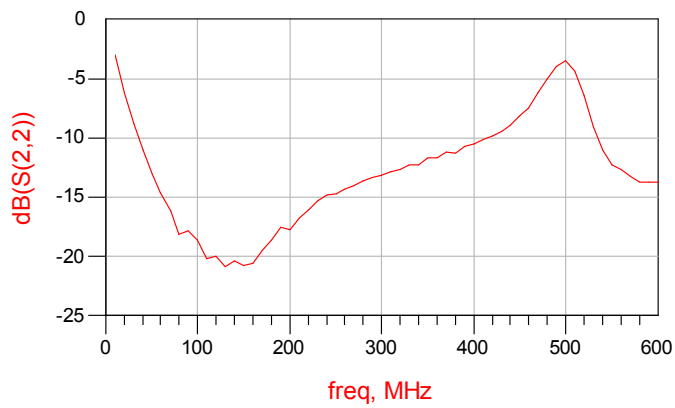
Γράφημα 4.9: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



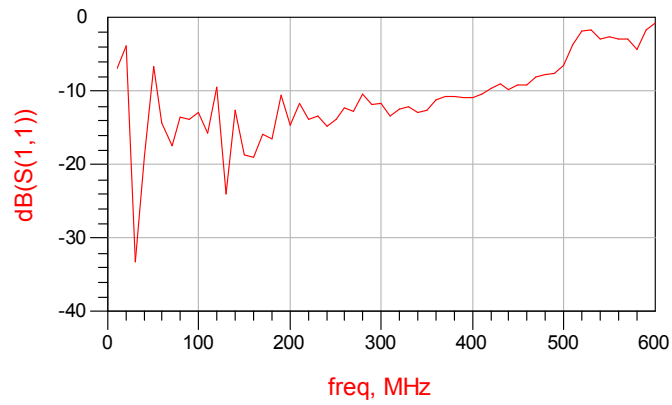
Γράφημα 4.10: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0.75 V$



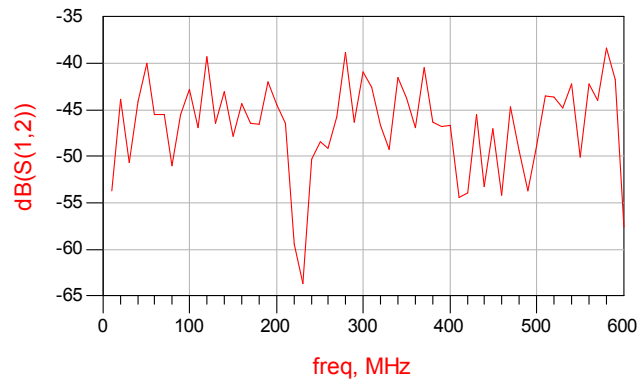
Γράφημα 4.11: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0.75 V$



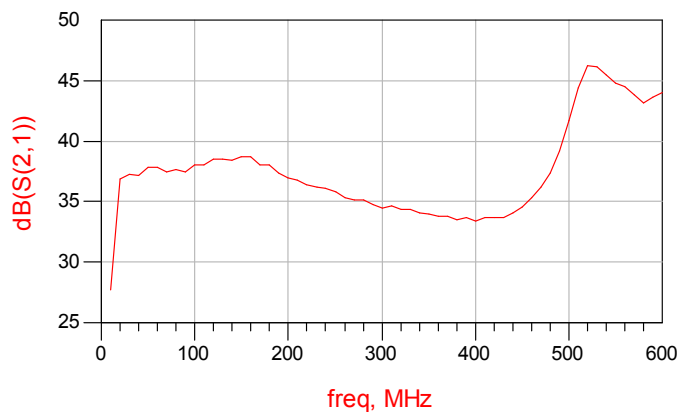
Γράφημα 4.12: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 0.75 V$



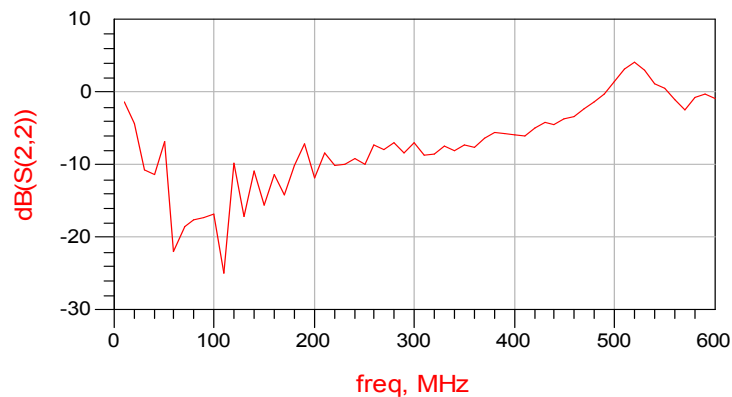
Γράφημα 4.13: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$



Γράφημα 4.14: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$



Γράφημα 4.15: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$



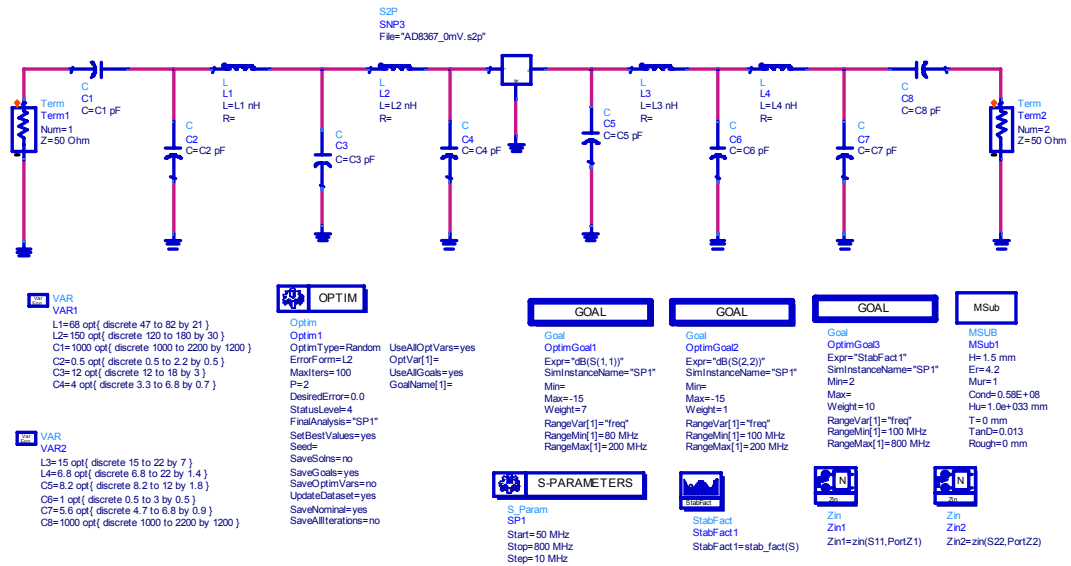
Γράφημα 4.16: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{gain} = 1 V$

Προσαρμογή του VGA AD8367 με χρήση φίλτρων Chebyshev 5^{ης} τάξης

Απο τις βιβλιοθήκες του προγράμματος **HP Advanced Design System** χρησιμοποιήθηκαν τα εξαρτήματα που περιέχονται στον επόμενο πίνακα:

Βιβλιοθήκη	Εξάρτημα	Περιγραφή
Lumped-Components	R	Ωμική αντίσταση
Lumped-Components	L	Πηνίο αυτεπαγωγής L
Lumped-Components	C	Πυκνωτής χωρητικότητας C
Simulation-S_Param	Term	Τερματισμός θύρας σύνθετης αντίστασης
Simulation-S_Param	S_Param	Προσωμοίωση S παραμέτρων
Simulation-S_Param	Zin	Σύνθετη αντίσταση θύρας εισόδου
Simulation-S_Param	StabFact	Παράγοντας ευστάθειας (K)
Data Items	S2P	Αρχείο S παραμέτρων διθύρου
Data Items	VAR	Μεταβλητές και εξισώσεις
Optim/Stat/Yield/DOE	Optim	Ονομαστική βελτιστοποίηση
Optim/Stat/Yield/DOE	Goal	Στόχος για βελτιστοποίηση ονομαστικού τύπου

Πίνακας 4.4 : Αντικείμενα προσομοίωσης - προσαρμογή του VGA AD8367 με χρήση φίλτρων Chebyshev 5^{ης} τάξης



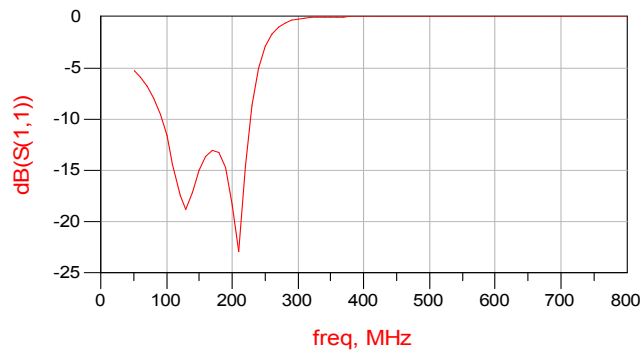
Σχήμα 4.3: Το κύκλωμα προσαρμογής του VGA AD8367 με χρήση φίλτρου Chebyshev 5^{ης} τάξης

Απο τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων καταλήξαμε στις βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων στην είσοδο και έξοδο του κυκλώματος, που παρατίθενται στον επόμενο πίνακα:

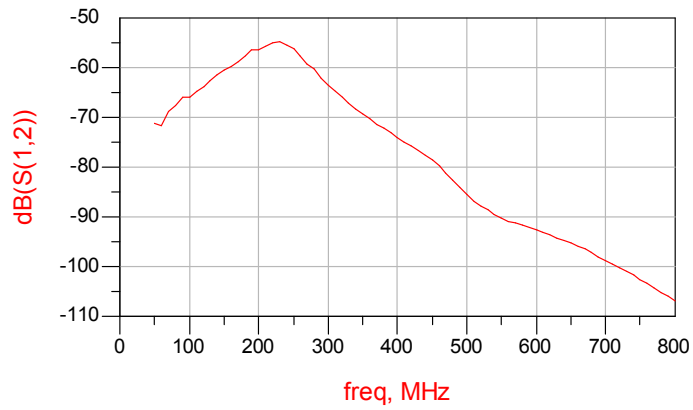
Είσοδος	Έξοδος
$L_1=68$ nH (size 0603)	$L_3=33$ nH (size 0603)
$L_2=120$ nH (size 0603)	$L_4=10$ nH (size 0603)
$C_1=1000$ pF (size 0603)	$C_5=8.2$ pF (size 0603)
$C_2=4$ pF (size 0603)	$C_6=3$ pF (size 0603)
$C_3=15$ pF (size 0603)	$C_7=4.7$ pF (size 0603)
$C_4=4.7$ pF (size 0603)	$C_8=1000$ pF (size 0603)

Πίνακας 4.5: Οι βέλτιστες τιμές των διακριτών αντικειμένων στην είσοδο και έξοδο του κυκλώματος προσαρμογής με χρήση φίλτρων Chebyshev 5^{ης} τάξης

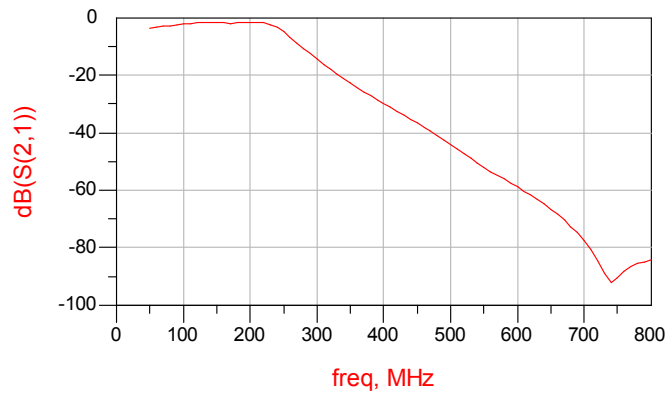
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων του πίνακα 4.5, φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα:



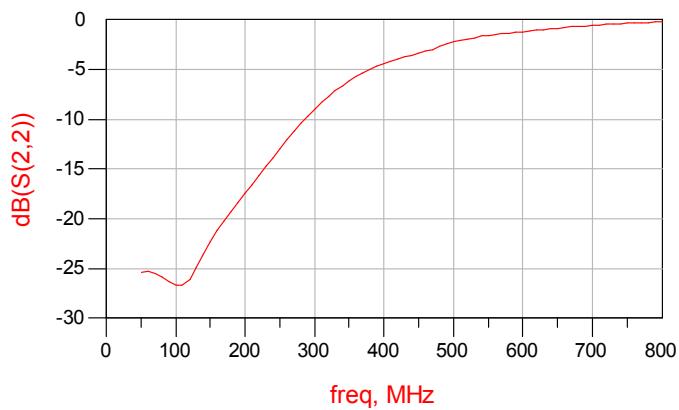
Γράφημα 4.17: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{gain} = 0$ V



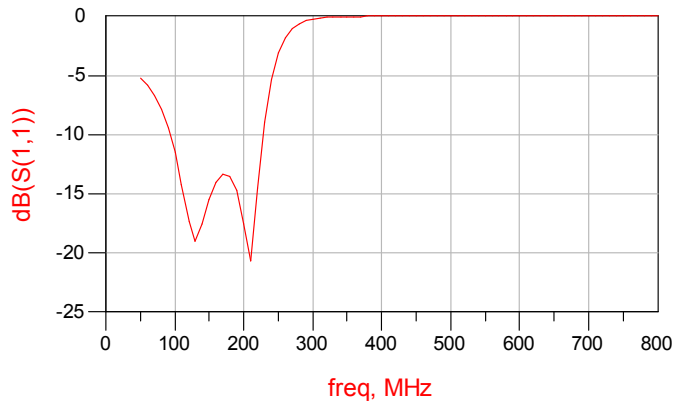
Γράφημα 4.18: Συντελεστής μετάδοσης S(1,2) για $V_{gain} = 0$ V



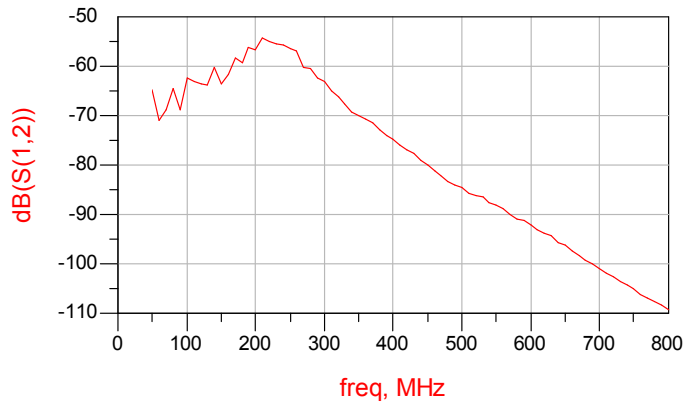
Γράφημα 4.19: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{gain} = 0$ V



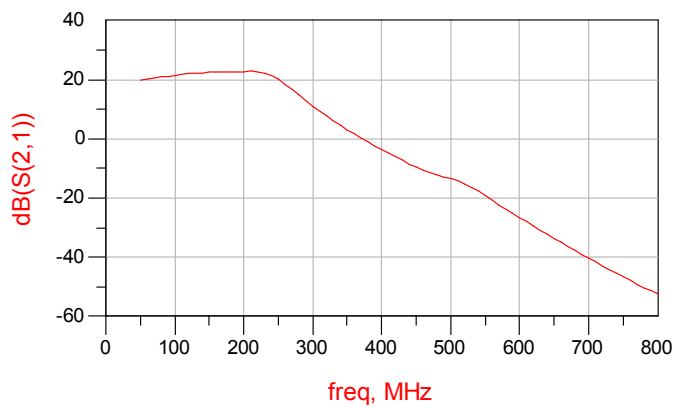
Γράφημα 4.20: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{gain} = 0$ V



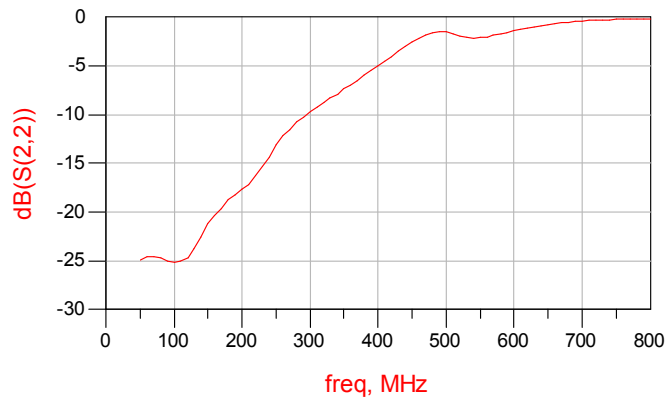
Γράφημα 4.21: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0.5 V$



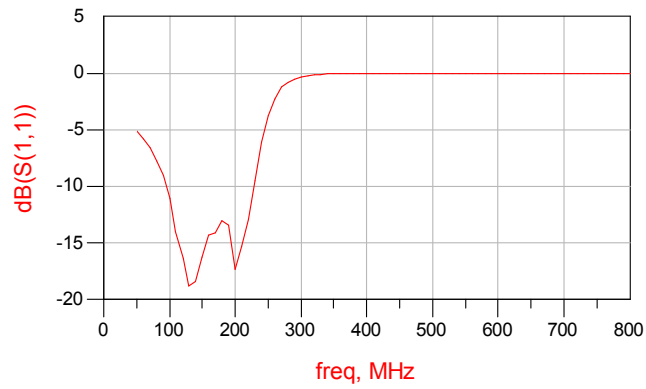
Γράφημα 4.22: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0.5 V$



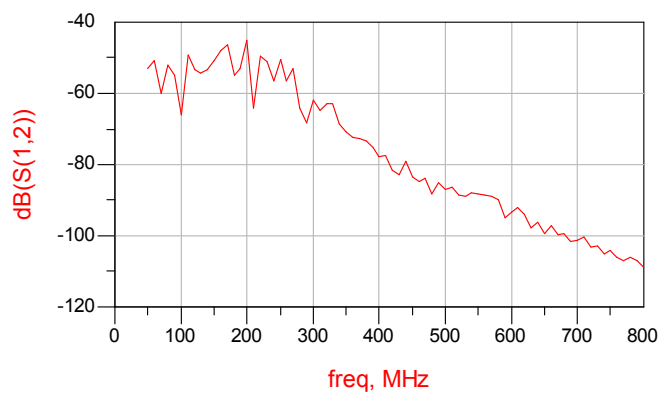
Γράφημα 4.23: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0.5 V$



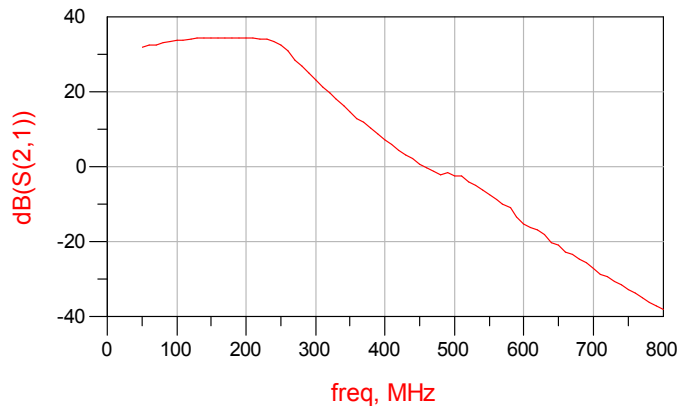
Γράφημα 4.24: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$



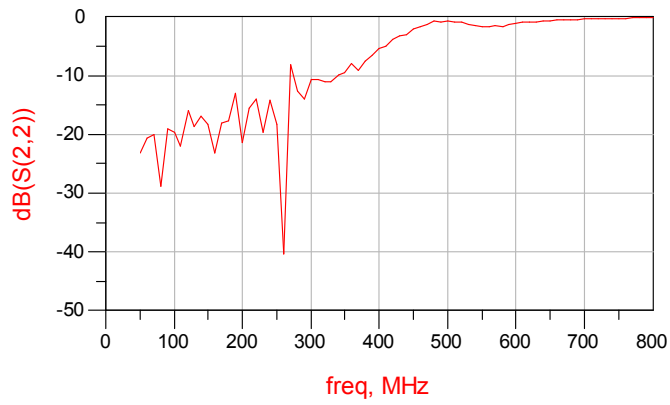
Γράφημα 4.25: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



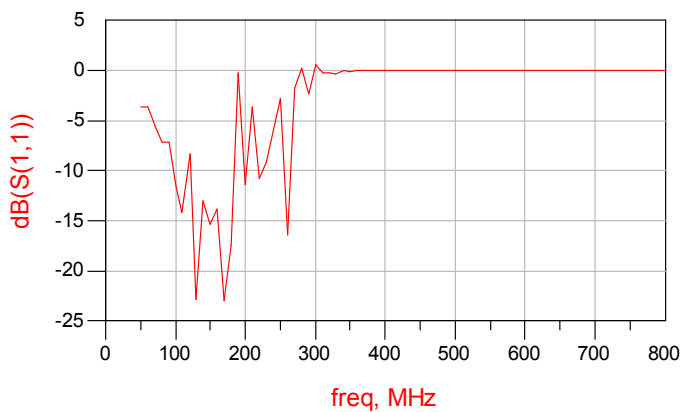
Γράφημα 4.26: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



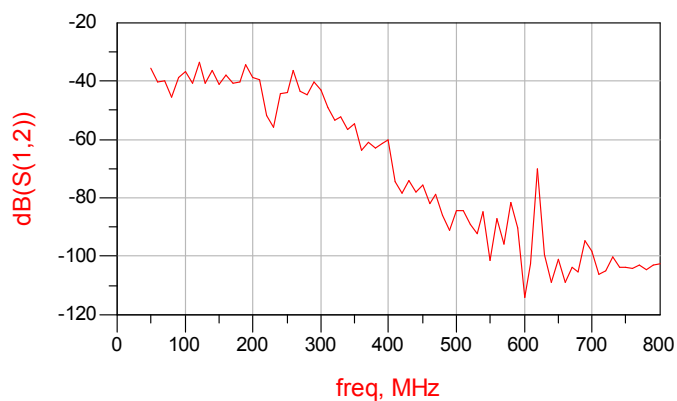
Γράφημα 4.27: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



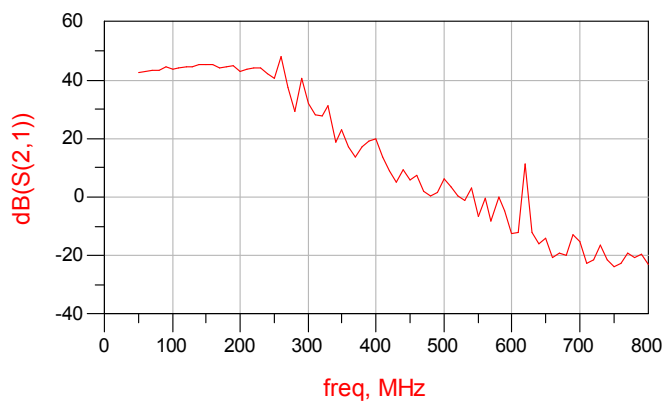
Γράφημα 4.28: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



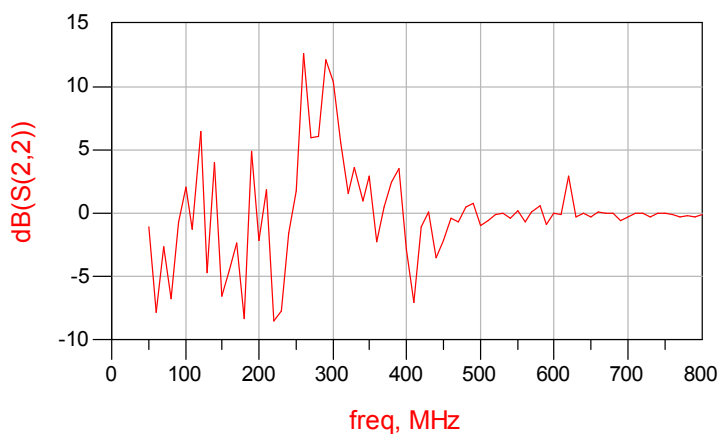
Γράφημα 4.29: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$



Γράφημα 4.30: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$



Γράφημα 4.31: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$



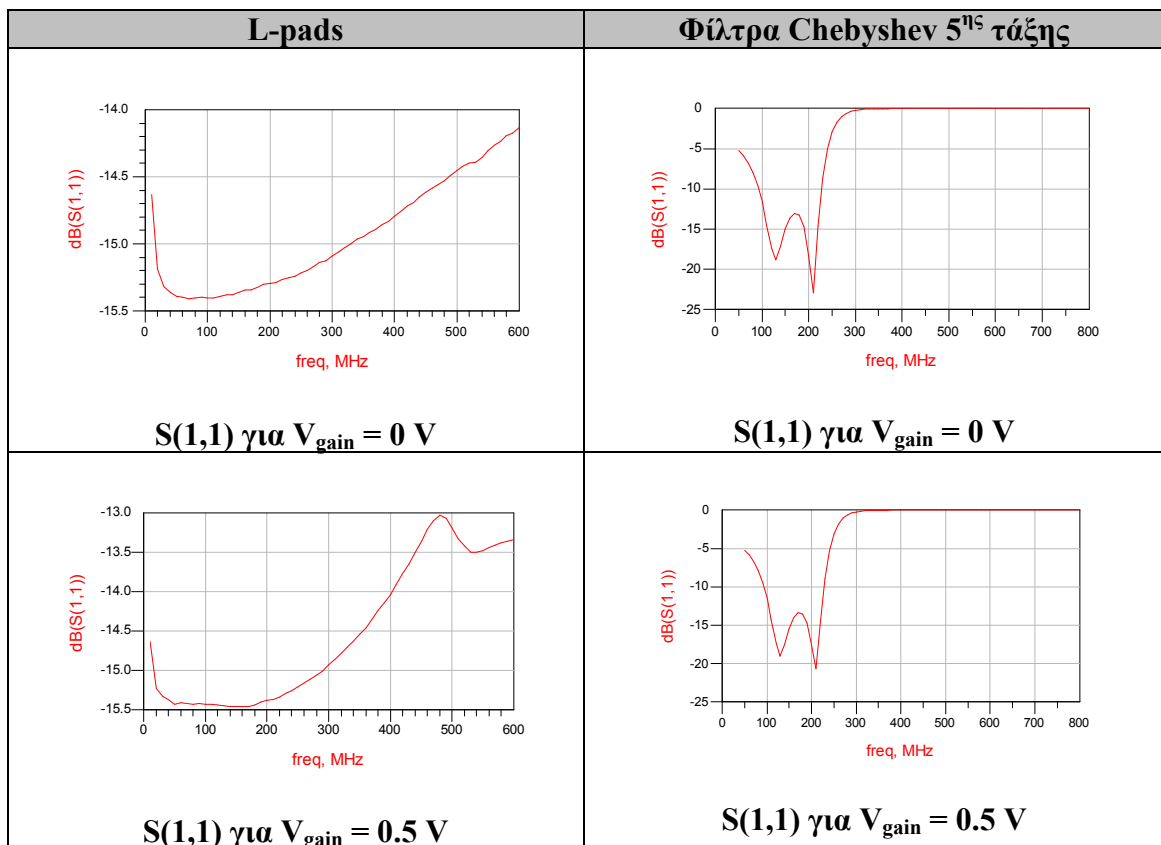
Γράφημα 4.32: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$

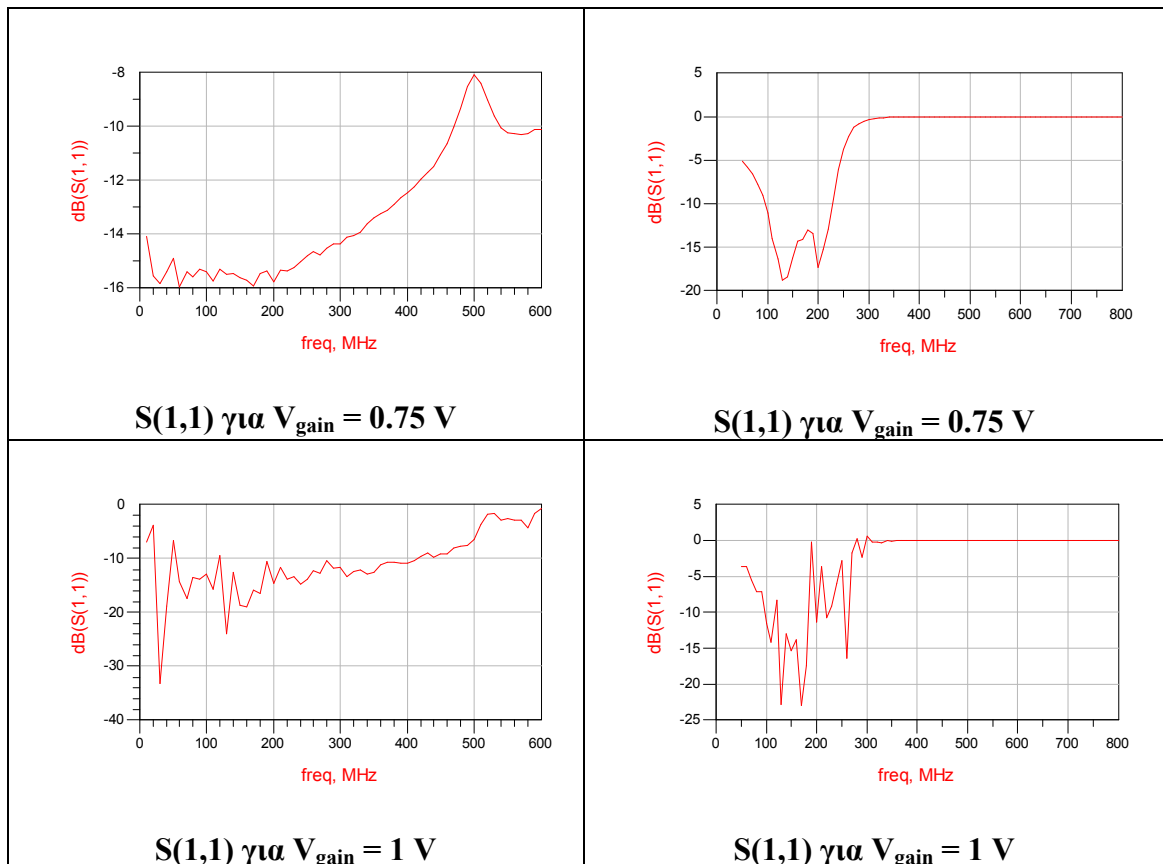
Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα και συγκρίνοντας τη συμπεριφορά των δύο κυκλωμάτων που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνικές προσαρμογής, μπορούμε να συνοψίσουμε στα εξής:

1) Παρατηρώντας τα γραφήματα που περιγράφουν τη συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ (dB) συναρτήσει της συχνότητας (MHz) για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης (V_{gain}), προκύπτουν τα εξής:

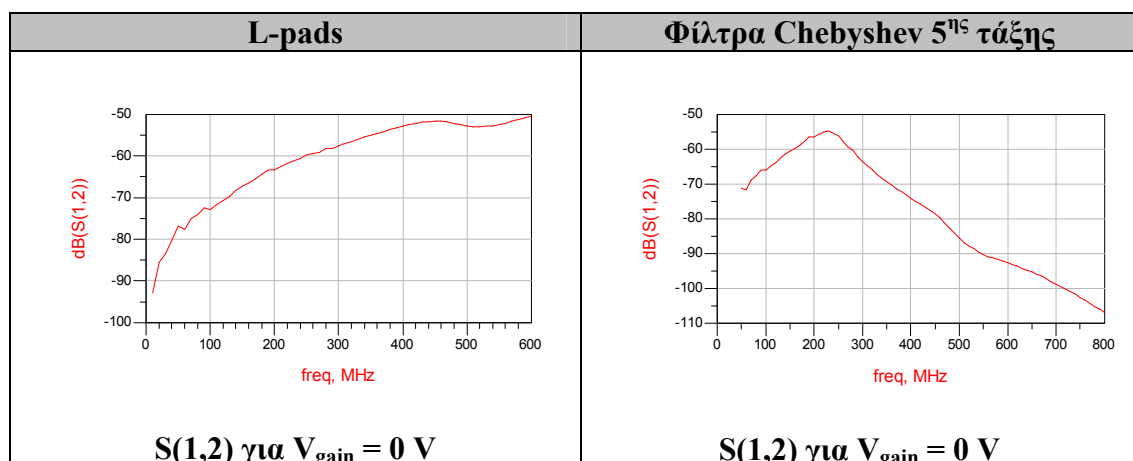
- Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads, εμφανίζει για όλες τις τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης, λιγότερες ανακλάσεις και πιο επίπεδη συμπεριφορά στο εύρος λειτουργίας του κυκλώματος (100 MHz - 200 MHz).
- Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο φίλτρα Chebyshev 5^{ης} τάξης, εμφανίζει για υψηλές τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης (κοντά στο $V_{gain} = 1$ V), σημαντικές ανακλάσεις κοντά στα 100 MHz και 200 MHz.
- Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads, εμφανίζει ικανοποιητική λειτουργία με συντελεστή ανάκλασης στην είσοδο μικρότερη των -10 dB ακόμα και για τη μέγιστη τιμή της τάσης ελέγχου ενίσχυσης.

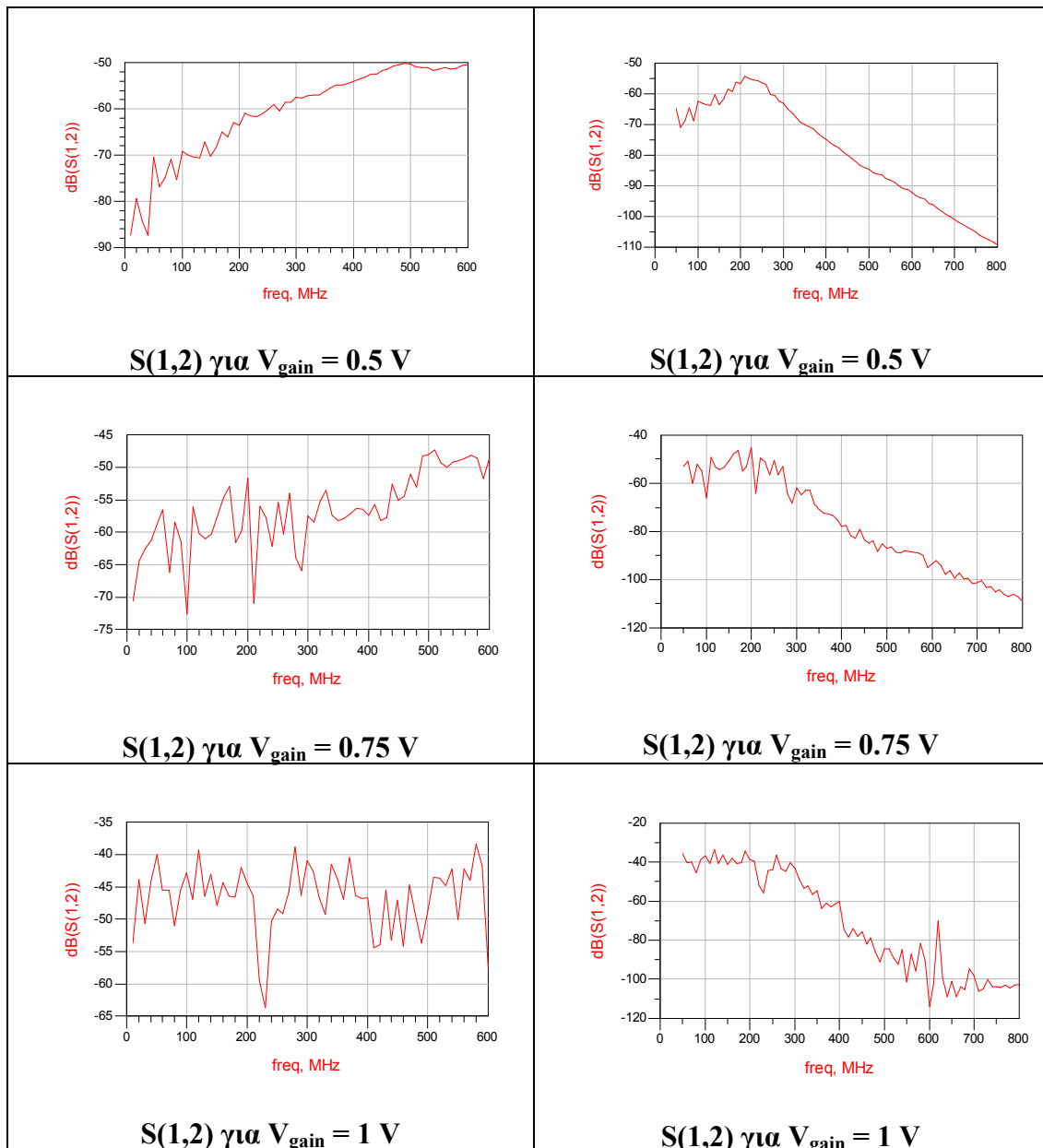




2) Παρατηρώντας τα γραφήματα που περιγράφουν τη συμπεριφορά του συντελεστή μετάδοσης ισχύος από τη θύρα 2 στη θύρα 1, $S(1,2)$ (dB) συναρτήσει της συχνότητας (MHz) για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης (V_{gain}), προκύπτουν τα εξής:

- Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads, εμφανίζει για όλες τις τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης, χαμηλότερες τιμές του συντελεστή μετάδοσης ισχύος από τη θύρα 2 στη θύρα 1 στο εύρος λειτουργίας του κυκλώματος (100 MHz - 200 MHz) σε σύγκριση με το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο φίλτρα Chebyshev 5^{ης} τάξης. Αυτό καθιστά το πρώτο κύκλωμα καταλληλότερο σε σχέση με το δεύτερο.
- Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads, εμφανίζει συντελεστή μετάδοσης ισχύος από τη θύρα 2 στη θύρα 1 μικρότερη των 40 dB ακόμα και για τη μέγιστη τιμή της τάσης ελέγχου ενίσχυσης.

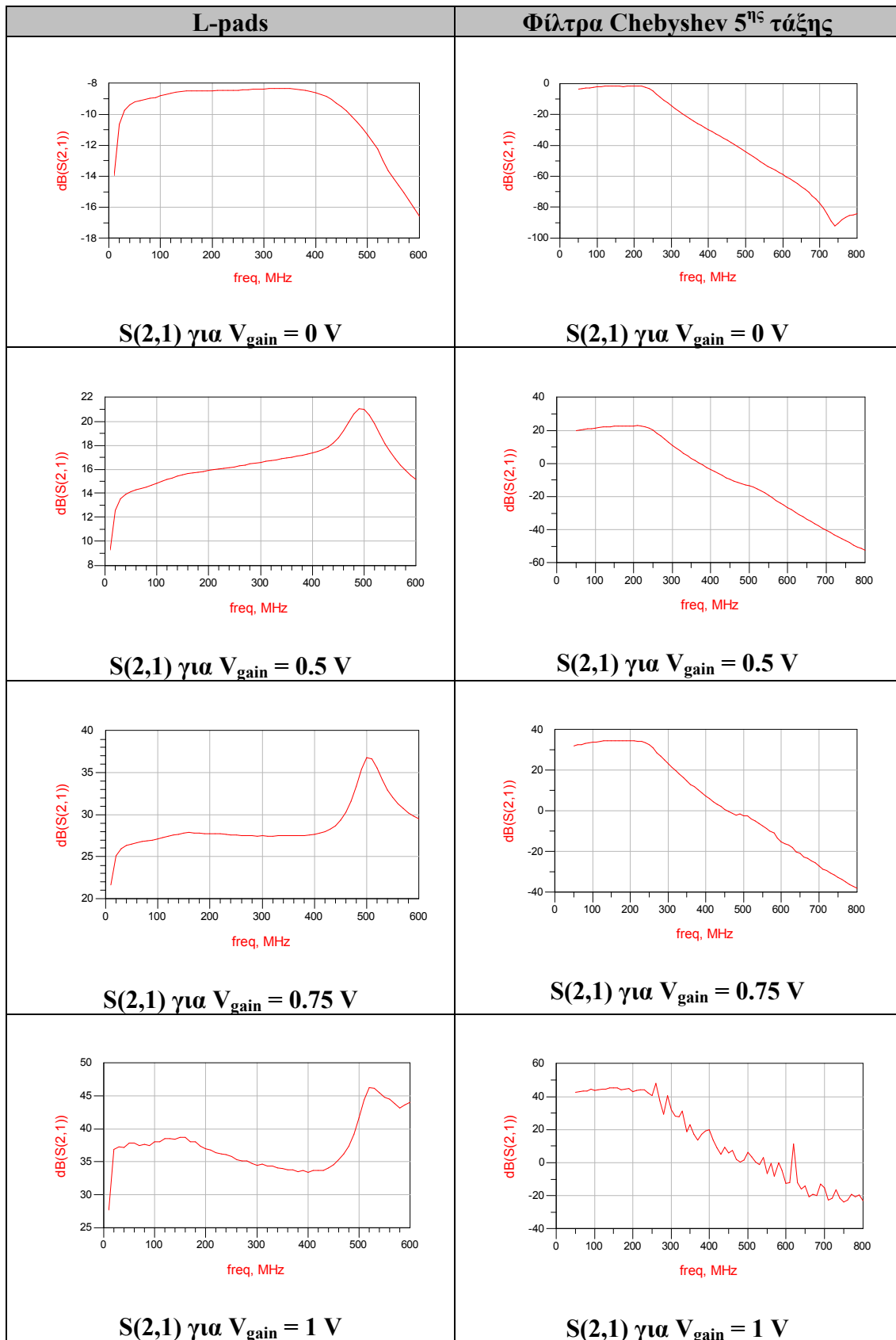




3) Παρατηρώντας τα γραφήματα που περιγράφουν τη συμπεριφορά του κέρδους ή συντελεστή μετάδοσης ισχύος από τη θύρα 1 στη θύρα 2 $S(2,1)$ (dB) συναρτήσει της συχνότητας (MHz) για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης (V_{gain}), προκύπτουν τα εξής:

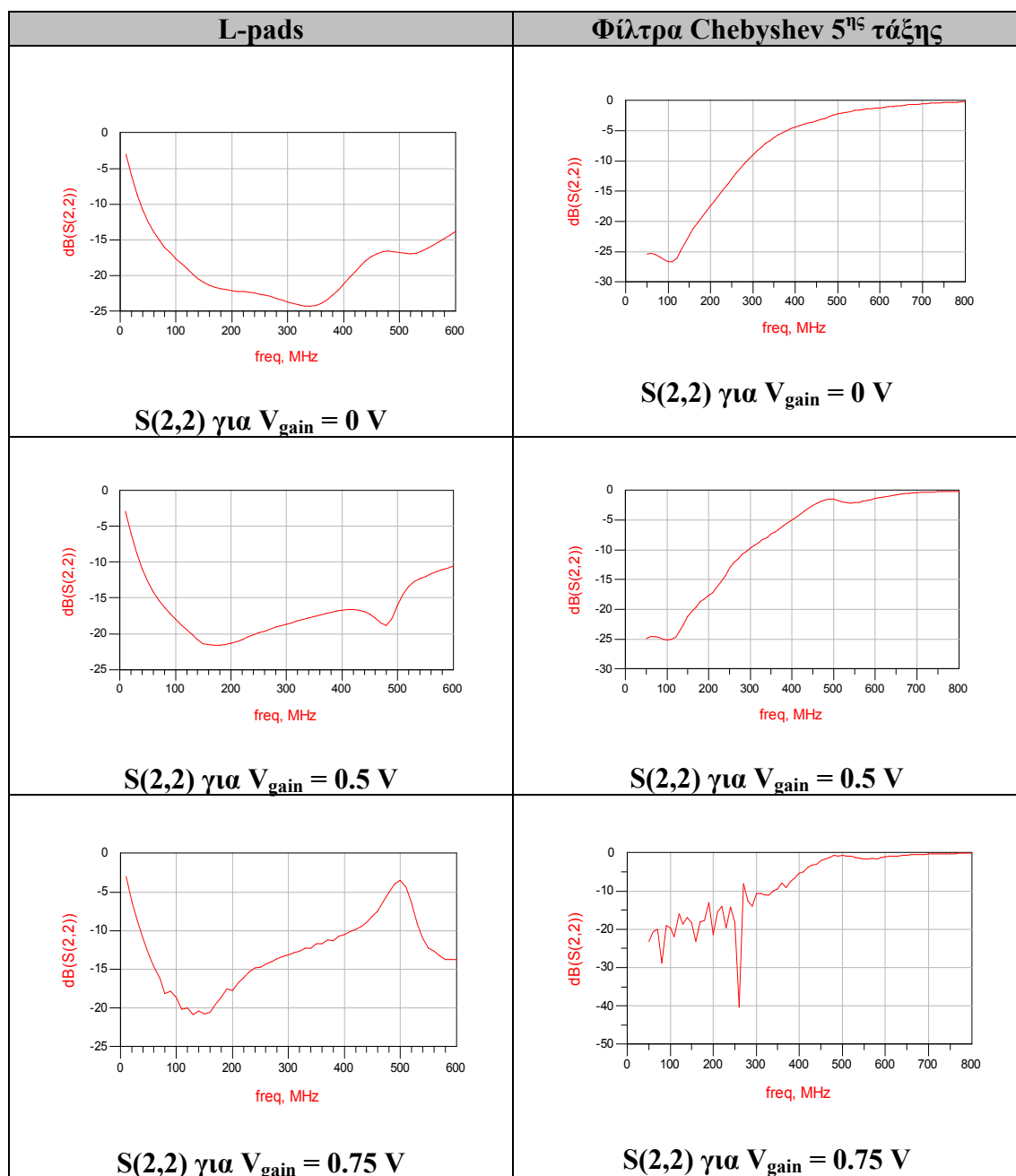
- Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο φίλτρα Chebyshev 5^{ης} τάξης, εμφανίζει υψηλότερες τιμές κέρδους για όλες τις τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης σε σύγκριση με το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads. Για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$ το κέρδος γίνεται μέγιστο $\approx 45.5 \text{ dB}$ στα 150 MHz. Αντίστοιχα, το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads, εμφανίζει μέγιστο κέρδος $\approx 39 \text{ dB}$, για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$, στα 150 MHz.
- Στο κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads, η υστέρηση του συντελεστή μετάδοσης ισχύος από τη θύρα 1 στη θύρα 2 $S(2,1)$, οφείλεται στην επιπλέον εξασθένιση που εισάγουν τα παθητικά δίκτυα αντιστάσεων.

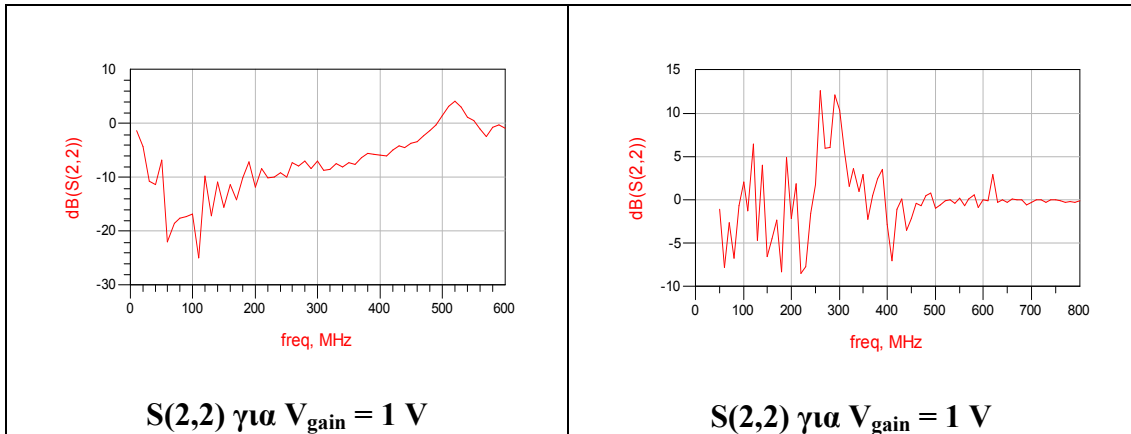
- Η απόκριση και των δύο κυκλωμάτων ήταν αρκετά επίπεδη σε όλο το εύρος λειτουργίας του κυκλώματος (100 MHz - 200 MHz).



4) Παρατηρώντας τα γραφήματα που περιγράφουν τη συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ (dB) συναρτήσει της συχνότητας (MHz) για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης (V_{gain}), προκύπτουν τα εξής:

- Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads, εμφανίζει για όλες τις τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης, λιγότερες ανακλάσεις και πιο επίπεδη συμπεριφορά στο εύρος λειτουργίας του κυκλώματος (100 MHz - 200 MHz).
- Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο φίλτρα Chebyshev 5^{ης} τάξης, εμφανίζει για υψηλές τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης (κοντά στο $V_{gain} = 1$ V), σημαντικές ανακλάσεις.
- Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads, εμφανίζει ικανοποιητική λειτουργία με χαμηλό συντελεστή ανάκλασης στην ακόμα και για τη μέγιστη τιμή της τάσης ελέγχου ενίσχυσης.





Ευστάθεια των κυκλωμάτων

Με γνωστή τη μήτρα S - παραμέτρων του διθύρου ανάμεσα στην είσοδο και στις θύρες μέτρησης, μπορούμε να ελέγξουμε αν ικανοποιούνται οι συνθήκες για ευστάθεια άνευ όρων.

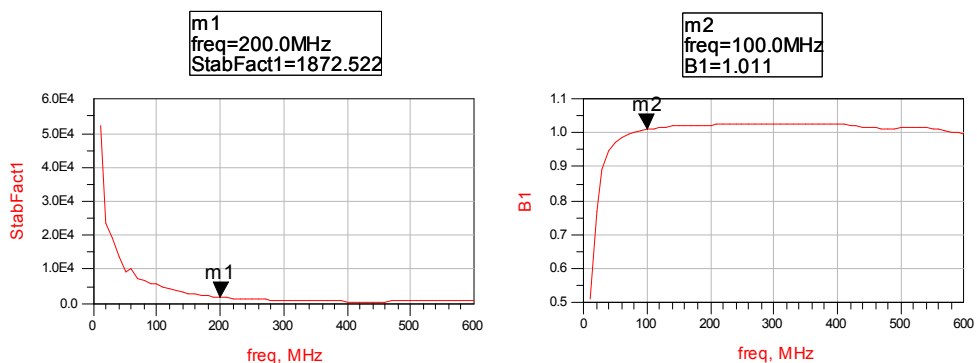
Ο παράγοντας ευστάθειας K (Rollett stability factor) δίνεται απο τη σχέση:

$$K = \{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21}|^2\} / \{2 \cdot |S_{12} \cdot S_{21}|\}$$

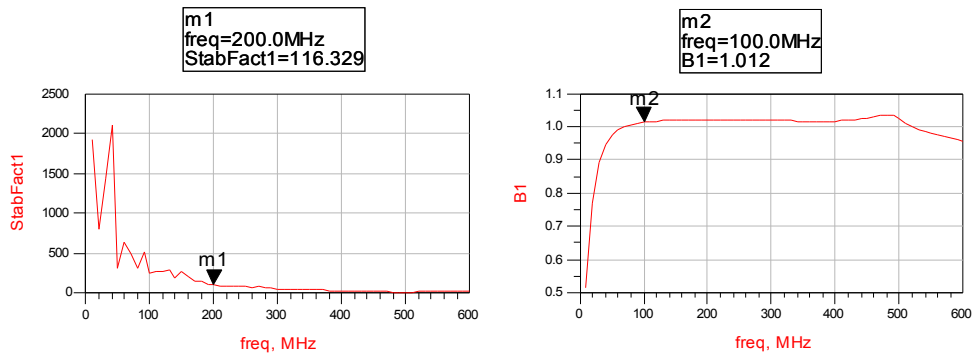
Για ευστάθεια άνευ όρων, οι συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται είναι $K > 1$ και $B_1 > 0$ [9], όπου:

$$B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21}|^2$$

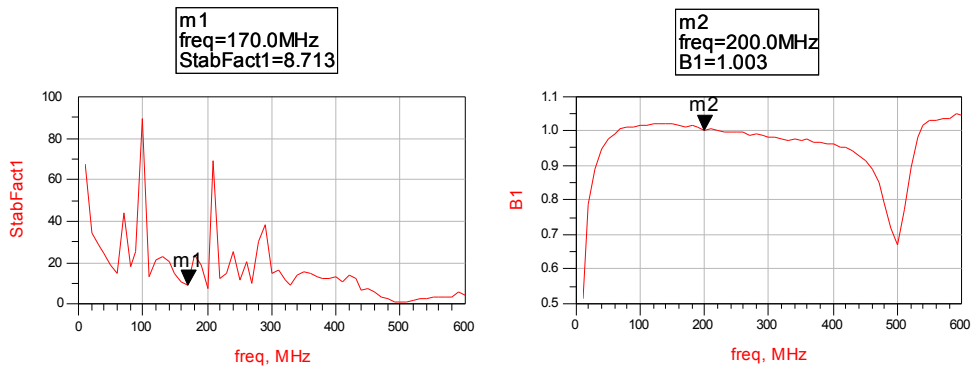
Στα γραφήματα που ακολουθούν μπορούμε να δούμε πως μεταβάλλονται ο παράγοντας ευστάθειας K και ο παράγοντας B_1 συναρτήσει της συχνότητας καθώς μεταβάλουμε την τάση ελέγχου ενίσχυσης. Μελετώντας τα παρακάτω γραφήματα θα βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την ευστάθεια των δύο κυκλωμάτων, αυτού που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads και αυτού που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο φίλτρα Chebyshev 5^{ης} τάξης.



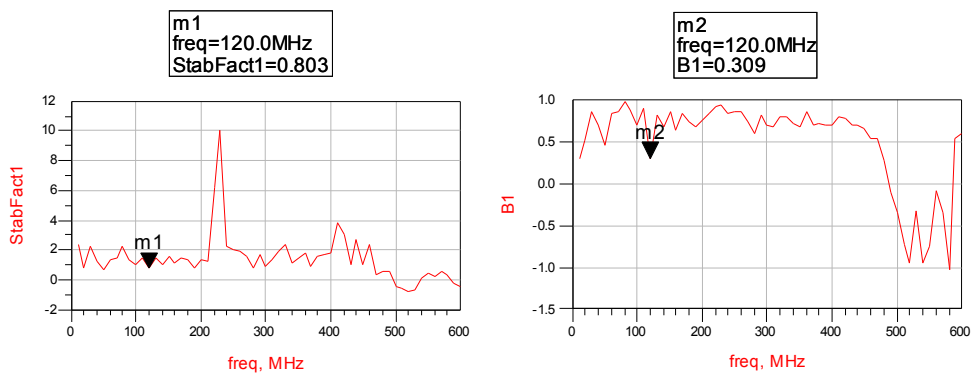
Γράφημα 4.33: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση L-pads για $V_{gain} = 0$ V



Γράφημα 4.34: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση L-pads για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$

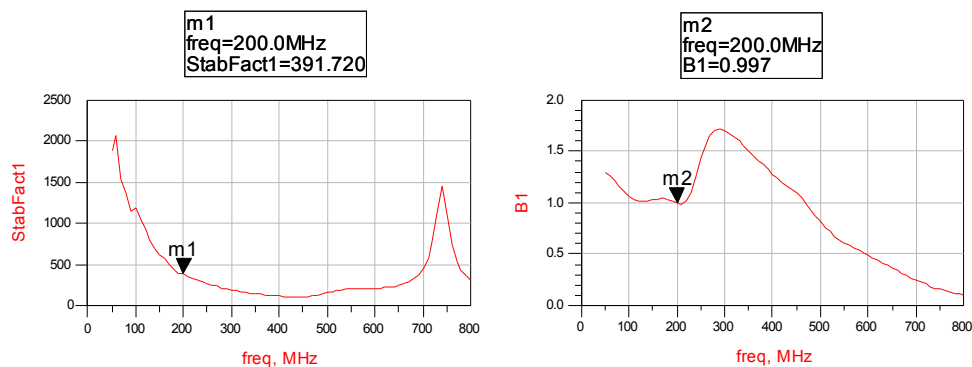


Γράφημα 4.35: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση L-pads για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$

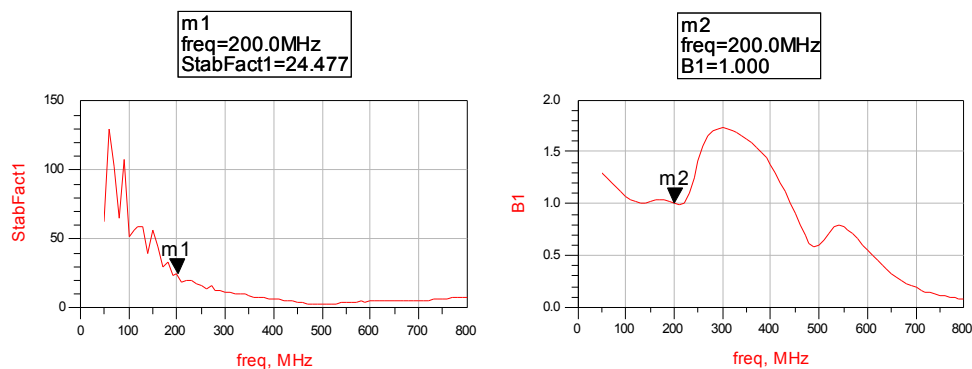


Γράφημα 4.36: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση L-pads για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$

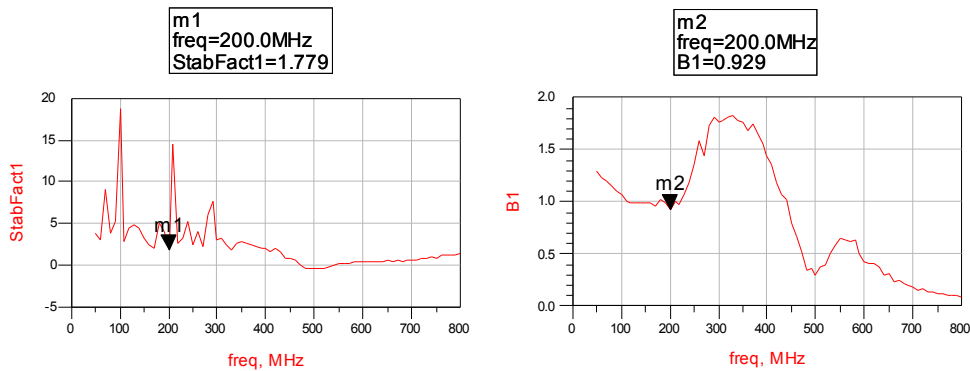
Απο τα παραπάνω γραφήματα και την ανάλυση των δεδομένων των προσομοιώσεων, φαίνεται πως το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads, ικανοποιεί τις συνθήκες για ευστάθεια άνευ όρων ($K > 1$ και $B_1 > 0$) σχεδόν σε όλο το εύρος τιμών της τάσης ελέγχου ενίσχυσης. Όταν η τάση ελέγχου ενίσχυσης παίρνει τη μέγιστη τιμή της ($V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$), ο παράγοντας K γίνεται μικρότερος απο τη μονάδα και συνεπώς δεν έχουμε ευστάθεια άνευ όρων (Γράφημα 4.36). Ωστόσο η συμπεριφορά του κυκλώματος κρίνεται ικανοποιητική για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής αφού οι συνθήκες για ευστάθεια άνευ όρων, ικανοποιούνται για $V_{\text{gain}} > 950 \text{ mV}$, τιμή που δίνει ικανοποιητικό κέρδος.



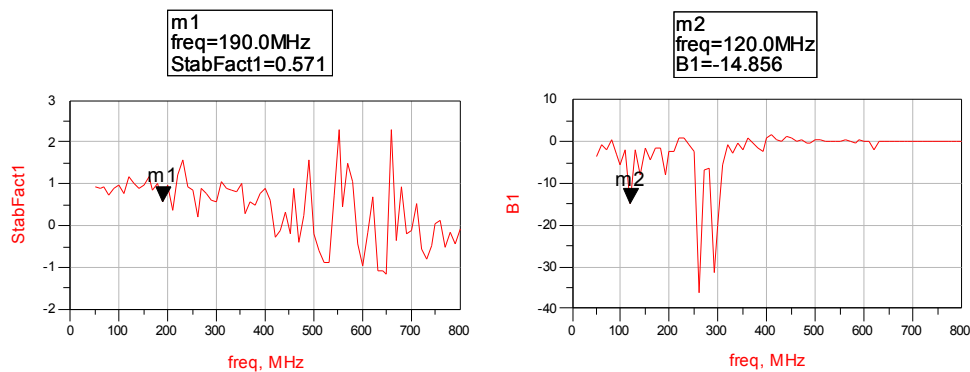
Γράφημα 4.37: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση φίλτρων Chebyshev για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$



Γράφημα 4.38: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση φίλτρων Chebyshev για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$



Γράφημα 4.39: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση φίλτρων Chebyshev για $V_{gain} = 0.75 V$



Γράφημα 4.40: Παράγοντας ευστάθειας K και B_1 συναρτήσει της συχνότητας, προσαρμογή με χρήση φίλτρων Chebyshev για $V_{gain} = 1 V$

Απο τα παραπάνω γραφήματα και την ανάλυση των δεδομένων των προσομοιώσεων, φαίνεται πως το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο φίλτρα Chebyshev 5^{ης} τάξης, ικανοποιεί τις συνθήκες για ευστάθεια άνευ όρων ($K > 1$ και $B_1 > 0$) για τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης, που κυμαίνονται στο διάστημα $0 < V_{gain} < 850mV$. Όταν η τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} > 850mV$ ο παράγοντας K γίνεται μικρότερος απο τη μονάδα και ο παράγοντας B_1 γίνεται αρνητικός, συνεπώς οι συνθήκες για ευστάθεια άνευ όρων δεν ικανοποιούνται (Γράφημα 4.40).

Επιλογή κυκλώματος προσαρμογής

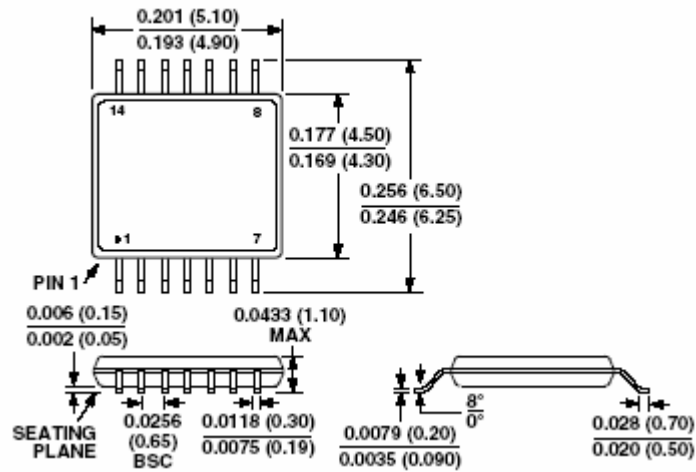
Με βάση τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και την ανάλυση των δεδομένων, αποφασίστηκε για τη προσαρμογή του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους, να χρησιμοποιηθούν παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads. Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads, εμφανίζει για όλες τις τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης, λιγότερες ανακλάσεις και πιο επίπεδη

συμπεριφορά στο εύρος λειτουργίας του κυκλώματος (100 MHz - 200 MHz). Στον αντίποδα, το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο φίλτρα Chebyshev 5^{ης} τάξης, εμφανίζει για υψηλές τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης, σημαντικές ανακλάσεις στην είσοδο και στην έξοδο. Ο παράγοντας κέρδους δεν ήταν αυτός που έκρινε την τελική επιλογή, παρότι το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο φίλτρα Chebyshev 5^{ης} τάξης, εμφανίζει υψηλότερες τιμές κέρδους για όλες τις τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης σε σύγκριση με το κύκλωμα που χρησιμοποιεί στην είσοδο και στην έξοδο παθητικά δίκτυα αντιστάσεων L-pads. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι και τα δύο κυκλώματα υπερκαλύπτουν τις ανάγκες της βαθμίδας για ενίσχυση (>30dB) οπότε επιλέχτηκε αυτό που εμφανίζει πιο επίπεδη και προβλέψιμη συμπεριφορά για όλες τις τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης και σε όλο το εύρος λειτουργίας του κυκλώματος (100 MHz - 200 MHz).

Σχεδίαση της μάσκας

Η μάσκα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους σχεδιάστηκε μέσω του προγράμματος, **HP ADVANCED DESIGN SYSTEM 2002** της εταιρίας **Agilent Technologies** σύμφωνα με τις οδηγίες της παραγράφου Π.2.3.

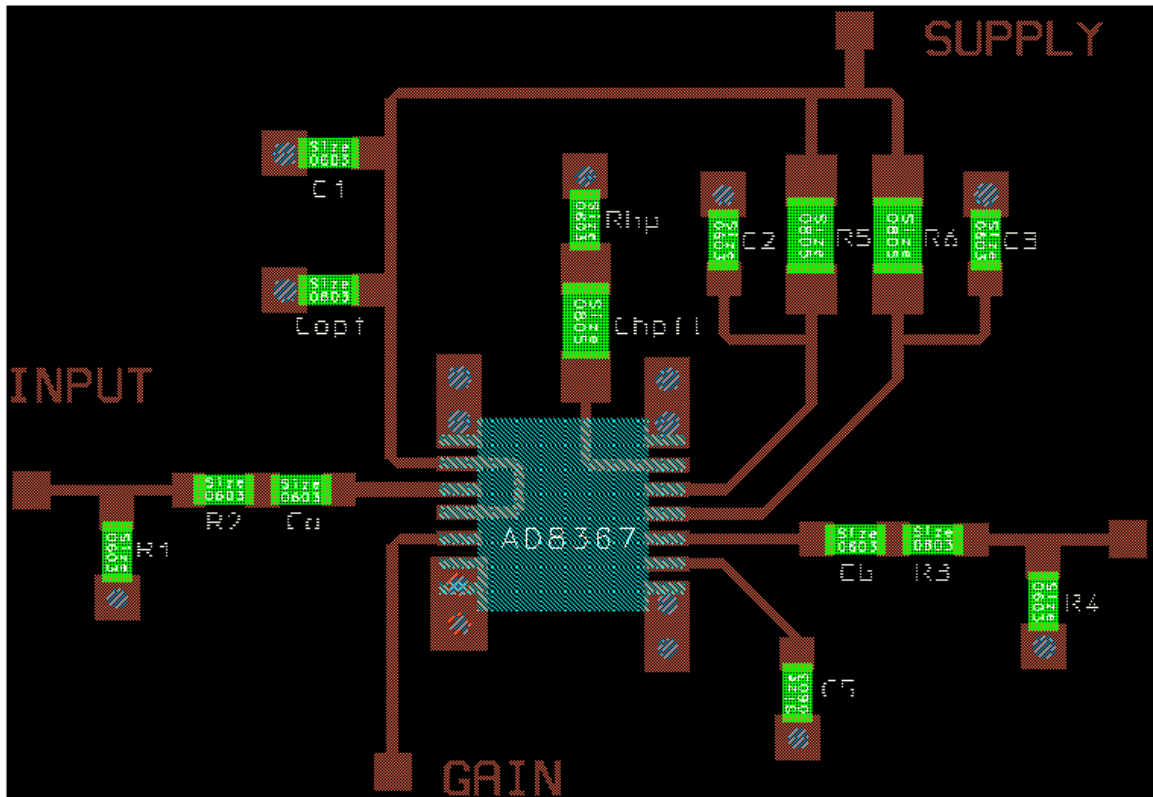
Στο σχήμα [13] που ακολουθεί, φαίνονται οι εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου **AD8367**. Η μάσκα για το τυπωμένο κύκλωμα, σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρείας **Analog Devices**, όπως αυτές παρουσιάζονται στο φυλλάδιο προδιαγραφών του ολοκληρωμένου που διαθέτει η εταιρεία στην επίσημη ιστοσελίδα της.



Σχήμα 4.4: Οι εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου **AD8367**, σε ίντσες και χιλιοστά του μέτρου

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4, η κατασκευάστρια εταιρεία δίνει ελάχιστες και μέγιστες τυπικές τιμές για όλες τις εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου. Οι διαστάσεις, όσον αφορά το εμβαδόν επαφής της κάθε ακίδας, κυμαίνονται από 0.19 x 0.50 (mm²) έως 0.30 x 0.70 (mm²). Προκειμένου να εξασφαλίσουμε ικανή επιφάνεια συγκόλλησης, τα συγκεκριμένα τμήματα σχεδιάστηκαν με διαστάσεις 0.4 x 1.2 (mm²).

Με βάση τις εξωτερικές διαστάσεις του σχήματος 4.4 και σύμφωνα με τις απαιτήσεις της συνδεσμολογίας που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφος 3.2.1), αναπτύχθηκε το αναλυτικό σχέδιο διάταξης των εξαρτημάτων που φαίνεται στο σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5: Η μάσκα του κυκλώματος του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους

4.1.2 Το κύκλωμα των στροφών φάσης

Για την κατασκευή του κυκλώματος θα χρησιμοποιηθούν δύο στροφείς φάσης **JSPHS-150**, συνδεδεμένοι σε σειρά (σχήμα 4.6), που αθροιστικά μπορούν να δώσουν την επιθυμητή στροφή φάσης των 360° , αφού το καθένα ξεχωριστά δίνει στροφή μέχρι και 180° . Πρέπει να σημειωθεί ότι η στροφή φάσης των 180° είναι η τυπική τιμή που μπορεί να αποδώσει το ολοκληρωμένο κατά τη γραμμική λειτουργία του. Στην πραγματικότητα, όπως φαίνεται και στο γράφημα 3.4, όπου απεικονίζεται η μεταβολή της στροφής φάσης ως προς την τάση ελέγχου, η μέγιστη στροφή φάσης που μπορεί να επιτευχθεί ξεπερνά τις 225° όταν η τάση ελέγχου που εφαρμόζεται είναι κοντά στο όριο των 12V.

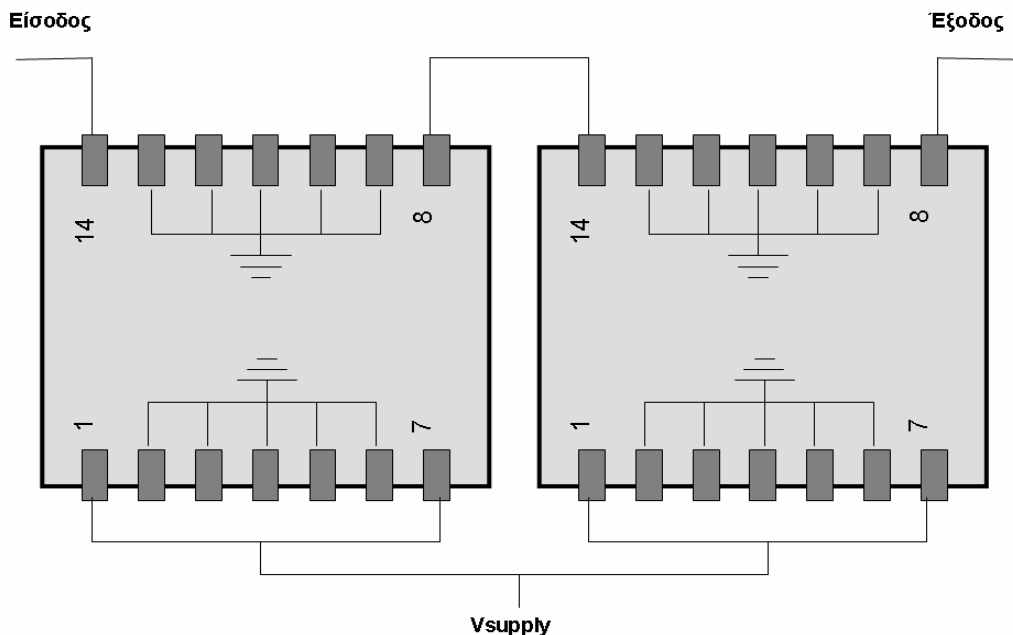
Συνδεσμολογία του ολοκληρωμένου JSPHS-150

Στον πίνακα που ακολουθεί περιγράφεται η λειτουργία των ακροδεκτών του ολοκληρωμένου:

Αριθμός Ακροδέκτη	Μνημονικό	Περιγραφή Λειτουργίας
14	IN	Είσοδος σήματος
8	OUT	Έξοδος σήματος
1, 7	BIAS	Τάση ελέγχου
όλοι οι υπόλοιποι ακροδέκτες	GROUND	Γείωση

Πίνακας 4.6: η λειτουργία των ακροδεκτών του ολοκληρωμένου JSPHS-150

Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνεται η συνδεσμολογία του κυκλώματος των στροφών φάσης:



Σχήμα 4.6: Συνδεσμολογία του ολοκληρωμένου JSPHS-150

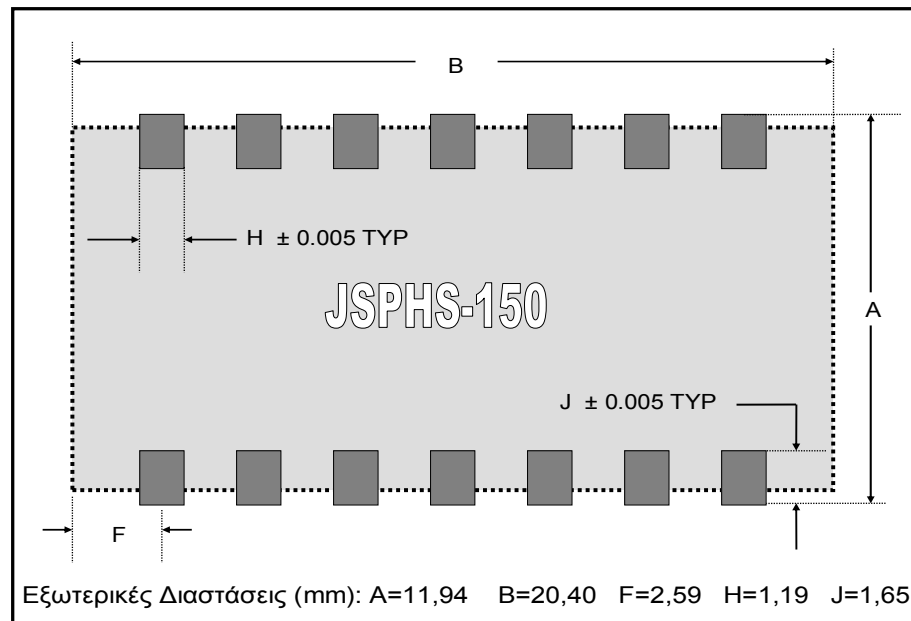
Στον ακροδέκτη 14 (IN) του πρώτου στροφέα φάσης εφαρμόζεται το σήμα που έρχεται από το κύκλωμα του ελεγχόμενου από τάση ενισχυτή (AD8367), το οποίο στη συνέχεια, αφού υποστεί επεξεργασία εσωτερικά του ολοκληρωμένου, βγαίνει από τον ακροδέκτη 8 (OUT) και οδηγείται στον ακροδέκτη 14 (IN) του δεύτερου στροφέα φάσης. Στις θύρες 1 και 7 (BIAS) τόσο του πρώτου όσο και του δεύτερου στροφέα φάσης εφαρμόζεται η κοινή τάση ελέγχου (PHASE CONTROL) που επιβάλλει το λογικό κύκλωμα του βρόχου ανάδρασης. Η τάση αυτή πέρα από τον καθορισμό της στροφής φάσης που θα πραγματοποιηθεί επιτελεί και τη λειτουργία πόλωσης των ολοκληρωμένων. Όλοι οι υπόλοιποι ακροδέκτες είναι συνδεδεμένοι στη γείωση.

Σημειώνεται ότι το ολοκληρωμένο JSPHS-150 από κατασκευής παρουσιάζει χαμηλό συντελεστή ανάκλασης τόσο στην είσοδο όσο και στην έξοδο, και για αυτό το λόγο δεν απαιτείται η χρήση κυκλωμάτων προσαρμογής.

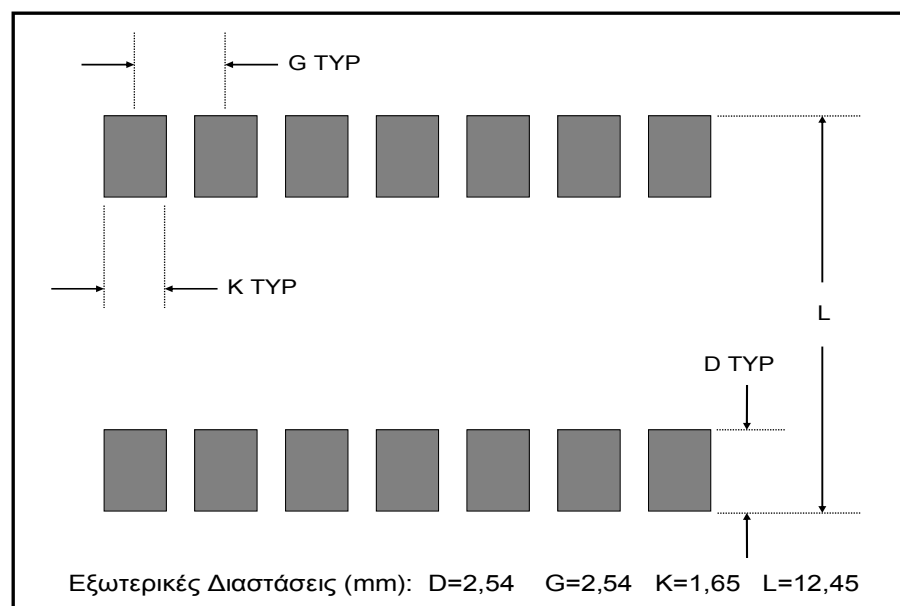
Σχεδίαση της μάσκας

Η μάσκα των στροφέων φάσης σχεδιάστηκε μέσω του προγράμματος, **HP ADVANCED DESIGN SYSTEM 2002** της εταιρίας **Agilent Technologies** σύμφωνα με τις οδηγίες της παραγράφου Π.2.3.

Στο σχήμα 4.7 φαίνονται οι εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου **JSPHS-150**. Η μάσκα για το τυπωμένο κύκλωμα, σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρείας Mini-Circuits, όπως αυτές παρουσιάζονται στο φυλλάδιο προδιαγραφών του ολοκληρωμένου που διαθέτει η εταιρεία στην επίσημη ιστοσελίδα της (σχήμα 4.8).

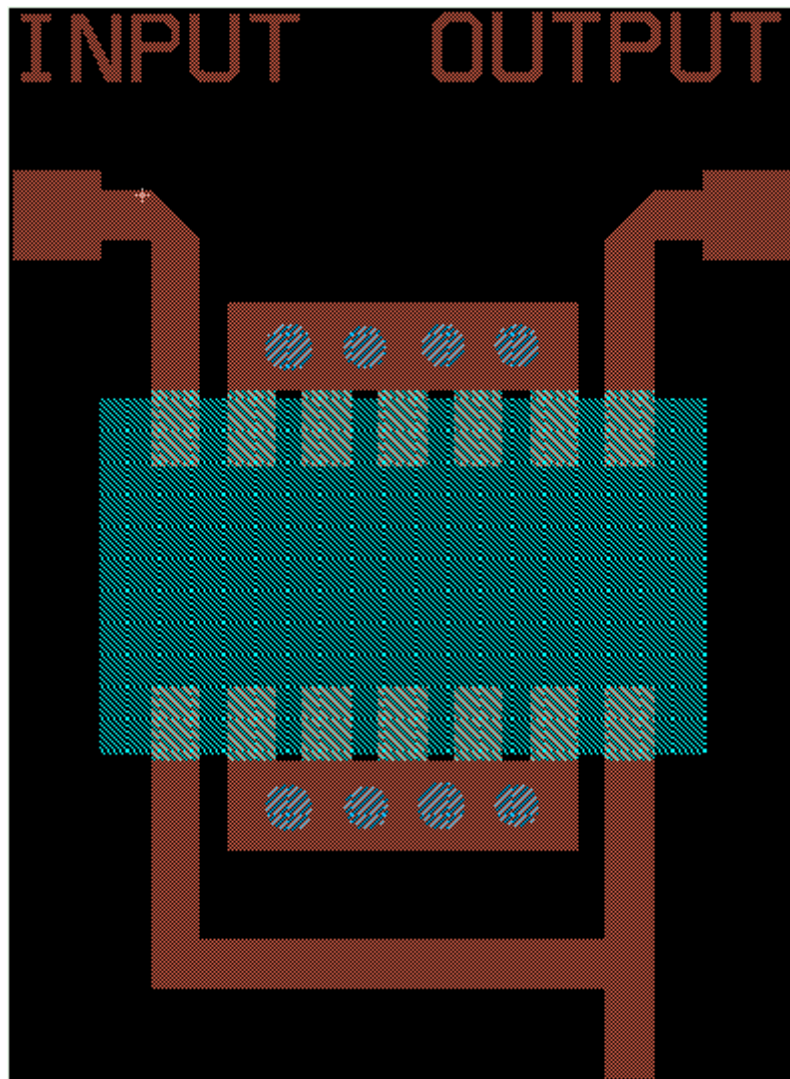


Σχήμα 4.7: Οι εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου JSPHS-150



Σχήμα 4.8: Το αποτύπωμα του JSPHS-150, για σχεδίαση μέσω προσωπικού υπολογιστή

Με βάση τις εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου (σχήμα 4.8) και σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στην παράγραφο Π.2.3, αναπτύχθηκε το αναλυτικό σχέδιο διάταξης των εξαρτημάτων (layout) που φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 4.9: Η μάσκα του κυκλώματος του στροφέα φάσης

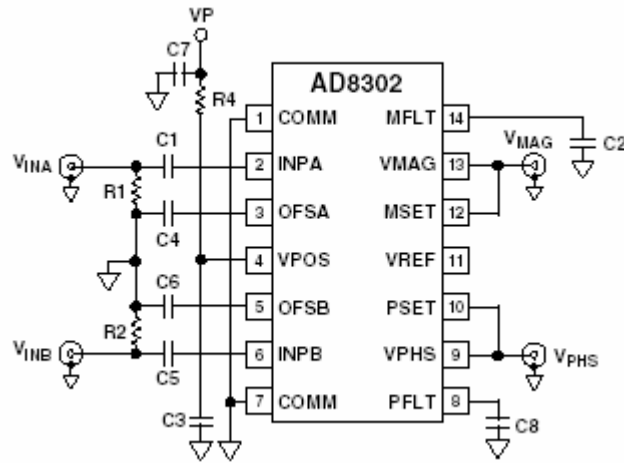
4.1.3 Το κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης

Το κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης είναι αυτό το οποίο προσφέρει έλεγχο του κέρδους και της φάσης του σήματος. Η πληροφορία που παρέχει ο συγκριτής στις δύο εξόδους του καθορίζει μέσω του βρόχου ανάδρασης την τελική ενίσχυση και στροφή φάσης που εισάγει η ενδιάμεση βαθμίδα.

Κατάσταση Λειτουργίας Μέτρησης

Η βασική λειτουργία του **AD8302** είναι η απευθείας μέτρηση του κέρδους και της φάσης. Όταν οι θύρες εξόδου VMAG και VPHS είναι κατευθείαν συνδεδεμένες στις εισόδους των θυρών ανάδρασης MSET και PSET, τότε το σύστημα λειτουργεί με βάση

τις προκαθορισμένες κλίσεις των χαρακτηριστικών και τα προκαθορισμένα σημεία κέντρου. Αυτή η βασική συνδεσμολογία φαίνεται στο επόμενο σχήμα [14]:



Σχήμα 4.10: Βασική συνδεσμολογία στην κατάσταση λειτουργίας μέτρησης

Το ρεύμα από τη διεπαφή ανάθεσης επιπέδου (setpoint) εξαναγκάζεται από τον ολοκληρωτή να είναι ίσο με τα σήματα ρεύματος που έρχονται από τους λογαριθμικούς ενισχυτές και τον ανιχνευτή φάσης (δες παράγραφο 3.2.3). Με αυτόν τον τρόπο, η συνάρτηση μετάδοσης του κλειστού βρόχου δίνεται από τη σχέση:

$$V_{OUT} = (I_{IN} R_F + V_{CP}) / (1 + sT) \quad (4.1)$$

Η χρονική σταθερά T αντιπροσωπεύει την απόκριση μονού πόλου στη συνάρτηση της περιβάλλουσας του κλιμακούμενου κατά dB κέρδους και της κλιμακούμενης κατά μοίρες φάσης. Ένας μικρός εσωτερικός πυκνωτής θέτει το μέγιστο εύρος ζώνης της περιβάλλουσας στα 30 MHz περίπου. Στην περίπτωση που δε χρησιμοποιηθεί εξωτερικός πυκνωτής C_{FLT} , ο **AD8302** μπορεί να παρακολουθήσει τις περιβάλλουσες του κέρδους και της φάσης στα πλαίσια αυτού του εύρους. Διαφορετικά, μπορεί να εισαχθεί πυκνωτής C_{FLT} κατάλληλης τιμής που υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$T(ns) = 3.3 \times C_{AVE} \quad (4.2)$$

Για καλύτερη απόκριση στις στιγμιαίες ταλαντώσεις με τη μικρότερη δυνατή αστοχία, προτείνεται η προσθήκη εξωτερικών πυκνωτών ελάχιστης τιμής 1 pF στις θύρες MFLT και PFLT.

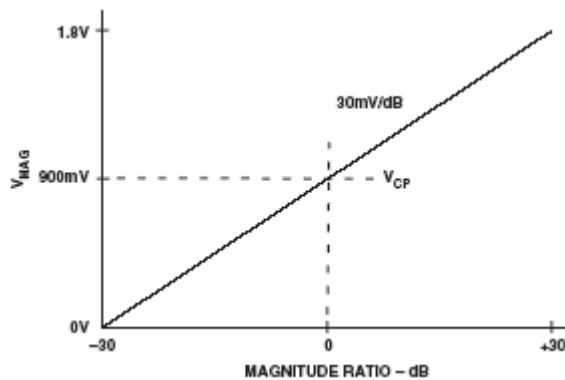
Στο όριο των χαμηλών συχνοτήτων, οι χαρακτηριστικές μετάδοσης του κέρδους και της φάσης, που δόθηκαν στις (4.1), (4.2) γίνονται:

$$V_{MAG} = R_F I_{SLP} \log(V_{INA}/V_{INB}) + V_{CP} \quad (4.3)$$

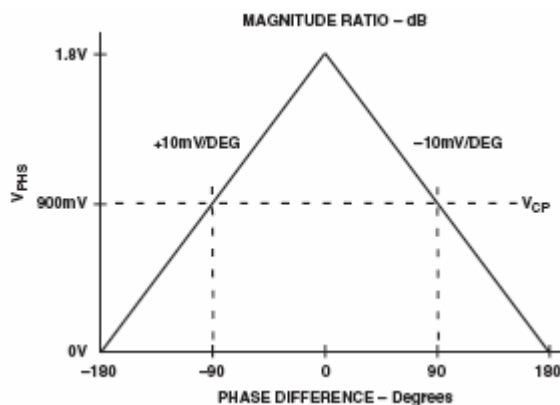
$$\text{ή} \quad V_{MAG} = (R_F I_{SLP} / 20) (P_{INA} - P_{INB}) + V_{CP} \quad (4.4)$$

$$\text{και} \quad V_{PHS} = -R_F I_{\Phi} (|\Phi(V_{INA}) - \Phi(V_{INB})| - 90^\circ) + V_{CP} \quad (4.5)$$

Οι χαρακτηριστικές αυτές, φαίνονται στα επόμενα γραφήματα [14]:



Γράφημα 4.41: Ιδανική χαρακτηριστική μετάδοσης για τη μέτρηση του κέρδους



Γράφημα 4.42: Ιδανική χαρακτηριστική μετάδοσης για τη μέτρηση της φάσης

Στην εξίσωση 4.4, P_{INA} και P_{INB} είναι οι ισχύεις σε dBm που αντιστοιχούν στις τάσεις V_{INA} και V_{INB} με αναφορά δεδομένη σύνθετη αντίσταση. Όσον αφορά τη συνάρτηση κέρδους, η κλίση που αντιπροσωπεύεται από το γινόμενο $I_{SLP} R_F$ είναι 600 mV/δεκάδα ή, διαιρώντας με 20 dB/δεκάδα, 30 mV/dB. Λαμβάνοντας το κεντρικό σημείο των 900 mV να αντιστοιχεί σε 0 dB κέρδος, το εύρος από -30 dB έως +30 dB καλύπτει πλήρη ταλάντωση από 0 V έως 1.8 V. Όσον αφορά τη συνάρτηση φάσης, η κλίση που αντιπροσωπεύεται από το γινόμενο $R_\Phi I_\Phi$ είναι 10 mV/°. Λαμβάνοντας το κεντρικό σημείο των 900 mV να αντιστοιχεί σε 90° φάση, το εύρος από 0° έως 180° καλύπτει πλήρη ταλάντωση από 1.8 V έως 0 V. Το εύρος από 0° έως -180° καλύπτει την ίδια πλήρη ταλάντωση αλλά με αντίθετη κλίση της χαρακτηριστικής.

Λιασύνδεση των Καναλιών Εισόδου

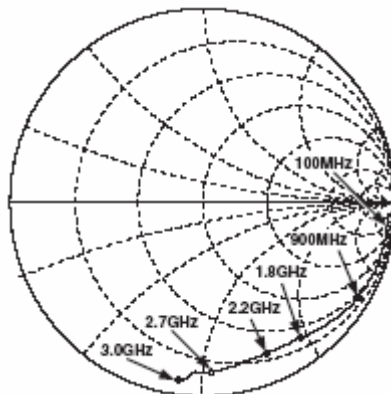
Οι μονά τερματισμένες διεπαφές εισόδου και για τα δύο κανάλια είναι πανομοιότυπες. Καθεμιά αποτελείται από μια θύρα οδηγό, INPA και INPB, και μια θύρα για τη γείωση του ac σήματος, OFSA και OFSB. Και οι τέσσερις αυτές εισοδοί είναι εσωτερικά πολωμένες σε dc τάση περίπου 100 mV πάνω από τη θετική τροφοδοσία και πρέπει να είναι εξωτερικά ac συζευγμένες με τα σήματα εισόδου και με τη γείωση. Σε ότι αφορά τις θύρες σήματος, ο πυκνωτής σύζευξης πρέπει να παρουσιάζει αμελητέα σύνθετη αντίσταση στις συχνότητες του σήματος. Σε ότι αφορά τις θύρες προς τη γείωση, ο πυκνωτής σύζευξης έχει δύο λειτουργίες: από τη μια παρέχει γείωση στο ac σήμα και

από την άλλη θέτει την υπερβατική συχνότητα γονάτου για τον εσωτερικό βρόχο αντιστάθμισης της μετατόπισης. Υπάρχει ένας εσωτερικός πυκνωτής προς τη γείωση, τιμής 10 pF ο οποίος θέτει τη συχνότητα στα 200 MHz περίπου. Η συχνότητα αυτή μπορεί να μειωθεί σύμφωνα με τη σχέση:

$$f_{HP}=2/C_C \text{ (nF)} \quad (4.6)$$

όπου C_C είναι η συνολική χωρητικότητα από τη θύρα OFSA ή OFSB μέχρι τη γείωση, συμπεριλαμβανομένης της εσωτερικής χωρητικότητας των 10 pF.

Η σύνθετη αντίσταση εισόδου στις θύρες INPA και INPB είναι συνάρτηση της συχνότητας, της τιμής του πυκνωτή αντιστάθμισης της μετατόπισης και των παρασιτικών σημάτων που αναπτύσσονται στη συσκευασία του ολοκληρωμένου. Σε συχνότητες λίγο πάνω από την f_{HP} , το δίκτυο εισόδου μπορεί να προσεγγιστεί από μια διακλαδισμένη αντίσταση τιμής 3 kΩ παράλληλα με έναν πυκνωτή τιμής 2 pF. Σε υψηλότερες συχνότητες η διακλαδισμένη αντίσταση μειώνεται στα 500 Ω περίπου. Ο χάρτης Smith του επόμενου σχήματος [14] δείχνει τη σύνθετη αντίσταση εισόδου σε εύρος συχνοτήτων από 100 MHz έως 3 GHz:



Σχήμα 4.11: Ο χάρτης Smith δείχνει τη σύνθετη αντίσταση εισόδου για το ένα κανάλι από τα 100 MHz έως τα 3 GHz

Ένας τερματισμός αντίστασης ευρείας ζώνης από τη μεριά του σήματος των πυκνωτών σύζευξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσαρμογή σε μια δοσμένη σύνθετη αντίσταση πηγής (source impedance). Η τιμή της αντίστασης τερματισμού (termination resistor), R_T καθορίζεται από τον τύπο:

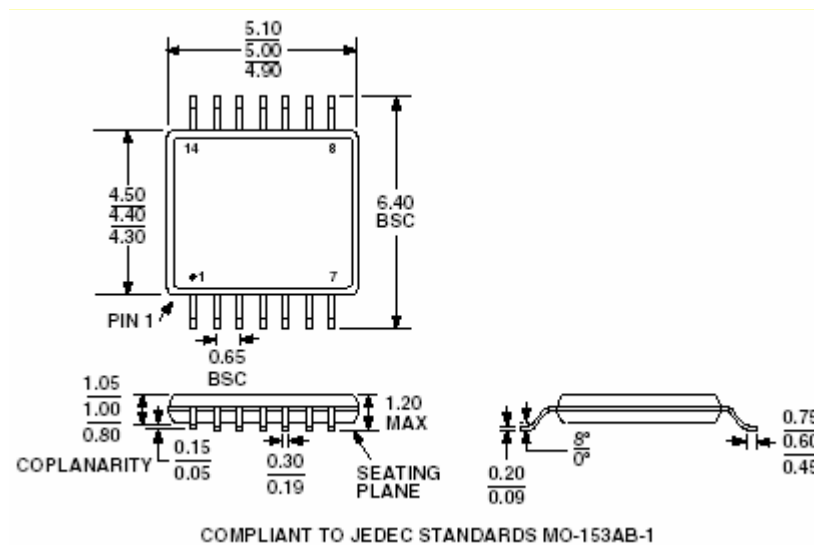
$$R_T=R_{IN} R_S / (R_{IN} - R_S) \quad (4.7)$$

όπου R_{IN} είναι η αντίσταση εισόδου και R_S είναι η σύνθετη αντίσταση πηγής. Μια σημαντική ιδιότητα της αρχιτεκτονικής των δύο λογαριθμικών ενισχυτών είναι ότι αν και τα δύο κανάλια λειτουργούν στην ίδια συχνότητα και συνδέονται στην είσοδό τους με το ίδιο δίκτυο, τότε η όποια κακή προσαρμογή της σύνθετης αντίστασης και οι απώλειες λόγω ανάκλασης έχουν ουσιαστικά κοινή μορφή και με αυτό τον τρόπο δεν επηρεάζουν τη μέτρηση του σχετικού κέρδους και της διαφοράς φάσης. Ωστόσο, αποκλίσεις στα εξωτερικά διακριτά στοιχεία μπορούν να έχουν σαν αποτέλεσμα λάθη μετρήσεων.

Σχεδίαση της μάσκας

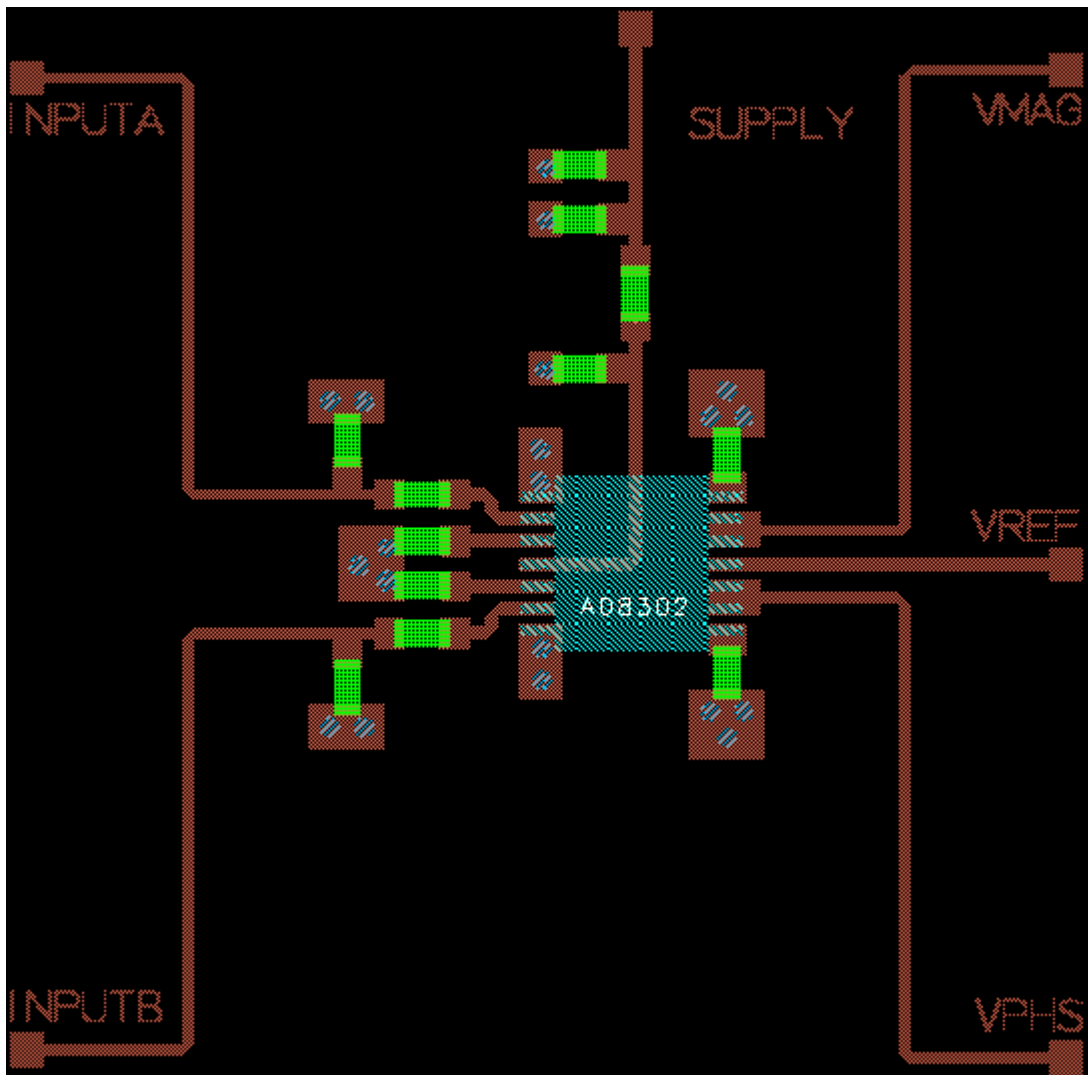
Η μάσκα του κυκλώματος του συγκριτή κέρδους και φάσης σχεδιάστηκε μέσω του προγράμματος, **HP ADVANCED DESIGN SYSTEM 2002** της εταιρίας **Agilent Technologies** σύμφωνα με τις οδηγίες της παραγράφου Π.2.3.

Στο σχήμα [14] που ακολουθεί, φαίνονται οι εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου **AD8302**. Η μάσκα για το τυπωμένο κύκλωμα, σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρείας **Analog Devices**, όπως αυτές παρουσιάζονται στο φυλλάδιο προδιαγραφών του ολοκληρωμένου που διαθέτει η εταιρεία στην επίσημη ιστοσελίδα της.



Σχήμα 4.12: Οι εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου AD8302, σε χιλιοστά του μέτρου

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.15, η κατασκευάστρια εταιρεία δίνει ελάχιστες και μέγιστες τυπικές τιμές για όλες τις εξωτερικές διαστάσεις του ολοκληρωμένου. Με βάση τις εξωτερικές διαστάσεις του σχήματος 4.15 και σύμφωνα με τις απαιτήσεις της συνδεσμολογίας που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα, αναπτύχθηκε το αναλυτικό σχέδιο διάταξης των εξαρτημάτων που φαίνεται στο σχήμα 4.16.



Σχήμα 4.13: Η μάσκα του κυκλώματος του συγκριτή κέρδους και φάσης

4.1.4 Το κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος

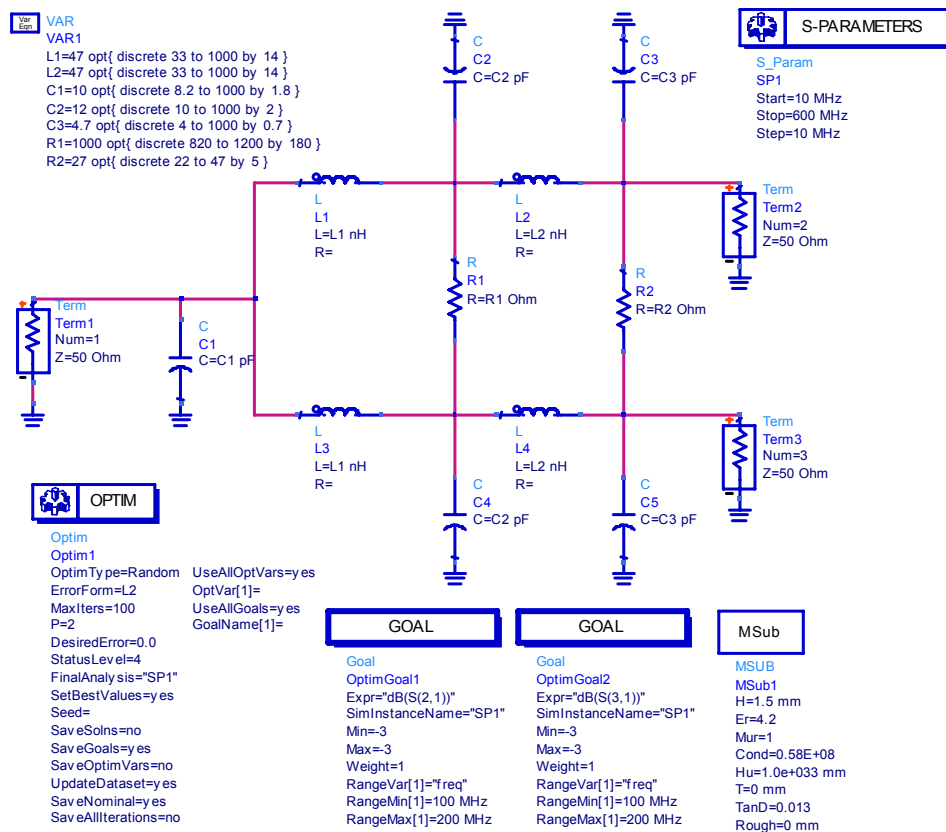
Για τις ανάγκες της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν δύο τρίθυροι διαιρέτες ισχύος. Ο πρώτος τοποθετήθηκε στην είσοδο της IF βαθμίδα με σκοπό τη διαίρεση του σήματος εισόδου από την RF βαθμίδα σε δύο ίσα μέρη από τα οποία το ένα συνεχίζει προς επεξεργασία ενδιάμεσων συχνοτήτων και το άλλο κατευθύνεται απευθείας στην πρώτη είσοδο του συγκριτή. Ο δεύτερος διαιρέτης τοποθετήθηκε αμέσως μετά το κύκλωμα των στροφέων φάσης για τον ισόποσο διαχωρισμό του επεξεργασμένου σήματος σε δύο μέρη από τα οποία το ένα εμφανίζεται στην έξοδο της IF βαθμίδα και το άλλο τροφοδοτεί τη δεύτερη είσοδο του συγκριτή.

Προσαρμογή του κυκλώματος του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος

Η σχεδίαση του κυκλώματος του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος έγινε μέσω του προγράμματος, **HP ADVANCED DESIGN SYSTEM 2002** της εταιρίας **Agilent Technologies**. Από τις βιβλιοθήκες του προγράμματος **HP Advanced Design System** χρησιμοποιήθηκαν τα εξαρτήματα που περιέχονται στον επόμενο πίνακα:

Βιβλιοθήκη	Εξάρτημα	Περιγραφή
Lumped-Components	R	Ωμική αντίσταση
Lumped-Components	L	Πηνίο αυτεπαγωγής L
Lumped-Components	C	Πυκνωτής χωρητικότητας C
Simulation-S_Param	Term	Τερματισμός θύρας σύνθετης αντίστασης
Simulation-S_Param	S_Param	Προσωμοίωση S παραμέτρων
Data Items	VAR	Μεταβλητές και εξισώσεις
Optim/Stat/Yield/DOE	Optim	Ονομαστική βελτιστοποίηση
Optim/Stat/Yield/DOE	Goal	Στόχος για βελτιστοποίηση ονομαστικού τύπου

Πίνακας 4.7: Αντικείμενα προσομοίωσης - προσαρμογή του κυκλώματος του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος



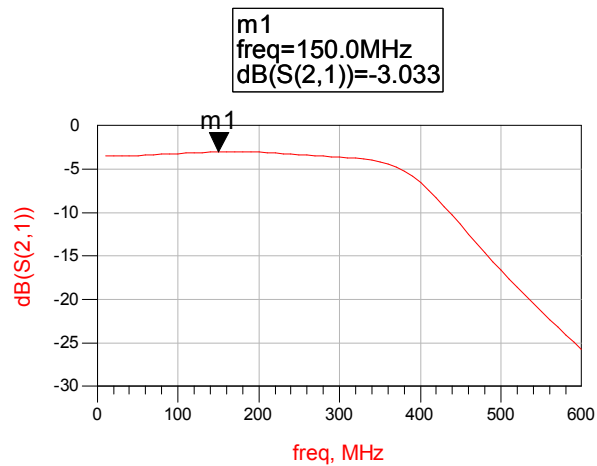
Σχήμα 4.14: Προσαρμογή του κυκλώματος του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος

Απο τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων καταλήξαμε στις βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων στην είσοδο και έξοδο του κυκλώματος, πίνακας 4.8.

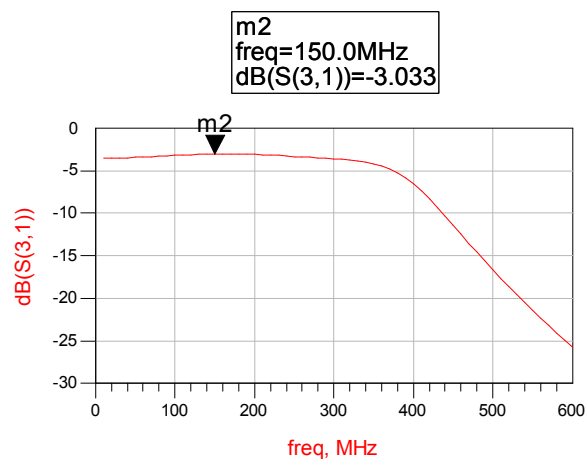
Διακριτά Στοιχεία	
R_1	$=1000 \Omega$ (size 0603)
R_2	$=27 \Omega$ (size 0603)
C_1	$=10 \text{ pF}$ (size 0603)
C_2	$=12 \text{ pF}$ (size 0603)
C_3	$=4.7 \text{ pF}$ (size 0603)
L_1	$=47 \text{ nH}$ (size 0603)
L_2	$=47 \text{ nH}$ (size 0603)

Πίνακας 4.8: Οι βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων για το ισοδύναμο κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος

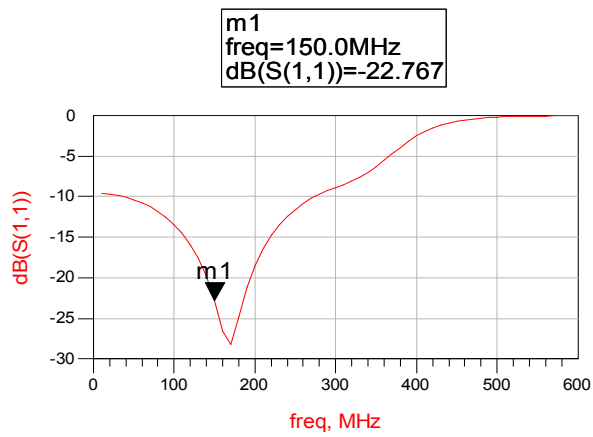
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων του πίνακα 4.8 φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα:



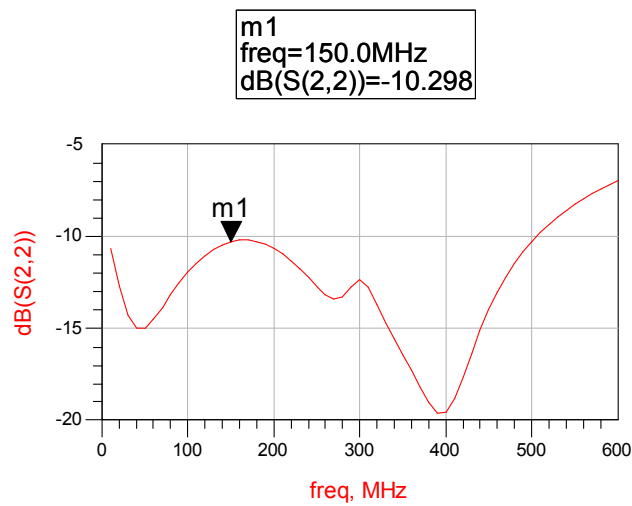
Γράφημα 4.43: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1)



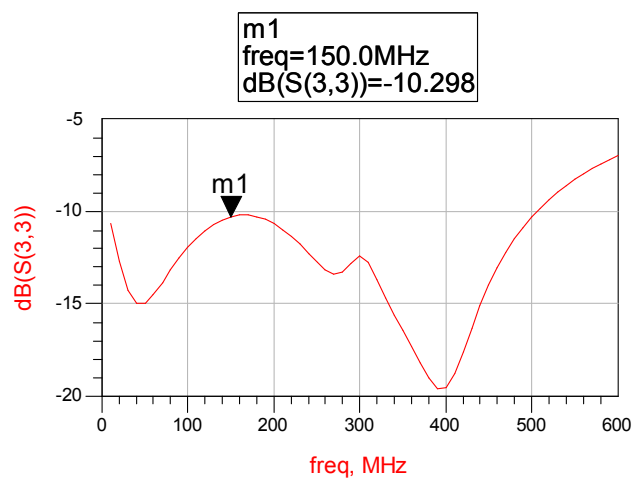
Γράφημα 4.44: Συντελεστής μετάδοσης S(3,1)



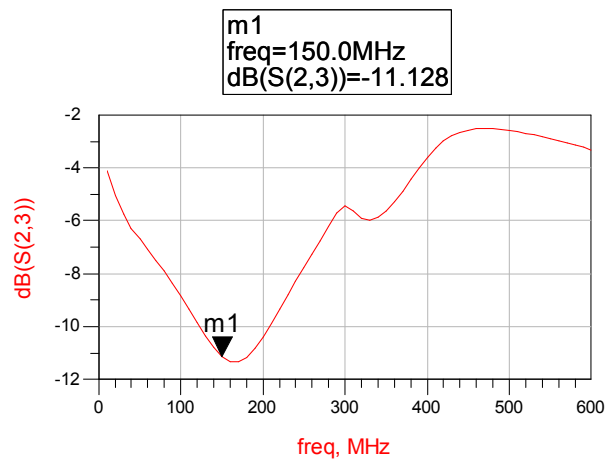
Γράφημα 4.45: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 1, S(1,1)



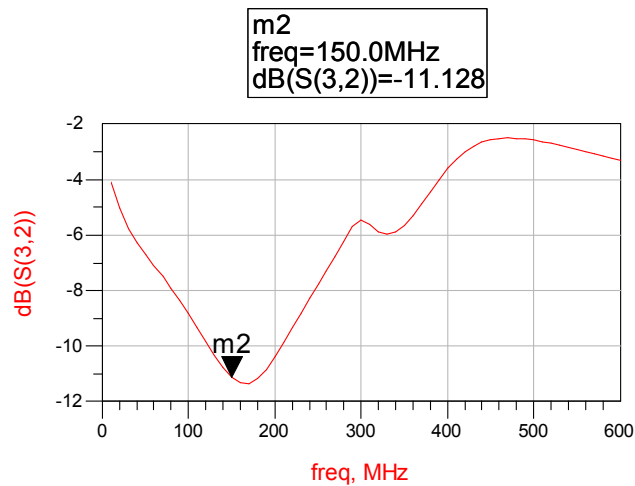
Γράφημα 4.46: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 2, S(2,2)



Γράφημα 4.47: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 3, S(3,3)



Γράφημα 4.48: Συντελεστής μετάδοσης S(2,3)



Γράφημα 4.49: Συντελεστής μετάδοσης S(2,3)

Συμπεράσματα

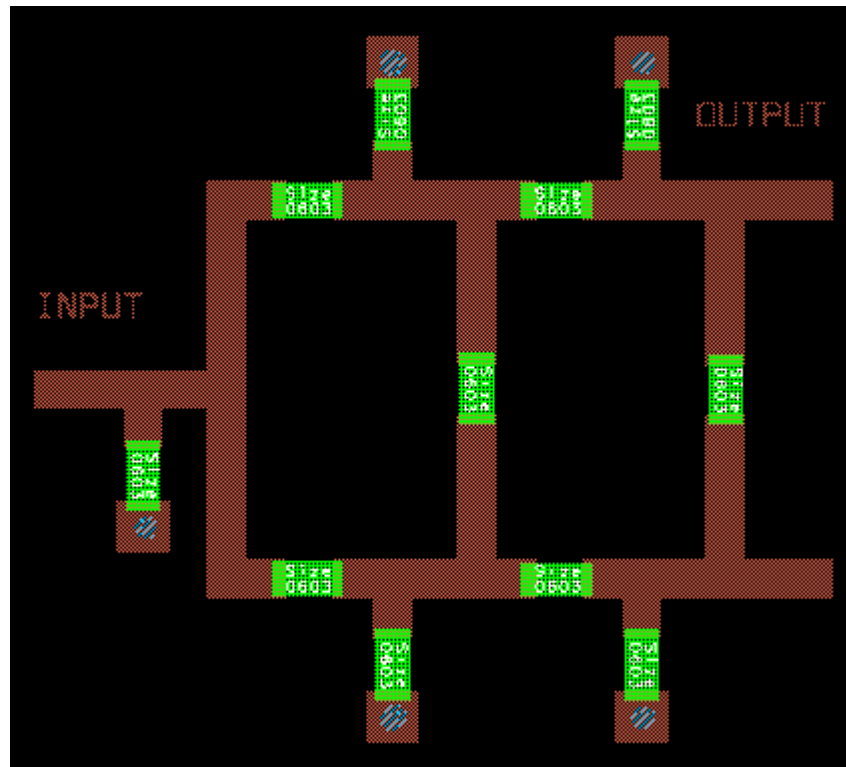
Παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα, μπορούμε να συνοψίσουμε στα εξής:

- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή μετάδοσης απο τη θύρα 1 στη θύρα 2 και από τη θύρα 1 στη θύρα 3, παρατηρούμε ότι στη κεντρική συχνότητα $f_0 = 150$ MHz, η απώλεια είναι 3.033 dB, πολύ καλή προσέγγιση στα 3dB που θα περιμέναμε ιδανικά.
- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης στις τρεις θύρες, παρατηρούμε ότι στη κεντρική συχνότητα $f_0 = 150$ MHz, στη θύρα 1 είναι $S(1,1) = -22.766$ dB και στις θύρες 2 & 3, είναι $S(2,2) = S(3,3) = -10.298$ dB.

- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή μετάδοσης από τη θύρα 2 στη θύρα 3 και από τη θύρα 3 στη θύρα 2, στη κεντρική συχνότητα $f_0 = 150$ MHz, η απομόνωση ανάμεσα στις θύρες εξόδου είναι 11.128 dB.

Σχεδίαση της μάσκας του κυκλώματος του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος

Η μάσκα του κυκλώματος του κυκλώματος του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος σχεδιάστηκε μέσω του προγράμματος, **HP ADVANCED DESIGN SYSTEM 2002** της εταιρίας **Agilent Technologies** σύμφωνα με τις οδηγίες της παραγράφου Π.2.3.



Σχήμα 4.15: Η μάσκα του κυκλώματος του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος

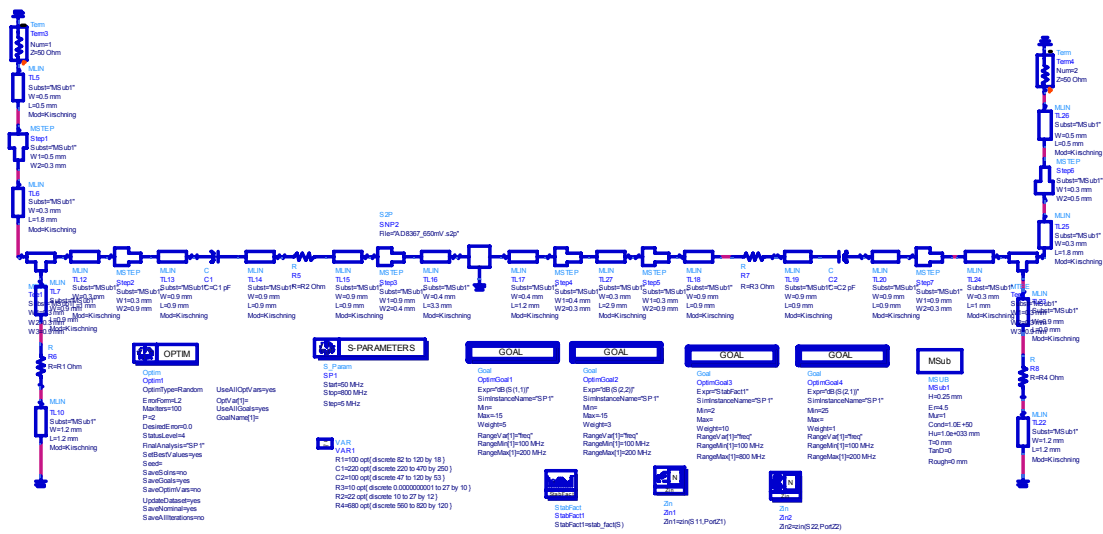
4.2 2η προσαρμογή στο ADS, με προσθήκη των γραμμών μεταφοράς

Έχοντας σχεδιάσει τα layout για τα κυκλώματα της IF βαθμίδας, επιστρέψαμε στο πρόγραμμα ADS για μια 2η προσαρμογή με την προσθήκη αυτή τη φορά της γεωμετρίας, των διαστάσεων και των χαρακτηριστικών των γραμμών μεταφοράς, ώστε να εξεταστεί πιθανή απαιτούμενη αναπροσαρμογή στις τιμές των διακριτών στοιχείων. Στις μικροκυματικές συχνότητες όπου το μήκος κύματος είναι σχετικά μικρό, οι γραμμές μεταφοράς με συγκριτικά μεγάλες διαστάσεις, δημιουργούν ανακλάσεις. Ένας σχεδιαστικός κανόνας κατά τη σχεδίαση γραμμών μεταφοράς, είναι να διατηρείται το μήκος αυτών μικρότερο από το $1/30^{\text{οστο}}$ του μήκους κύματος. Φαινόμενα κακής προσαρμογής εμφανίζονται κυρίως στις υψηλές μικροκυματικές μπάντες όπου το μήκος κύματος γίνεται πολύ μικρό. Αντίθετα, στις χαμηλές μικροκυματικές μπάντες όπου το μήκος κύματος είναι σχετικά μεγάλο, τα φαινόμενα αυτά είναι σπάνια. Για παράδειγμα, στα 140 MHz, το μήκος κύματος που αντιστοιχεί στον ελεύθερο χώρο

είναι 2.14 m και κατά τη σχεδίαση θα πρέπει το μήκος των γραμμών μεταφοράς να διατηρείται μικρότερο των 7 mm.

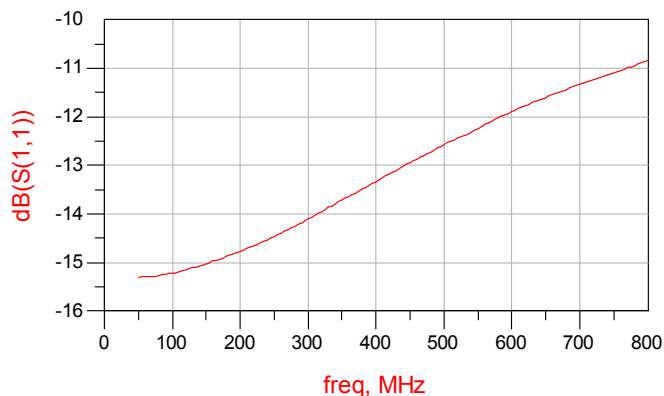
Η σχεδίαση των κυκλωμάτων έγινε μέσω του προγράμματος, **HP ADVANCED DESIGN SYSTEM 2002** της εταιρίας **Agilent Technologies**. Για την προσομοίωση των γραμμών μεταφοράς χρησιμοποιήθηκαν τα αντικείμενα **MSTEP**, **MLIN**, και **MTEE** απο τη βιβλιοθήκη **TLines-Microstrip**.

Προσαρμογή του VGA AD8367 με χρήση L-pads

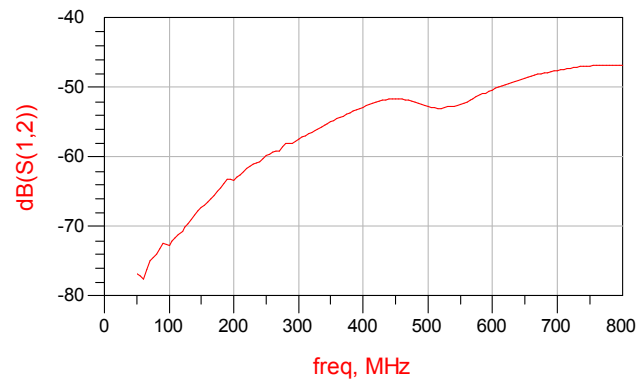


Σχήμα 4.16: Το κύκλωμα προσαρμογής του VGA AD8367 με χρήση L-pads, 2η προσαρμογή με προσθήκη των γραμμών μεταφοράς

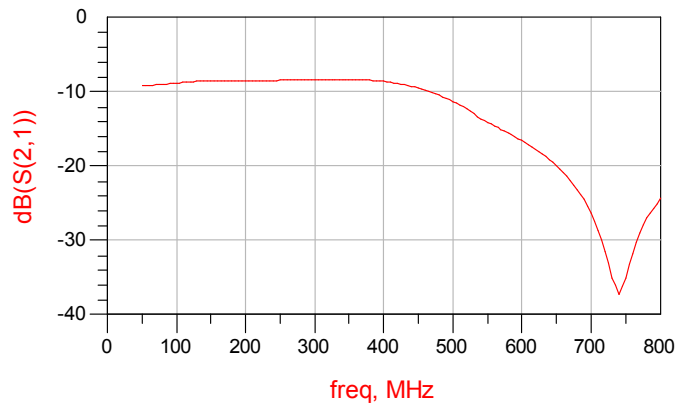
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων του πίνακα 4.3, φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα:



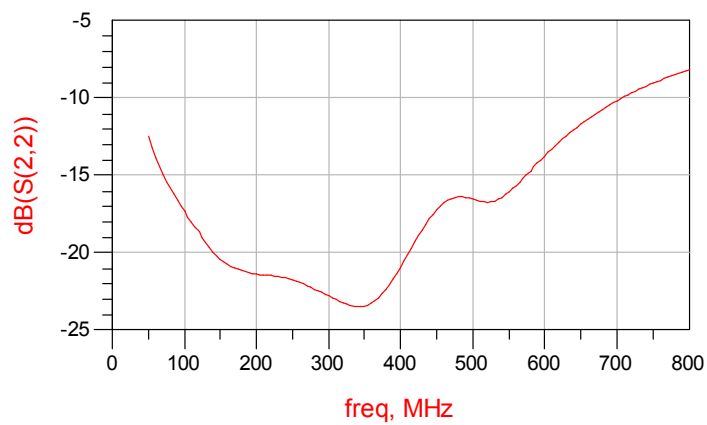
Γράφημα 4.50: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{gain} = 0$ V



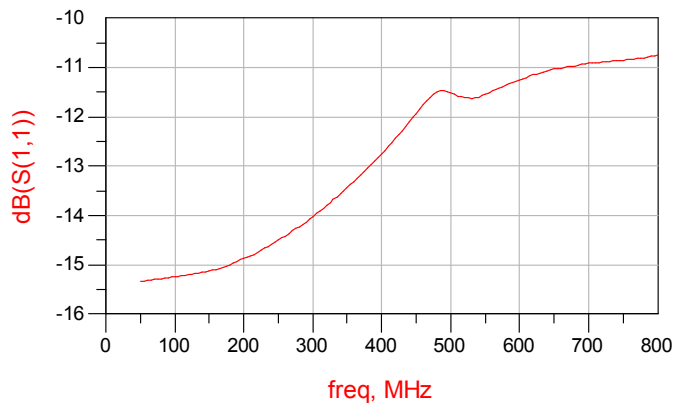
Γράφημα 4.51: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$



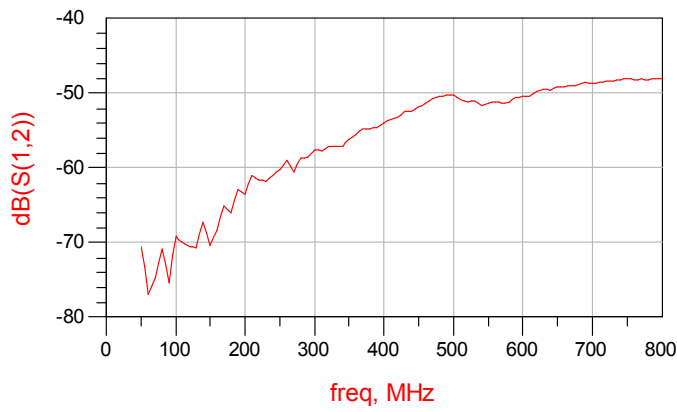
Γράφημα 4.52: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$



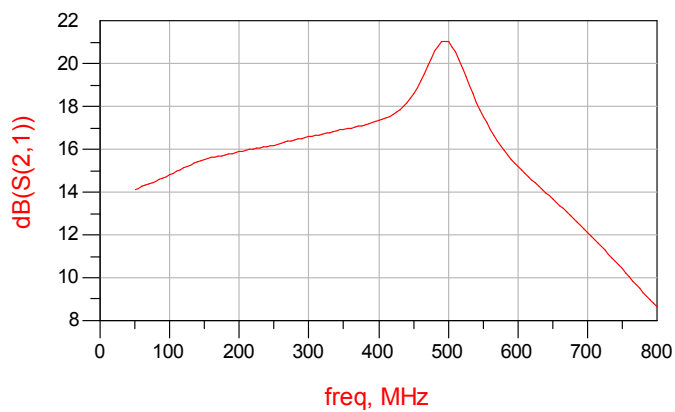
Γράφημα 4.53: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$



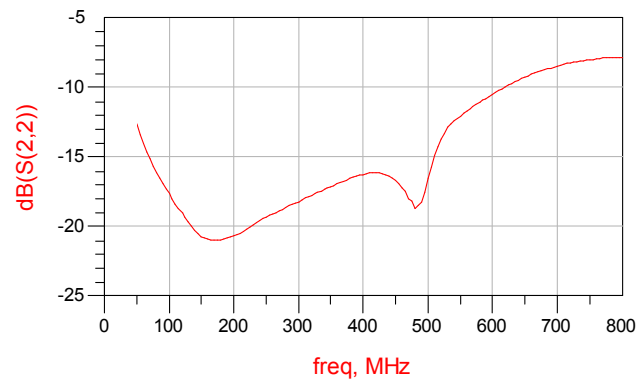
Γράφημα 4.54: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0.5 V$



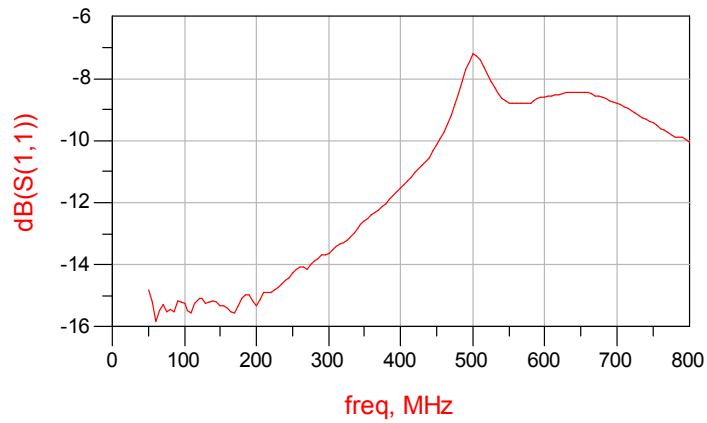
Γράφημα 4.55: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0.5 V$



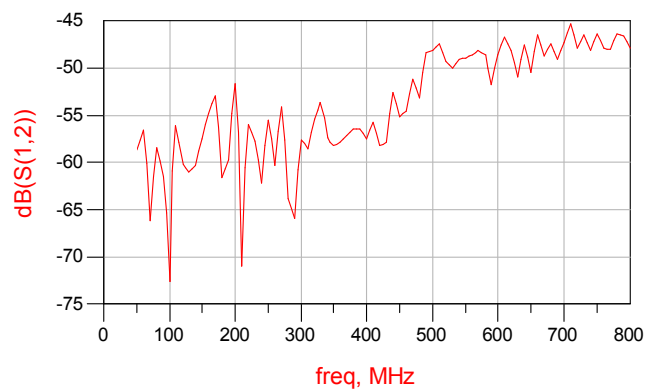
Γράφημα 4.56: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 0.5 V$



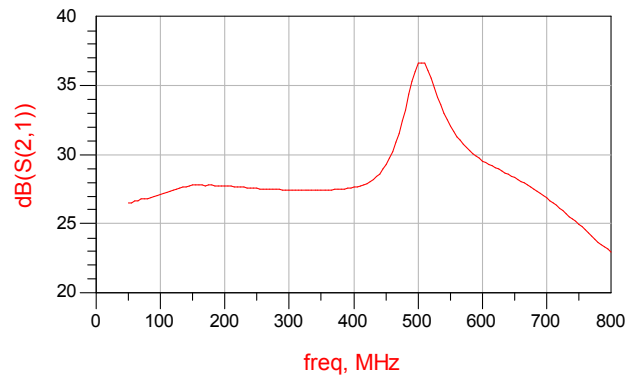
Γράφημα 4.57: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$



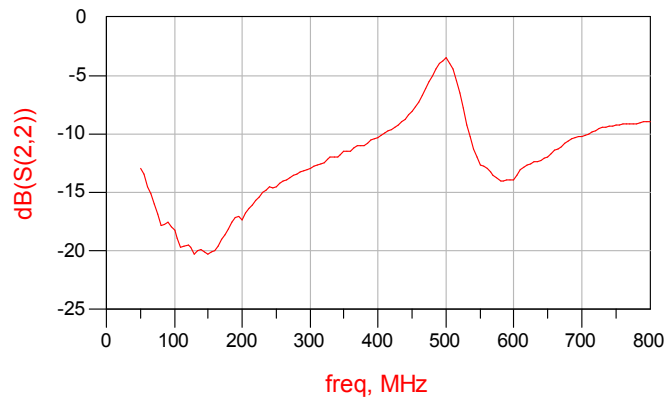
Γράφημα 4.58: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



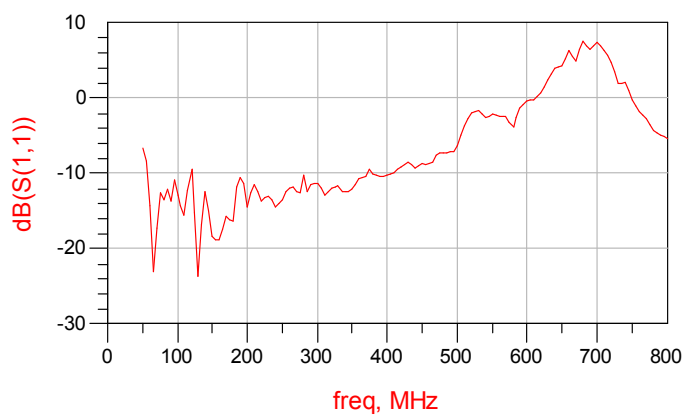
Γράφημα 4.59: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



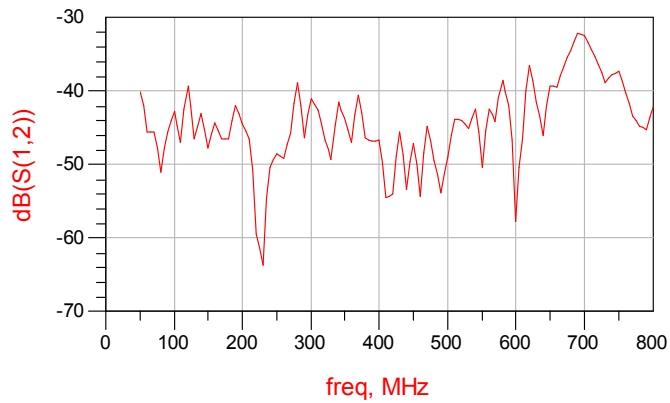
Γράφημα 4.60: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



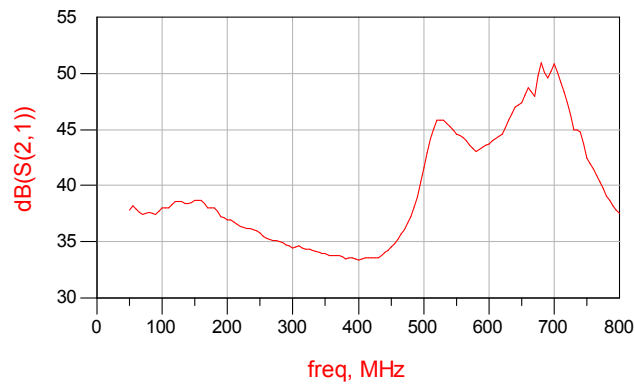
Γράφημα 4.61: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



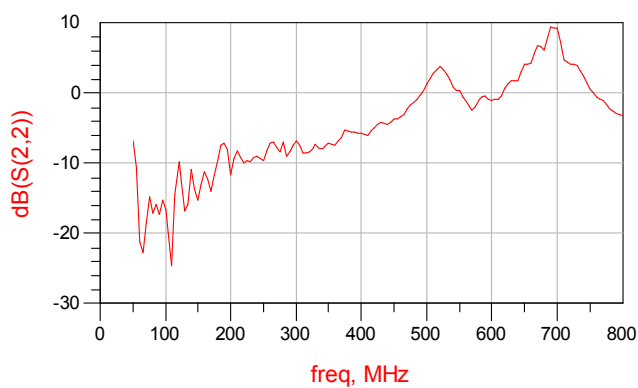
Γράφημα 4.62: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$



Γράφημα 4.63: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$



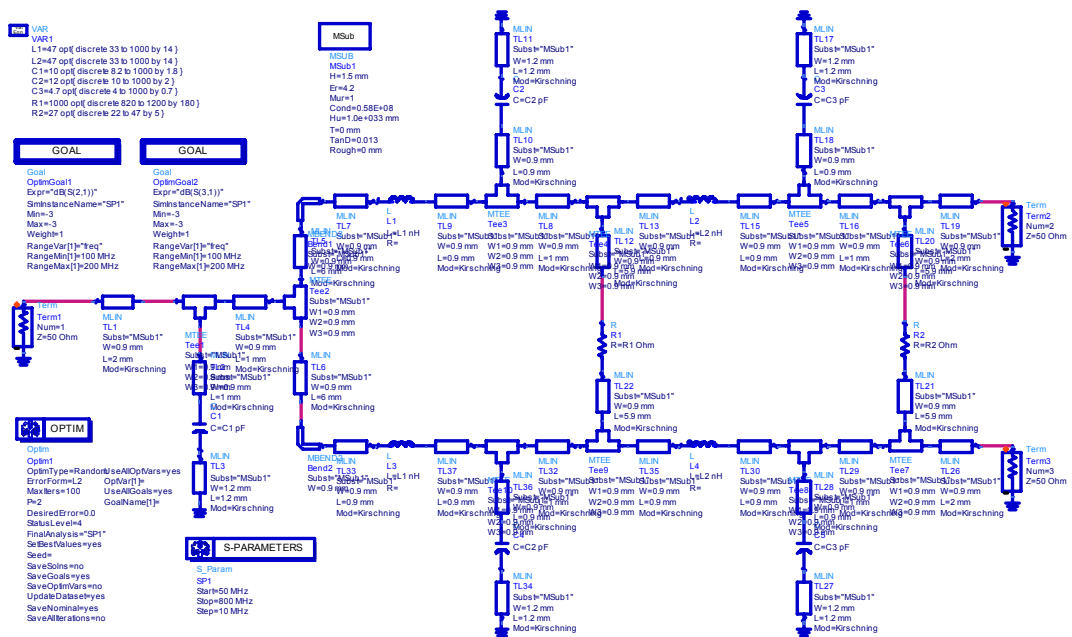
Γράφημα 4.64: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$



Γράφημα 4.65: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$

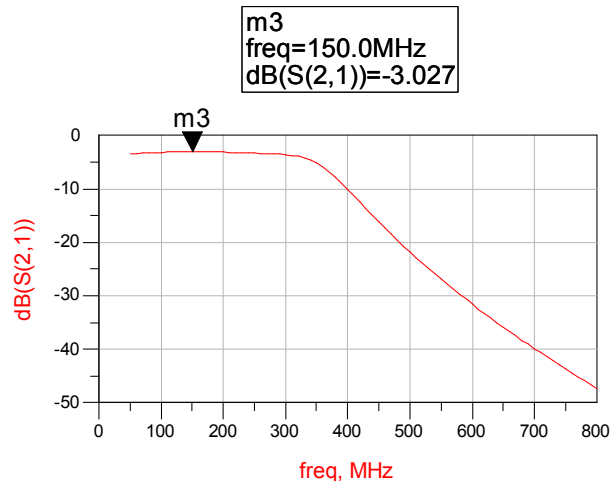
Μελετώντας τα παραπάνω γραφήματα και συγκρίνοντας τα με τα αντίστοιχα από την 1^η προσαρμογή, παρατηρούμε ότι με την προσθήκη της γεωμετρίας, των διαστάσεων και των χαρακτηριστικών των γραμμών μεταφοράς, η συμπεριφορά του κυκλώματος δεν εμφάνισε ανεπιθύμητες παρενέργειες.

Το κύκλωμα του τρίθρουρου διαιρέτη ισχύος

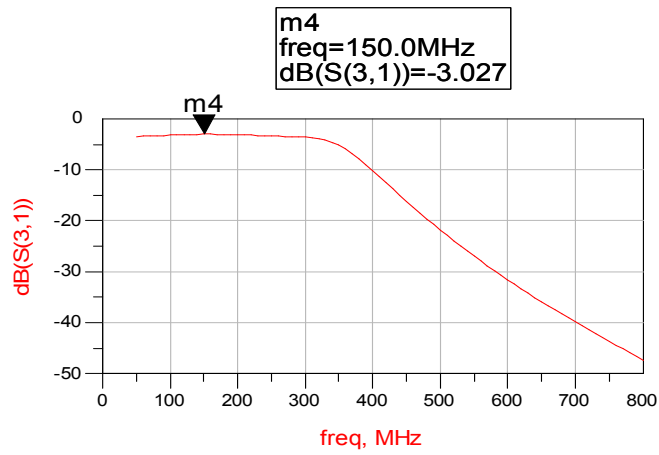


Σχήμα 4.17: Το κύκλωμα του τρίθρουρου διαιρέτη ισχύος, 2η προσαρμογή με προσθήκη των γραμμών μεταφοράς

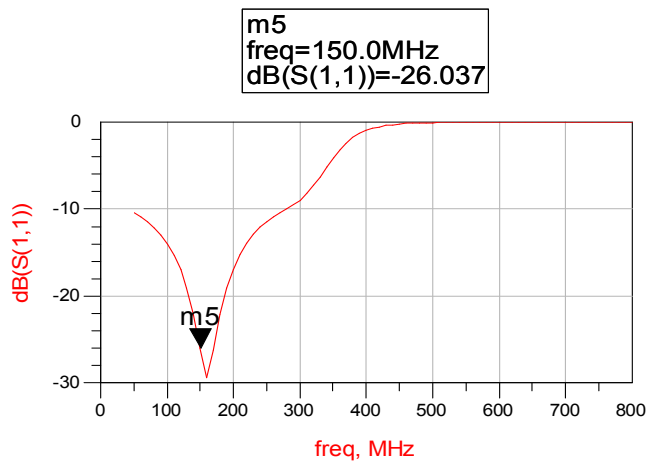
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις βέλτιστες τιμές των διακριτών στοιχείων του πίνακα 4.8, φαίνονται στα παρακάτω γραφήματα:



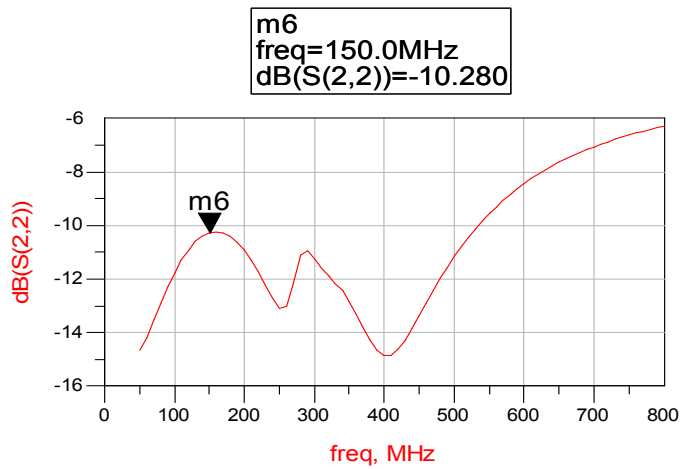
Γράφημα 4.66: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1)



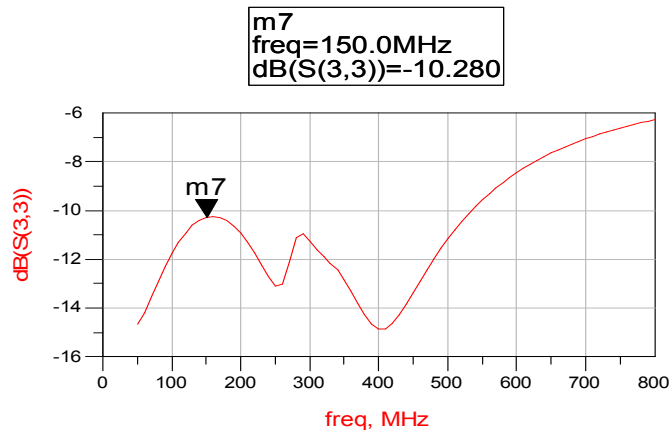
Γράφημα 4.67: Συντελεστής μετάδοσης $S(3,1)$



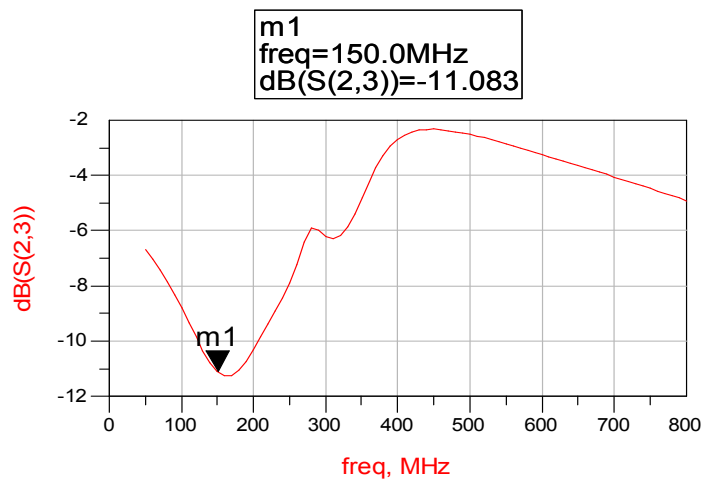
Γράφημα 4.68: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 1, $S(1,1)$



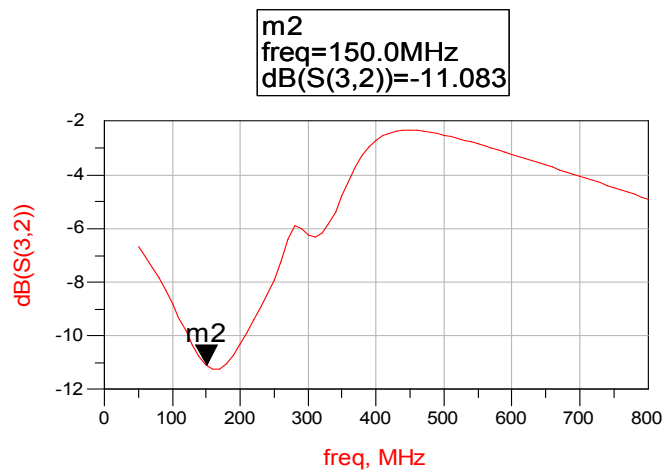
Γράφημα 4.69: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 2, $S(2,2)$



Γράφημα 4.70: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 3, S(3,3)



Γράφημα 4.71: Συντελεστής μετάδοσης S(2,3)



Γράφημα 4.72: Συντελεστής μετάδοσης S(3,2)

Παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα, μπορούμε να συνοψίσουμε στα εξής:

- Παρατηρώντας τα γραφήματα 4.66 & 4.67 που περιγράφουν τη συμπεριφορά του συντελεστή μετάδοσης απο τη θύρα 1 στη θύρα 2 και απο τη θύρα 1 στη θύρα 3, παρατηρούμε ότι στη κεντρική συχνότητα $f_0 = 150$ MHz, η απώλεια είναι 3.027 dB, πολύ καλή προσέγγιση στα 3dB που θα περιμέναμε ιδανικά.
- Παρατηρώντας τα γραφήματα 4.68, 4.69 & 4.70 που περιγράφουν τη συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης στις τρεις θύρες, παρατηρούμε ότι στη κεντρική συχνότητα $f_0 = 150$ MHz, στη θύρα 1, είναι $S(1,1) = -26.037$ dB και στις θύρες 2 & 3, είναι $S(2,2) = S(3,3) = -10.280$ dB.
- Παρατηρώντας τα γραφήματα 4.71 & 4.72 που περιγράφουν τη συμπεριφορά του συντελεστή μετάδοσης απο τη θύρα 2 στη θύρα 3 και απο τη θύρα 3 στη θύρα 2, στη κεντρική συχνότητα $f_0 = 150$ MHz, η απομόνωση ανάμεσα στις θύρες εξόδου είναι 11.083 dB.

Συνεπώς, με την προσθήκη της γεωμετρίας, των διαστάσεων και των χαρακτηριστικών των γραμμών μεταφοράς, η συμπεριφορά του κυκλώματος δεν εμφάνισε ανεπιθύμητες παρενέργειες.

Κεφάλαιο 5 - Κατασκευή, Μετρήσεις

5.1 Κατασκευή των κυκλωμάτων

Τα κυκλώματα κατασκευάστηκαν με τη γνωστή μέθοδο των πολυστρωματικών τυπωμένων κυκλωμάτων (Printed Circuit Boards, PCBs). Χρησιμοποιήθηκε πανέλ απλής όψεως, PCB PROTO SSS (SINGLE SIDE EURO FORMAT PCB) διαστάσεων 160 mm x 100 mm.

Οι προδιαγραφές του εργοστασίου κατασκευής τυπωμένων κυκλωμάτων (<http://www.olimex.com/pcb/index.html>) για πανέλ SSS, είναι:

- Υπόστρωμα: FR-4, πάχους 1.5mm, επιχάλκωση 35um.
- Μεταλική μάσκα από τη μία μεριά της πλακέτας.
- Το ελάχιστο πλάτος των αγωγών είναι: 0,203 mm.
- Ελάχιστη απόσταση μεταξύ αγωγών: 0,203 mm.
- Τα κομμάτια αγωγών που θα φιλοξενήσουν τρύπες γειώσεων πρέπει να έχουν περιθώριο > 0,406 mm – π.χ για τρυπάνι διαμέτρου 0.9mm το κομμάτι του αγωγού μπορεί να έχει ελάχιστη διάμετρο 1.306 mm.
- Η ελάχιστη διάμετρος τρυπανιού είναι: 0,6 mm.
- Η μέγιστη διάμετρος τρυπανιού είναι: 5,0 mm.
- Μέγιστος αριθμός τρυπών, 500 ανά πλακέτα.
- Κόψιμο στα όρια των κυκλωμάτων μόνο σε ορθογώνια σχήματα.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των τυπωμένων κυκλωμάτων είναι:

Υπόστρωμα: CC-5400:

- Κατασκευαστής: CKC TAIWAN
- ANSI τάξη FR-4
- Πάχος υποστρώματος 1.5 mm (0.062")
- Επιχάλκωση 35 um (1 oz)

Φωτοευαίσθητα υλικά:

- LAMINAR 5000, κατασκευαστής: Morton Electronic Materials Inc.
- Riston 200, κατασκευαστής: Dupont Electronic Materials Inc.

Μεταλική μάσκα: SD24xx:

- Κατασκευαστής: Lackwerke Peters GmbH
- UL 94 V-0, UL file: E80315

Οι μάσκες των κυκλωμάτων δόθηκαν στο εργοστάσιο κατασκευής τυπωμένων κυκλωμάτων σε αρχεία PCB, όπως ορίζουν οι προδιαγραφές. Για τη μετατροπή των αρχείων GERBER που δημιουργήθηκαν μέσω του προγράμματος, **HP ADVANCED DESIGN SYSTEM 2002** (βλέπε παράγραφο Π.2.3) σε αρχεία PCB, χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα ECAM5.

Κολλήσεις των διακριτών στοιχείων

Η λειτουργία ενός κυκλώματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των κολλήσεων. Τα διακριτά στοιχεία, τύπου SMD (surface mount devices), κολλήθηκαν με προσοχή πάνω στα τυπωμένα κυκλώματα με τη μέθοδο “*Solder Die Bonding*” που συνιστά στη θέρμανση του επιμεταλλωμένου υποστρώματος και του επιμεταλλωμένου ακροδέκτη του διακριτού στοιχείου με ένα κατάλληλο μείγμα κόλλησης. Το μίγμα αυτό περιέχει 60% κασσίτερο και 40% μόλυβδο καθώς και αντιοξειδωτικές ουσίες που χρησιμεύουν στο να κάψουν το στρώμα του οξειδίου των ακροδεκτών.

Προστασία κυκλωμάτων από τον στατικό ηλεκτρισμό

Ο στατικός ηλεκτρισμός μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα ολοκληρωμένα κυκλώματα και αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της βιομηχανίας ηλεκτρονικών. Οι μηχανικοί προσπαθούν κατά την σχεδίαση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων να τα απευαισθητοποιήσουν από τις ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις. Οι ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (Electrostatic Discharges, ESD) ορίζονται ως η μεταφορά στατικού φορτίου μεταξύ δύο σωμάτων που βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού και παράγονται από δύο διαφορετικούς μηχανισμούς:

- α) Την τριβή που προκαλείται όταν δύο επιφάνειες έρχονται σε επαφή (τριβοηλεκτρική φόρτιση)
- β) Την επίδραση του ηλεκτροστατικού πεδίου ήδη φορτισμένων σωμάτων (επαγωγική φόρτιση)

Η εμφάνιση παλμών ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων σε ένα κύκλωμα με χωρητική ή επαγωγική αντίσταση, έχει ως αποτέλεσμα βλάβες που μπορεί να είναι μόνιμες ή παροδικές. Όταν ένα κύκλωμα καταστραφεί, λόγω ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων, είναι σχετικά εύκολο να αντικατασταθεί. Το πρόβλημα που δημιουργείται είναι μεγαλύτερο στην περίπτωση που οι βλάβες έγκεινται στην παραμόρφωση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των ολοκληρωμένων.

Η αντιμετώπιση του προβλήματος των ηλεκτροστατικών εκφορτίσεων, προϋποθέτει ένα προστατευμένο – απαλλαγμένο όσο το δυνατόν από την παρουσία στατικού φορτίου και υγρασίας – περιβάλλον, και επιπλέον προσεκτική χρήση του εξοπλισμού του εργαστηρίου και των ολοκληρωμένων κατά το στάδιο της συναρμολόγησης και των μετρήσεων.[7]

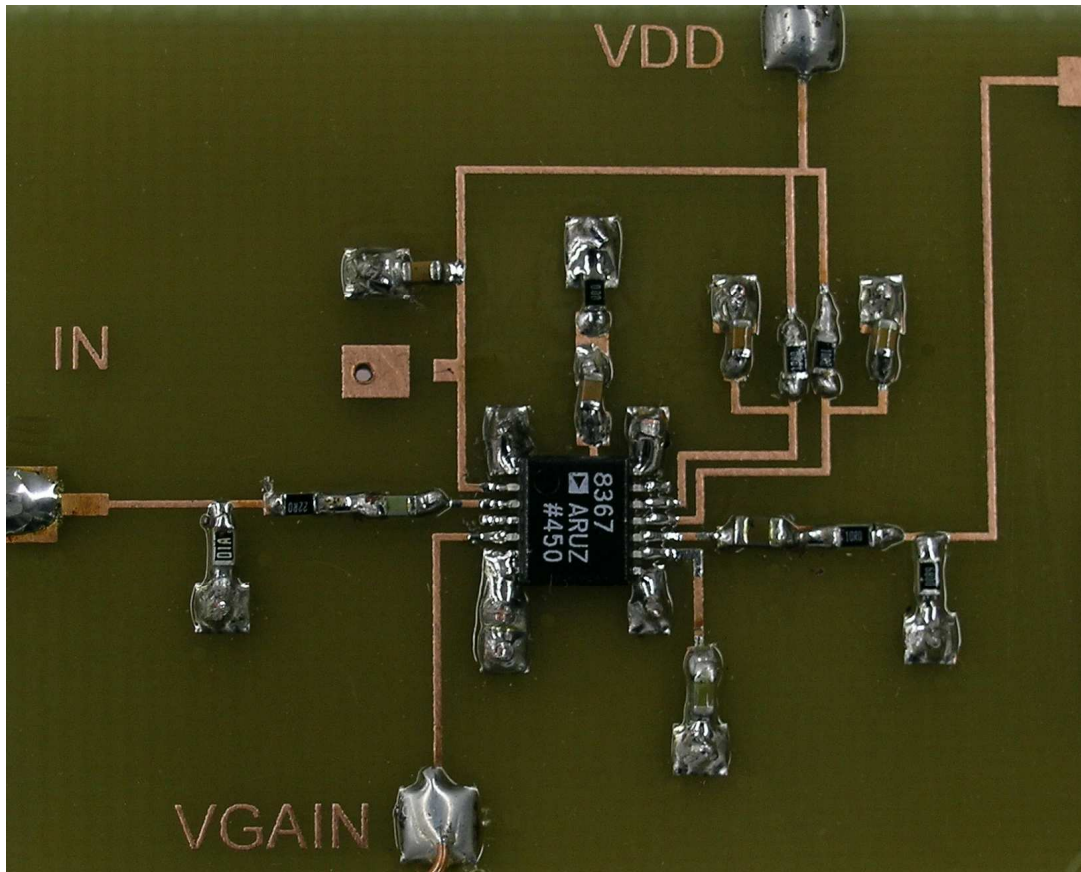
5.2 Μέτρηση των κυκλωμάτων

Εξοπλισμός του εργαστηρίου

Για τη μέτρηση των κυκλωμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Desktop Antenna Measurement System Version 3.0 (beta) της εταιρείας Diamond, σε H/Y Standard Pentium στα 400 MHz με RAM 128 MByte. Τα κυκλώματα συνδέθηκαν στο Network Analyzer HP8714C μέσω ομοαξονικών καλωδίων. Ο Network Analyzer επικοινωνούσε με τον H/Y μέσω GPIB (General Purpose Interface Bus) κάρτας της εταιρείας National Instruments.

Η βαθμονόμηση του Network Analyzer HP8714C έγινε ώστε να υπολογίσει S-παραμέτρους στο εύρος συχνοτήτων 10 – 600 MHz και οι ρυθμίσεις αποθηκεύτηκαν σε αρχείο STA. Τα κυκλώματα συνδέθηκαν πάνω στον Network Analyzer HP8714C μέσω ομοαξονικών καλωδίων. Η απόσβεση που εισάγει το ομοαξονικό καλώδιο μετρήθηκε ενδεικτικά στα 100, 150 και στα 200 MHz και βρέθηκε ότι είναι περίπου 0,01dB, άρα έχει αμελητέα επίδραση.

5.2.1 Το κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους



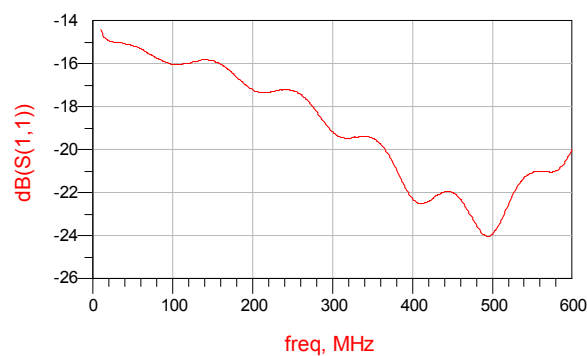
Σχήμα 5.1: Το τυπωμένο κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους, διακρίνεται το ολοκληρωμένο AD8367

Για τη μέτρηση του κυκλώματος του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους, χρησιμοποιήσαμε το Network Analyzer HP8714C. Η βαθμονόμηση του οργάνου έγινε ώστε να υπολογίσει S-παραμέτρους στο εύρος συχνοτήτων 10 – 600 MHz και οι ρυθμίσεις αποθηκεύτηκαν σε αρχείο STA. Το κύκλωμα συνδέθηκε στον Network Analyzer HP8714C μέσω ομοαξονικών καλωδίων. Η απόσβεση που εισάγει το ομοαξονικό καλώδιο μετρήθηκε ενδεικτικά στα 100, 150 και στα 200 MHz και βρέθηκε ότι είναι περίπου 0,01dB, άρα έχει αμελητέα επίδραση.

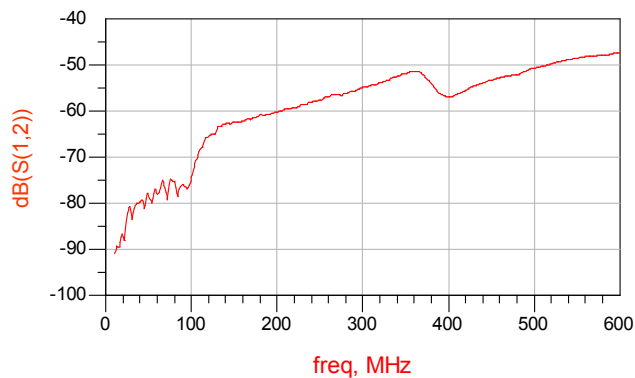
Κατά τη μέτρηση του συντελεστή μετάδοσης από τη θύρα 1 στην θύρα 2, $S(2,1)$ παρεβάλλαμε ανάμεσα στο κύκλωμα και στο Network Analyzer τον εξασθενητή HP 8496B ATTENUATOR/110dB ρυθμισμένο να εισάγει απόσβεση 30dB. Ο λόγος ήταν ότι για μεγάλες τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης, V_{gain} γίνεται υπέρβαση του σημείου

1 dB στην έξοδο (OIP3) και έχουμε κορεσμό του ενισχυτή. Αυτό αντικατοπτρίζεται στους πίνακες που περιέχουν τις μετρήσεις του κυκλώματος ενώ στα γραφήματα έχει προστεθεί διορθωτικός παράγοντας και έτσι αυτό που τελικά απεικονίζεται είναι η πραγματική συμπεριφορά του κυκλώματος όπως εάν δεν παρεμβαλλόταν ο εξασθενητής.

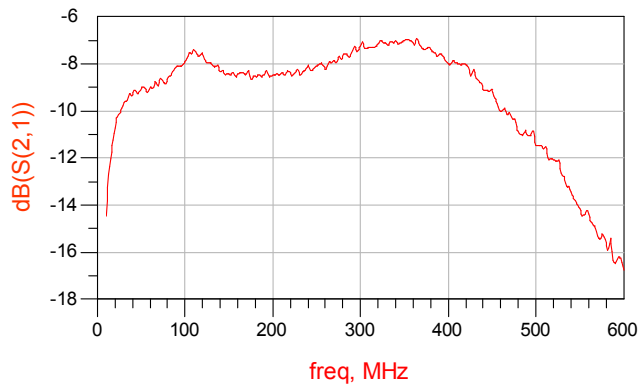
Ο Network Analyzer αποθηκεύει τα αποτελέσματα σε αρχεία touchstone (βλέπε παράγραφο Π.2.4) όπου οι μιγαδικές S-παράμετροι παριστάνονται στη μορφή πραγματικό (real) – φανταστικό (imaginary) μέρος. Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατασκευάστηκαν τα γραφήματα που ακολουθούν. Αναλυτικοί πίνακες (Π.3.1, Π.3.2, Π.3.4) με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για το κύκλωμα του ενισχυτή μεταβλητού κέρδους παρατίθενται Παράρτημα 3.



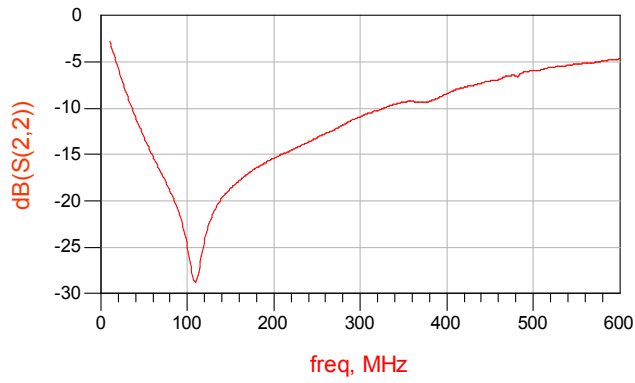
Γράφημα 5.1: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{gain} = 0$ V



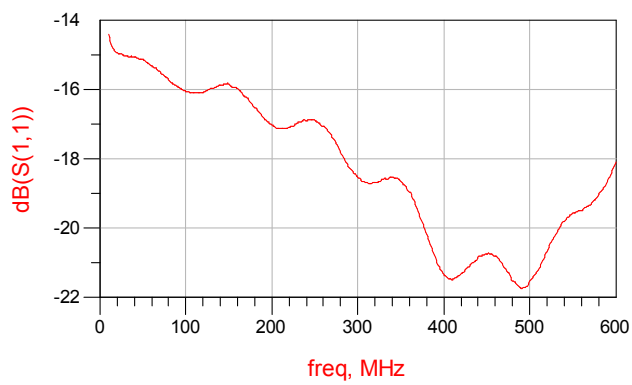
Γράφημα 5.2: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{gain} = 0$ V



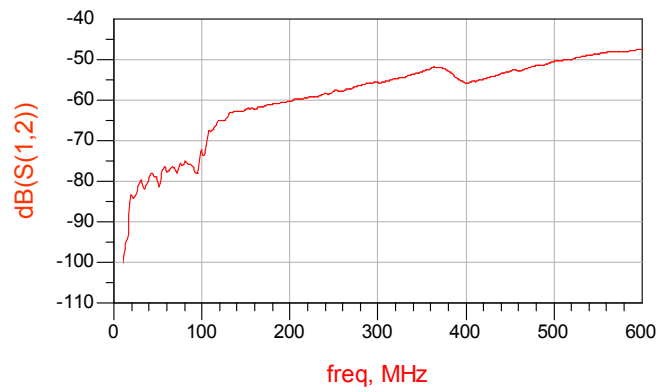
Γράφημα 5.3: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$



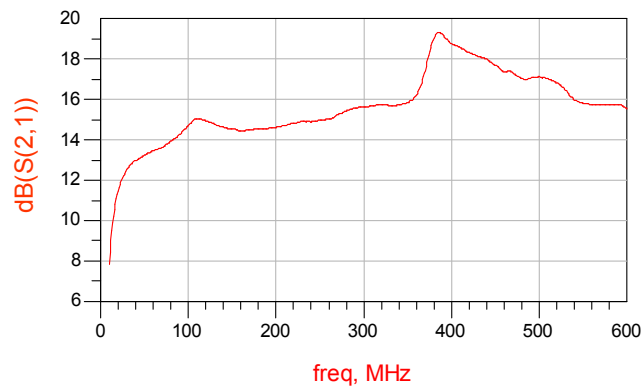
Γράφημα 5.4: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0 \text{ V}$



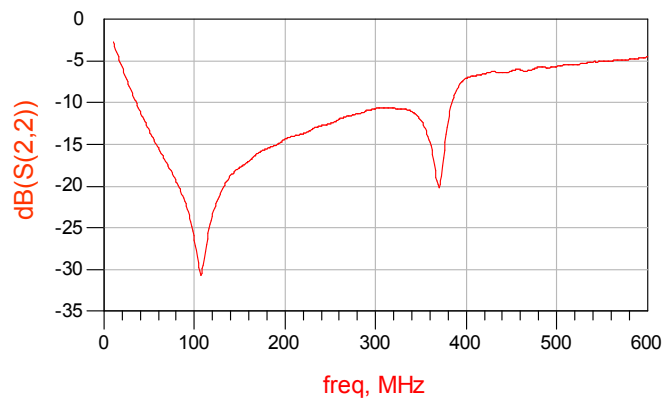
Γράφημα 5.5: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$



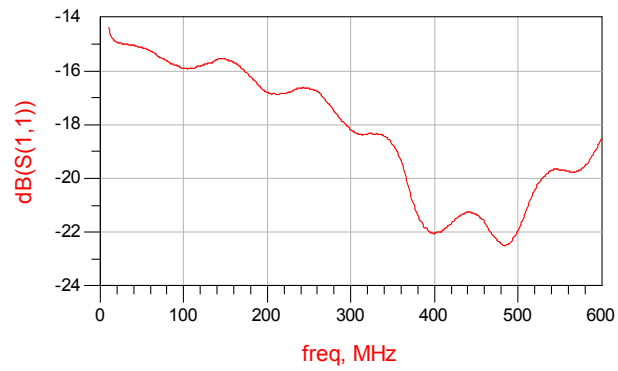
Γράφημα 5.6: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$



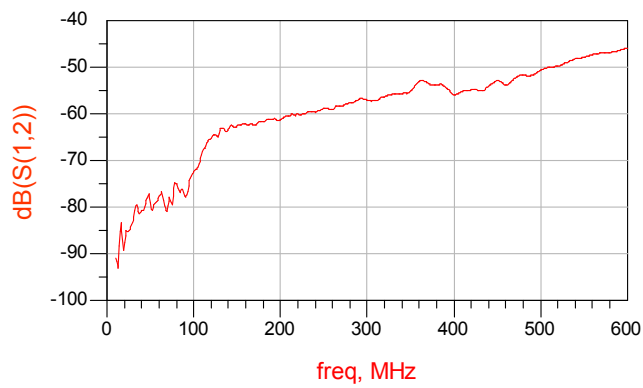
Γράφημα 5.7: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$



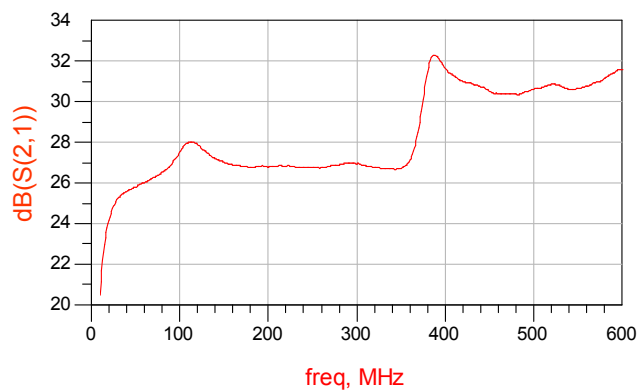
Γράφημα 5.8: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0.5 \text{ V}$



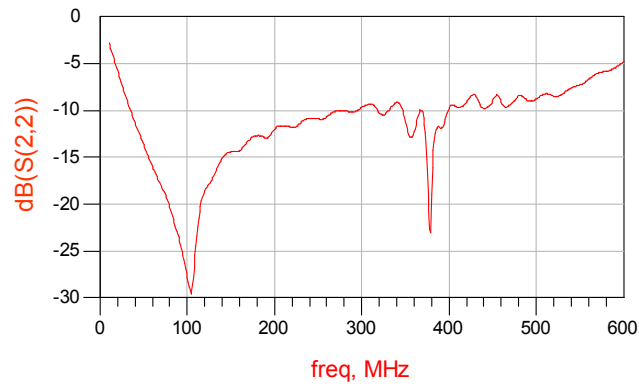
Γράφημα 5.9: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



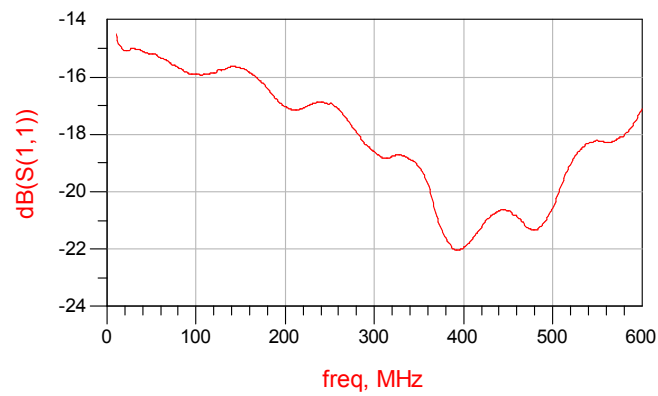
Γράφημα 5.10: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



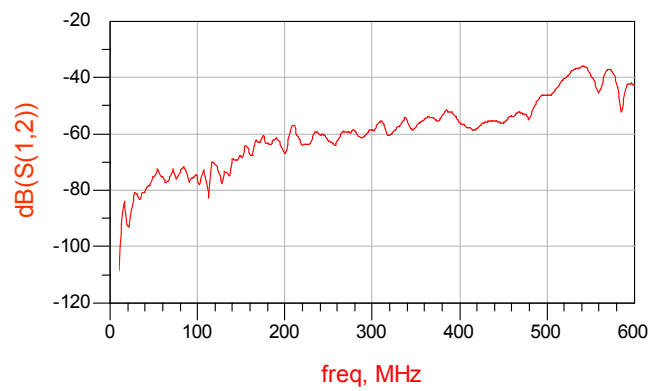
Γράφημα 5.11: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



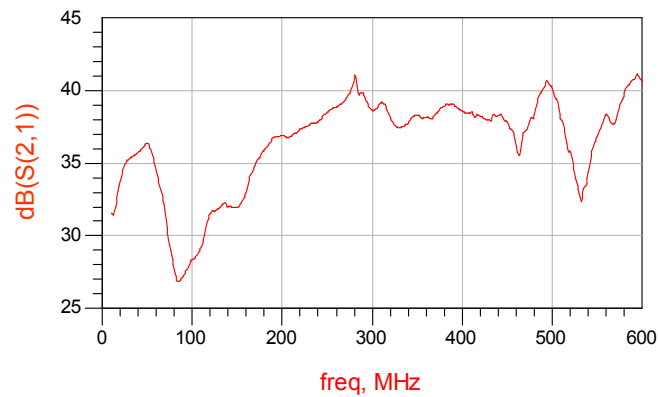
Γράφημα 5.12: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$



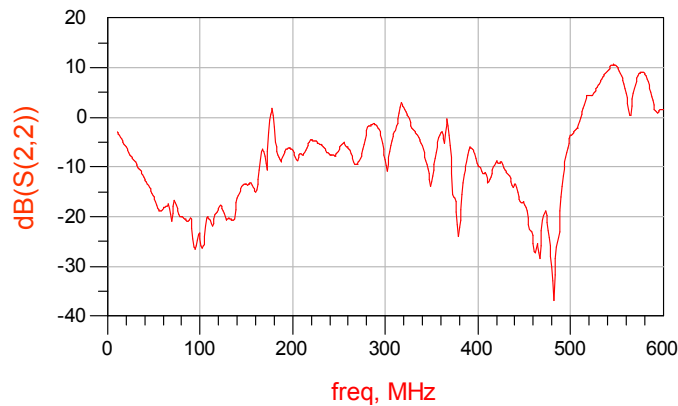
Γράφημα 5.13: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$



Γράφημα 5.14: Συντελεστής μετάδοσης $S(1,2)$ για $V_{\text{gain}} = 1 \text{ V}$



Γράφημα 5.15: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{gain} = 1 V$



Γράφημα 5.16: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{gain} = 1 V$

Συμπεράσματα

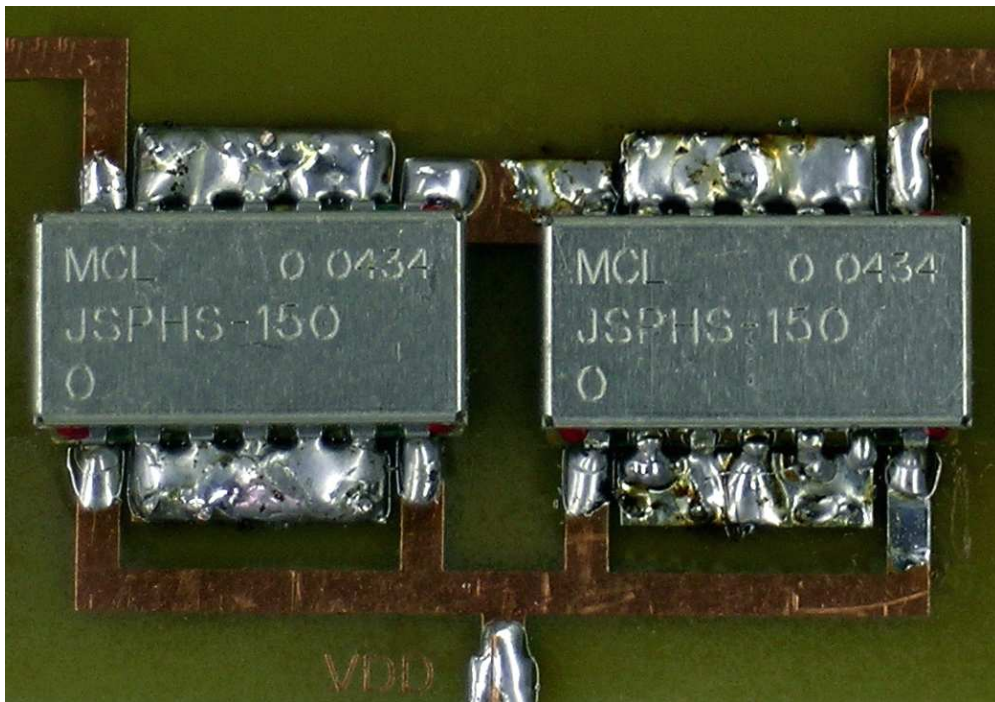
Παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα, μπορούμε να συνοψίσουμε στα εξής:

- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης στην είσοδο (γραφήματα 5.1, 5.5, 5.9, 5.13), στο εύρος λειτουργίας του κυκλώματος (100 MHz - 200 MHz) και για όλες τις τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης, έχουμε $S(1,1) < -15$ dB. Το αποτέλεσμα αυτό ικανοποιεί πλήρως τον αρχικό σχεδιαστικό στόχο που προέβλεπε $S(1,1) < -12$ dB.
- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή μετάδοσης ισχύος από τη θύρα 2 στη θύρα 1 συναρτήσει της συχνότητας (MHz) και για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης (V_{gain}) (γραφήματα 5.2, 5.6, 5.10, 5.14), προκύπτει ότι η στάθμη είναι πολύ χαμηλή $S(1,2) < -60$ dB και δεν θα μας απασχολήσει.
- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του κέρδους ή συντελεστή μετάδοσης ισχύος από τη θύρα 1 στη θύρα 2, συναρτήσει της συχνότητας (MHz) και για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης (V_{gain}) (γραφήματα 5.3, 5.7, 5.11, 5.15), συμπεραίνουμε ότι το κύκλωμα ικανοποιεί τις απαιτήσεις τις βαθμίδας για κέρδος

$S(2,1) > 30$ dB, όταν η τάση ελέγχου ενίσχυσης είναι $V_{\text{gain}} > 0,75$ V. Για τις μέγιστες τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης, όπου το V_{gain} τείνει στο 1V, οι συνθήκες για ευστάθεια άνευ όρων δεν ικανοποιούνται όπως είχε ήδη προβλεφθεί στην παράγραφο 4.1 (Ευστάθεια των κυκλωμάτων) και το κύκλωμα παρουσιάζει μη προβλέψιμη συμπεριφορά. Ωστόσο οι απαιτήσεις για ενίσχυση της συγκεκριμένης εφαρμογής ικανοποιούνται πλήρως σε τιμές του V_{gain} κάτω από τα 0,75 V και επομένως ο ενισχυτής δεν αναμένεται να χρειαστεί ποτέ να λειτουργήσει σε οριακές συνθήκες.

- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης στην έξοδο (γραφήματα 5.4, 5.8, 5.12, 5.16), στο εύρος λειτουργίας του κυκλώματος (100 MHz - 200 MHz) και για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης, έχουμε $S(2,2) < -12$ dB. Το αποτέλεσμα αυτό ικανοποιεί τον αρχικό σχεδιαστικό στόχο εκτός από την περίπτωση όπου η τάση ελέγχου ενίσχυσης, V_{gain} τείνει στο 1V, για τους ίδιους λόγους που αναφέραμε παραπάνω. Για τις μέγιστες τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης, εμφανίζονται σημαντικές ανακλάσεις στην έξοδο. Ωστόσο, αυτό δεν συνεπάγεται προβλήματα στη λειτουργία λόγω κακής προσαρμογής, καθώς ο ενισχυτής δεν αναμένεται να χρειαστεί ποτέ να λειτουργήσει σε οριακές συνθήκες.

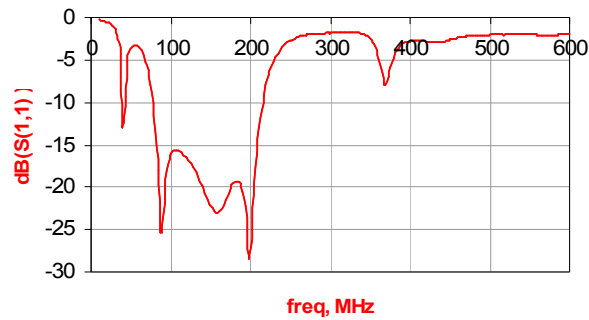
5.2.2 Το κύκλωμα των στροφών φάσης



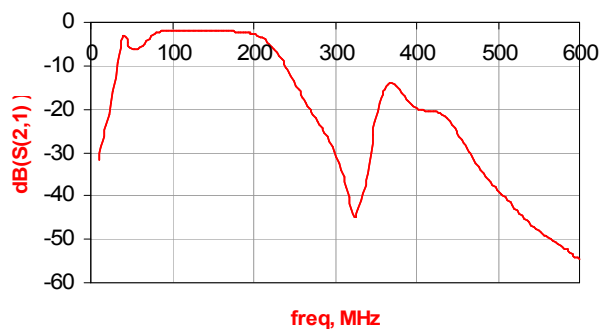
Σχήμα 5.2: Το τυπωμένο κύκλωμα του στροφέα φάσης, διακρίνονται συνδεδεμένα σε σειρά, τα ολοκληρωμένα JSPHS-150 της Mini-Circuits και η κοινή τους τροφοδοσία

Για τη μέτρηση του κυκλώματος των στροφών φάσης, χρησιμοποιήσαμε το Network Analyzer HP8714C. Η βαθμονόμηση του οργάνου έγινε ώστε να υπολογίσει S-παραμέτρους στο εύρος συχνοτήτων 10 – 600 MHz. Το κύκλωμα συνδέθηκε με το Network Analyzer HP8714C μέσω ομοαξονικών καλωδίων. Ο Network Analyzer επικοινωνούσε με τον H/Y μέσω GPIB (General Purpose Interface Bus) κάρτας, ενώ

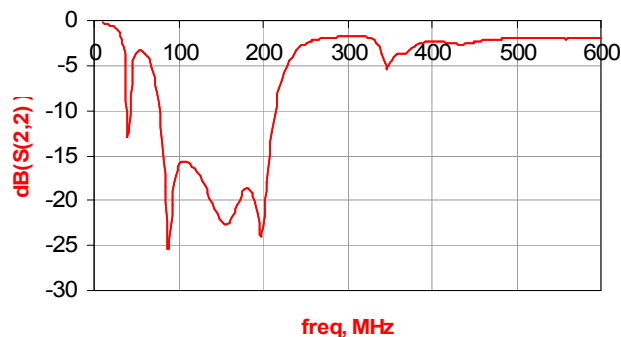
στον Η/Υ έτρεχε η εφαρμογή Desktop Antenna Measurement System Version 3.0 (beta). Η εφαρμογή αυτή αποθηκεύει τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε αρχεία .txt. Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατασκευάστηκαν τα γραφήματα που ακολουθούν. Αναλυτικοί πίνακες (Π.3.5 έως Π.3.11) με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για το κύκλωμα των στροφέων φάσης παρατίθενται στο Παράρτημα 3.



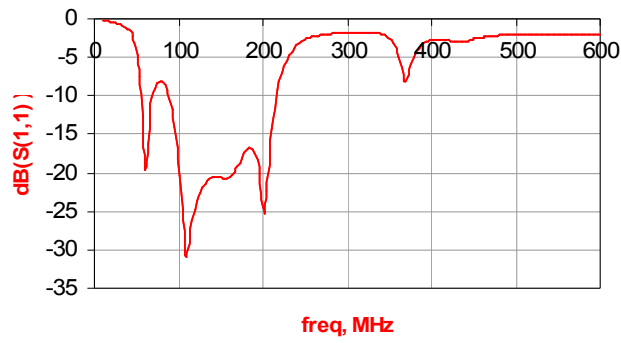
Γράφημα 5.17: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) για $V_{\text{supply}} = 0 \text{ V}$



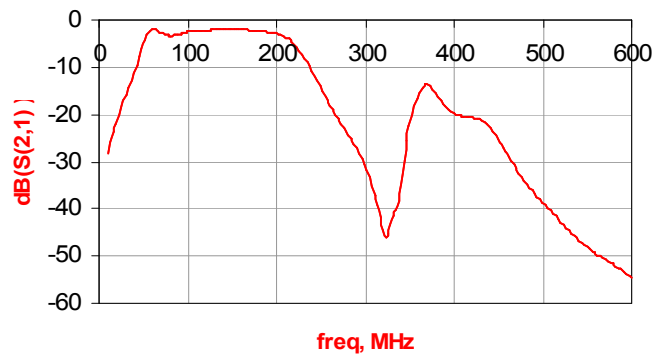
Γράφημα 5.18: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1) για $V_{\text{supply}} = 0 \text{ V}$



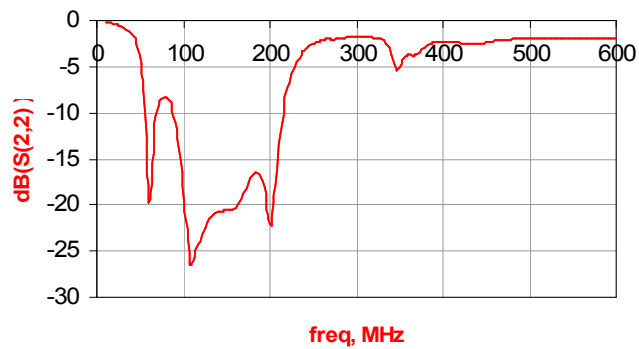
Γράφημα 5.19: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου S(2,2) για $V_{\text{supply}} = 0 \text{ V}$



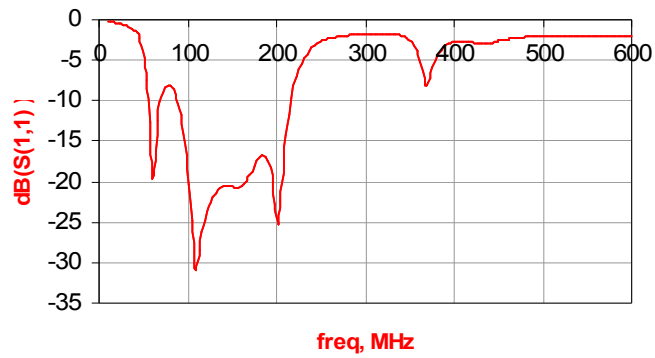
Γράφημα 5.20: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{supply}} = 2 \text{ V}$



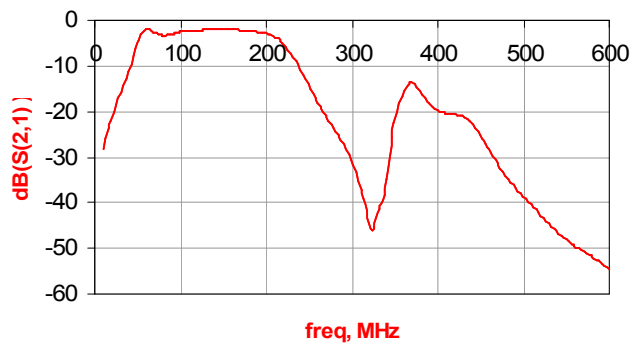
Γράφημα 5.21: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{supply}} = 2 \text{ V}$



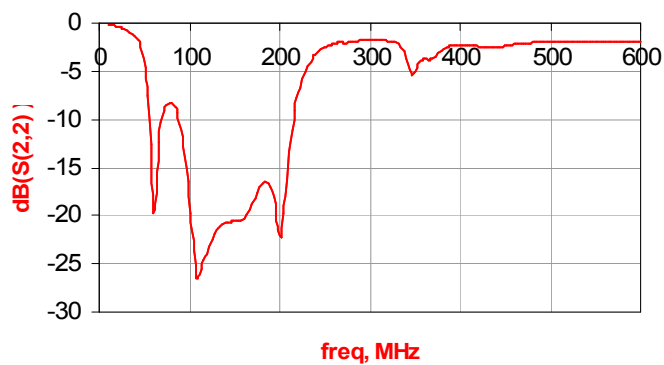
Γράφημα 5.22: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{supply}} = 2 \text{ V}$



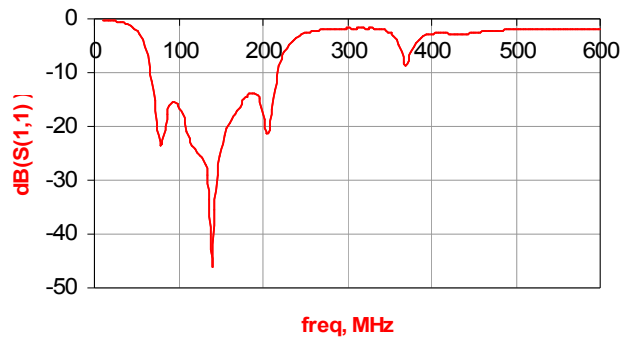
Γράφημα 5.23: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{supply}} = 4 \text{ V}$



Γράφημα 5.24: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{supply}} = 4 \text{ V}$



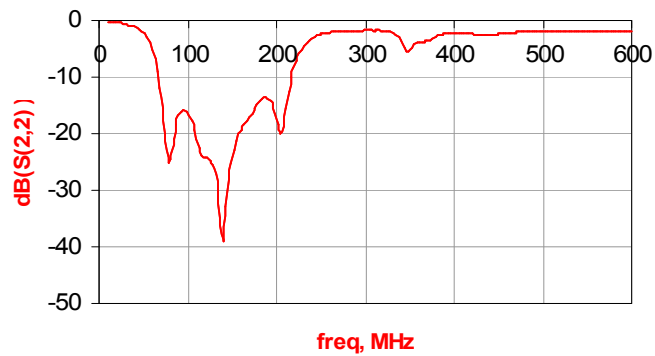
Γράφημα 5.25: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{supply}} = 4 \text{ V}$



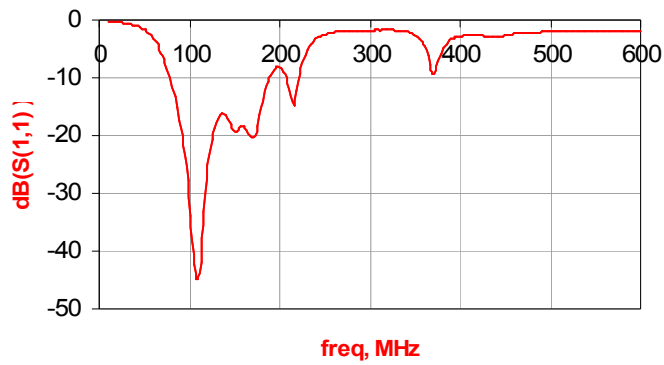
Γράφημα 5.26: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{supply}} = 6 \text{ V}$



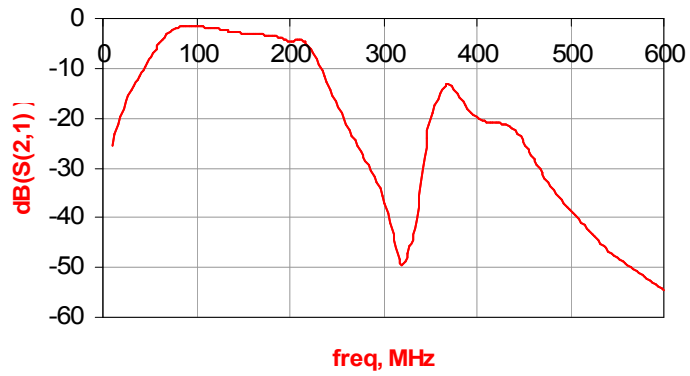
Γράφημα 5.27: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{supply}} = 6 \text{ V}$



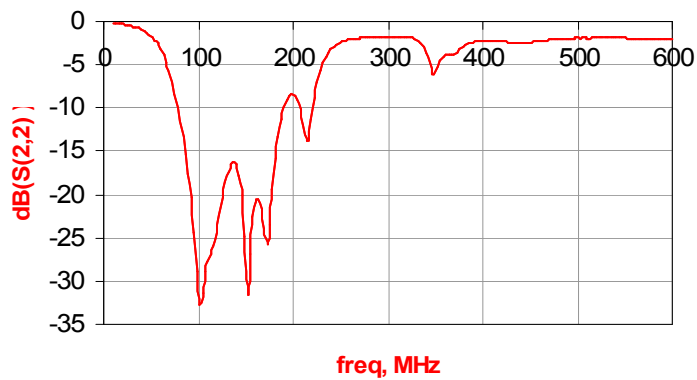
Γράφημα 5.28: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{supply}} = 6 \text{ V}$



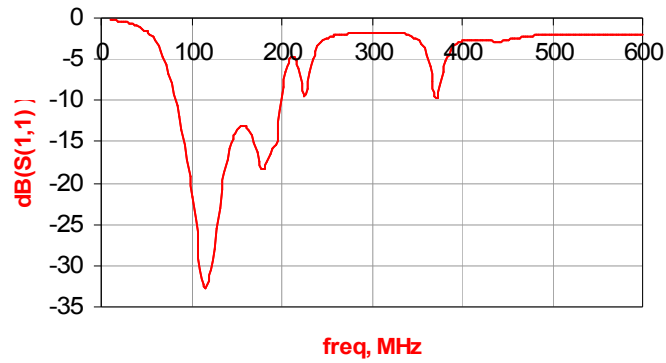
Γράφημα 5.29: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{supply}} = 8 \text{ V}$



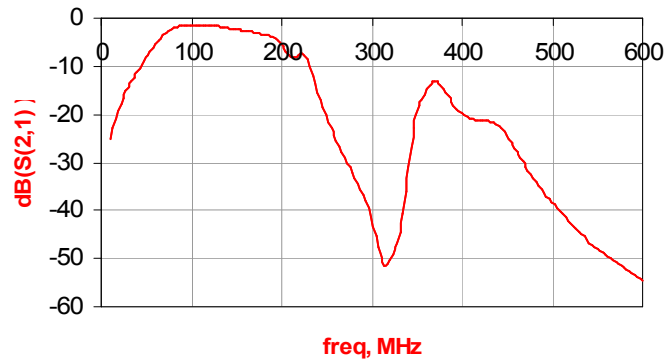
Γράφημα 5.30: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{supply}} = 8 \text{ V}$



Γράφημα 5.31: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{supply}} = 8 \text{ V}$



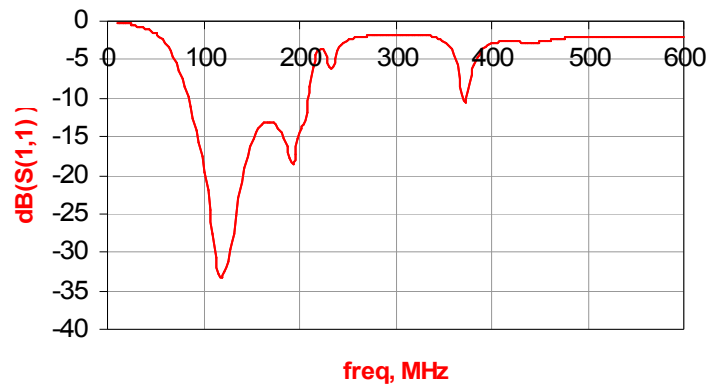
Γράφημα 5.32: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{supply}} = 10 \text{ V}$



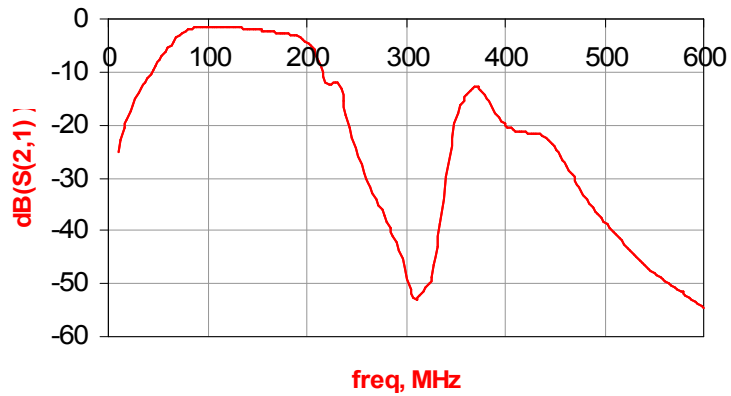
Γράφημα 5.33: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{supply}} = 10 \text{ V}$



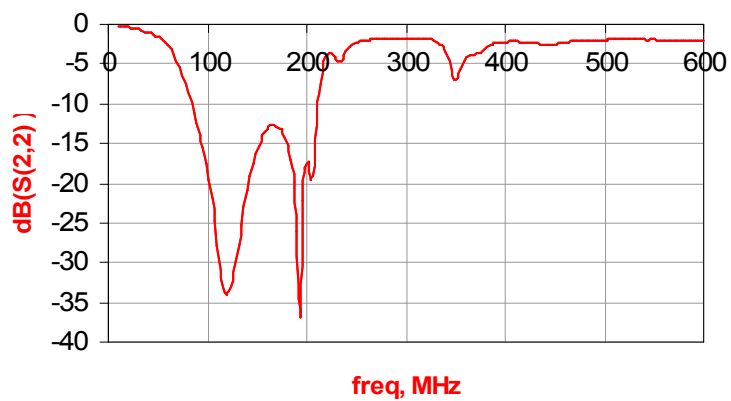
Γράφημα 5.34: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{supply}} = 10 \text{ V}$



Γράφημα 5.35: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ για $V_{\text{supply}} = 12 \text{ V}$

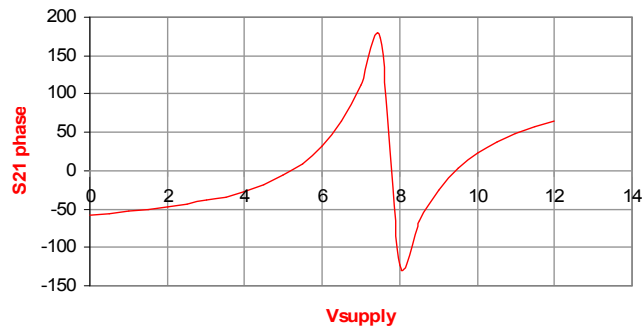


Γράφημα 5.36: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,1)$ για $V_{\text{supply}} = 12 \text{ V}$



Γράφημα 5.37: Συντελεστής ανάκλασης εξόδου $S(2,2)$ για $V_{\text{supply}} = 12 \text{ V}$

Με βάση τα στοιχεία των παραπάνω πινάκων στο επόμενο γράφημα παρουσιάζεται ενδεικτικά η φάση του συντελεστή μετάδοσης S21 στη συχνότητα των 150 MHz για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου/τροφοδοσίας V_{supply} . Η εικόνα που καταγράφεται είναι ένα πριονωτό γράφημα κατά μήκος του άξονα των συχνοτήτων για διαφορετικές τιμές της τάσης ελέγχου/τροφοδοσίας V_{supply} . Η μέγιστη στροφή φάσης που δίνει το δίκτυο των 2 Phase Shifter υπερβαίνει τον πλήρη κύκλο των 360° και παρατηρείται για V_{supply} περίπου ίσο με 8V.



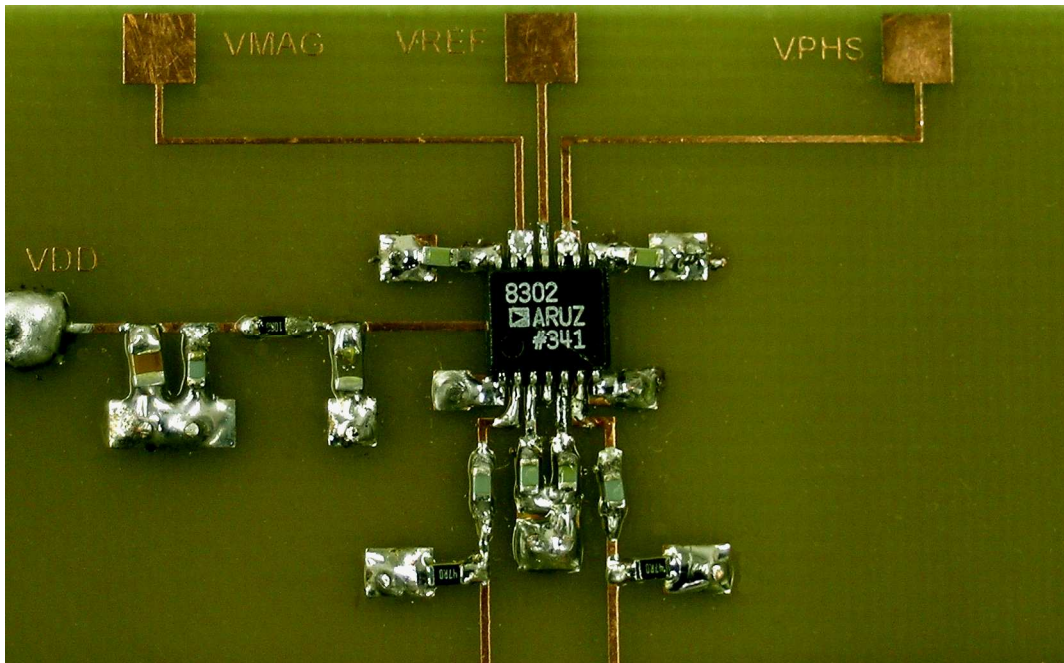
Γράφημα 5.38: Φάση του S(2,1) στη συχνότητα των 150 MHz για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου/τροφοδοσίας V_{supply}

Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα, μπορούμε να συνοψίσουμε στα εξής:

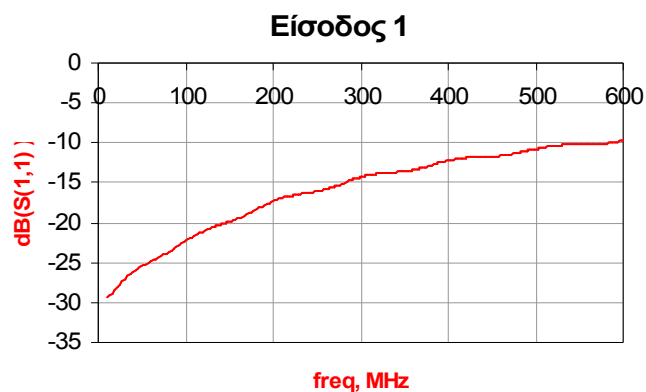
- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης στην είσοδο, στο εύρος λειτουργίας του κυκλώματος (100 MHz - 200 MHz) και για όλες τις τιμές της τάσης ελέγχου V_{supply} , έχουμε $S(1,1) < -12$ dB. Το αποτέλεσμα αυτό ικανοποιεί τον αρχικό σχεδιαστικό στόχο.
- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή μετάδοσης ισχύος από τη θύρα 1 στη θύρα 2 συναρτήσει της συχνότητας (MHz) και για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου ενίσχυσης V_{supply} , προκύπτει ότι η απόσβεση που εισάγει το δίκτυο των δύο στροφέων φάσης είναι πολύ χαμηλή και κυμαίνεται στο διάστημα $-1\text{dB} < S(2,1) < -3$ dB.
- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης στην έξοδο, στο εύρος λειτουργίας του κυκλώματος (100 MHz - 200 MHz) και για μεταβλητές τιμές της τάσης ελέγχου V_{supply} , έχουμε $S(2,2) < -12$ dB. Το αποτέλεσμα αυτό ικανοποιεί τον αρχικό σχεδιαστικό στόχο.

5.2.3 Το κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης

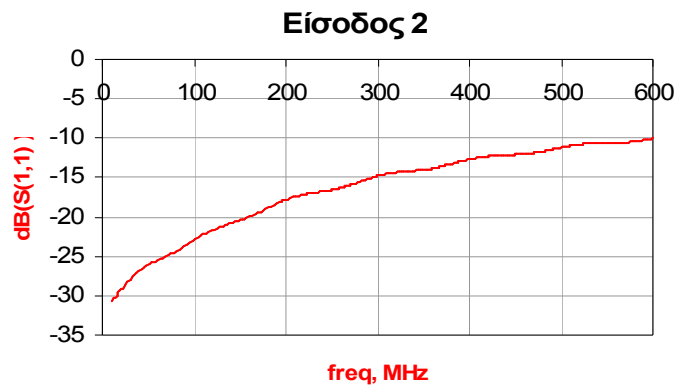


Σχήμα 5.3: Το τυπωμένο κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης, διακρίνεται το ολοκληρωμένο AD8302

Για τη μέτρηση του κυκλώματος του συγκριτή κέρδους και φάσης, χρησιμοποιήσαμε το Network Analyzer HP8714C. Η βαθμονόμηση του οργάνου έγινε ώστε να υπολογίσει S-παραμέτρους στο εύρος συχνοτήτων 10 – 600 MHz. Το κύκλωμα συνδέθηκε με το Network Analyzer HP8714C μέσω ομοαξονικών καλωδίων. Ο Network Analyzer επικοινωνούσε με τον Η/Υ μέσω GPIB (General Purpose Interface Bus) κάρτας, ενώ στον Η/Υ έτρεχε η εφαρμογή Desktop Antenna Measurement System Version 3.0 (beta). Η εφαρμογή αυτή αποθηκεύει τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε αρχεία .txt. Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατασκευάστηκαν τα γραφήματα που ακολουθούν. Αναλυτικός πίνακας (Π.3.12) με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για το κύκλωμα του συγκριτή κέρδους και φάσης παρατίθεται στο παράρτημα 3.



Γράφημα 5.39: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου S(1,1) στην είσοδο 1

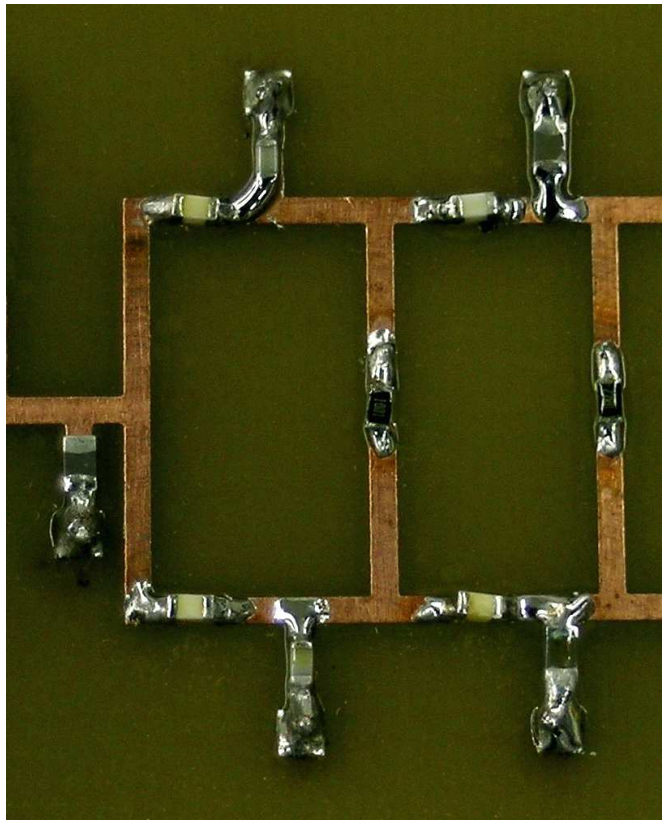


Γράφημα 5.40: Συντελεστής ανάκλασης εισόδου $S(1,1)$ στην είσοδο 2

Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα προκύπτει ότι ο συντελεστής ανάκλασης τόσο στην είσοδο 1 όσο και στην είσοδο 2 (γραφήματα 5.17, 5.18), στο εύρος λειτουργίας του κυκλώματος (100 MHz - 200 MHz), είναι $S(1,1) < -17$ dB. Το αποτέλεσμα αυτό ικανοποιεί πλήρως τον αρχικό σχεδιαστικό στόχο που προέβλεπε $S(1,1) < -12$ dB και δίνει πολύ καλή προσαρμογή στην πράξη.

5.2.4 Το κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος

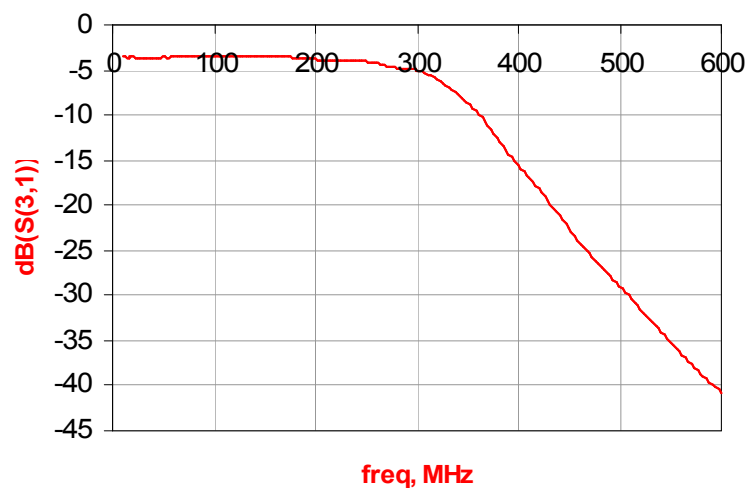


Σχήμα 5.4: Το τυπωμένο κύκλωμα του διαιρέτη ισχύος

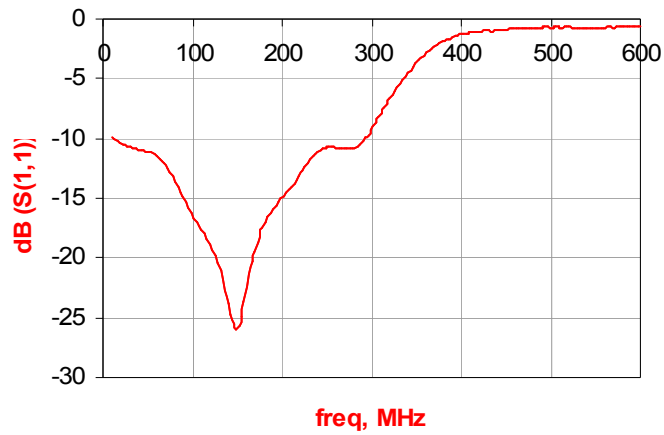
Για τη μέτρηση του κυκλώματος του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος, χρησιμοποιήσαμε το Network Analyzer HP8714C. Η βαθμονόμηση του οργάνου έγινε ώστε να υπολογίσει S-παραμέτρους στο εύρος συχνοτήτων 10 – 600 MHz. Το κύκλωμα συνδέθηκε με το Network Analyzer HP8714C μέσω ομοαξονικών καλωδίων. Ο Network Analyzer επικοινωνούσε με τον Η/Υ μέσω GPIB (General Purpose Interface Bus) κάρτας, ενώ στον Η/Υ έτρεχε η εφαρμογή Desktop Antenna Measurement System Version 3.0 (beta). Η εφαρμογή αυτή αποθηκεύει τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε αρχεία .txt. Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατασκευάστηκαν τα γραφήματα που ακολουθούν. Αναλυτικοί πίνακες (Π.3.13, Π.3.14, Π.3.15) με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για το κύκλωμα του τρίθυρου διαιρέτη ισχύος παρατίθενται στο παράρτημα Π.3.4.



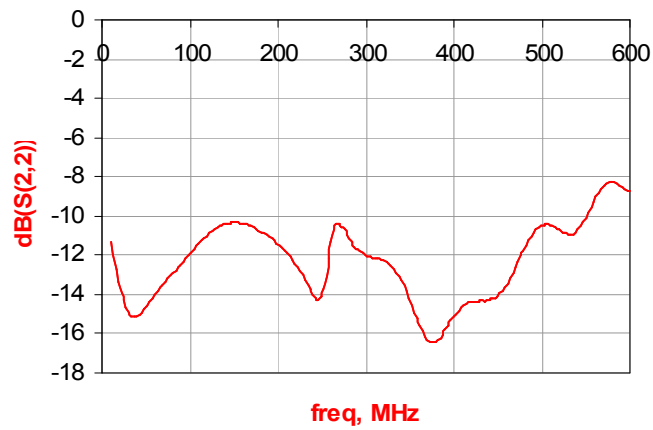
Γράφημα 5.41: Συντελεστής μετάδοσης S(2,1)



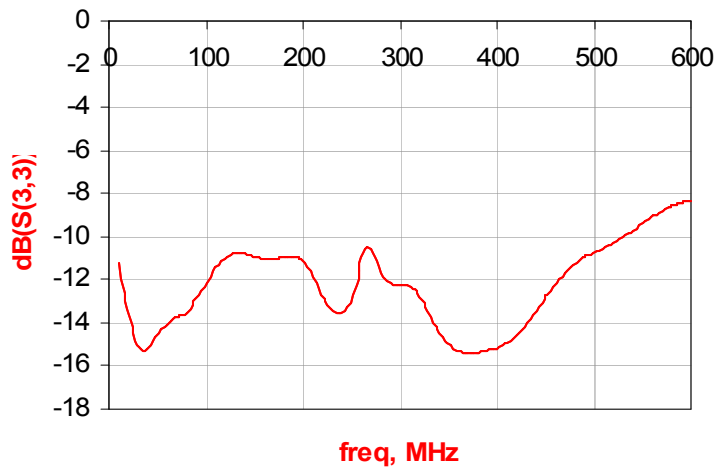
Γράφημα 5.42: Συντελεστής μετάδοσης S(3,1)



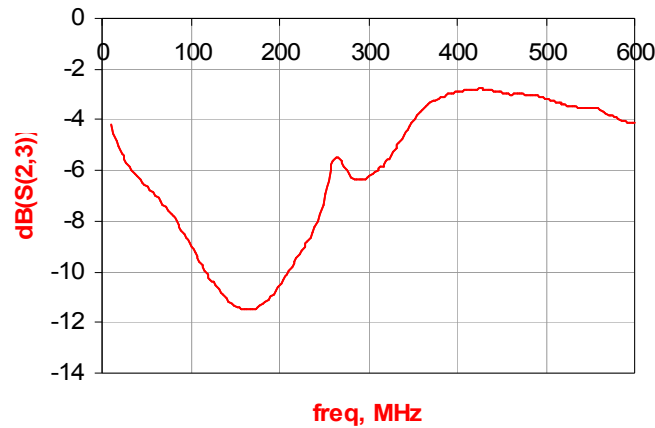
Γράφημα 5.43: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 1, S(1,1)



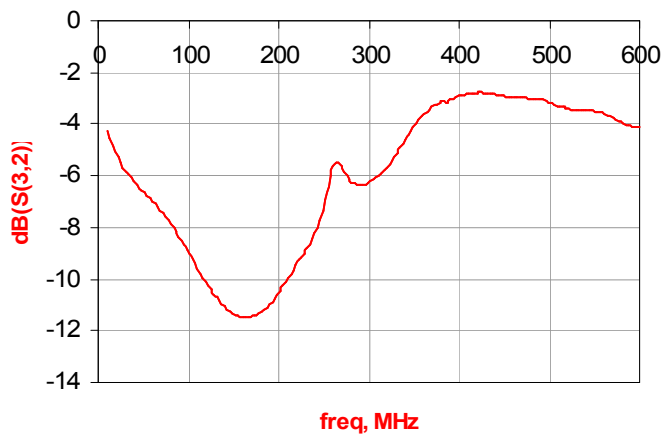
Γράφημα 5.44: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 2, S(2,2)



Γράφημα 5.45: Συντελεστής ανάκλασης στη θύρα 3, S(3,3)



Γράφημα 5.46: Συντελεστής μετάδοσης $S(2,3)$



Γράφημα 5.47: Συντελεστής μετάδοσης $S(3,2)$

Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τα δεδομένα των μετρήσεων, μπορούμε να συνοψίσουμε στα εξής:

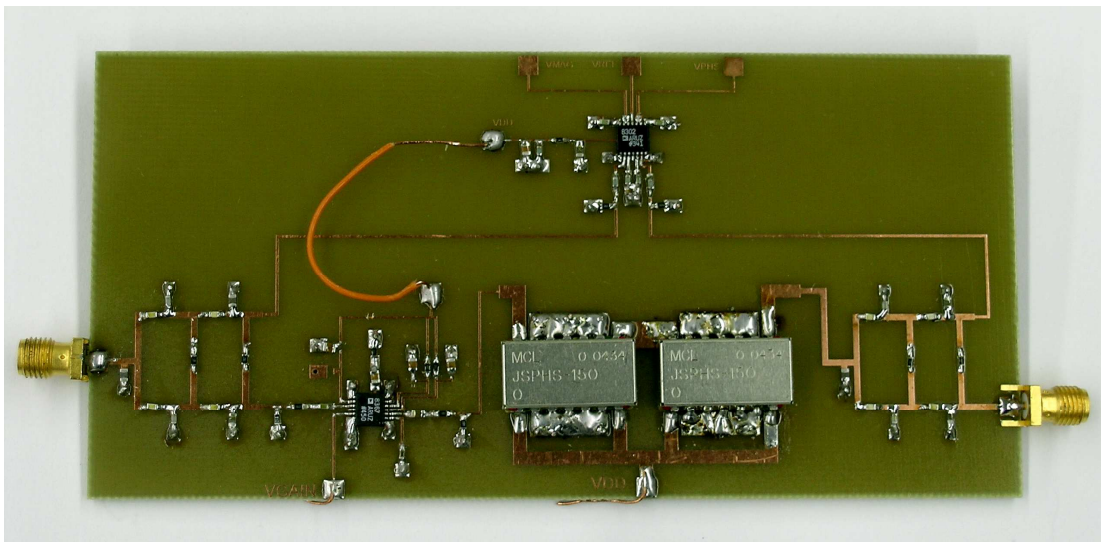
- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή μετάδοσης από τη θύρα 1 στη θύρα 2 και από τη θύρα 1 στη θύρα 3, παρατηρούμε ότι στην κεντρική συχνότητα $f_0 = 150$ MHz, η απώλεια είναι $-3,4144$ dB και $-3,4091$ dB αντίστοιχα, πολύ καλή προσέγγιση στα 3dB που θα περιμέναμε ιδανικά. Αποδεικνύεται λοιπόν ότι ο διαιρέτης πράγματι διαμοιράζει ισόποσα την ισχύ από την είσοδό του στις δύο θύρες εξόδου.
- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή ανάκλασης στις τρεις θύρες, παρατηρούμε ότι στη κεντρική συχνότητα $f_0 = 150$ MHz, στη θύρα 1, είναι $S(1,1) = -25,7042$ dB, στη θύρα 2 είναι $S(2,2) = -10,3175$ και στη θύρα 3, είναι $S(3,3) = -10,9548$ dB. Δηλαδή οι συντελεστές ανάκλασης σε όλες τις θύρες είναι ακόμα χαμηλότεροι από τους θεωρητικά αναμενόμενες μέσω των προσομοιώσεων ($S(1,1) = -22,766$ dB, $S(2,2) = S(3,3) = -10,298$ dB).
- Όσον αφορά τη συμπεριφορά του συντελεστή μετάδοσης από τη θύρα 2 στη θύρα 3 και από τη θύρα 3 στη θύρα 2, στη κεντρική συχνότητα $f_0 = 150$ MHz, η απομόνωση ανάμεσα στις θύρες εξόδου είναι περίπου 11,36, μεγαλύτερη από τη θεωρητικά αναμενόμενη τιμή των 11,128 dB.

Με βάση όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι η συμπεριφορά του κυκλώματος που κατασκευάστηκε ικανοποιεί πλήρως τις προδιαγραφές, αφού διαμοιράζει ισόποσα το σήμα που δέχεται στην είσοδό του, η κάθε θύρα είναι προσαρμοσμένη όταν στις δύο άλλες έχουμε συνδέσει αντίσταση Z_0 (συντελεστές ανάκλασης μικρότεροι από 10 dB) και επιπλέον δεν έχουμε σύζευξη μεταξύ των θυρών 2 και 3. Τέλος, το κύκλωμα εισάγει μικρές απώλειες και εμφανίζει συνολικά καλύτερη συμπεριφορά από τη θεωρητικά αναμενόμενη.

Κεφάλαιο 6 - Επίλογος

6.1 Γενικά συμπεράσματα

Φτάνοντας στο τέλος της παρουσίασης, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι όλη η διαδικασία εξελίχθηκε με επιτυχία, αφού ο αρχικός σχεδιαστικός στόχος επιτεύχθηκε και υποστηρίχθηκε με πλήρη τεκμηρίωση. Περνώντας διαδοχικά από τα στάδια της συστημικής ανάλυσης, της σχεδίασης και της προσομοίωσης σε υπολογιστικό περιβάλλον καταλήξαμε στην υλοποίηση με χρήση εμπορικών εξαρτημάτων μιας βαθμίδας επεξεργασίας σήματος ενδιάμεσων συχνοτήτων (Intermediate Frequencies, IF) για ασύρματο δέκτη, σύμφωνα με το πρότυπο 802.11b/g. Η τελική κατασκευή φαίνεται στην επόμενη φωτογραφία:



Σχήμα 6.1: Το συνολικό τυπωμένο κύκλωμα της βαθμίδας ενδιάμεσων συχνοτήτων

Η βαθμίδα σχεδιάστηκε με στόχο το εύρος λειτουργίας της να εκτείνεται από τα 100 MHz μέχρι τα 200 MHz, δηλαδή εύρος ζώνης 100 MHz. Το ζητούμενο είναι η βαθμίδα να μπορεί να υποστηρίξει down conversion από WLAN το οποίο έχει εύρος ζώνης γύρω στα 83.5 MHz. Ταυτόχρονα, ο χρήστης θα μπορεί με σχετικά απλό αναλογικό τρόπο να έχει συνεχή και όχι διακριτό έλεγχο τόσο στο κέρδος όσο και στη φάση του υπό επεξεργασία σήματος, κάτι που είναι ιδιαίτερα επιθυμητό σε εφαρμογές beam-forming δικτύων, όπου απαιτείται η δυνατότητα για σύνθεση και ηλεκτρονική στροφή του διαγράμματος ακτινοβολίας μιας στοιχειοκεραίας.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πραγματικό κύκλωμα έδειξαν ότι τα θεωρητικά αναμενόμενα από τη διαδικασία των προσομοιώσεων ισχύουν και στην πράξη και ότι το τελικό παράγωγο είναι ένα σύνολο από καλά προσαρμοσμένα δομικά κυκλώματα που διασυνδεόμενα μεταξύ τους σχηματοποιούν μια IF βαθμίδα που ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές και στο σκοπό που εξυπηρετεί.

6.2 Προτάσεις για ενσωμάτωση της βαθμίδας σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ασύρματου δέκτη

Σε πολλές πρακτικές εφαρμογές δεν είναι δυνατή η επίτευξη της επιθυμητής κατευθυντικότητας ή του επιθυμητού εύρους δέσμης με χρήση απλών κεραιών. Επίσης, σε αρκετές περιπτώσεις είναι επιθυμητή η στροφή του διαγράμματος ακτινοβολίας με ηλεκτρονικό τρόπο. Μια κατάλληλη μέθοδος για να αντιμετωπιστούν οι απαιτήσεις αυτές είναι ο σχηματισμός στοιχειοκεραίων. Οι στοιχειοκεραίες είναι διατάξεις που αποτελούνται από πολλούς όμοιους ακτινοβολητές που έχουν τον ίδιο προσανατολισμό και ακτινοβολούν ή λαμβάνουν ταυτοχρόνως. Με κατάλληλη επιλογή της ρευματικής διέγερσης επιτυγχάνονται βελτιωμένες ιδιότητες για τη στοιχειοκεραία σε σχέση με τις αντίστοιχες ενός απλού στοιχείου της. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα επιμέρους πεδία των στοιχείων ακτινοβολίας συμβάλλουν στις επιθυμητές διευθύνσεις του χώρου, ενώ αλληλοαναιρούνται σε άλλες. [3]

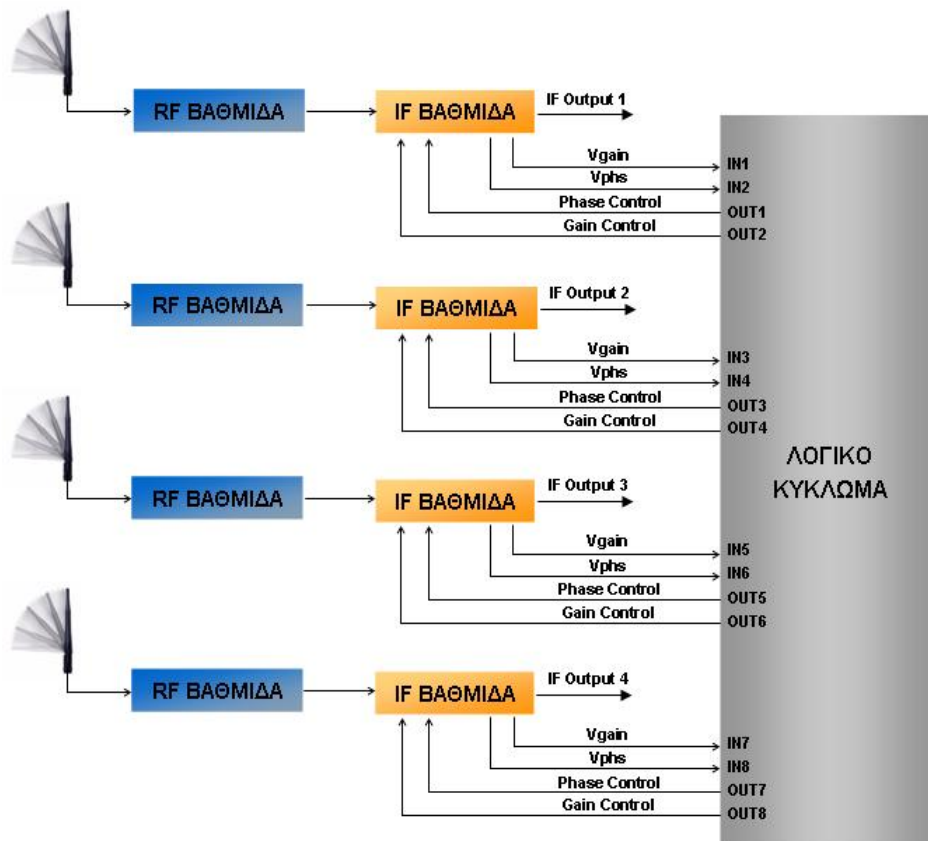
Οι στοιχειοκεραίες βρίσκουν ευρεία εφαρμογή διότι παρέχουν τις εξής δυνατότητες:

- ✓ Αύξηση της κατευθυντικότητας.
- ✓ Σύνθεση επιθυμητών διαγραμμάτων ακτινοβολίας.
- ✓ Στροφή του διαγράμματος ακτινοβολίας με ηλεκτρονικό τρόπο.

Σε αυτή την κατεύθυνση, στο σχήμα 6.2 προτείνεται μια γενική τοπολογία δέκτη που ενσωματώνει την IF βαθμίδα που υλοποιήσαμε και αφορά εφαρμογές ασύρματων τοπικών δικτύων στη συχνότητα λειτουργίας των 2.4 GHz.

Η κεραία του δέκτη αποτελείται από τέσσερα μονόπολα, τα οποία συνθέτουν μια στοιχειοκεραία. Τα μονόπολα αυτά, συλλέγουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από το χώρο. Στη συνέχεια το σήμα που επάγεται σε κάθε ένα από αυτά, οδηγείται για επεξεργασία αρχικά στη βαθμίδα RF και στη συνέχεια στη βαθμίδα IF. Σε αυτό το σημείο ουσιαστικά πραγματοποιείται η σύνθεση του λοβού ακτινοβολίας επεμβαίνοντας ξεχωριστά στο πλάτος και στη φάση του καθενός από τα τέσσερα σήματα μέσω ενός βρόχου ανάδρασης που διασυνδέεται με ένα λογικό κύκλωμα 8 εισόδων και 8 εξόδων. Στο τέλος, τα τέσσερα σήματα που προκύπτουν στην έξοδο της κάθε IF βαθμίδας αθροίζονται και οδηγούνται προς επεξεργασία βασικής ζώνης.

Το σύστημα μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις τόσο του προτύπου 802.11b όσο και του 802.11g, αφού η ειδοποιός διαφορά ανάμεσα στα δύο είναι η επίτευξη διαφορετικού ρυθμού μετάδοσης μέσω του διαφορετικού τύπου διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, ενώ όσον αφορά τις προδιαγραφές που θέτει το καθένα στο ηλεκτρονικό πεδίο δεν υπάρχει κάποια ουσιαστική διαφορά.



Σχήμα 6.2: Η τοπολογία του δέκτη

Η προσφορά της βαθμίδας μας σε ένα τέτοιο σύστημα είναι ότι αυτό ακριβώς το μεταβλητό κέρδος και η μεταβλητή στροφή φάσης που προσφέρει μπορεί να μετρηθεί μέσω του συγκριτή κέρδους και φάσης, το αποτέλεσμα της σύγκρισης να ψηφιοποιηθεί (εφόσον οι έξοδοι του συγκριτή που υλοποιήθηκε είναι DC ανάλογες του κέρδους και της φάσης) και να τροφοδοτήσει ένα βρόχο ανάδρασης για τον έλεγχο της σταθερότητας του τελικού κέρδους και της τελικής φάσης ως προς μεταβολές που οφείλονται σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, σε γήρανση των κυκλωμάτων, σε λάθη χειρισμού. Και επειδή ακριβώς η προσαρμογή του κέρδους και της φάσης πραγματοποιείται με αναλογικές μεθόδους, το τελικό σύστημα μπορεί να συγκλίνει σχετικά γρήγορα στην επιθυμητή συμπεριφορά και άρα να διαθέτει ευελιξία.

Παράρτημα 1 - Στοιχεία μικροκυματικής θεωρίας

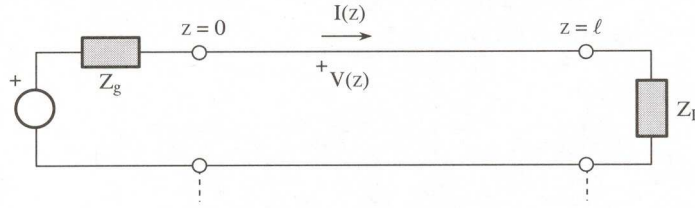
[5] Ο όρος μικροκύματα καθιερώθηκε στη δεκαετία 1935 - 45 σαν αποτέλεσμα της επέκτασης της χρήσης του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που είχε αρχίσει από την αρχή του εικοστού αιώνα. Σήμερα ονομάζουμε μικροκύματα τις ηλεκτρομαγνητικές ταλαντώσεις που έχουν συχνότητα ταλάντωσης από 10^9 Hz μέχρι 10^{12} Hz. Για χαμηλότερες συχνότητες έχουμε τα ραδιοκύματα ενώ για υψηλότερες την υπέρυθρη ακτινοβολία. Ο διαχωρισμός αυτός δεν έχει αυστηρό χαρακτήρα αφού και τα ραδιοκύματα έχουν ηλεκτρομαγνητικό χαρακτήρα και διέπονται από τους ίδιους νόμους.

Στις χαμηλές συχνότητες (ραδιοκύματα) όταν οι διαστάσεις των κυκλωμάτων είναι πολύ μικρές σε σχέση με το μήκος κύματος η περιγραφή των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων μπορεί να γίνει με τους νόμους του Kirchhoff που απορρέουν από τη στατική και προσεγγιστικά στατική θεωρία των πεδίων. Όταν όμως η συχνότητα ταλάντωσης των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων είναι αρκετά υψηλή επειδή το μήκος κύματος της ακτινοβολίας γίνεται συγκρίσιμο με τις χαρακτηριστικές διαστάσεις των κυκλωμάτων πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι πλήρεις εξισώσεις του πεδίου δηλαδή η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell. Συνεπώς η θεωρία των μικροκυμάτων αποτελεί άμεση εφαρμογή της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας της οποίας η γνώση είναι απαραίτητη για την εξέταση των φαινομένων που σχετίζονται με τα μικροκύματα.

Η εξέλιξη της μικροκυματικής τεχνολογίας συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη των συστημάτων ραντάρ που άρχισε από το 1940. Παράλληλα άρχισε, έστω και με πιο αργό ρυθμό, η χρησιμοποίηση των μικροκυμάτων σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές όπως οι επίγειες ζεύξεις από σημείο σε σημείο. Η χρησιμοποίηση δορυφόρων για επικοινωνιακούς σκοπούς μετά από το 1965 έδωσε νέα ώθηση στην πρακτική χρησιμοποίηση των μικροκυμάτων. Σε δευτερεύοντα βαθμό τα μικροκύματα χρησιμοποιούνται σήμερα και σε άλλους τομείς της επιστήμης όπως στην αστροφυσική για παρατήρηση άστρων που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε μορφή θορύβου, στην φασματοσκοπία, στην επιτάχυνση στοιχειωδών σωματιδίων και στην ιατρική για θεραπευτικούς και διαγνωστικούς σκοπούς. Επίσης έχουμε καθημερινές χρήσεις των μικροκυμάτων όπως π.χ. τους μικροκυματικούς φούρνους, την μέτρηση της ταχύτητας οχημάτων κ.λπ.

Π.1.1 Ανάλυση κυμάτων σε γραμμές μεταφοράς που μεταβάλλονται ημιτονικά με το χρόνο

Παρακάτω εξετάζεται η διάδοση σημάτων (τάσης και ρεύματος) σε γραμμές μεταφοράς όταν η χρονική μεταβολή έχει ημιτονική εξάρτηση όπως $\cos(\omega t)$ ή $\sin(\omega t)$. Για να γίνει αυτό πρέπει η γραμμή να διεγείρεται από μια πηγή που έχει συχνότητα ταλάντωσης $f = \omega/2\pi$, όπως φαίνεται στο σχήμα 1, όπου λαμβάνονται υπόψη και τα συγκεντρωμένα στοιχεία Z_g, Z_L τερματικών της γραμμής μεταφοράς.



Σχήμα Π.1.1: Διέγερση γραμμής μεταφοράς

Θεωρούμε ότι η πηγή σημάτων έχει εφαρμοστεί στη γραμμή για πολύ χρόνο και ότι τα μεταβατικά φαινόμενα έχουν εξαφανιστεί. Εισάγοντας τα μιγαδικά μεγέθη της τάσης $V(z)$ και του ρεύματος $I(z)$, που ονομάζονται και φασιθέντες (phasors), με τους ορισμούς

$$V(z, t) = \text{Re} (e^{j\omega t} V(z)) \quad (\text{Π.1.1})$$

$$I(z, t) = \text{Re} (e^{j\omega t} I(z)) \quad (\text{Π.1.2})$$

οι εξισώσεις (Π.1.1), (Π.1.2) γράφονται εύκολα με τη μορφή:

$$-\frac{\partial V(z)}{\partial z} = (R + j\omega L) I(z) \quad (\text{Π.1.3})$$

$$-\frac{\partial I(z)}{\partial z} = (G + j\omega C) V(z) \quad (\text{Π.1.4})$$

Εκτός από τις εξισώσεις της γραμμής μεταφοράς πρέπει να είναι γνωστές και οι οριακές συνθήκες στην αρχή και το τέλος της γραμμής. Γνωρίζοντας τις σύνθετες αντιστάσεις Z_L του τερματισμού και Z_g της πηγής σημάτων και την τάση V_g της πηγής έχουμε:

$$V_g = Z_g I(0) + V(0) \quad (\text{για } z = 0) \quad (\text{Π.1.5})$$

$$V(\ell) = Z_L I(\ell) \quad (\text{για } z = \ell) \quad (\text{Π.1.6})$$

όπου ℓ είναι το μήκος γραμμής.

Έχοντας στις (Π.1.3), (Π.1.4) ένα ομογενές σύστημα διαφορικών εξισώσεων με σταθερούς συντελεστές μπορούμε να αναζητήσουμε λύσεις της μορφής:

$$V(z) = Ae^{qz} \text{ και } I(z) = Be^{qz} \quad (\text{Π.1.7})$$

Αντικαθιστώντας την εξ. (Π.1.7) στις (Π.1.3), (Π.1.4) έχουμε το ομογενές γραμμικό σύστημα:

$$\begin{bmatrix} q & (R + j\omega L) \\ (G + j\omega C) & q \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = 0 \quad (\text{Π.1.8})$$

Για να προκύψουν μη μηδενικές λύσεις, δηλαδή $A \neq B \neq 0$, πρέπει η ορίζουσα του συστήματος να είναι ίση με το μηδέν, από την συνθήκη αυτή, βρίσκουμε:

$$q = \pm \gamma$$

$$\gamma = \left((R + j \omega L)(G + j \omega C) \right)^{1/2} \quad (\text{Π.1.9})$$

Αρα έχουμε δύο ανεξάρτητες λύσεις που αντιστοιχούν στα + και - πρόσημα της εξίσωσης (Π.1.9). Αντικαθιστώντας τις δύο λύσεις της εξίσωσης (Π.1.9) κατά σειρά στην εξ. (Π.1.8) μπορούμε να υπολογίσουμε τους λόγους των συντελεστών A/B:

$$\left(\frac{A}{B} \right)_+ = -Z_0 \quad (\text{για } q = \gamma) \quad (\text{Π.1.10})$$

$$\left(\frac{A}{B} \right)_- = Z_0 \quad (\text{για } q = -\gamma) \quad (\text{Π.1.11})$$

Όπου

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j \omega L}{G + j \omega C}} \quad (\text{Π.1.12})$$

Το μέγεθος Z_0 που έχει μονάδες Ω είναι η κυματική ή χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής μεταφοράς. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης οι γενικές λύσεις για την τάση $V(z)$ και το ρεύμα $I(z)$ γράφονται όπως παρακάτω:

$$V(z) = A_+ e^{\gamma z} + A_- e^{-\gamma z} \quad (\text{Π.1.13})$$

$$I(z) = -\frac{A_+}{Z_0} e^{\gamma z} + \frac{A_-}{Z_0} e^{-\gamma z} \quad (\text{Π.1.14})$$

Εφαρμόζοντας τις τερματικές συνθήκες των εξισώσεων (Π.1.5), (Π.1.6) στις λύσεις (Π.1.13), (Π.1.14) προκύπτουν οι εξισώσεις:

$$V_g = Z_g \left(\frac{A_- - A_+}{Z_0} \right) + A_+ + A_- \quad (\text{Π.1.15})$$

$$A_+ e^{\gamma \ell} + A_- e^{-\gamma \ell} = Z_L \left(-A_+ e^{\gamma \ell} + A_- e^{-\gamma \ell} \right) / Z_0 \quad (\text{Π.1.16})$$

Λύνοντας το γραμμικό αυτό σύστημα για τους άγνωστους συντελεστές A_+ , A_- βρίσκουμε:

$$A_+ = \frac{V_g}{Z_g + Z_0} \frac{\rho_L e^{-2\gamma \ell}}{1 - \rho_g \rho_L e^{-2\gamma \ell}} Z_0 \quad (\text{Π.1.17})$$

$$A_- = \frac{V_g}{Z_g + Z_0} \frac{1}{1 - \rho_g \rho_L e^{-2\gamma\ell}} Z_0 \quad (\text{Π.1.18})$$

Όπου

$$\rho_g = \frac{Z_L - Z_0}{Z_g + Z_0}, \quad \rho_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (\text{Π.1.19})$$

Επιστρέφοντας στις εξισώσεις (Π.1.13), (Π.1.14) και αντικαθιστώντας τα αποτελέσματα των εξισώσεων (Π.1.17) (Π.1.18) γράφουμε τη λύση στην παρακάτω μορφή:

$$V(z) = \frac{V_g}{Z_g + Z_0} \left(\frac{\rho_L e^{\gamma(z-2\ell)} + e^{-\gamma z}}{1 - \rho_g \rho_L e^{-2\gamma\ell}} \right) Z_0 \quad (\text{Π.1.20})$$

$$I(z) = \frac{V_g}{(Z_g + Z_0)} \left(\frac{-\rho_L e^{\gamma(z-2\ell)} + e^{-\gamma z}}{1 - \rho_g \rho_L e^{-2\gamma\ell}} \right) \quad (\text{Π.1.21})$$

Διαιρώντας την εξίσωση (Π.1.20) με την (Π.1.21) ορίζουμε την φαινομένη σύνθετη αντίσταση της γραμμής στο σημείο z,

$$Z(z) = \frac{V(z)}{I(z)} = Z_0 \frac{1 + \rho_L e^{2\gamma(z-\ell)}}{1 - \rho_L e^{2\gamma(z-\ell)}} \quad (\text{Π.1.22})$$

που μπορεί να γραφεί σε απλούστερη μορφή ορίζοντας τις νέες μεταβλητές:

$$\zeta(z) = \frac{Z(z)}{Z_0}, \quad \rho(z) = \rho_L e^{2\gamma(z-\ell)} \quad (\text{Π.1.23})$$

όπως παρακάτω

$$\zeta(z) = \frac{1 + \rho(z)}{1 - \rho(z)} \quad (\text{Π.1.24})$$

Λύνοντας την εξίσωση αυτή για P(z) γράφουμε την αντίστροφη σχέση

$$\rho(z) = \frac{\zeta(z) - 1}{\zeta(z) + 1} \quad (\text{Π.1.25})$$

Το αδιάστατο μέγεθος $\zeta(z) = Z(z) / Z_0$ ονομάζεται ανηγμένη σύνθετη αντίσταση της γραμμής στη θέση z .

Έχοντας υπολογίσει την τάση και το ρεύμα πάνω στη γραμμή μεταφοράς θα εξετάσουμε τώρα την φυσική ερμηνεία και την χρησιμοποίηση των παραπάνω αποτελεσμάτων για την εξέταση πρακτικών προβλημάτων. Επιστρέφοντας στον ορισμό της εξίσωσης (Π.1.9) για τη σταθερά διάδοσης γ , μπορούμε να ορίσουμε δύο νέους πραγματικούς αριθμούς α και β από τη σχέση:

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (\text{Π.1.26})$$

Ο αριθμός α αντιπροσωπεύει τις απώλειες της γραμμής ανά μονάδα μήκους σε Neper ενώ ο β την στροφή φάσης σε ακτίνια ανά μονάδα μήκους και ονομάζεται σταθερά φάσης ή διάδοσης.

Αντικαθιστώντας την εξίσωση (Π.1.26) στην (Π.1.20) παρατηρούμε ότι εμφανίζονται δύο όροι που περιγράφουν οδεύοντα κύματα σε αντίθετη κατεύθυνση μεταξύ τους σύμφωνα με την εξίσωση:

$$V(z) = V_0 \left(\rho_L e^{-(2\ell - z)\alpha} e^{j\beta z - j\beta 2\ell} + e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} \right) \quad (\text{Π.1.27})$$

όπου

$$V_0 = \frac{V_g}{Z_g + Z_0} \frac{1}{1 - \rho_g \rho_L e^{-2(\alpha + j\beta)\ell}} Z_0 \quad (\text{Π.1.28})$$

Παρατηρούμε ότι ο όρος με συμπεριφορά $\exp(+j\beta z)$ αντιπροσωπεύει κύμα που ανακλάται από το φορτίο Z_L προς την πηγή ενώ το κύμα που προσπίπτει από την πηγή προς το φορτίο περιγράφεται από τον όρο με $\exp(-j\beta z)$ συμπεριφορά. Ταυτόχρονα με τη διάδοση και τα δύο κύματα εξασθενούν κατά α Neper ανά μονάδα μήκους.

Π.1.2 Στάσιμα κύματα σε γραμμές μεταφοράς χωρίς απώλειες

Στις μικροκυματικές συχνότητες όπως έχουμε ήδη αναφέρει στην παράγραφο Π 1.1 βασική απαίτηση από τις γραμμές μεταφοράς είναι να έχουν μικρή εξασθένηση δηλαδή $\alpha=0$ στην εξίσωση (Π.1.26). Για την ακρίβεια πρέπει $\alpha \cdot \ell \ll 1$ με ℓ το μήκος της γραμμής μεταφοράς που χρησιμοποιείται. Επειδή στις πρακτικές μικροκυματικές γραμμές ισχύει η συνθήκη αυτή, σωστό είναι να γίνει αναλυτικότερη εξέταση των γραμμών μεταφοράς χωρίς απώλειες. Για να έχουμε $\alpha=0$ πρέπει $\ell=G=0$, οπότε η

χαρακτηριστική αντίσταση Z_0 έχει πραγματική τιμή. Η χαρακτηριστική αντίσταση και η σταθερά διάδοσης είναι :

$$Z_0 = \sqrt{L/C}$$

$$\beta = \omega \sqrt{L/C}$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (Π.1.27) $\alpha = 0$, έχουμε:

$$V(z) = V_0 (e^{-j\beta z} + \rho_L e^{j\beta(z-2\ell)}) \quad (\text{Π.1.29})$$

όπου έχουμε το προσπίπτον και ανακλώμενο κύμα $V_0 \cdot \exp(-j\beta z)$ και $V_0 \cdot \rho_L \cdot \exp(j\beta(z-2\ell))$ αντίστοιχα. Η υπέρθεση των δύο αυτών κυμάτων δημιουργεί στάσιμα κύματα πάνω στη γραμμή.

Υπολογίζουμε το μέτρο της τάσης $|V(z)|$ εισάγοντας τον ορισμό $\rho_L = |\rho_L| \cdot \exp(j\phi_L)$

$$|V(z)| = |V_0| \sqrt{1 + |\rho_L|^2 + 2|\rho_L| \cos(2\beta(z-\ell) + \phi_L)} \quad (\text{Π.1.30})$$

Άρα σε μια τυχαία θέση z , η τάση μεταβάλλεται από $-|V(z)|$ μέχρι $|V(z)|$ με χρονική συχνότητα ταλάντωσης ω . Η μέγιστη τιμή της $|V(z)|$ λαμβάνεται όταν:

$$\cos(2\beta(z-\ell) + \phi_L) = 1 \quad \text{ή} \quad 2\beta(z-\ell) + \phi_L = 2\kappa\pi \quad (\kappa = 0, 1, 2, \dots)$$

$|V(z)|_{\text{MAX}} = |V_0| \cdot (1 + |\rho_L|)$. Με παρόμοιο τρόπο βρίσκουμε την ελαχίστη τιμή της τάσης $|V(z)|_{\text{MIN}} = |V_0| \cdot (1 - |\rho_L|)$. Όταν:

$$\cos(2\beta(z-\ell) + \phi_L) = -1 \quad \text{ή} \quad 2\beta(z-\ell) + \phi_L = (2\kappa-1)\pi \quad (\kappa = 0, 1, 2, \dots)$$

Στις πρακτικές εφαρμογές έχει σημασία η επίτευξη όσο το δυνατό μικρότερης τιμής του συντελεστή ανάκλασης $|\rho_L|$. Αυτό γίνεται για να μεταφέρεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ισχύς στο φορτίο. Για να χαρακτηρίσουμε το βαθμό καλής προσαρμογής ορίζουμε το λόγο στασίμων κυμάτων $S = |V(z)|_{\text{MAX}} / |V(z)|_{\text{MIN}}$, δηλαδή:

$$S = \frac{1 + |\rho_L|}{1 - |\rho_L|} \quad (\text{Π.1.31})$$

Για $0 \leq |\rho_L| \leq 1$, ο λόγος στασίμων κυμάτων παίρνει τιμές από $S = 1$ μέχρι $S = \infty$. Πρέπει να επισημάνουμε ότι ο λόγος στασίμων κυμάτων S είναι συνάρτηση της συχνότητας ω αφού τις περισσότερες φορές η σύνθετη αντίσταση τερματισμού μεταβάλλεται ισχυρά με την συχνότητα ω όπως θα δούμε παρακάτω.

Π.1.3 Προσαρμογή φορτίου σε γραμμές μεταφοράς

Παραπάνω αποδείξαμε ότι όταν η σύνθετη αντίσταση τερματισμού Z_L είναι διαφορετική από την χαρακτηριστική (κυματική) αντίσταση Z_0 προκύπτουν ανακλώμενα κύματα πάνω στη γραμμή μεταφοράς με αποτέλεσμα να δημιουργούνται στάσιμα κύματα. Βέβαια η ιδανική συνθήκη $Z_L = Z_0$ μπορεί να ικανοποιείται σπάνια και συνήθως μόνο σε μια συχνότητα και για ένα δεδομένο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Στην πράξη η επίτευξη "καλής προσαρμογής" σε γραμμές μεταφοράς είναι ένα από τα πιο συνήθη και σοβαρά προβλήματα της μικροκυματικής τεχνολογίας. Το πόσο καλή είναι η προσαρμογή χαρακτηρίζεται από το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης $|r_L|$ ή το λόγο στασίμων κυμάτων S που δίνεται από την εξίσωση (Π.1.31). Όσο ο αριθμός S πλησιάζει στο 1, η προσαρμογή βελτιώνεται. Σε κάθε περίπτωση η επιθυμητή τιμή του λόγου εξαρτάται από τις προδιαγραφές που ισχύουν για την πηγή σημάτων, την αντίσταση τερματισμού ή γενικά τα στοιχεία που συνδέονται στη γραμμή μεταφοράς. Πρέπει να τονίσουμε ότι στην πράξη οι σύνθετες αντιστάσεις Z_L , Z_g αλλάζουν ισχυρά με τη συχνότητα όπως επίσης και η χαρακτηριστική αντίσταση Z_0 σε μικρότερο βαθμό. Άρα ο συντελεστής ανάκλασης r_L και ο λόγος στάσιμων κυμάτων S επίσης έχουν εξάρτηση από τη συχνότητα.

Επειδή τα μικροκυματικά συστήματα σχεδιάζονται για να λειτουργούν σ' ένα εύρος ζώνης συχνοτήτων Δf (HZ) γύρω από μία κεντρική συχνότητα f_0 (HZ) οι προδιαγραφές της τιμής του λόγου στάσιμων κυμάτων S καθορίζονται για το φάσμα συχνοτήτων $f_0 - \Delta f/2$ μέχρι $f_0 + \Delta f/2$. Πολλές φορές $\Delta f/f_0 \ll 1$, τότε η συμπεριφορά του S είναι σχεδόν η ίδια για όλες τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται και η ανάλυση μπορεί να γίνει εξετάζοντας την προσαρμογή μόνο για τη συχνότητα $f=f_0$. Όμως συχνά επιθυμούμε προσαρμογή σε μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων π.χ. $\Delta f/f_0 > 0.10$ οπότε είναι ανάγκη να εξεταστεί ο λόγος S για όλο το εύρος του φάσματος των συχνοτήτων που χρησιμοποιείται.

Για την ποσοτική εκτίμηση της προσαρμογής στην πράξη, παράλληλα με τον λόγο στάσιμων κυμάτων S χρησιμοποιείται και ο όρος "εξασθένηση από επιστροφή" που ορίζεται από την εξίσωση:

$$L_R = 20 \log |r_L| \quad (\text{Π.1.32})$$

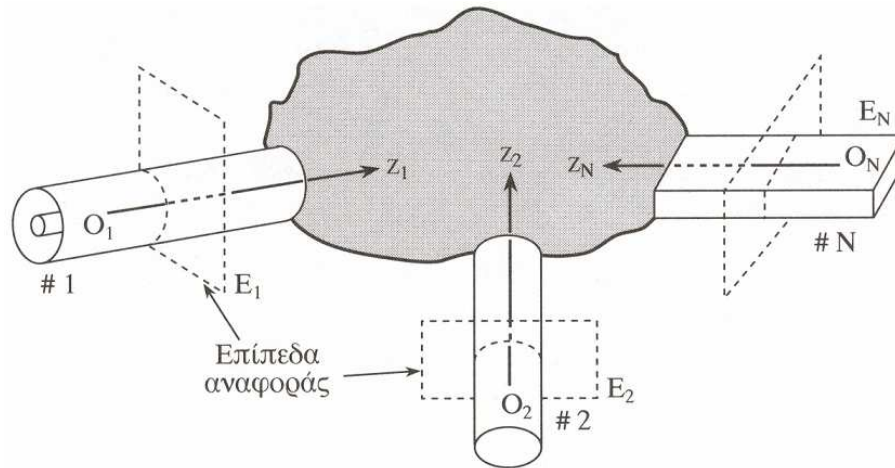
που δείχνει την στάθμη σε dB (με αρνητικές τιμές αφού $|r_L| < 1$) της ανακλώμενης ισχύος προς την ισχύ που προσπίπτει (βλέπε εξίσωση (Π.1.29)). Αποδεικνύεται εύκολα από την εξ. (Π.1.31) για τον ορισμό του λόγου στασίμων κυμάτων και από την εξίσωση (Π.1.32) ότι ισχύει η σχέση:

$$S = \frac{1 + 10^{(L_R/20)}}{1 - 10^{(L_R/20)}} \quad (\text{Π.1.33})$$

Στην πράξη έχοντας ένα δεδομένο φορτίο (ή γενικά ένα μικροκυματικό κυκλωματικό στοιχείο) με γνωστή σύνθετη αντίσταση εισόδου Z_L τίθεται το πρόβλημα της προσαρμογής σε μια γραμμή μεταφοράς που έχει καθορισμένη χαρακτηριστική αντίσταση Z_0 . Αν συμβαίνει ο λόγος $S = (1 + |r_L|)/(1 - |r_L|)$ με $r_L = (Z_L - Z_0)/(Z_L + Z_0)$ να είναι μεγαλύτερος από την επιθυμητή τιμή τότε είναι ανάγκη η παρεμβολή κάποιου προσαρμοστικού κυκλώματος μεταξύ της γραμμής μεταφοράς και του φορτίου.

Π.1.4 Μικροκυματικά πολύθυρα & μήτρες σκέδασης S

Για την υλοποίηση μικροκυματικών συστημάτων χρησιμοποιούνται μικροκυματικά στοιχεία που έχουν τη μορφή πολύθυρων και κατασκευάζονται από αγωγούς, διηλεκτρικά και φερριτικά υλικά. Οι εισοδοι και έξοδοι στα πολύθυρα γίνονται με γραμμές μεταφοράς που μεταδίδουν τα μικροκυματικά σήματα με ένα συγκεκριμένο ρυθμό. Στο σχήμα (Π.2), δείχνουμε τη γεωμετρία ενός πολύθυρου. Για να εκφράσουμε τα σήματα στις θύρες πρέπει να ορίσουμε τα επίπεδα αναφοράς $E_1, E_2, E_3 \dots E_N$ που είναι κάθετα στις γραμμές εισόδου - εξόδου όπως φαίνεται στο σχήμα (Π.1.2):



Σχήμα Π.1.2: Μικροκυματικό πολύθυρο

Εκλέγουμε πάνω σε κάθε γραμμή μεταφοράς τους άξονες $z_1, z_2, z_3 \dots z_N$ που δείχνουν την κατεύθυνση διάδοσης των κυμάτων. Τα σημεία τομής των αξόνων $z_1, z_2, z_3 \dots z_N$ με τα επίπεδα $E_1, E_2, E_3 \dots E_N$ ορίζουν τα σημεία αρχής $O_1, O_2, O_3 \dots O_N$ που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των εγκάρσιων συνιστωσών του ηλεκτρομαγνητικού κύματος πάνω σε κάθε γραμμή μεταφοράς. Αν υποθέσουμε ότι τα επίπεδα αναφοράς $E_1, E_2, E_3 \dots E_N$ είναι αρκετά μακριά από την περιοχή όπου έχουμε σύνδεση των διαφόρων γραμμών μεταφοράς, μπορούμε να αγνοήσουμε την επίδραση των ρυθμών αποκοπής. Υποθέτοντας ότι πάνω σε κάθε γραμμή μεταφοράς έχουμε μονορυθμική διάδοση τα προσπίπτοντα κύματα στο πολύθυρο θα περιγράφονται από τις κανονικοποιημένες τιμές των κυματικών τάσεων στη μορφή:

$$\begin{aligned}
 \alpha_1(z_1) &= \alpha_1(0) e^{-j\beta_1 z_1} \\
 \alpha_2(z_2) &= \alpha_2(0) e^{-j\beta_2 z_2} \\
 \alpha_3(z_3) &= \alpha_3(0) e^{-j\beta_3 z_3} \\
 &\dots \dots \dots \\
 &\dots \dots \dots \\
 \alpha_N(z_N) &= \alpha_N(0) e^{-j\beta_N z_N}
 \end{aligned}
 \tag{Π.1.34}$$

όπου $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_N$ είναι η σταθερά διάδοσης στη 1,2, ... N' στή γραμμή μεταφοράς αντίστοιχα. Ταυτόχρονα με τα προσπίπτοντα κύματα έχουμε τα ανακλανώμενα ή σκεδαζόμενα κύματα που οφείλονται στην απευθείας ανάκλαση από την ίδια θύρα ή από σύζευξη από μία άλλη θύρα αντίστοιχα. Τα κύματα αυτά περιγράφονται από τις κανοποιημένες τιμές των κυματικών τάσεων με ανάλογο τρόπο των εξισώσεων (Π.1.34)

$$\begin{aligned}
 b_1(z_1) &= b_1(0) e^{j\beta_1 z_1} \\
 b_2(z_2) &= b_2(0) e^{j\beta_2 z_2} \\
 b_3(z_3) &= b_3(0) e^{j\beta_3 z_3} \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots \\
 b_N(z_N) &= b_N(0) e^{j\beta_N z_N}
 \end{aligned}
 \tag{Π.1.35}$$

Αν σκεφτούμε ότι τα κύματα $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots \alpha_N$ επιβάλλονται εξωτερικά η απόκριση του πολύθυρου περιγράφεται από τα εξερχόμενα κύματα $b_1, b_2, \dots b_N$. Αφού οι εξισώσεις (Π.1.34), (Π.1.35) επιτρέπουν την εύρεση των σημάτων για οποιαδήποτε τιμή των αξόνων $z_1, z_2, z_3 \dots z_N$ απαιτείται η γνώση μόνο των μιγαδικών $b_1(0), b_2(0), \dots b_N(0)$ για συγκεκριμένες εισόδους $\alpha_1(0), \alpha_2(0), \alpha_3(0), \dots \alpha_N(0)$. Αν το πολύθυρο έχει κατασκευαστεί από γραμμικά στοιχεία (που κατά κανόνα ισχύει) τότε επειδή οι εξισώσεις του Maxwell είναι γραμμικές πρέπει να ισχύει η σχέση:

$$\begin{bmatrix} b_1(0) \\ b_2(0) \\ b_3(0) \\ \vdots \\ b_n(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \dots & S_{1N} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \dots & S_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ S_{N1} & S_{N2} & S_{N3} & \dots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1(0) \\ \alpha_2(0) \\ \alpha_3(0) \\ \vdots \\ \alpha_N(0) \end{bmatrix}
 \tag{Π.1.36}$$

όπου οι μιγαδικοί αριθμοί S_{ij} ($i = 1,2, \dots N; j = 1,2 \dots N$) ονομάζονται οι παράμετροι σκέδασης του μικροκυματικού πολύθυρου. Η μήτρα στην εξίσωση (Π.1.36) ονομάζεται "μήτρα σκέδασης". Παρατηρούμε ότι οι παράμετροι S_{ij} είναι αδιάστατα μεγέθη και από τον ορισμό της εξίσωσης (Π.1.36) προκύπτει ότι:

$$S_{ij} = \left. \frac{b_i(0)}{\alpha_j(0)} \right|_{\alpha_K(0)=0 (K=1, 2, 3, \dots, j-1, j+1, \dots, N)}
 \tag{Π.1.37}$$

Για να έχουμε $\alpha_k(0) = 0$ πρέπει στην υπ' αριθμό \mathbf{K} θύρα να μην προσπίπτει κύμα. Για να γίνει αυτό πρέπει η θύρα να τερματιστεί με τη σωστή χαρακτηριστική αντίσταση. Άρα είναι δυνατό να μετρηθούν ή να υπολογιστούν οι παράμετροι S_{ij} τερματίζοντας όλες τις γραμμές μεταφοράς και εισάγοντας σήμα μόνο σε μια γραμμή. Μετρώντας τα ανακλώμενα - σκεδαζόμενα κύματα σ' όλες τις γραμμές μεταφοράς μπορούμε να καθορίσουμε τις παραμέτρους S_{ij} .

Για να διευκολύνουμε την διατύπωση των εξισώσεων παρακάτω θα χρησιμοποιήσουμε το συμβολισμό διανυσμάτων κατά Dirac που είναι:

$$|\alpha(0)\rangle = \begin{bmatrix} \alpha_1(0) \\ \alpha_2(0) \\ \dots \\ \alpha_N(0) \end{bmatrix} \quad (\text{Π.1.38})$$

και για τη μήτρα σκέδασης:

$$\bar{\mathbf{S}} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1N} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{N1} & S_{N2} & \dots & S_{NN} \end{bmatrix} \quad (\text{Π.1.39})$$

οπότε η εξίσωση (Π.1.36) ξαναγράφεται στη μορφή

$$|b(0)\rangle = \bar{\mathbf{S}} \cdot |\alpha(0)\rangle \quad (\text{Π.1.40})$$

Ιδιότητες των μητρών σκέδασης \mathbf{S}

Σύμφωνα με τον ορισμό των στοιχείων της μήτρας σκέδασης όπως δίνεται από την εξίσωση (Π.1.37) για $i = j$ έχουμε:

$$S_{ii} = \left. \frac{b_i(0)}{\alpha_i(0)} \right|_{\alpha_k(0)=0 \ (K=1, 2, 3, \dots, i-1, i+1, \dots, N)} \quad (\text{Π.1.41})$$

Παρατηρούμε αμέσως ότι η παράμετρος S_{ij} είναι ίση με το συντελεστή ανάκλασης στην ιοστή θύρα όταν όλες οι υπόλοιπες θύρες είναι τερματισμένες με τη χαρακτηριστική τους αντίσταση και σε καμία απ' αυτές δεν έχουμε προσπίπτον κύμα. Άρα οι διαγώνιοι όροι της μήτρας $\hat{\mathbf{S}}$ είναι απ' ευθείας οι συντελεστές ανάκλασης του πολύθυρου. Όταν $i \neq j$ η παράμετρος S_{ij} είναι ο λόγος:

$$s_{ij} = \frac{b_i(0)}{\alpha_j(0)} \Big|_{\alpha_k(0)=0 (k=1, 2, 3, \dots, j-1, j+1, \dots, N)} \quad (\text{Π.1.42})$$

που δείχνει ότι για τη μέτρηση ή τον υπολογισμό αυτής πρέπει να εισάγουμε μόνο προσπίπτον κύμα στην j ' οστή θύρα, να τερματίσουμε όλες τις υπόλοιπες και να μετρήσουμε το κύμα (πλάτος και φάση) που εμφανίζεται στην i ' οστή θύρα.

Η παραπάνω διαδικασία εύρεσης των N^2 στοιχείων της μήτρας \hat{S} απαιτεί γενικά N^2 μετρήσεις ή υπολογισμούς. Είναι δυνατό αντί να εισάγουμε κάθε φορά ένα μόνο προσπίπτον κύμα σε μια θύρα η μέτρηση να γίνει εισάγοντας ταυτόχρονα στις N θύρες σήματα. Υποθέτοντας ότι κάνουμε N τέτοιες μετρήσεις θα έχουμε N ζεύγη των διανυσμάτων εισόδου και εξόδου:

$$\begin{aligned} |b(0)\rangle_1 &= \mathbf{S} \cdot |a(0)\rangle_1 \\ |b(0)\rangle_2 &= \mathbf{S} \cdot |a(0)\rangle_2 \\ &\vdots \\ |b(0)\rangle_N &= \mathbf{S} \cdot |a(0)\rangle_N \end{aligned}$$

Ορίζοντας τις τετραγωνικές μήτρες:

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{B}} &= (|b(0)\rangle_1, |b(0)\rangle_2, \dots, |b(0)\rangle_N) \\ \bar{\mathbf{A}} &= (|a(0)\rangle_1, |a(0)\rangle_2, \dots, |a(0)\rangle_N) \end{aligned}$$

προκύπτει η μητρική εξίσωση :

$$\bar{\mathbf{B}} = \bar{\mathbf{S}} \cdot \bar{\mathbf{A}} \quad (\text{Π.1.43})$$

που η λύση της δίνει:

$$\bar{\mathbf{S}} = \bar{\mathbf{B}} \cdot \bar{\mathbf{A}}^{-1}$$

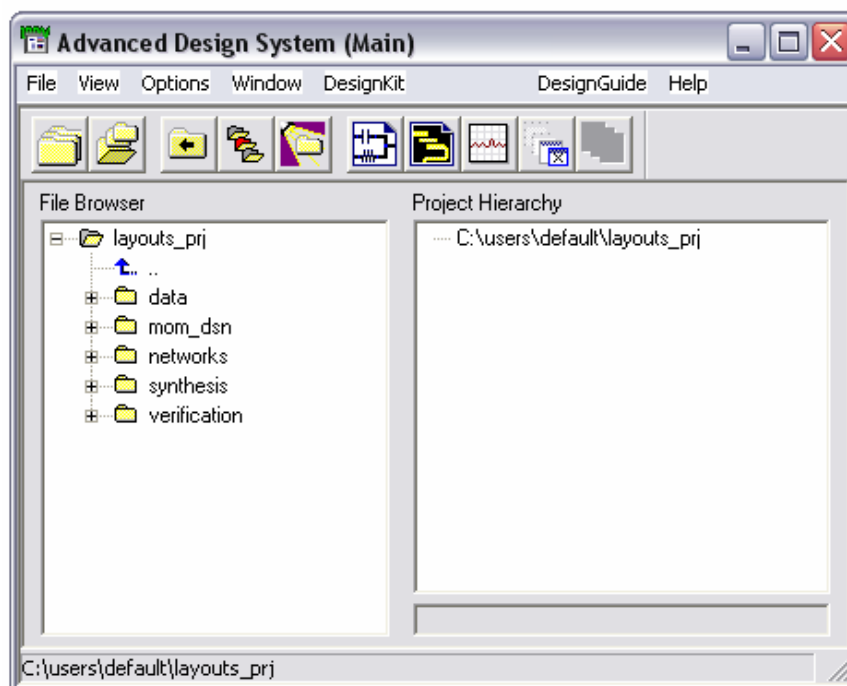
Παράρτημα 2 - Το πρόγραμμα HP ADVANCED DESIGN SYSTEM της εταιρείας Agilent Technologies

Π.2.1 Το περιβάλλον του προγράμματος

Η σχεδίαση των κυκλωμάτων έγινε μέσω του προγράμματος, **HP ADVANCED DESIGN SYSTEM 2002** της εταιρείας **Agilent Technologies**. Το πρόγραμμα, δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη, να προσομοιώσει ολόκληρη τη διαδρομή του ηλεκτρικού σήματος σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Στο περιβάλλον σχεδίασης του προγράμματος, ο χρήστης, μπορεί να διαμορφώσει τα σχηματικά διαγράμματα των κυκλωμάτων, να δημιουργήσει μεταβλητές και εξισώσεις που να τα χαρακτηρίζουν, να προσομοιώσει και να βελτιστοποιήσει τη λειτουργία τους και να μελετήσει τα δεδομένα της προσομοίωσης. Επίσης, μπορεί να δημιουργήσει το αναλυτικό σχέδιο για τη διάταξη παραγωγής εργοστασίου (layout).

Για να ξεκινήσει το πρόγραμμα:

- Σε λειτουργικό περιβάλλον **Windows** → Έναρξη → Προγράμματα → **HP Advanced Design System** → **Advanced Design System**
- Σε περιβάλλον **UNIX** : Πληκτρολογούμε **hpads** στο τερματικό παράθυρο



Σχήμα Π.2.1: Το κεντρικό παράθυρο του προγράμματος HP Advanced Design System

Τη πρώτη φορά που θα ξεκινήσει η εφαρμογή, ζητείται από το χρήστη να επιλέξει το προκαθορισμένο τύπο σχεδίασης. Επιλέγουμε : **Both, With Default: Analog / RF Design** και τότε εμφανίζεται το κεντρικό παράθυρο.

Στο κεντρικό παράθυρο του προγράμματος ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει και να διαχειριστεί ένα κατάλογο project. Μέσω ενός project, ο χρήστης μπορεί να ελέγξει τη λειτουργία όλων των προσομοιωτών και να διαχειριστεί συσχετισμένα σχέδια. Όλες οι εργασίες σχεδίασης πρέπει να γίνονται σε έναν κατάλογο project.

Δουλεύοντας σε ένα κατάλογο project, ο χρήστης μπορεί να οργανώσει συσχετισμένα αρχεία μέσα σε μια προκαθορισμένη δομή αρχειοθέτησης. Αυτή η προκαθορισμένη δομή αρχειοθέτησης αποτελείται από ένα σύνολο υποκαταλόγων που περιέχουν διαφορετικούς τύπους αρχείων. Οι υποκατάλογοι αυτοί, είναι οι εξής:

- **networks** (περιέχει αρχεία schematic και layout καθώς και απαραίτητες πληροφορίες για τις προσομοιώσεις)
- **data** (είναι ο προκαθορισμένος κατάλογος για αποθήκευση αρχείων δεδομένων εισόδου- εξόδου, τα οποία χρησιμοποιούνται ή παράγονται από το προσομοιωτή)
- **mom_dsn** (περιέχει αρχεία που παράγονται από τον προσομοιωτή, HP planar electromagnetic simulator)
- **synthesis** (περιέχει αρχεία που παράγονται με DSP φίλτρα και εργαλεία σύνθεσης)
- **verification** (περιέχει αρχεία που παράγονται με τη μέθοδο Design Rule Checker (DRC))

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή θα χρησιμοποιήσουμε τους υποκαταλόγους **networks** και **data** ενώ οι υπόλοιποι δε θα χρειαστούν.

Για να δημιουργήσουμε ένα κατάλογο project, επιλέγουμε: **File → New Project** και δίνουμε ένα όνομα π.χ. layouts_prj

Για να ανοίξουμε ένα παράθυρο σχεδίασης, από το κεντρικό παράθυρο, επιλέγουμε:

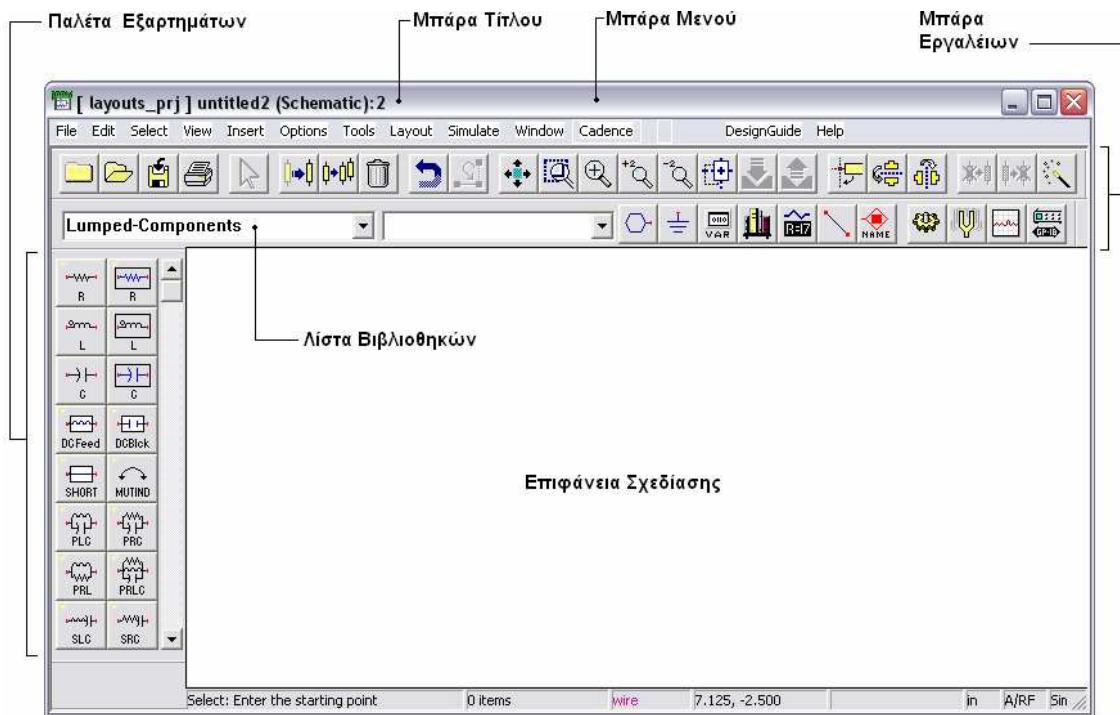
File → New Design

Δίνουμε ένα όνομα στο αρχείο που δημιουργήσαμε και επιλέγουμε:

Type of network → Analog/RF Network

Create New Design in → New Schematic Window

Και εμφανίζεται το παράθυρο σχεδίασης, όπου ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει και να διαμορφώσει τα σχέδια του.



Σχήμα Π.2.2: Το παράθυρο σχεδίασης του προγράμματος HP Advanced Design System

Στη μπάρα τίτλου, εμφανίζεται το όνομα του καταλόγου project, το όνομα του σχεδίου, ο τύπος του παραθύρου και ένας αριθμός αναγνώρισης που δείχνει, ποιό παράθυρο αυτού του τύπου είναι.

Στη μπάρα του μενού εμφανίζονται τα μενού που είναι διαθέσιμα.

Στη μπάρα εργαλείων περιέχονται κουμπιά για εντολές που χρησιμοποιούνται συχνά και οι οποίες μπορούν να διαμορφωθούν απο τον χρήστη:

Options→ Menu / Toolbar Configuration.

Στη λίστα βιβλιοθηκών, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μια κατηγορία εξαρτημάτων, και να την τοποθετήσει στη παλέτα εξαρτημάτων.

Στην περιοχή σχεδίασης, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τα σχέδια του, τοποθετώντας εξαρτήματα απο την παλέτα.

Π.2.2 Προσαρμογή με χρήση των εργαλείων του ADS

Στο παράθυρο σχεδίασης, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τα σχέδια του και να προσομοιώσει τη λειτουργία των κυκλωμάτων του. Απο τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων μπορεί να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την ευστάθεια των κυκλωμάτων και τη λειτουργία των προσαρμοστικών διατάξεων.

Για τη προσαρμογή των κυκλωμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα εξαρτήματα που περιέχονται στον επόμενο πίνακα:

Βιβλιοθήκη	Εξάρτημα	Περιγραφή
Lumped-Components	R	Ωμική αντίσταση
Lumped-Components	L	Πηνίο αυτεπαγωγής L
Lumped-Components	C	Πυκνωτής χωρητικότητας C
Simulation-S_Param	Term	Τερματισμός θύρας σύνθετης αντίστασης
Simulation-S_Param	S_Param	Προσωμοίωση S παραμέτρων
Simulation-S_Param	Zin	Σύνθετη αντίσταση θύρας εισόδου
Simulation-S_Param	StabFact	Παράγοντας ευστάθειας (K)
Data Items	S2P	Αρχείο S παραμέτρων διθύρου
Data Items	VAR	Μεταβλητές και εξισώσεις
Optim/Stat/Yield/DOE	Optim	Ονομαστική βελτιστοποίηση
Optim/Stat/Yield/DOE	Goal	Στόχος για βελτιστοποίηση ονομαστικού τύπου

Πίνακας Π.2.1: Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη προσαρμογή των κυκλωμάτων

Ανατρέχοντας στις αντίστοιχες βιβλιοθήκες, τα εξαρτήματα επιλέγονται και τοποθετούνται στην επιφάνεια σχεδίασης. Η διασύνδεση αυτών γίνεται μέσω καλωδίου. Για την τοποθέτηση καλωδίου, από το μενού, επιλέγω Insert → Wire.

Προσομοίωση

Η προσομοίωση μέσω του **HP ADVANCED DESIGN SYSTEM**, επιτυγχάνεται τοποθετώντας στην επιφάνεια εργασίας, δίπλα στο σχέδιο, αντικείμενα ελέγχου προσομοίωσης. Τα αντικείμενα ελέγχου ποικίλουν ανάλογα με τις ανάγκες της σχεδίασης. Για σχεδίαση φίλτρων, ταλαντωτών και ενισχυτών χρησιμοποιείται το αντικείμενο **S - parameter**, το οποίο παρέχει γραμμικές εξισώσεις S – παραμέτρων. Για να βελτιστοποιήσουμε τη λειτουργία του κυκλώματος, από τη βιβλιοθήκη **Optim/Stat/Yield/DOE** επιλέγουμε και τοποθετούμε στην επιφάνεια σχεδίασης, τα αντικείμενα βελτιστοποίησης **Optim** και **Goal**.

Για τις ανάγκες της παρούσας εφαρμογής, επιλέξαμε τις ρυθμίσεις για τα αντικείμενα της προσομοίωσης που περιέχονται στον επόμενο πίνακα:

S – parameter	Optim	Goal
Frequency: Sweet Type → Linear Start/Stop Start → 50 MHz Stop → 600 MHz Step-size → 10 MHz Parameters: Calculate → S-parameters	Setup: Optimization Type → Discrete Check: Use All Goals in Design Check: Use All Optimization Variables in Design Parameters: Output Data → Goal expressions	Expr = "dB(S(M,N)) " Όπου M και N οι θύρες του πολύθρου μεταξύ των οποίων, μας ενδιαφέρει να ελέγξουμε τη μετάδοση ισχύος. SimInstanceName="SP1" Όπου SP1 το όνομα του προσομοιωτή που χρησιμοποιείται. Min και Max οι επιθυμητές τιμές του μεγέθους που περιγράφεται στο "Expr"

Levels → 2 Device operating point level → None	Output Data Control → Nominal & Last Levels → 4 Final Analysis → SP1	RangeVar[1] = " freq " RangeMin[1]= 100MHz RangeMax[1]= 200MHz
---	---	--

Πίνακας Π.2.2: Οι ρυθμίσεις για τα αντικείμενα της προσομοίωσης

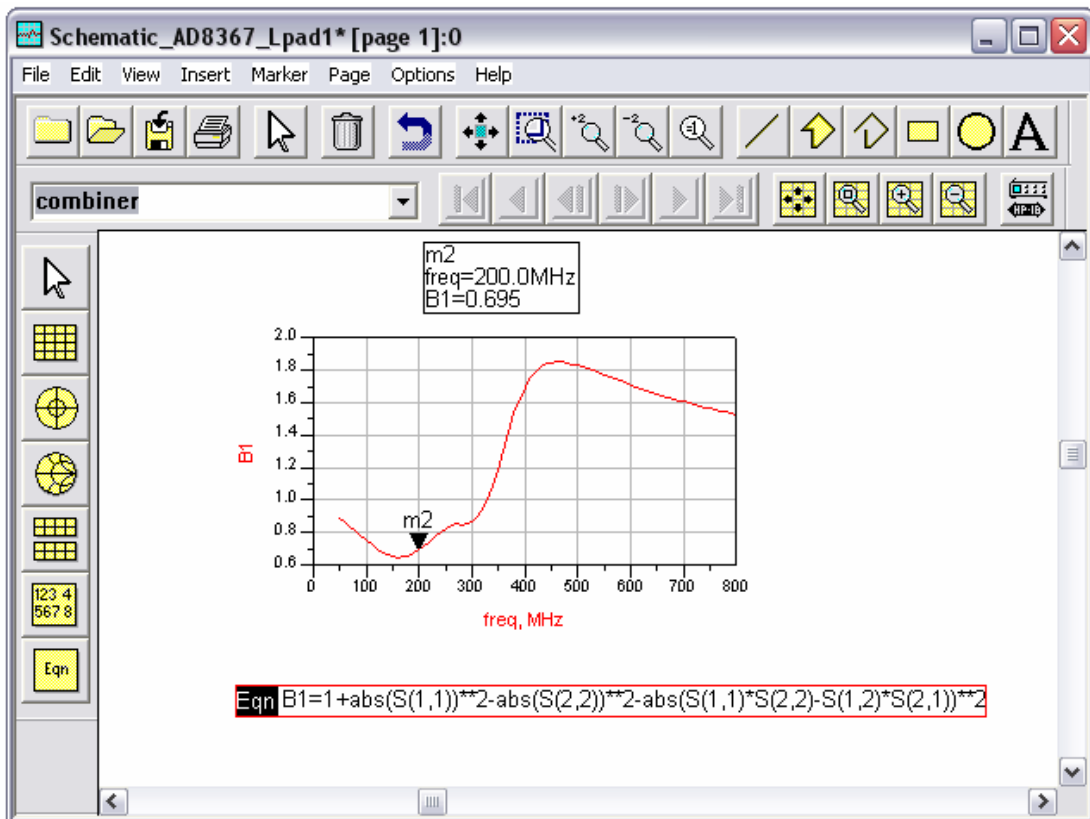
Το παράθυρο απεικόνισης δεδομένων (Data Display Window)

Τα δεδομένα που παράγονται κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης καθώς και δεδομένα που εισάγονται στο σύστημα από άλλες πηγές όπως network analyzer ή αρχεία, αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων (dataset). Το παράθυρο απεικόνισης δεδομένων δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη:

- Να απεικονίσει τα δεδομένα σε γραφήματα της επιλογής του
- Να προσθέσει στα γραφήματα markers πάνω στα ίχνη των γραφικών παραστάσεων, ώστε να μπορεί να διαβάσει τις τιμές σε ένα συγκεκριμένο σημείο
- Να γράψει μαθηματικές εξισώσεις ή να πραγματοποιήσει σύνθετες εργασίες με τα δεδομένα και να απεικονίσει τα αποτελέσματα τους

Για να ανοίξουμε ένα παράθυρο απεικόνισης δεδομένων, από το μενού, επιλέγουμε:

Window → New Data Display



Σχήμα Π.2.3: Το παράθυρο απεικόνισης δεδομένων (Data Display Window) του προγράμματος HP Advanced Design System

Διαλέγοντας τύπο διαγράμματος

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα, μέσω του παραθύρου απεικόνισης δεδομένων, να απεικονίσει τα δεδομένα, επιλέγοντας απο ένα σύνολο διαφορετικών τύπων διαγραμμάτων, όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα:



- **Ορθογώνια διαγράμματα** - απεικονίζουν βαθμωτά μεγέθη σε γραμμική ή λογαριθμική κλίμακα
- **Πολικά διαγράμματα** – απεικονίζουν μιγαδικά μεγέθη στη μορφή πραγματικού – φανταστικού σε πολικά διαγράμματα
- **Χάρτες Smith** - απεικονίζουν μιγαδικά μεγέθη στη μορφή πραγματικού – φανταστικού σε χάρτες Smith
- **Stacked (στοίβες) διαγράμματα** – απεικονίζουν πολλαπλά ορθογώνια διαγράμματα
- **Listing (Λίστα)**– απεικονίζουν τα δεδομένα σε μορφή πινάκων
- **Εξισώσεις** – απεικονίζει εξισώσεις που δημιουργήθηκαν για να παράγουν δεδομένα προς απεικόνιση

Πίνακας Π.2.3: Τύποι διαγραμμάτων απεικόνισης δεδομένων

Ο χρήστης για να καθορίσει τον τύπο διαγράμματος επιλέγει:

Insert → Plot

Για να εισάγει markers στα γραφήματα:

Marker → New

Για να εισάγει εξισώσεις και να τις απεικονίσει σε γράφημα:

Insert → Equation

Π.2.3 Σχεδίαση μάσκας με χρήση των εργαλείων του ADS

Για να ανοίξουμε ένα παράθυρο σχεδίασης της μάσκας (layout), απο το κεντρικό παράθυρο, επιλέγουμε:

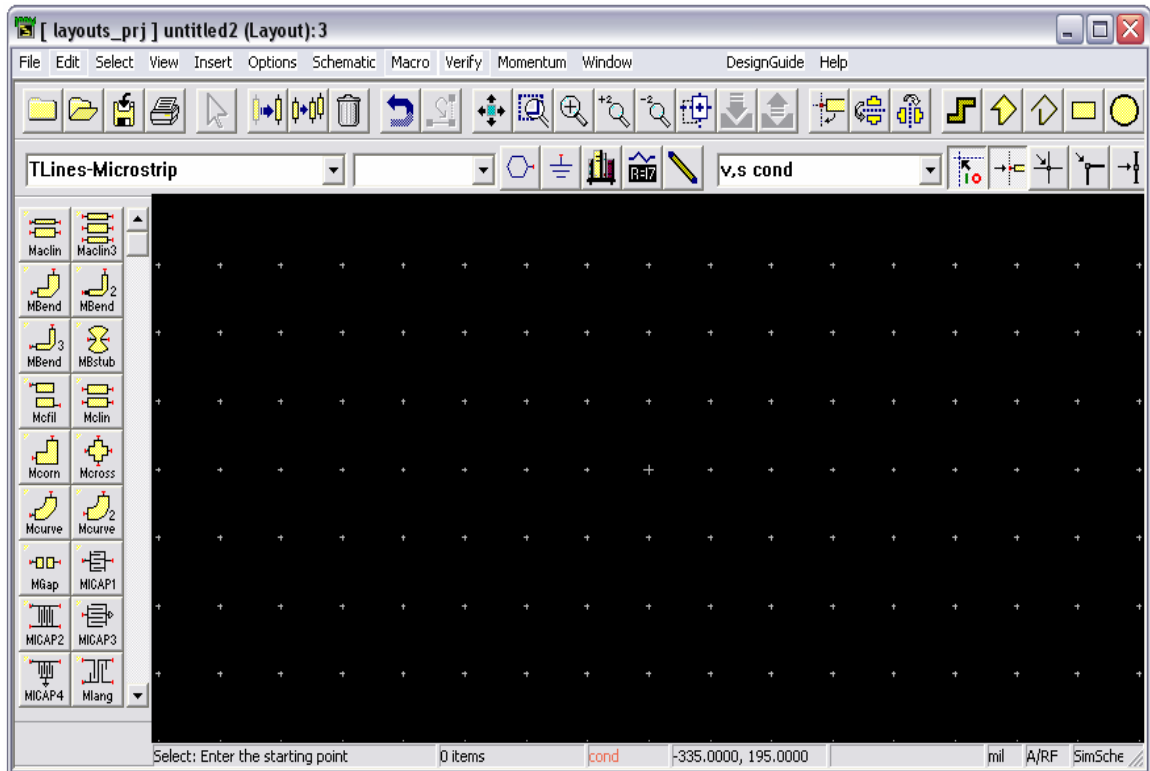
File → New Design

Δίνουμε ένα όνομα στο αρχείο που δημιουργήσαμε και επιλέγουμε:

Type of network → Analog/RF Network

Create New Design in → New Layout Window

Και εμφανίζεται το παράθυρο σχεδίασης της μάσκας(layout), όπου ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει και να διαμορφώσει τα σχέδια του.



Σχήμα Π.2.4: το παράθυρο σχεδίασης της μάσκας (layout), του προγράμματος HP Advanced Design System

Οι μάσκες των κυκλωμάτων δημιουργήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές του εργοστασίου κατασκευής τυπωμένων κυκλωμάτων (βλέπε παράγραφο 5.1). Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εργαλεία από τη μπάρα εργαλείων, οι γραμμές μεταφοράς σχεδιάστηκαν, στο επίπεδο v,s cond (καφέ χρώμα). Κατά τη σχεδίαση των γραμμών μεταφοράς, το ελάχιστο πλάτος αυτών θεωρήθηκε στα 0,3 mm όπως προκύπτει από τις προδιαγραφές των τυπωμένων κυκλωμάτων. Για το μήκος αυτών, ο περιορισμός ήταν, να μην ξεπερνά τα $\lambda/4$, όπου λ - το μήκος κύματος, ώστε να μη συντονίζεται το κύκλωμα. Οι τρύπες των γειώσεων σχεδιάστηκαν, στο επίπεδο v,s hole (γαλάζιο χρώμα), έτσι ώστε να έχουν εσωτερική ακτίνα 0,3 cm και εξωτερική τουλάχιστον 0,6 cm. Στο επίπεδο v,s resi (πράσινο χρώμα), σχεδιάστηκαν οι διαστάσεις των διακριτών στοιχείων, ενώ στο επίπεδο v,s diel (μπλέ χρώμα), σχεδιάστηκαν οι διαστάσεις των ολοκληρωμένων. Κατά τη διαδικασία του τυπώματος των κυκλωμάτων, τα επίπεδα που συμμετέχουν είναι τα: v,s cond και v,s hole, ενώ τα επίπεδα v,s resi και v,s diel δημιουργήθηκαν μόνο για λόγους απεικόνισης.

Αφού τα layout των κυκλωμάτων ολοκληρώθηκαν, τα σώζουμε σαν αρχεία Gerber, σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω:

1. Διαδικασία μετατροπής Layout σε μάσκα

Edit → Select All → RightClick → Component → Flatten

2. Δημιουργία Επιπέδου Κοπής

Επιλογή του επιπέδου case_dimensions.

Rectangle on borders.

RightClick → Modify → Explode.

3. Δημιουργία Αρχείων Gerber

File → Export

i) File Type : Gerber

ii) More Options : Units → mm

iii) OK

4. Gerber File Options

Unit: MM

Format : 3.4

Zero Suppress : Leading

Circular : 360

CR/LF : Include

5. Translation Settings

Outline/Fill : Fill

Gerber Output Format : RS274X

6. Translate

7. View Gerber

8. Layer

9. ADS → Close

Π.2.4 Touchstone αρχεία

Τα αρχεία Touchstone αποτελούν ένα πρότυπο αρχείου για αποθήκευση παραμέτρων πολύθυρων δικτύων. Αυτά τα αρχεία δεδομένων που είναι επίσης γνωστά ως αρχεία SnP, έχουν κατάληξη *.snp* όπου *n* - ο αριθμός των θυρών του δικτύου. Το πρότυπο αρχείων Touchstone, χρησιμοποιείται στα προγράμματα λογισμικού Agilent EEsof.¹

Ένα Touchstone αρχείο δεδομένων είναι στην ουσία ένα αρχείο χαρακτήρων ASCII όπου τα δεδομένα εμφανίζονται γραμμή προς γραμμή. Τα περιεχόμενα των αρχείων αυτών, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις τύπους: γραμμή προσδιορισμού, γραμμές δεδομένων και σχόλια. Οι γραμμές με τα σχόλια ξεκινάνε με ένα σύμβολο θαυμαστικού (!). Η πρώτη γραμμή του αρχείου πρέπει να είναι η γραμμή προσδιορισμού η οποία ξεκινάει με το σύμβολο αριθμού (#) ακολουθούμενο από ένα κενό (space). Η γραμμή προσδιορισμού προηγείται των δεδομένων, η σύνταξη της είναι :

<Frequency Unit> <Parameter Type> <Data Format> <Reference Impedance>

Όπου:

Frequency Unit είναι οι μονάδες συχνότητας σε Hz, KHz, MHz, ή GHz.

Parameter Type ο τύπος των παραμέτρων S, Z, ή Y.

Data Format αναφέρεται στη μορφή των δεδομένων. Ανάλογα με τη μορφή ενός μιγαδικού αριθμού μπορεί να είναι MA, DB, ή RI (MA για τη μορφή μέγεθος-γωνία (magnitude - angle), DB για τη μορφή μέγεθος σε dB - γωνία και RI για τη μορφή πραγματικού-φανταστικού (real-imaginary).

Reference Impedance – Η χαρακτηριστική αντίσταση σε μονάδες Ω (ohms).

Ένα παράδειγμα της γραμμής προσδιορισμού για συχνότητα σε GHz, S – παράμετρος σε μορφή dB-γωνία και χαρακτηριστική αντίσταση 50 ohms, είναι:

GHz S DB R 50

Οι γραμμές δεδομένων περιέχουν τις παραμέτρους S, Z, ή Y, του πολύθρου. Τα δεδομένα είναι σε μορφή πίνακα όπου στη πρώτη στήλη μπαίνει η συχνότητα.

Ένα παράδειγμα για S – παράμετρος διθύρου στη μορφή MA, είναι:

Συχνότητα SM11 SA11 SM12 SA12 SM21 SA21 SM22 SA22

Όπου SMxx αντιστοιχεί στο μέγεθος της S – παραμέτρου και SAxx αντιστοιχεί στη γωνία της S – παραμέτρου.

¹ Αυτή είναι μια σύντομη περιγραφή του περιεχομένου και της δομής ενός αρχείου Touchstone. Οι χρήστες μπορούν να ανατρέξουν στην επίσημη ιστοσελίδα της εταιρίας Agilent για την πλήρη βιβλιογραφία.

Παράρτημα 3 – Πίνακες Μετρήσεων

Πίνακας S-παραμέτρων για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} = 0\text{ V}$								
freq (Hz)	S11		S12		S21		S22	
	Real	Imaginary	Real	Imaginary	Real	Imaginary	Real	Imaginary
10000000	0,123299	-0,14513	-1,32E-05	2,47E-05	-0,00587	-0,00115	0,299805	-0,66141
12950000	0,096176	-0,15696	-2,82E-05	1,90E-05	-0,00704	0,002017	0,084351	-0,65735
15900000	0,069199	-0,16745	2,10E-07	3,24E-05	-0,00586	0,005694	-0,08859	-0,58923
18850000	0,038933	-0,1758	-6,30E-06	4,56E-05	-0,00338	0,008239	-0,21448	-0,49487
21800000	0,008514	-0,17842	5,95E-06	3,55E-05	0,000492	0,009639	-0,29703	-0,38414
24750000	-0,02225	-0,17686	4,53E-05	6,25E-05	0,004438	0,008795	-0,34161	-0,27934
27700000	-0,05321	-0,16956	7,38E-05	5,80E-05	0,007613	0,006603	-0,35966	-0,17622
30650000	-0,08257	-0,15727	2,42E-05	5,74E-05	0,009909	0,003429	-0,35591	-0,08847
33600000	-0,10954	-0,1394	8,62E-05	3,76E-05	0,010475	-0,00016	-0,33575	-0,0105
36550000	-0,13393	-0,1161	9,79E-05	1,68E-05	0,010096	-0,0042	-0,3044	0,053741
39500000	-0,15183	-0,08978	0,000102	-7,79E-07	0,007961	-0,00724	-0,26599	0,103958
42450000	-0,16503	-0,06177	0,000106	2,07E-05	0,005088	-0,00985	-0,22112	0,144089
45400000	-0,17298	-0,0289	8,00E-05	-2,41E-05	0,00141	-0,01078	-0,17677	0,170357
48350000	-0,17529	0,002319	0,000132	-2,35E-05	-0,00218	-0,01077	-0,13171	0,186577
51300000	-0,17052	0,034874	9,15E-05	-6,12E-05	-0,00602	-0,00954	-0,08579	0,193649
54250000	-0,16116	0,065529	8,29E-05	-5,48E-05	-0,0086	-0,00717	-0,04499	0,193054
57200000	-0,1461	0,092247	0,000109	-9,54E-05	-0,01031	-0,00352	-0,0067	0,185127
60150000	-0,12436	0,118267	9,18E-05	-8,12E-05	-0,01128	-9,06E-05	0,025902	0,171104
63100000	-0,10011	0,138306	8,29E-05	-0,00011	-0,01055	0,003586	0,054062	0,153137
66050000	-0,07204	0,153137	6,26E-05	-0,00016	-0,00904	0,007173	0,076653	0,131737
69000000	-0,04109	0,162544	3,34E-05	-0,00014	-0,00602	0,009579	0,094666	0,106682
71950000	-0,00996	0,166481	5,62E-05	-9,14E-05	-0,00295	0,011388	0,107296	0,082005
74900000	0,021828	0,164261	3,19E-05	-0,00018	0,000954	0,011469	0,113762	0,053844
77850000	0,052605	0,15522	1,20E-05	-0,00017	0,004923	0,010293	0,114578	0,027851
80800000	0,080048	0,142357	-6,92E-05	-0,00016	0,008162	0,008529	0,11084	0,003426
83750000	0,105396	0,123348	-2,75E-05	-0,00011	0,010617	0,005376	0,101078	-0,02049
86700000	0,12674	0,099609	-4,34E-05	-0,00014	0,011996	0,002106	0,086807	-0,03957
89650000	0,142738	0,072952	-7,51E-05	-0,00014	0,012228	-0,00243	0,068008	-0,05497
92600000	0,153641	0,043404	-3,06E-05	-0,00015	0,010839	-0,00611	0,045979	-0,06528
95550000	0,158279	0,013496	-4,34E-05	-0,00014	0,008404	-0,00913	0,020844	-0,06741
98500000	0,156944	-0,01903	5,81E-06	-0,00016	0,004762	-0,01166	-0,00329	-0,06118
1,01E+08	0,150085	-0,04887	-3,06E-05	-0,00021	0,000885	-0,0128	-0,02334	-0,04582
1,04E+08	0,137291	-0,07795	-0,00011	-0,00026	-0,00396	-0,01271	-0,03566	-0,02296
1,07E+08	0,119331	-0,10257	-0,00014	-0,00029	-0,00796	-0,01053	-0,03687	0,003098
1,1E+08	0,097073	-0,1242	-0,00026	-0,00029	-0,01133	-0,00742	-0,025	0,026708
1,13E+08	0,071465	-0,14137	-0,0003	-0,00028	-0,01287	-0,00289	-0,00459	0,041328
1,16E+08	0,042175	-0,15263	-0,00043	-0,00028	-0,01293	0,001744	0,020285	0,046558
1,19E+08	0,012703	-0,15839	-0,00049	-0,00015	-0,01193	0,005889	0,043957	0,040165
1,22E+08	-0,01798	-0,15819	-0,00055	-5,85E-05	-0,00903	0,009175	0,063267	0,025478
1,25E+08	-0,04799	-0,1527	-0,00056	7,17E-05	-0,00523	0,011485	0,075115	0,004833
1,28E+08	-0,07603	-0,1412	-0,00055	0,000121	-0,00143	0,012608	0,080151	-0,01791
1,31E+08	-0,10247	-0,1237	-0,00065	0,000221	0,002493	0,012289	0,077858	-0,04138
1,34E+08	-0,12394	-0,10352	-0,00056	0,000372	0,006685	0,010396	0,070011	-0,06228
1,37E+08	-0,14137	-0,07884	-0,00052	0,000484	0,009877	0,00771	0,056656	-0,08049
1,4E+08	-0,15358	-0,0509	-0,00044	0,000577	0,011416	0,003955	0,039379	-0,0957
1,43E+08	-0,16031	-0,02165	-0,0003	0,000674	0,012181	0,000343	0,019596	-0,10607

1,46E+08	-0,16146	0,008408	-0,00023	0,000678	0,011418	-0,00345	-0,00344	-0,11127
1,49E+08	-0,15674	0,038124	-0,00012	0,00075	0,009476	-0,00742	-0,02638	-0,11214
1,52E+08	-0,14655	0,066414	-2,51E-05	0,000752	0,006796	-0,00975	-0,04919	-0,10849
1,55E+08	-0,13142	0,090843	0,000103	0,000748	0,003218	-0,01167	-0,07072	-0,09958
1,58E+08	-0,11215	0,113098	0,000216	0,000731	-0,0004	-0,01178	-0,09173	-0,08616
1,6E+08	-0,08821	0,131035	0,000344	0,000701	-0,00446	-0,01114	-0,10858	-0,06998
1,63E+08	-0,0619	0,144119	0,000448	0,000657	-0,00766	-0,00936	-0,1232	-0,04945
1,66E+08	-0,03388	0,151497	0,000556	0,000614	-0,01039	-0,00604	-0,13332	-0,02699
1,69E+08	-0,00559	0,153847	0,000622	0,000507	-0,01159	-0,0028	-0,13943	-0,00213
1,72E+08	0,023125	0,150497	0,000715	0,000444	-0,0122	0,001101	-0,14097	0,023827
1,75E+08	0,051102	0,141731	0,000776	0,000361	-0,0107	0,004533	-0,13709	0,050034
1,78E+08	0,075722	0,128197	0,000852	0,000213	-0,00875	0,00808	-0,12895	0,075012
1,81E+08	0,097565	0,108963	0,000916	0,000118	-0,00583	0,010266	-0,11594	0,098663
1,84E+08	0,115955	0,087685	0,000889	-2,95E-06	-0,00194	0,011794	-0,09793	0,119339
1,87E+08	0,129738	0,062462	0,000902	-0,00015	0,001621	0,011703	-0,07603	0,138069
1,9E+08	0,137528	0,035828	0,000885	-0,00026	0,005441	0,010624	-0,051	0,151894
1,93E+08	0,140472	0,008553	0,00087	-0,00035	0,008707	0,008538	-0,02329	0,161911
1,96E+08	0,137657	-0,02056	0,000792	-0,00053	0,010667	0,005059	0,005089	0,166
1,99E+08	0,130821	-0,04621	0,000714	-0,00064	0,01179	0,001555	0,036491	0,164917
2,02E+08	0,117489	-0,07045	0,00068	-0,00071	0,011667	-0,00248	0,066757	0,15815
2,05E+08	0,100426	-0,09259	0,000542	-0,00083	0,010399	-0,00595	0,094246	0,146469
2,08E+08	0,078888	-0,11064	0,000445	-0,00093	0,008067	-0,00877	0,122398	0,129211
2,11E+08	0,054619	-0,12413	0,000344	-0,00099	0,004834	-0,01107	0,143395	0,107811
2,14E+08	0,02964	-0,13233	0,000182	-0,00102	0,000568	-0,01186	0,163788	0,07869
2,17E+08	0,001472	-0,13547	7,77E-05	-0,00106	-0,00306	-0,0118	0,177467	0,049912
2,19E+08	-0,02464	-0,1335	-9,45E-05	-0,00108	-0,00691	-0,00991	0,18589	0,017075
2,22E+08	-0,04987	-0,12672	-0,00021	-0,00108	-0,00939	-0,00725	0,189186	-0,01662
2,25E+08	-0,07449	-0,11456	-0,00038	-0,00103	-0,01155	-0,0036	0,185883	-0,05233
2,28E+08	-0,09506	-0,09859	-0,00055	-0,00103	-0,01228	-5,44E-05	0,175476	-0,08606
2,31E+08	-0,11227	-0,07893	-0,00068	-0,00095	-0,01114	0,004074	0,159172	-0,11887
2,34E+08	-0,1263	-0,05533	-0,00081	-0,00085	-0,00964	0,007308	0,136704	-0,14831
2,37E+08	-0,13411	-0,03084	-0,00097	-0,00075	-0,00648	0,010341	0,10846	-0,1738
2,4E+08	-0,13801	-0,00546	-0,00106	-0,00064	-0,00315	0,012128	0,075928	-0,19376
2,43E+08	-0,13682	0,020378	-0,00117	-0,0005	0,001022	0,012114	0,039803	-0,20768
2,46E+08	-0,1301	0,045128	-0,00123	-0,00032	0,004923	0,011188	0,000702	-0,21479
2,49E+08	-0,1197	0,06797	-0,00129	-0,0002	0,008528	0,009049	-0,0406	-0,21441
2,52E+08	-0,10421	0,088921	-0,00132	-1,87E-05	0,010831	0,00632	-0,08021	-0,207
2,55E+08	-0,08584	0,105934	-0,00138	0,000209	0,012399	0,002483	-0,11904	-0,19143
2,58E+08	-0,06332	0,119312	-0,00137	0,000373	0,012393	-0,00154	-0,15607	-0,16709
2,61E+08	-0,04169	0,12809	-0,00131	0,000549	0,010967	-0,00536	-0,18617	-0,1388
2,64E+08	-0,01601	0,13176	-0,00128	0,000801	0,009271	-0,00872	-0,21147	-0,10253
2,67E+08	0,008156	0,131165	-0,00113	0,000991	0,005599	-0,01134	-0,22913	-0,06314
2,7E+08	0,031616	0,125824	-0,00098	0,001157	0,001452	-0,01273	-0,23992	-0,02101
2,73E+08	0,05389	0,115742	-0,00083	0,001246	-0,00209	-0,01247	-0,24525	0,021263
2,76E+08	0,073593	0,101852	-0,00062	0,001333	-0,00682	-0,01117	-0,24084	0,067131
2,78E+08	0,090111	0,084808	-0,00049	0,001459	-0,00986	-0,0082	-0,23023	0,110931
2,81E+08	0,103325	0,063858	-0,00029	0,001526	-0,01224	-0,00504	-0,20874	0,153626
2,84E+08	0,111569	0,042416	-0,00012	0,001603	-0,01315	-0,00072	-0,17999	0,192802
2,87E+08	0,115994	0,018776	0,000127	0,001623	-0,01247	0,003595	-0,14494	0,225456
2,9E+08	0,115128	-0,00455	0,000328	0,001605	-0,01095	0,007549	-0,10248	0,251999
2,93E+08	0,11042	-0,02682	0,000596	0,001581	-0,00755	0,011481	-0,05522	0,270309
2,96E+08	0,100853	-0,048	0,00081	0,001533	-0,00384	0,012749	-0,00591	0,28009

2,99E+08	0,088314	-0,06637	0,001045	0,001448	0,00079	0,013609	0,045181	0,279114
3,02E+08	0,07151	-0,0827	0,001266	0,001326	0,00513	0,013021	0,098587	0,270294
3,05E+08	0,052277	-0,09424	0,001435	0,001142	0,008881	0,010303	0,148621	0,250855
3,08E+08	0,031525	-0,10264	0,001618	0,000922	0,011609	0,007092	0,194344	0,222252
3,11E+08	0,009716	-0,10608	0,001753	0,000763	0,013451	0,002266	0,233475	0,185066
3,14E+08	-0,0116	-0,10598	0,001864	0,000462	0,013391	-0,00258	0,267273	0,139023
3,17E+08	-0,03375	-0,10064	0,001949	0,000177	0,012128	-0,00633	0,292084	0,090698
3,2E+08	-0,05347	-0,09166	0,002058	-7,70E-05	0,009667	-0,00991	0,305039	0,033722
3,23E+08	-0,0709	-0,07914	0,002019	-0,00035	0,005716	-0,01295	0,308991	-0,022
3,26E+08	-0,08572	-0,06395	0,001979	-0,00071	0,001099	-0,0139	0,304077	-0,07993
3,29E+08	-0,09684	-0,04559	0,001928	-0,00098	-0,00312	-0,01364	0,288681	-0,1367
3,32E+08	-0,10355	-0,02587	0,001753	-0,00129	-0,00753	-0,01149	0,259476	-0,19196
3,35E+08	-0,10728	-0,00491	0,001569	-0,00171	-0,01115	-0,00853	0,219833	-0,24101
3,37E+08	-0,1062	0,016235	0,001421	-0,00181	-0,01327	-0,00432	0,170563	-0,28249
3,4E+08	-0,10133	0,035984	0,001148	-0,00208	-0,01408	0,000473	0,115219	-0,31194
3,43E+08	-0,0929	0,054298	0,000821	-0,00228	-0,01292	0,005065	0,05304	-0,33109
3,46E+08	-0,08034	0,070381	0,000471	-0,00247	-0,01083	0,008814	-0,01184	-0,3383
3,49E+08	-0,06615	0,083496	3,93E-06	-0,00255	-0,00706	0,012201	-0,07716	-0,33237
3,52E+08	-0,04856	0,094322	-0,00043	-0,00254	-0,00266	0,013912	-0,14151	-0,31253
3,55E+08	-0,02984	0,100617	-0,00088	-0,00253	0,002163	0,013965	-0,2	-0,27997
3,58E+08	-0,01065	0,10331	-0,0013	-0,00232	0,006282	0,012639	-0,25084	-0,23662
3,61E+08	0,008663	0,102268	-0,00175	-0,00204	0,010101	0,009398	-0,29222	-0,1815
3,64E+08	0,026863	0,097504	-0,00215	-0,00162	0,013171	0,005446	-0,3197	-0,1237
3,67E+08	0,044685	0,08828	-0,00237	-0,00112	0,013893	0,000783	-0,33607	-0,06206
3,7E+08	0,059372	0,077202	-0,00242	-0,00059	0,013177	-0,00332	-0,33913	0,00032
3,73E+08	0,072083	0,06242	-0,00234	-0,00021	0,010854	-0,008	-0,33456	0,058472
3,76E+08	0,080811	0,04649	-0,00217	0,000204	0,007721	-0,0112	-0,32053	0,114731
3,79E+08	0,086468	0,028564	-0,00198	0,000483	0,003943	-0,01306	-0,29799	0,169098
3,82E+08	0,088108	0,010487	-0,00175	0,000696	-0,00072	-0,01336	-0,26692	0,220398
3,85E+08	0,085777	-0,00781	-0,00153	0,000777	-0,00495	-0,01234	-0,2296	0,264694
3,88E+08	0,080227	-0,02465	-0,00132	0,000883	-0,0086	-0,00977	-0,18024	0,306198
3,91E+08	0,071194	-0,04068	-0,0012	0,000946	-0,01151	-0,0065	-0,12598	0,337845
3,94E+08	0,059464	-0,0535	-0,00112	0,000975	-0,01291	-0,00247	-0,06523	0,359558
3,96E+08	0,045479	-0,06411	-0,00103	0,001003	-0,01261	0,002496	0,001617	0,371353
3,99E+08	0,029678	-0,07119	-0,00093	0,001055	-0,01093	0,006278	0,069611	0,371399
4,02E+08	0,013397	-0,07502	-0,00088	0,001119	-0,00812	0,009552	0,138809	0,356964
4,05E+08	-0,00384	-0,07531	-0,00079	0,001199	-0,00506	0,011761	0,205811	0,330978
4,08E+08	-0,02027	-0,07197	-0,00067	0,001331	-0,00099	0,012629	0,265762	0,291702
4,11E+08	-0,03603	-0,06548	-0,00058	0,001426	0,003758	0,012034	0,319672	0,239227
4,14E+08	-0,05	-0,05602	-0,00043	0,001514	0,006917	0,010437	0,361939	0,178757
4,17E+08	-0,06102	-0,04404	-0,00029	0,001602	0,010147	0,007462	0,391953	0,110809
4,2E+08	-0,06939	-0,03045	-0,0001	0,00167	0,011937	0,003829	0,408279	0,039261
4,23E+08	-0,07484	-0,01488	8,06E-05	0,001733	0,012376	-0,00026	0,410294	-0,04077
4,26E+08	-0,07701	0,001209	0,000321	0,001781	0,01104	-0,00441	0,399506	-0,11653
4,29E+08	-0,07634	0,016556	0,000557	0,001766	0,009254	-0,00803	0,371094	-0,19254
4,32E+08	-0,07161	0,032188	0,000771	0,001722	0,005528	-0,0104	0,332748	-0,25883
4,35E+08	-0,06382	0,046402	0,001025	0,001658	0,002083	-0,01134	0,280319	-0,32002
4,38E+08	-0,05358	0,058571	0,001267	0,001513	-0,00206	-0,01129	0,217362	-0,36978
4,41E+08	-0,04138	0,068298	0,001481	0,001401	-0,00526	-0,00969	0,144424	-0,40784
4,44E+08	-0,02739	0,075066	0,001612	0,00128	-0,00851	-0,00708	0,068222	-0,43364
4,47E+08	-0,01223	0,078846	0,001891	0,001015	-0,01009	-0,00435	-0,01425	-0,43922
4,5E+08	0,003883	0,079586	0,002002	0,000758	-0,01115	-0,00072	-0,09677	-0,43161

4,53E+08	0,019142	0,076702	0,002124	0,000504	-0,01027	0,00294	-0,17606	-0,4086
4,55E+08	0,032944	0,07106	0,002224	0,000254	-0,00859	0,006001	-0,25092	-0,36913
4,58E+08	0,045641	0,062014	0,002255	-7,80E-05	-0,00567	0,008181	-0,31927	-0,31552
4,61E+08	0,056492	0,051256	0,002288	-0,00035	-0,00268	0,00962	-0,37733	-0,24719
4,64E+08	0,064377	0,038036	0,00223	-0,00074	0,000576	0,01016	-0,42778	-0,1718
4,67E+08	0,069202	0,023697	0,00216	-0,00099	0,003781	0,009031	-0,45844	-0,09306
4,7E+08	0,070915	0,009117	0,002039	-0,00127	0,006637	0,007387	-0,47116	-0,00856
4,73E+08	0,070038	-0,00626	0,001873	-0,00153	0,008115	0,005123	-0,46698	0,078995
4,76E+08	0,065643	-0,02055	0,001698	-0,00181	0,009372	0,002254	-0,44754	0,161881
4,79E+08	0,058001	-0,03384	0,001457	-0,00201	0,009048	-0,00082	-0,40799	0,241592
4,82E+08	0,048481	-0,04466	0,001143	-0,0022	0,00817	-0,00358	-0,33882	0,319901
4,85E+08	0,036158	-0,05358	0,000854	-0,00245	0,006309	-0,00625	-0,27669	0,395081
4,88E+08	0,021957	-0,05969	0,000607	-0,00261	0,004072	-0,00813	-0,20831	0,446137
4,91E+08	0,007446	-0,06276	0,000352	-0,0027	0,001018	-0,00879	-0,12672	0,481567
4,94E+08	-0,0081	-0,06206	-7,88E-05	-0,00279	-0,00169	-0,00869	-0,03899	0,498764
4,97E+08	-0,02215	-0,05887	-0,00048	-0,00285	-0,00454	-0,00789	0,055954	0,498734
5E+08	-0,03591	-0,05229	-0,00086	-0,00274	-0,00641	-0,0055	0,14447	0,481995
5,03E+08	-0,04768	-0,04349	-0,00128	-0,00266	-0,00787	-0,00305	0,234299	0,445007
5,06E+08	-0,05744	-0,03112	-0,00167	-0,00246	-0,00844	-0,00043	0,313004	0,39769
5,09E+08	-0,06465	-0,01764	-0,00203	-0,00229	-0,00798	0,002307	0,386948	0,32869
5,12E+08	-0,06845	-0,00249	-0,00235	-0,00197	-0,00679	0,00495	0,447403	0,25238
5,14E+08	-0,06957	0,012764	-0,00264	-0,00169	-0,00422	0,006657	0,49028	0,170441
5,17E+08	-0,067	0,028416	-0,00285	-0,00138	-0,00187	0,007697	0,517151	0,079163
5,2E+08	-0,06095	0,042994	-0,00309	-0,00096	0,000759	0,007842	0,523682	-0,02295
5,23E+08	-0,05215	0,056211	-0,00332	-0,00057	0,003205	0,007118	0,513641	-0,11554
5,26E+08	-0,04059	0,067589	-0,00339	-4,79E-05	0,005371	0,005754	0,484299	-0,21245
5,29E+08	-0,0267	0,076241	-0,00339	0,000444	0,006517	0,003349	0,436615	-0,30011
5,32E+08	-0,0118	0,0816	-0,00337	0,000913	0,007174	0,001026	0,376709	-0,37685
5,35E+08	0,005093	0,084049	-0,00319	0,001458	0,006797	-0,00111	0,298508	-0,44354
5,38E+08	0,021416	0,082417	-0,00303	0,001935	0,005961	-0,0035	0,206162	-0,49443
5,41E+08	0,03772	0,077744	-0,00274	0,002323	0,004532	-0,00486	0,112763	-0,52621
5,44E+08	0,052605	0,069519	-0,00243	0,002748	0,002561	-0,00596	0,007568	-0,54059
5,47E+08	0,065807	0,058418	-0,00203	0,003128	0,000532	-0,00633	-0,09268	-0,53589
5,5E+08	0,076401	0,044319	-0,00157	0,003416	-0,0014	-0,00606	-0,19321	-0,51099
5,53E+08	0,084164	0,028782	-0,00108	0,003623	-0,00301	-0,00517	-0,28783	-0,46669
5,56E+08	0,088032	0,011398	-0,00054	0,003803	-0,00458	-0,00393	-0,37302	-0,40407
5,59E+08	0,088718	-0,00622	-3,10E-06	0,003865	-0,00566	-0,00245	-0,44344	-0,32909
5,62E+08	0,085743	-0,02373	0,000563	0,003851	-0,00585	-0,00049	-0,50034	-0,23557
5,65E+08	0,078957	-0,04071	0,001113	0,003705	-0,00552	0,001588	-0,53708	-0,13773
5,68E+08	0,068768	-0,05611	0,001587	0,003606	-0,00475	0,003092	-0,55499	-0,03098
5,71E+08	0,055443	-0,06939	0,002092	0,003334	-0,00339	0,004183	-0,55322	0,075165
5,73E+08	0,038971	-0,07941	0,002594	0,003036	-0,00175	0,00503	-0,53091	0,180695
5,76E+08	0,021	-0,08623	0,002995	0,002663	-3,10E-05	0,005509	-0,48941	0,27919
5,79E+08	0,001888	-0,08925	0,003335	0,002314	0,00163	0,005061	-0,42935	0,369064
5,82E+08	-0,01781	-0,0878	0,003631	0,001797	0,003303	0,0038	-0,35292	0,446228
5,85E+08	-0,03768	-0,08271	0,003842	0,001298	0,004652	0,002718	-0,26675	0,506592
5,88E+08	-0,0554	-0,07348	0,004035	0,000785	0,004638	0,001204	-0,16708	0,549561
5,91E+08	-0,07166	-0,06041	0,004174	0,000175	0,004703	-0,00061	-0,06451	0,573853
5,94E+08	-0,08467	-0,04461	0,004215	-0,00032	0,004344	-0,00229	0,04425	0,57721
5,97E+08	-0,0941	-0,02584	0,004118	-0,00094	0,003459	-0,00341	0,154785	0,559631
6E+08	-0,10004	-0,00491	0,004004	-0,0015	0,001905	-0,00418	0,253784	0,525299

Πίνακας Π.3.1: S-παραμέτροι για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} = 0 \text{ V}$

Πίνακας S-παραμέτρων για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} = 0.5 V$								
freq (Hz)	S11		S12		S21		S22	
	Real	Imaginary	Real	Imaginary	Real	Imaginary	Real	Imaginary
10000000	0,1231613	-0,145203	2,56E-06	9,36E-06	-7,62E-02	-1,63E-02	3,01E-01	-6,65E-01
12950000	0,09758	-0,156357	3,25E-06	1,69E-05	-9,03E-02	2,79E-02	8,43E-02	-6,57E-01
15900000	0,0679779	-0,168114	1,98E-05	5,22E-06	-7,65E-02	7,39E-02	-8,89E-02	-5,90E-01
18850000	0,0394287	-0,174759	1,38E-05	6,58E-05	-4,11E-02	1,08E-01	-2,16E-01	-4,93E-01
21800000	0,0091324	-0,178658	2,73E-05	5,38E-05	7,47E-03	1,22E-01	-2,94E-01	-3,86E-01
24750000	-0,023232	-0,176964	5,43E-05	3,92E-05	5,62E-02	1,14E-01	-3,41E-01	-2,76E-01
27700000	-0,053558	-0,169411	2,64E-05	8,47E-05	9,81E-02	8,61E-02	-3,59E-01	-1,77E-01
30650000	-0,083778	-0,156235	8,26E-05	6,65E-05	1,27E-01	4,50E-02	-3,54E-01	-8,73E-02
33600000	-0,110039	-0,138527	6,49E-05	4,46E-05	1,37E-01	-3,93E-03	-3,34E-01	-1,09E-02
36550000	-0,133217	-0,116707	8,51E-05	2,22E-05	1,28E-01	-5,29E-02	-3,03E-01	5,41E-02
39500000	-0,151665	-0,09082	0,0001025	1,58E-05	0,1029129	-9,61E-02	-0,263016	1,04E-01
42450000	-0,165253	-0,061752	0,0001286	8,79E-07	0,0645371	-1,26E-01	-0,220429	1,41E-01
45400000	-0,173203	-0,02961	0,0001129	1,96E-05	0,0171585	-1,42E-01	-0,175163	1,68E-01
48350000	-0,175507	0,0019913	0,0001122	-2,34E-05	-0,03199	-1,41E-01	-0,12944	1,83E-01
51300000	-0,171494	0,0342026	7,27E-05	-3,83E-05	-7,89E-02	-1,22E-01	-8,53E-02	1,90E-01
54250000	-0,160896	0,064743	9,22E-05	-9,10E-05	-1,15E-01	-9,09E-02	-4,45E-02	1,89E-01
57200000	-0,145714	0,0928803	0,0001285	-8,08E-05	-0,140205	-4,68E-02	-0,007118	1,81E-01
60150000	-0,124397	0,1180763	6,63E-05	-0,00011	-1,49E-01	0,0014877	2,48E-02	0,1671143
63100000	-0,10096	0,1376648	7,07E-05	-0,000119	-1,41E-01	0,0517883	5,20E-02	0,1489105
66050000	-0,073494	0,1531982	5,63E-05	-0,000139	-1,16E-01	0,0952568	7,42E-02	0,1274567
69000000	-0,041687	0,1631393	6,23E-05	-0,000126	-7,82E-02	0,1292496	9,00E-02	0,104248
71950000	-0,009499	0,1665726	4,36E-05	-0,000114	-3,33E-02	0,1488495	1,02E-01	0,0783081
74900000	0,0210495	0,1646423	1,17E-05	-0,000163	1,74E-02	0,1532898	1,08E-01	0,0545769
77850000	0,0518341	0,1566086	1,69E-05	-0,000152	6,86E-02	0,1398621	1,09E-01	0,0293884
80800000	0,0790253	0,1428757	-1,33E-05	-0,000174	1,11E-01	0,1123962	1,04E-01	0,0057831
83750000	0,1056061	0,1229401	-7,04E-05	-0,000147	1,43E-01	0,0695496	9,50E-02	-0,015972
86700000	0,1263809	0,0997467	-2,93E-05	-0,000156	1,59E-01	0,0200958	8,05E-02	-0,034969
89650000	0,142746	0,0729294	7,14E-06	-0,000149	1,59E-01	-0,033287	6,33E-02	-0,048641
92600000	0,1532593	0,0443115	-4,10E-05	-0,000117	1,41E-01	-0,085663	4,19E-02	-0,057915
95550000	0,1580582	0,0119858	-1,17E-05	-0,000122	1,07E-01	-0,129067	1,95E-02	-0,059252
98500000	0,1569214	-0,018898	-4,00E-05	-0,000247	5,94E-02	-0,160057	-1,33E-03	-0,052074
101450000	0,1494751	-0,04924	-4,48E-05	-0,000197	1,88E-03	-0,173096	-1,98E-02	-0,037708
104400000	0,1366043	-0,077797	-9,60E-05	-0,000219	-5,78E-02	-0,166176	-2,92E-02	-0,016164
107350000	0,1187019	-0,102551	-0,00018	-0,000379	-0,112717	-0,138176	-0,027346	0,0085516
110300000	0,0970612	-0,123024	-0,000265	-0,000316	-0,153755	-0,090759	-0,014539	0,0311489
113250000	0,0706253	-0,140068	-0,000348	-0,00027	-0,175819	-0,032066	0,005846	0,045166
116200000	0,0438919	-0,150452	-0,000422	-0,000268	-0,175209	0,029747	0,0296974	0,0477371
119150000	0,0139313	-0,156113	-0,000544	-0,000135	-0,154274	0,086937	0,0528374	0,03969
122100000	-0,014938	-0,157066	-0,000558	-6,22E-05	-0,115234	1,33E-01	0,0706139	2,28E-02
125050000	-0,045448	-0,151413	-0,000552	2,11E-05	-0,063568	1,63E-01	0,0817299	1,59E-03
128000000	-0,073654	-0,140961	-0,000579	0,0001093	-0,006897	0,1739426	0,0855255	-0,022217
130950000	-0,099464	-0,12426	-0,000645	0,0002358	0,0496521	0,1652756	0,0835228	-0,047897
133900000	-0,120419	-0,1049	-0,000578	0,000407	0,1009064	0,1386032	0,0741234	-0,071865
136850000	-0,138191	-0,081688	-0,000499	0,0005121	0,1397705	0,0989914	0,0590553	-0,092575
139800000	-0,151382	-0,054398	-0,000413	0,0006043	0,1635208	0,0475769	0,0405884	-0,108025
142750000	-0,159134	-0,025574	-0,000293	0,0006605	0,1692963	-0,007919	0,0187569	-0,118713
145700000	-0,161682	0,003624	-0,000186	0,0006929	0,1566238	-0,063904	-0,005077	-0,12476
148650000	-0,158455	0,0335846	-9,75E-05	0,0007418	1,28E-01	-0,109932	-3,04E-02	-0,124203
151600000	-0,148071	0,0617065	3,67E-05	0,000787	8,54E-02	-0,145729	-5,50E-02	-0,119339
154550000	-0,133926	0,0872192	0,0001156	0,0007738	0,0334244	-0,164093	-0,079422	-0,108337
157500000	-0,116024	0,109951	0,0002422	0,0007532	-0,02092	-0,165642	-0,101502	-0,093685
160450000	-0,093414	0,1285782	0,000337	0,0006752	-0,072784	-0,150032	-0,121258	-0,073769
163400000	-0,06752	0,142662	0,0004599	0,0006639	-0,117901	-0,118065	-0,138039	-0,048828
166350000	-0,038094	0,1510544	0,000569	0,0005784	-0,150055	-0,074066	-0,150093	-0,023476
169300000	-0,010437	0,154274	0,000627	0,0005217	-0,166153	-0,020805	-0,156136	0,0030365

172250000	0,0173569	0,1530304	0,0007225	0,0004575	-0,164337	0,0327301	-0,156723	0,0330811
175200000	0,0462036	0,1445465	0,0008253	0,0002815	-0,145805	0,0839386	-0,152153	0,0599136
178150000	0,0719147	0,131897	0,0008408	0,000239	-0,110939	0,1265182	-0,141869	0,0879059
181100000	0,0951881	0,1146202	0,0008909	5,87E-05	-0,064194	1,56E-01	-0,124462	1,14E-01
184050000	0,1139488	0,0939484	0,0008901	-1,19E-05	-0,011887	1,68E-01	-0,103973	1,37E-01
187000000	0,1285934	0,0688019	0,0009052	-0,000125	0,0442886	0,1632385	-0,078117	0,1553955
189950000	0,1382065	0,0415039	0,0008974	-0,000238	0,0936127	0,1405792	-0,047844	0,1693802
192900000	0,1425705	0,014267	0,0008558	-0,000388	0,1349106	0,1031342	-0,014206	0,178772
195850000	0,1414566	-0,015121	0,0007954	-0,000512	0,161438	0,0530396	0,0194092	0,1833801
198800000	0,1349106	-0,041794	0,0007044	-0,000665	0,1697159	-0,001274	0,0527344	0,1828384
201750000	0,1236725	-0,067219	0,0006225	-0,000742	0,1612244	-0,056076	0,0860748	0,173027
204700000	0,106575	-0,090206	0,0005626	-0,000842	0,1338348	-0,106461	0,1168442	0,1574173
207650000	0,0856819	-0,110188	0,000441	-0,000917	0,0921097	-0,14502	0,1452103	0,1351776
210600000	0,0626907	-0,124497	0,000285	-0,001002	0,0402451	-0,167389	0,1684494	0,1084824
213550000	0,0371018	-0,134377	0,0001796	-0,001003	-0,015533	-0,171845	0,187355	0,075058
216500000	0,0087433	-0,139038	2,01E-05	-0,001054	-7,27E-02	-0,157616	2,00E-01	0,0388489
219450000	-0,019081	-0,138512	-0,000119	-0,001051	-0,119667	-0,126572	0,2059937	0,0016022
222400000	-0,045219	-0,132774	-0,000282	-0,001073	-0,154541	-0,080879	0,2057724	-0,038673
225350000	-0,07114	-0,121365	-0,000391	-0,001034	-0,173111	-0,02536	0,1977768	-0,078728
228300000	-0,092579	-0,107323	-0,000551	-0,000959	-0,172867	0,0319824	0,1825333	-0,116524
231250000	-0,112293	-0,08744	-0,000689	-0,000866	-0,152878	0,0869522	0,1615295	-0,151268
234200000	-0,127037	-0,064621	-0,000825	-0,000775	-0,116425	0,1315079	0,1323776	-0,182655
237150000	-0,137665	-0,03994	-0,000958	-0,000679	-0,068016	0,1621399	0,0993347	-0,204903
240100000	-0,142487	-0,012444	-0,001057	-0,00059	-0,01152	0,1750793	0,0588379	-0,222679
243050000	-0,142639	0,0143662	-0,001105	-0,000411	0,0460434	0,1702728	0,0164337	-0,231667
246000000	-0,13768	0,0407333	-0,001163	-0,00027	0,0991211	0,145813	-0,029915	-0,232369
248950000	-0,127663	0,0650177	-0,001266	-0,000147	0,1412506	0,1071548	-0,075157	-0,224228
251900000	-0,112793	0,0870247	-0,001328	3,76E-05	0,1684341	5,49E-02	-0,116798	-2,10E-01
254850000	-0,093529	0,1066475	-0,001269	0,0001918	0,1775284	-0,001282	-0,156845	-0,186882
257800000	-0,072441	0,1205597	-0,00124	0,000375	0,1682434	-0,058563	-0,193199	-0,154991
260750000	-0,048706	0,1317062	-0,001174	0,0005337	0,1403732	-0,110352	-0,223625	-0,119049
263700000	-0,022282	0,1369705	-0,001143	0,0007319	0,0978546	-0,150047	-0,244812	-0,075546
266650000	0,0026474	0,1374969	-0,001066	0,000879	0,0451126	-0,174545	-0,258698	-0,030792
269600000	0,0277786	0,1330566	-0,000953	0,0010003	-0,014076	-0,18251	-0,263184	0,0168457
272550000	0,0508728	0,1240196	-0,000807	0,001191	-0,073334	-0,168655	-0,256729	0,0675964
275500000	0,0725899	0,1107025	-0,000656	0,0013211	-0,124214	-0,136643	-0,241219	0,1152191
278450000	0,0910454	0,0926361	-0,000481	0,00143	-0,163208	-0,090172	-0,219467	0,1585007
281400000	0,1055756	0,0718002	-0,000286	0,0015138	-0,184662	-0,032089	-0,185448	0,2000885
284350000	0,115551	0,0498924	-7,88E-05	0,0015802	-1,86E-01	0,0294037	-1,46E-01	0,2332993
287300000	0,1214638	0,0254326	0,0001237	0,0015908	-0,166794	0,0898666	-0,10231	0,25914
290250000	0,1220779	0,0004349	0,0003853	0,001575	-0,128494	0,1404343	-0,051224	0,2789612
293200000	0,1186905	-0,02314	0,0006059	0,001491	-0,075653	0,1747818	0,002243	0,2855225
296150000	0,1106033	-0,046555	0,0008251	0,001438	-0,014221	0,1910477	0,0561371	0,2830505
299100000	0,0980263	-0,067043	0,0010228	0,0012954	0,0495071	0,184906	0,108078	0,2701111
302050000	0,0819397	-0,08493	0,0011446	0,0011513	0,1061249	0,1595688	0,1586838	0,2457352
305000000	0,062397	-0,099056	0,0013134	0,0009904	0,1526566	0,1158295	0,2024307	0,2123566
307950000	0,0402794	-0,109386	0,0014669	0,0008272	0,183197	0,0595322	0,2391663	0,1700745
310900000	0,0168457	-0,115025	0,0016272	0,0006099	0,1920547	-0,004242	0,2677002	0,1215057
313850000	-0,006756	-0,115761	0,0016977	0,0004162	0,1811752	-0,066124	0,2865448	0,0657654
316800000	-0,03046	-0,112186	0,0018046	0,0001866	0,151123	-0,120773	0,2924957	0,010788
319750000	-0,052982	-0,103657	0,0018131	-6,81E-05	0,1040649	-1,63E-01	0,2885132	-4,79E-02
322700000	-0,072887	-0,090942	0,0018091	-0,000321	0,0451431	-0,187462	0,2713623	-0,105408
325650000	-0,090004	-0,074776	0,00181	-0,000542	-0,01638	-0,192925	0,2447891	-0,154579
328600000	-0,103489	-0,05611	0,0017334	-0,000795	-0,079216	-0,175514	0,2094193	-0,20063
331550000	-0,112732	-0,035255	0,0016267	-0,001005	-0,131043	-0,141419	0,1652145	-0,237633
334500000	-0,117096	-0,012146	0,0015497	-0,001275	-0,169281	-0,091331	0,111969	-0,265442
337450000	-0,118214	0,0105057	0,00134	-0,001547	-0,190056	-0,033081	0,0576019	-0,278839
340400000	-0,113903	0,0327263	0,0011191	-0,001738	-0,191422	0,0284271	-0,001358	-0,280197
343350000	-0,105156	0,0541039	0,0008864	-0,001934	-0,17289	0,0881119	-0,05484	-0,267563

346300000	-0,093147	0,0726013	0,0005399	-0,002101	-0,136612	0,1386642	-0,105072	-0,242539
349250000	-0,076435	0,0889816	0,0002733	-0,002203	-0,086273	0,1753082	-0,146614	-0,204277
352200000	-0,057995	0,1004944	-4,47E-05	-0,002306	-2,72E-02	0,1953812	-1,76E-01	-0,158752
355150000	-0,037941	0,1088028	-0,000405	-0,002306	0,0350952	0,1957016	-0,19072	-0,108978
358100000	-0,015663	0,1124725	-0,000728	-0,002278	0,0933533	0,1792374	-0,189087	-0,0588
361050000	0,0053864	0,1124802	-0,001158	-0,002222	0,1452103	0,1466599	-0,172653	-0,018822
364000000	0,0258064	0,1074753	-0,001584	-0,002013	0,1899338	0,0987854	-0,144135	0,0089722
366950000	0,0456276	0,0984001	-0,001877	-0,001693	0,2195663	0,0361328	-0,113388	0,0115624
369900000	0,0622902	0,0856438	-0,002163	-0,001294	0,2318268	-0,038078	-0,096554	-0,008492
372850000	0,0764351	0,0698471	-0,002345	-0,000854	0,2200928	-0,119927	-0,103622	-0,042572
375800000	0,0867157	0,0526123	-0,002385	-0,000404	0,1729736	-0,202019	-0,144783	-0,070755
378750000	0,0929413	0,0342827	-0,002332	6,28E-05	0,0900269	-2,64E-01	-0,208176	-7,07E-02
381700000	0,0957336	0,013855	-0,002158	0,000423	-0,014374	-0,287903	-0,275299	-0,029739
384650000	0,0943375	-0,006062	-0,001987	0,0006644	-0,123123	-0,264969	-0,319275	0,0505371
387600000	0,0890465	-0,02507	-0,001731	0,0008659	-0,210922	-0,200874	-0,328308	0,1480713
390550000	0,0802498	-0,04142	-0,001552	0,0009743	-0,265915	-0,108841	-0,297043	0,2487488
393500000	0,0682564	-0,056107	-0,00138	0,0010735	-0,282944	-0,004684	-0,242493	0,332077
396450000	0,0543327	-0,068344	-0,001242	0,0011308	-0,261841	0,0930023	-0,1586	0,3974609
399400000	0,0378685	-0,077091	-0,001063	0,0012152	-0,209557	0,1773605	-0,067612	0,4371948
402350000	0,0200615	-0,082855	-0,000974	0,0013011	-0,136375	0,2358627	0,0330658	0,4492645
405300000	0,0011253	-0,084644	-0,000865	0,0014192	-0,046844	0,2665405	0,1312103	0,4346619
408250000	-0,016846	-0,08268	-0,000773	0,0015386	0,0440521	0,265152	0,2253418	0,3981781
411200000	-0,03471	-0,076946	-0,000604	0,0015651	0,1297455	0,233696	0,3071747	0,3435059
414150000	-0,050316	-0,068428	-0,000441	0,0017068	0,1992569	0,1746445	0,3799744	0,2709961
417100000	-0,064396	-0,056091	-0,000292	0,0017461	0,2431183	0,0982742	0,4298859	0,1860199
420050000	-0,075249	-0,041763	-9,26E-05	0,0018064	2,60E-01	0,009903	4,62E-01	0,0939636
423000000	-0,0825	-0,025787	0,0001015	0,0018485	0,2472458	-0,078026	0,4764252	-0,001511
425950000	-0,086987	-0,00787	0,0003567	0,00187	0,2044601	-0,155594	0,4732056	-0,093506
428900000	-0,087555	0,0093193	0,0005841	0,0018436	0,1406021	-0,213493	0,4483948	-0,184204
431850000	-0,084721	0,0271759	0,000859	0,0017666	0,0592651	-0,24752	0,4053955	-0,266083
434800000	-0,077808	0,0440598	0,0010988	0,0016707	-0,027969	-0,251053	0,3426208	-0,335434
437750000	-0,068405	0,0583649	0,0013456	0,001554	-0,110504	-0,226646	0,2671051	-0,393387
440700000	-0,056137	0,0716629	0,0016238	0,0013854	-0,180183	-0,173698	0,1813965	-0,439545
443650000	-0,040947	0,0814743	0,0017979	0,0012166	-0,224808	-0,103256	0,0883789	-0,46936
446600000	-0,024593	0,0882454	0,0019782	0,0010086	-0,243454	-0,023621	-0,008011	-0,480011
449550000	-0,007011	0,0916977	0,0021464	0,0007291	-0,235275	0,0576477	-0,103684	-0,477432
452500000	0,0112686	0,0913582	0,0022628	0,000505	-0,201935	0,1311874	-0,197159	-0,452423
455450000	0,028923	0,0871964	0,0023392	0,0002899	-0,14312	0,1893158	-0,282562	-0,416336
458400000	0,0476914	0,0778427	0,002301	-1,11E-05	-0,071037	2,23E-01	-0,350784	-3,65E-01
461350000	0,0657959	0,0630913	0,0022423	-0,000378	0,0083771	0,232666	-0,400482	-0,285202
464300000	0,0779953	0,0454788	0,0022172	-0,000761	0,083786	0,2187347	-0,445404	-0,196365
467250000	0,08498	0,0271263	0,0021422	-0,00112	0,1523972	0,178421	-0,478439	-0,103394
470200000	0,0877914	0,0067902	0,002009	-0,001439	0,198822	0,1187515	-0,4944	-0,005295
473150000	0,0858955	-0,012051	0,0018876	-0,00168	0,2240524	0,0491943	-0,49147	0,0952911
476100000	0,0798149	-0,032005	0,0017301	-0,001963	0,2254868	-0,026138	-0,470047	0,1910553
479050000	0,0689659	-0,048309	0,001525	-0,002165	0,2021408	-0,098549	-0,434235	0,2790833
482000000	0,055975	-0,062305	0,0012828	-0,002326	0,1569748	-0,159287	-0,377823	0,357666
484950000	0,0404816	-0,072414	0,0009582	-0,002463	0,0962143	-0,201592	-0,307571	0,415863
487900000	0,0221329	-0,079037	0,0005827	-0,002637	0,0244675	-0,222931	-0,219818	0,4644165
490850000	0,0032005	-0,081902	0,0001713	-0,002755	-0,050446	-0,219742	-0,12674	0,4968567
493800000	-0,015331	-0,080635	-0,00018	-0,002816	-0,119835	-0,192337	-0,030853	0,514679
496750000	-0,034428	-0,07486	-0,00069	-0,002818	-0,176132	-0,14267	0,0718689	0,51297
499700000	-0,051811	-0,065876	-0,001083	-0,002783	-0,213661	-0,077484	0,1669464	0,494873
502650000	-0,066528	-0,052711	-0,001469	-0,002664	-0,225288	-0,001724	0,2591553	0,4586487
505600000	-0,077843	-0,035789	-0,001829	-0,002439	-0,213394	0,0732575	0,3444672	0,4039001
508550000	-0,084675	-0,017265	-0,002192	-0,00216	-0,173798	0,1419907	0,4158936	0,3377228
511500000	-0,087715	0,0029716	-0,002421	-0,001976	-0,115685	0,1913757	0,4721832	0,2561646
514450000	-0,086819	0,0220451	-0,002695	-0,001605	-0,043137	0,2180328	0,5107727	0,1665344
517400000	-0,081154	0,0413208	-0,002904	-0,001243	0,0331421	0,2178726	0,5314636	0,0696411

520350000	-0,071857	0,0588303	-0,00308	-0,00082	0,1053619	0,1922455	0,5343323	-0,0336
523300000	-0,058811	0,0741844	-0,003251	-0,00037	0,1617508	0,144455	0,5178833	-0,136383
526250000	-0,043476	0,0859833	-0,003342	8,98E-05	0,1987228	7,93E-02	0,4871979	-2,32E-01
529200000	-0,024391	0,0943031	-0,003353	0,0005988	0,211319	0,0094223	0,4382477	-0,320526
532150000	-0,006325	0,0988274	-0,003276	0,0010391	0,1984558	-0,061081	0,3726044	-0,399872
535100000	0,0141716	0,0993729	-0,003155	0,0015278	0,1641312	-0,120514	0,2923126	-0,465317
538050000	0,0344048	0,0959168	-0,002973	0,0019964	0,1141739	-0,164665	0,20401	-0,513306
541000000	0,0531769	0,087944	-0,002698	0,0024015	0,053566	-0,190628	0,1048279	-0,546478
543950000	0,0700188	0,0763664	-0,002378	0,0027153	-0,009834	-0,1968	-0,00235	-0,555847
546900000	0,0840225	0,0619011	-0,001956	0,0031308	-0,071198	-0,182861	-0,103851	-0,546875
549850000	0,0958939	0,0436821	-0,001538	0,0033957	-0,126312	-0,148544	-0,20517	-0,518677
552800000	0,1026802	0,0235176	-0,001023	0,003617	-0,166458	-0,100166	-0,304535	-0,467468
555750000	0,105957	0,0033836	-0,000462	0,0037923	-0,18988	-0,041504	-0,391785	-0,399292
558700000	0,1043243	-0,018192	0,0001503	0,0038552	-0,192513	0,0220642	-0,464356	-0,319305
561650000	0,0988121	-0,039104	0,0006677	0,003842	-0,175438	0,0822296	-0,519043	-0,223175
564600000	0,0896111	-0,059105	0,0012214	0,0036933	-0,138603	0,1347885	-0,555084	-0,120361
567550000	0,075428	-0,076672	0,0016874	0,0035535	-0,087273	0,1721268	-0,570831	-0,010162
570500000	0,0579643	-0,091236	0,002207	0,0032864	-0,02681	0,1920853	-0,564087	0,0965271
573450000	0,0382423	-0,102448	0,0026182	0,0029335	0,0372925	0,1899261	-0,538055	0,2011719
576400000	0,0154648	-0,10915	0,0029774	0,0025831	0,0983582	0,1672897	-0,489853	0,2998505
579350000	-0,008091	-0,11116	0,003291	0,0021628	0,1487503	0,1244888	-0,424377	0,3881073
582300000	-0,031631	-0,10833	0,0036292	0,0016593	0,1817703	0,0665894	-0,345337	0,462204
585250000	-0,054943	-0,100056	0,0038341	0,0012097	0,1939316	0,0009537	-0,251587	0,5215454
588200000	-0,07655	-0,086357	0,0040219	0,000668	0,1815567	-0,065102	-0,148651	0,5616455
591150000	-0,095364	-0,068729	0,0040929	6,89E-05	0,1506805	-1,22E-01	-0,039917	5,82E-01
594100000	-0,109528	-0,04752	0,0041115	-0,000477	0,0984116	-0,165405	0,0672302	0,5849609
597050000	-0,119492	-0,024319	0,0040252	-0,001052	0,0364609	-0,187225	0,1745911	0,5655518
600000000	-0,124683	0,0012283	0,0039387	-0,001612	-0,027168	-0,186737	0,2770081	0,525116

Πίνακας Π.3.2: S-παράμετροι για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} = 0.5 V$

Πίνακας S-παραμέτρων για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} = 0.75\text{ V}$

freq (Hz)	S11		S12		S21		S22	
	Real	Imaginary	Real	Imaginary	Real	Imaginary	Real	Imaginary
10000000	0,123764	-0,1455612	-2,743E-05	5,1819E-06	-0,3271027	-0,0711365	0,2907715	-0,6626587
12950000	0,09630585	-0,156723	-1,901E-05	9,2415E-06	-0,3884888	0,1225433	0,08169556	-0,6547546
15900000	0,06952667	-0,166893	2,6654E-05	6,4619E-05	-0,3297577	0,3227692	-0,0923157	-0,5869751
18850000	0,04042053	-0,174736	-1,558E-05	2,9149E-05	-0,1748962	0,4677124	-0,2124634	-0,491806
21800000	0,01007843	-0,1779251	2,8742E-05	4,7121E-05	0,03204346	0,5281372	-0,2942505	-0,38237
24750000	-0,020874	-0,1770401	1,5963E-05	5,2661E-05	0,247757	0,4919739	-0,3402557	-0,2706757
27700000	-0,0526657	-0,1697845	4,3372E-05	4,4392E-05	0,4289703	0,3712006	-0,354126	-0,1744995
30650000	-0,0822983	-0,1570663	6,6489E-05	3,317E-05	0,547821	0,1891479	-0,3486176	-0,086319
33600000	-0,1094894	-0,1394958	0,00010534	3,1281E-05	0,5870361	-0,0204773	-0,3280792	-0,0084229
36550000	-0,1328888	-0,11689	7,6283E-05	3,2898E-05	0,5482788	-0,2306519	-0,2963409	0,05052185
39500000	-0,1516876	-0,0911484	8,5916E-05	2,6926E-05	0,4382782	-0,410675	-0,2556458	0,100708
42450000	-0,165329	-0,0612335	9,1475E-05	1,5851E-05	0,2715454	-0,5412598	-0,2128143	0,13694
45400000	-0,1730423	-0,0302887	0,00011941	-2,498E-05	0,07119751	-0,6047974	-0,1708221	0,1611252
48350000	-0,1757126	99,18213	0,00012712	-5,599E-05	-0,1393738	-0,5987549	-0,1272736	0,1757507
51300000	-0,1714401	0,03365326	7,9747E-05	-3,795E-05	-0,3359375	-0,5181274	-0,0850296	0,1804276
54250000	-0,1621857	0,06382751	8,2139E-05	-6,723E-05	-0,4958038	-0,3795471	-0,0454865	0,1774292
57200000	-0,1473694	0,09165192	7,8034E-05	-8,272E-05	-0,6002197	-0,1946411	-0,0100861	0,1696243
60150000	-0,125885	0,1178436	9,9454E-05	-8,669E-05	-0,6322937	0,01712036	0,02061462	0,1564865
63100000	-0,1028595	0,137619	0,00010991	-9,366E-05	-0,5969238	0,2209167	0,04471588	0,1405563
66050000	-0,0740662	0,1534805	6,3337E-05	-7,799E-05	-0,4972076	0,4069672	0,06446457	0,1198807
69000000	-0,044342	0,1626968	4,2539E-05	-7,788E-05	-0,3365784	0,5541992	0,07973862	0,0993042
71950000	-0,0132065	0,167038	3,9861E-05	-0,0001201	-0,1336975	0,6376038	0,0906105	0,07833099
74900000	0,01834869	0,1658783	1,4991E-05	-0,0001014	0,08206177	0,6534729	0,096241	0,05659866
77850000	0,04993439	0,1583633	1,993E-05	-0,0001803	0,2887573	0,598053	0,09740067	0,03538895
80800000	0,07976532	0,1446533	-3,71E-06	-0,0001735	0,4743042	0,475708	0,09294128	0,01279068
83750000	0,1054611	0,1255112	-4,283E-05	-0,0001343	0,6036987	0,3087158	0,08285141	-0,0083122
86700000	0,1266708	0,1024246	-5,494E-05	-0,0001473	0,6801453	0,08752441	0,06949615	-0,0263481
89650000	0,1443329	0,07444	-5,509E-05	-0,000112	0,6817932	-0,1401978	0,05391693	-0,040493
92600000	0,1557159	0,04428864	-1,937E-05	-0,0001365	0,6113892	-0,3634644	0,03218842	-0,049057
95550000	0,1605759	0,01325989	-5,278E-05	-0,0001945	0,4672241	-0,5579224	0,01012611	-0,051136
98500000	0,1590805	-0,0180512	-2,054E-05	-0,0002273	0,2610474	-0,6914978	-0,0096684	-0,0428886
101450000	0,1528473	-0,0479126	-5,23E-05	-0,0002449	0,01330566	-0,760437	-0,0275631	-0,0252695
104400000	0,1398773	-0,0774002	-0,0001083	-0,0002359	-0,2562256	-0,7348328	-0,0322666	-0,0009995
107350000	0,1220169	-0,1039543	-0,0001426	-0,0002773	-0,5032654	-0,6098633	-0,0245991	0,03274345
110300000	0,09945679	-0,125206	-0,0003111	-0,0002588	-0,6842041	-0,4002075	-0,0033474	0,06201553
113250000	0,07409668	-0,1425552	-0,0003393	-0,0002697	-0,7853394	-0,1343079	0,02846146	0,08106995
116200000	0,04457855	-0,1554947	-0,0004746	-0,0001986	-0,7795105	0,1450806	0,06285477	0,08388138
119150000	0,01359558	-0,1609116	-0,0005186	-0,0001211	-0,6755981	0,4027405	0,09299088	0,0696106
122100000	-0,0172272	-0,1613998	-0,00059	-5,069E-05	-0,4908142	0,6045227	0,1151657	0,04108047
125050000	-0,0479355	-0,1556244	-0,0005883	2,0981E-05	-0,2561035	0,721344	0,1278458	0,00663757
128000000	-0,0769959	-0,1442719	-0,0005479	0,00014046	0,00405884	0,7559814	0,1301117	-0,0313644
130950000	-0,1028671	-0,1271515	-0,0006423	0,00025827	0,2449036	0,7077637	0,1247482	-0,0731049
133900000	-0,1251755	-0,1056824	-0,000553	0,00041938	0,461853	0,5763245	0,1035004	-0,1140022
136850000	-0,143364	-0,0826111	-0,0004297	0,0004731	0,6173706	0,3897705	0,07920837	-0,1454773
139800000	-0,1573334	-0,0544968	-0,0003415	0,00057015	0,7054443	0,1681824	0,05058289	-0,1679688
142750000	-0,1651077	-0,0238648	-0,0002621	0,00071645	0,7165222	-0,0736084	0,01673126	-0,1819382
145700000	-0,1666107	0,00713348	-0,000151	0,0007115	0,6498108	-0,2982483	-0,0183029	-0,1867905
148650000	-0,1624146	0,03848267	-4,119E-05	0,00071865	0,5155029	-0,4915466	-0,0531006	-0,1815872
151600000	-0,1517563	0,0681076	8,4668E-05	0,00075832	0,3279419	-0,625885	-0,0904388	-0,1686783
154550000	-0,1361694	0,09425354	0,0001666	0,00073579	0,1048279	-0,6930542	-0,1212463	-0,147644
157500000	-0,1158562	0,1176758	0,00028273	0,00074109	-0,1259766	-0,6913147	-0,1491623	-0,1188202
160450000	-0,0919495	0,1358032	0,0003866	0,00065699	-0,3423767	-0,6079407	-0,1741333	-0,0839233
163400000	-0,0644836	0,150032	0,00045344	0,00060344	-0,5165405	-0,4694519	-0,1945648	-0,0445786
166350000	-0,0341873	0,1581573	0,00056982	0,00053859	-0,63797	-0,2785645	-0,2076111	-0,0044556
169300000	-0,0043945	0,1600189	0,00061563	0,00042066	-0,6921692	-0,0527649	-0,2125702	0,03751373

172250000	0,02696991	0,1563873	0,00070038	0,00031182	-0,6720581	0,165741	-0,2090912	0,07744598
175200000	0,05541229	0,1469727	0,00079483	0,00020909	-0,581665	0,3752747	-0,1977692	0,1147537
178150000	0,0823822	0,1318359	0,00082347	0,00012752	-0,4255371	0,5425415	-0,1768723	0,1494217
181100000	0,1048317	0,1125221	0,00081375	3,7253E-06	-0,2360535	0,6471252	-0,1476974	0,1794357
184050000	0,1230202	0,08980942	0,0008547	-0,0001098	-0,0133362	0,6896973	-0,1138992	0,2008896
187000000	0,1365356	0,06347656	0,00084013	-0,00021	0,2072144	0,6593628	-0,0721588	0,2170181
189950000	0,1445999	0,03512573	0,00082088	-0,000288	0,4107361	0,5580444	-0,0248795	0,2232513
192900000	0,1472702	0,00585938	0,00077772	-0,0004183	0,5680847	0,3997192	0,02732849	0,2249222
195850000	0,1438293	-0,0225678	0,00067684	-0,000516	0,6671753	0,1927795	0,075737	0,2240067
198800000	0,1353149	-0,0513077	0,0006156	-0,0005718	0,6889343	-0,0344544	0,1229935	0,2151184
201750000	0,1219673	-0,0769272	0,00050882	-0,0007194	0,6429138	-0,2546387	0,1638947	0,1987991
204700000	0,1031418	-0,0997047	0,00045988	-0,0008056	0,5291748	-0,4476013	0,198204	0,1706467
207650000	0,08115005	-0,1186981	0,00033006	-0,0008909	0,3555603	-0,5957336	0,2246857	0,1352081
210600000	0,05561066	-0,1320038	0,00022256	-0,0009056	0,1425171	-0,6793213	0,2445145	0,09229279
213550000	0,02767944	-0,140686	0,00011605	-0,0009918	-0,081604	-0,6916199	0,2557983	0,04521179
216500000	-0,0001144	-0,1437073	-2,807E-05	-0,0009469	-0,3040466	-0,6233521	0,2591248	-0,0063324
219450000	-0,0286102	-0,1408539	-0,0001767	-0,0009755	-0,4941406	-0,486618	0,2512207	-0,057251
222400000	-0,0543518	-0,133255	-0,0003003	-0,0009101	-0,626709	-0,3013	0,2343292	-0,1070023
225350000	-0,0801201	-0,1207542	-0,0003829	-0,0009169	-0,6871643	-0,0800171	0,2079926	-0,1555862
228300000	-0,1018143	-0,1029816	-0,0005409	-0,0008377	-0,6772461	0,1424561	0,1757889	-0,2004623
231250000	-0,119957	-0,0829239	-0,0006768	-0,000798	-0,5901794	0,3561401	0,1382523	-0,2384033
234200000	-0,1349564	-0,0571289	-0,0007991	-0,000679	-0,4442749	0,5257874	0,09434509	-0,2660522
237150000	-0,1440125	-0,0308762	-0,0008859	-0,0005853	-0,2478638	0,6408081	0,04598999	-0,2815094
240100000	-0,1472855	-0,0026398	-0,0009425	-0,0004199	-0,0325623	0,6862793	-0,0056458	-0,2870026
243050000	-0,1451797	0,02623749	-0,0010259	-0,000347	0,1951599	0,658783	-0,0589447	-0,2821655
246000000	-0,1373596	0,05230713	-0,0010692	-0,0001885	0,3955994	0,5648193	-0,1100006	-0,2662201
248950000	-0,1254959	0,07717896	-0,0011352	-8,857E-05	0,5537109	0,40979	-0,157608	-0,2385101
251900000	-0,1085205	0,09840012	-0,0011286	9,954E-05	0,6546631	0,2102966	-0,1993561	-0,2020798
254850000	-0,0878677	0,1168442	-0,0011204	0,00022846	0,6886902	-0,0120544	-0,2372971	-0,154747
257800000	-0,0649719	0,1302109	-0,0010449	0,00034457	0,6459045	-0,22995	-0,2676392	-0,105011
260750000	-0,0389023	0,1396942	-0,0009934	0,00047868	0,5433655	-0,4244385	-0,290741	-0,0499268
263700000	-0,0120316	0,1428986	-0,001017	0,00067729	0,3788147	-0,5756226	-0,3015289	0,00624085
266650000	0,01478577	0,1409073	-0,0009075	0,00078139	0,1768799	-0,6677246	-0,3011475	0,06495667
269600000	0,04218292	0,1333084	-0,0007904	0,00093219	-0,0479431	-0,6914368	-0,2893829	0,1200104
272550000	0,06712723	0,1206245	-0,0006906	0,00100654	-0,2689514	-0,6423035	-0,2639771	0,1719971
275500000	0,08781815	0,1043854	-0,000533	0,00115168	-0,4621582	-0,520874	-0,2279739	0,2184906
278450000	0,1052818	0,08364868	-0,000392	0,0012269	-0,6065369	-0,3461609	-0,1849213	0,2561798
281400000	0,1180382	0,0606041	-0,0001535	0,0013094	-0,6865234	-0,1334839	-0,1342163	0,2846069
284350000	0,1261902	0,03508759	-3,225E-05	0,00131738	-0,6947327	0,09655762	-0,0782471	0,3016663
287300000	0,1287155	0,00894928	0,00016046	0,00137067	-0,6276245	0,321228	-0,016922	0,3090973
290250000	0,1262589	-0,0178299	0,00030887	0,00138259	-0,4860229	0,5085754	0,04864502	0,3052368
293200000	0,1185036	-0,043354	0,00055045	0,0013597	-0,3016357	0,6365356	0,114151	0,2913208
296150000	0,105629	-0,0665665	0,0007059	0,00121063	-0,0724182	0,703125	0,1762543	0,2655029
299100000	0,08883667	-0,0858536	0,00085986	0,00111151	0,1503906	0,6863708	0,2311401	0,2297897
302050000	0,06813812	-0,101738	0,00096601	0,00099593	0,3659668	0,6014404	0,2763519	0,1849365
305000000	0,04483414	-0,1130486	0,00106466	0,00085384	0,5383301	0,4452209	0,3098907	0,131546
307950000	0,0197525	-0,1194305	0,00119871	0,0006966	0,6508484	0,2504883	0,33255	0,07565308
310900000	-0,0050888	-0,1206894	0,00127071	0,00050217	0,6937866	0,02578735	0,3424072	0,01631165
313850000	-0,0300942	-0,1166534	0,00139082	0,00034904	0,6658325	-0,1950684	0,3331909	-0,0427094
316800000	-0,0535774	-0,1082458	0,00149059	0,00022841	0,5686035	-0,3931274	0,3067017	-0,1008301
319750000	-0,0752792	-0,0946045	0,00152189	-7,385E-05	0,4150391	-0,5496521	0,2633209	-0,1593933
322700000	-0,0935898	-0,0774193	0,0015437	-0,0002443	0,2228699	-0,6500854	0,2088242	-0,2136612
325650000	-0,1075859	-0,0551491	0,00152242	-0,0004357	0,00778198	-0,6857605	0,1487122	-0,2590485
328600000	-0,116581	-0,0322723	0,00150746	-0,0005761	-0,2127075	-0,6517334	0,08621216	-0,294754
331550000	-0,1206932	-0,0088692	0,00145114	-0,0007573	-0,4032288	-0,5525208	0,01564026	-0,3177795
334500000	-0,1196556	0,0157814	0,00130868	-0,0009975	-0,5561218	-0,4002075	-0,0548859	-0,3278961
337450000	-0,1140099	0,03901672	0,00127661	-0,0010114	-0,6523132	-0,2058105	-0,1227875	-0,3223267
340400000	-0,1032829	0,06061554	0,00110173	-0,0012275	-0,6844177	-0,0030518	-0,1820374	-0,2993011
343350000	-0,0883102	0,07954788	0,00087708	-0,0014351	-0,6478577	0,2121582	-0,2204437	-0,2641907

346300000	-0,0708847	0,09417725	0,00053358	-0,0015596	-0,5546265	0,3985901	-0,2443924	-0,2103195
349250000	-0,0494309	0,1049957	0,00027311	-0,0017028	-0,4091187	0,5487366	-0,2520142	-0,1347961
352200000	-0,0270577	0,1111565	9,8526E-05	-0,0018415	-0,2311707	0,6494446	-0,2443314	-0,0479126
355150000	-0,005455	0,1123466	-0,0001663	-0,0019945	-0,032196	0,695282	-0,2217865	0,04496765
358100000	0,01691437	0,1084785	-0,0003849	-0,0021261	0,1726379	0,6844482	-0,180954	0,1372986
361050000	0,03736115	0,09976196	-0,0006803	-0,0021675	0,3642578	0,6258545	-0,1231232	0,2200928
364000000	0,05410385	0,08791733	-0,0009	-0,0020958	0,5413818	0,5246582	-0,0543518	0,2850189
366950000	0,06705856	0,07303238	-0,0011196	-0,0019079	0,7071838	0,3649597	0,01586914	0,3183899
369900000	0,07717133	0,05608368	-0,0013512	-0,00166	0,8474121	0,1479492	0,07000732	0,3048096
372850000	0,08325958	0,0381546	-0,0015541	-0,0013185	0,9297485	-0,1342468	0,08859253	0,2300262
375800000	0,08640671	0,0212822	-0,0017955	-0,0009385	0,9134521	-0,4959106	0,06279755	0,094841
378750000	0,08636856	0,00356293	-0,0019671	-0,0004903	0,7297668	-0,8843994	-0,0045719	-0,0592518
381700000	0,08314514	-0,013237	-0,0020421	-1,037E-05	0,3631592	-1182495	-0,0901642	-0,1640778
384650000	0,07751083	-0,0291634	-0,0020558	0,00033391	-0,1351929	-1,285217	-0,1730652	-0,1803055
387600000	0,06784058	-0,0442047	-0,0019265	0,00054789	-0,6373291	-1,133423	-0,2312851	-0,1186829
390550000	0,05740547	-0,0567951	-0,0017657	0,00071847	-1,016785	-0,8016357	-0,2516479	-0,0101318
393500000	0,04252243	-0,0671959	-0,0016062	0,00085777	-1,219727	-0,3425293	-0,2341309	0,1124039
396450000	0,0267868	-0,0744629	-0,0014193	0,00094378	-1,232361	0,1335449	-0,1896591	0,2175522
399400000	0,00919724	-0,078331	-0,0012379	0,00097495	-1,078552	0,5568848	-0,1290741	0,2923737
402350000	-0,0090408	-0,0788307	-0,0011476	0,00112575	-0,8045349	0,8770142	-0,0583954	0,3325958
405300000	-0,0262947	-0,0748329	-0,0009967	0,00130957	-0,4542847	1,079712	0,02301025	0,3358307
408250000	-0,0430031	-0,0668678	-0,0009146	0,00144231	-0,0675659	1,161133	0,1077576	0,3118134
411200000	-0,056797	-0,0568962	-0,0008177	0,00156391	0,3251953	1,104919	0,1876526	0,269104
414150000	-0,068325	-0,0436974	-0,0006229	0,0016495	0,6654358	0,9243469	0,250824	0,2146149
417100000	-0,076889	-0,0280876	-0,0005001	0,00168037	0,9225464	0,6508789	0,3020477	0,1503296
420050000	-0,0815735	-0,0111885	-0,0003432	0,00178999	1,07843	0,303772	0,3394165	0,0776825
423000000	-0,0831223	0,00600052	-0,0001187	0,00182468	1,113098	-0,0725098	0,3631592	-0,0018158
425950000	-0,080822	0,02332306	5,9724E-05	0,00180471	1020447	-0,4385986	0,3729095	-0,0740509
428900000	-0,0750237	0,03993225	0,00023019	0,00174052	0,8137817	-0,7547302	0,3643036	-0,1312714
431850000	-0,0657501	0,05453491	0,00055569	0,00169379	0,5096436	-0,9746399	0,3269501	-0,1743774
434800000	-0,0538368	0,06701279	0,00084162	0,00156397	0,1520996	-1,087341	0,2677307	-0,2142792
437750000	-0,0388527	0,07719803	0,00112289	0,00153142	-0,2178955	-1,070557	0,1967468	-0,2592926
440700000	-0,0236855	0,08333969	0,00138313	0,001445	-0,5541687	-0,9311829	0,1315765	-0,2956696
443650000	-0,0062141	0,08614349	0,00161386	0,00135422	-0,8269653	-0,6988525	0,06230164	-0,3212891
446600000	0,01037598	0,08556747	0,00180888	0,00118965	-1,000854	-0,3861694	-0,0104675	-0,3347931
449550000	0,0273056	0,08131409	0,0020206	0,00103188	-1,062988	-0,0314331	-0,0836792	-0,3401337
452500000	0,04235077	0,07394409	0,00206578	0,00090873	-1,003235	0,3139038	-0,155899	-0,3419037
455450000	0,05646324	0,06246758	0,00202274	0,00071549	-0,8399353	0,623291	-0,2004242	-0,3297424
458400000	0,06732559	0,04971313	0,00197792	0,00038517	-0,5821228	0,8725891	-0,2273102	-0,2850189
461350000	0,07478333	0,03393173	0,00201929	-1,585E-05	-0,2689209	1008789	-0,2548828	-0,2239075
464300000	0,07846832	0,01797485	0,00209928	-0,0004417	0,07983398	1,039001	-0,2876434	-0,1578522
467250000	0,07944107	0,00085449	0,00213087	-0,0007766	0,4154053	0,9615479	-0,3188782	-0,0889435
470200000	0,07686996	-0,0149651	0,00210679	-0,0010878	0,7026062	0,770813	-0,3381805	-0,0233154
473150000	0,07040405	-0,0316505	0,00205302	-0,0014337	0,9120178	0,5073242	-0,3472595	0,04368591
476100000	0,06122589	-0,0457096	0,0019865	-0,0016276	1,030396	0,1873169	-0,3437347	0,1136322
479050000	0,04901886	-0,0578785	0,00185609	-0,0018413	1,033081	-0,15802	-0,3321533	0,177475
482000000	0,0337677	-0,0671082	0,00169259	-0,0019503	0,9134521	-0,4900818	-0,3037109	0,2313538
484950000	0,0173111	-0,0731316	0,00140774	-0,002131	0,7072144	-0,7690735	-0,2592621	0,2714996
487900000	-0,0003319	-0,0753937	0,00112593	-0,0022949	0,4232483	-0,9612732	-0,2020264	0,3028259
490850000	-0,0173492	-0,0738602	0,00068283	-0,0025024	0,081604	-1,053711	-0,1373291	0,3276367
493800000	-0,0347672	-0,0688705	0,00029504	-0,0026602	-0,262207	-1,025757	-0,0686951	0,3463287
496750000	-0,0511437	-0,0594921	-0,000156	-0,0028019	-0,5905457	-0,8898315	-0,0016632	0,3563843
499700000	-0,0640831	-0,0475693	-0,000517	-0,0028572	-0,8501587	-0,6544495	0,06504822	0,3582458
502650000	-0,0751839	-0,0318527	-0,0009404	-0,0028518	-1,02417	-0,3421021	0,1369019	0,3435822
505600000	-0,0824471	-0,0141983	-0,0013334	-0,0027863	-1,080566	0,01293945	0,1956024	0,3255005
508550000	-0,0857201	0,00462341	-0,0016127	-0,0026648	-1,013489	0,3770142	0,2518311	0,2928772
511500000	-0,0854263	0,02347565	-0,001936	-0,0024841	-0,8388367	0,6938171	0,2973633	0,2507782
514450000	-0,0802765	0,04266739	-0,0021995	-0,0022129	-0,5518494	0,9441528	0,3326111	0,1963348
517400000	-0,0715218	0,06008911	-0,0025666	-0,001936	-0,2009888	1,079956	0,3559875	0,1356964

520350000	-0,0581665	0,07544327	-0,0028319	-0,0015476	0,1663818	1,09137	0,3696136	0,06825256
523300000	-0,0428467	0,08740997	-0,0031254	-0,0011607	0,5185852	0,9730835	0,3743744	-0,0003204
526250000	-0,0241814	0,09601212	-0,0033325	-0,00068	0,8165588	0,7395935	0,3717499	-0,0675507
529200000	-0,0045357	0,09986115	-0,0035232	-0,000201	1,011902	0,4180298	0,3587341	-0,1362
532150000	0,01481628	0,1000633	-0,0035658	0,00025058	1,086792	0,05725098	0,3377991	-0,1994324
535100000	0,03494644	0,09593964	-0,0036476	0,00081849	1,03833	-0,3012695	0,3066254	-0,2599335
538050000	0,05339432	0,08831787	-0,0035703	0,00128615	0,8786316	-0,6218567	0,264801	-0,314621
541000000	0,07035828	0,07611084	-0,0034807	0,00182772	0,6231995	-0,8710938	0,2148895	-0,3599854
543950000	0,08388138	0,06190109	-0,0032077	0,00228548	0,3114624	-1,024719	0,1542969	-0,3950958
546900000	0,09475327	0,04297256	-0,002857	0,00273621	-0,0348511	-1,074158	0,08433533	-0,4203644
549850000	0,1011696	0,02320862	-0,0024806	0,00320315	-0,3859863	-1,007019	0,0062561	-0,4323883
552800000	0,1038017	0,0026207	-0,0019993	0,00358427	-0,7000122	-0,8235779	-0,0767822	-0,4302826
555750000	0,1020164	-0,0179138	-0,0013754	0,00393772	-0,9322815	-0,5578003	-0,1646881	-0,4138794
558700000	0,09594345	-0,0378838	-0,0008698	0,00419235	-1,069031	-0,2178955	-0,2501526	-0,3823547
561650000	0,08621979	-0,0561791	-0,0001957	0,00434971	-1,084045	0,1469727	-0,3272552	-0,3352661
564600000	0,07255173	-0,0727272	0,00049806	0,00439167	-0,9851685	0,4907837	-0,3966522	-0,2710724
567550000	0,05610275	-0,0860443	0,00109983	0,00431657	-0,778595	0,7928162	-0,4507141	-0,1974182
570500000	0,03662872	-0,0963745	0,00167394	0,00418997	-0,4698486	1,012024	-0,4866943	-0,109436
573450000	0,01564789	-0,1022987	0,00219202	0,00392151	-0,1191406	1,111572	-0,5043945	-0,020752
576400000	-0,0064621	-0,1040268	0,00273693	0,003631	0,267334	1,092346	-0,5022888	0,07318115
579350000	-0,0291596	-0,1009903	0,00323117	0,00315833	0,6149597	0,9595032	-0,4800415	0,1697083
582300000	-0,0506477	-0,0934792	0,00370693	0,00272346	0,9099121	0,7054443	-0,4407501	0,2609253
585250000	-0,0706749	-0,0814591	0,00407505	0,00216746	1,107178	0,3562622	-0,3858337	0,3454742
588200000	-0,0879059	-0,065815	0,00438786	0,00161767	1,172607	-0,0213013	-0,3209534	0,4173279
591150000	-0,1016083	-0,0460892	0,00468564	0,0009923	1,099426	-0,423645	-0,2425232	0,478653
594100000	-0,1112709	-0,0233841	0,00489235	0,00032759	0,898468	-0,7870483	-0,1544189	0,5263367
597050000	-0,1162491	0,0002861	0,0049839	-0,0003517	0,5758667	-1,049622	-0,0599976	0,5578308
600000000	-0,1161537	0,02473831	0,00499678	-0,0010052	0,1824951	-1,182434	0,04071045	0,5727539

Πίνακας Π.3.3: S-παράμετροι για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{\text{gain}} = 0.75 \text{ V}$

Πίνακας S-παραμέτρων για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} = 1\text{ V}$

freq (Hz)	S11		S12		S21		S22	
	Real	Imaginary	Real	Imaginary	Real	Imaginary	Real	Imaginary
10000000	0,1188049	-0,1465454	-5,59E-07	-3,70E-06	-1,184509	-0,1359863	0,3050537	-0,6591797
12950000	0,09249878	-0,155777	-5,78E-06	2,34E-05	-1,058472	0,5148315	0,09603882	-0,6485291
15900000	0,06563568	-0,1659393	1,38E-05	6,40E-05	-0,8404541	0,9788208	-0,0903626	-0,5750427
18850000	0,03611755	-0,1725693	-1,69E-05	1,81E-05	-0,4251709	1,408691	-0,2071075	-0,4775543
21800000	0,0072403	-0,1761246	-9,38E-07	2,11E-05	0,2194824	1,610291	-0,2785339	-0,3745728
24750000	-0,0237885	-0,1746368	4,06E-05	2,96E-05	0,9404907	1,468567	-0,3157806	-0,2576904
27700000	-0,0548401	-0,1690903	5,60E-05	7,09E-05	1,509583	0,9974365	-0,3434296	-0,1674194
30650000	-0,0837708	-0,1567459	6,92E-05	5,10E-05	1,813721	0,3458862	-0,3312836	-0,087616
33600000	-0,1098709	-0,1380692	6,55E-05	1,31E-05	1,83197	-0,3712158	-0,3068542	-0,0189514
36550000	-0,1330948	-0,1164017	8,95E-05	1,69E-05	1,579895	-1,035461	-0,277359	0,03616333
39500000	-0,1518021	-0,0885315	9,25E-05	6,00E-06	1,106079	-1,571167	-0,2329788	0,07224274
42450000	-0,1649857	-0,0583725	0,00011958	3,94E-06	0,4454346	-1,913391	-0,1961288	0,09819794
45400000	-0,1721649	-0,0263977	0,00011294	-3,95E-05	-0,3295288	-1,992554	-0,1557999	0,1180038
48350000	-0,1741638	0,00430298	0,00014608	-8,17E-05	-1,143127	-1,728577	-0,1122551	0,1244469
51300000	-0,169426	0,03689575	0,0001427	-0,0001096	-1,741516	-1,120972	-0,077507	0,1262894
54250000	-0,1602554	0,06623077	0,00020411	-0,0001297	-1,952087	-0,2561035	-0,0573235	0,104393
57200000	-0,1435471	0,09490204	0,00011866	-0,0001275	-1,749573	0,5339355	-0,028225	0,1092796
60150000	-0,122242	0,1194115	0,00014555	-9,10E-05	-1,299622	1,049377	-0,0233154	0,1205521
63100000	-0,0970001	0,140152	5,68E-05	-0,0001231	-0,7623901	1,30481	-0,0034409	0,1264496
66050000	-0,0697022	0,1546631	1,92E-05	-0,0001451	-0,2734375	1,369629	-0,0100937	0,1352386
69000000	-0,0390396	0,1639709	1,19E-05	-0,0001819	0,147522	1,278564	-0,0028572	0,09007645
71950000	-0,0076904	0,1664734	-0,0001608	-0,0001787	0,4867249	0,9473572	0,01792145	0,1469116
74900000	0,02320862	0,1645355	-5,33E-05	-0,0001497	0,6421509	0,6695251	0,03643799	0,1166306
77850000	0,05427551	0,1561432	-7,11E-05	-0,0001627	0,7027893	0,43396	0,02895355	0,09489822
80800000	0,0823822	0,1421967	-0,0001629	-0,0001518	0,7046814	0,227417	0,04626846	0,08863449
83750000	0,108242	0,1223679	-0,0001679	-0,0002024	0,6900024	0,0506897	0,05503082	0,07686234
86700000	0,1294022	0,09764099	-0,0001831	-0,0001327	0,6939392	-0,0724793	0,06863403	0,05506897
89650000	0,1453857	0,07016754	-6,53E-05	-0,0001183	0,671875	-0,2446899	0,08700943	0,04839325
92600000	0,1552048	0,04013062	-0,0001425	-7,54E-05	0,6116028	-0,4301453	0,04889488	0,01345634
95550000	0,1596603	0,00917816	-0,0001313	-0,0001068	0,4923096	-0,5952759	0,04453659	0,01353264
98500000	0,1584396	-0,0218582	-0,0001957	-4,59E-06	0,3000793	-0,7658691	0,05811882	0,04199982
101450000	0,1513977	-0,052208	-0,0001096	-4,42E-05	0,07235718	-0,8266296	0,04795265	0,00074196
104400000	0,1377487	-0,0810242	-0,0001671	6,43E-06	-0,1987305	-0,821991	0,05333519	-0,0035782
107350000	0,1187057	-0,1071396	-0,0002228	7,25E-05	-0,4618225	-0,7499084	0,101799	0,01455307
110300000	0,09542847	-0,1284485	-0,0001315	8,51E-06	-0,6648865	-0,6221619	0,09453583	0,01129913
113250000	0,06841278	-0,1449356	-5,38E-05	3,70E-05	-0,8887634	-0,3889771	0,07775116	-0,0137215
116200000	0,03911591	-0,1559753	-0,0003255	-2,13E-05	-1,104309	-0,0583496	0,1059303	-0,0155716
119150000	0,00730133	-0,1611023	-0,0002946	1,70E-05	-1,116821	0,3599854	0,112175	-0,0310326
122100000	-0,0234985	-0,1595154	-0,0002575	1,79E-05	-0,9650269	0,7438965	0,1313858	-0,0025711
125050000	-0,0536804	-0,154068	-0,0001769	5,45E-05	-0,6359863	1,029175	0,1147423	-0,0042191
128000000	-0,0815277	-0,1407394	-0,0001125	6,79E-05	-0,2530518	1,206177	0,08220673	-0,0429611
130950000	-0,1072578	-0,1229858	-0,0002155	-1,58E-05	0,173645	1,235596	0,06704712	-0,0702782
133900000	-0,1288681	-0,101326	-0,0001824	-8,26E-05	0,5811157	1,142029	0,02756119	-0,0883141
136850000	-0,1463928	-0,0755768	-0,0001509	8,01E-05	0,9096375	0,9210205	0,01750565	-0,0908852
139800000	-0,1582031	-0,0471497	-0,0002611	0,00025454	1,104553	0,5961914	0,03659058	-0,1484146
142750000	-0,1646576	-0,0164032	-0,0002209	0,00025938	1,242249	0,2301025	0,05395508	-0,1684036
145700000	-0,1638794	0,01507568	-4,78E-05	0,000333	1,23938	-0,1403198	0,02192688	-0,2085648
148650000	-0,1582413	0,04477692	-0,0001066	0,00041643	1,150513	-0,4857178	0,00689697	-0,2109909
151600000	-0,1466522	0,07338715	-7,91E-05	0,00036304	0,9291687	-0,8460693	-0,0412674	-0,2057114
154550000	-0,1303635	0,0986557	-0,0001023	0,00062335	0,6143799	-1,152344	-0,040802	-0,2164841
157500000	-0,1084671	0,1205673	-5,58E-05	0,00055572	0,2398071	-1,323425	-0,0639267	-0,1821136
160450000	-0,0834885	0,1376419	-2,85E-05	0,00041324	-0,1993408	-1,39917	-0,1386948	-0,1006546
163400000	-0,055603	0,1499557	0,00017096	0,00036766	-0,7698364	-1,37323	-0,2468262	-0,0460205
166350000	-0,0260162	0,1565247	0,00076595	0,00025287	-1,246399	-1,079651	-0,4726715	0,1000214
169300000	0,00440216	0,1570435	0,00052142	0,00046927	-1,606384	-0,6051025	-0,4417419	0,06782532

172250000	0,03330231	0,1521835	0,00042006	0,00056604	-1,830811	0,06719971	-0,2608032	0,09173584
175200000	0,06180573	0,1413498	-1,86E-05	0,00097507	-1,727356	0,6795654	-0,4918823	0,8533936
178150000	0,08753204	0,1244431	-0,0001001	0,00067717	-1,444763	1,305847	-0,8863831	0,8894653
181100000	0,1087723	0,103653	0,00055298	0,00037768	-0,8788452	1,778564	-0,3334503	0,4252625
184050000	0,1251755	0,07955933	0,00063056	0,00010258	-0,2354736	2,031982	-0,1882477	0,3662567
187000000	0,1367645	0,05221558	0,00074872	-0,0002149	0,552124	2,017578	-0,1094513	0,3423767
189950000	0,1427231	0,02521515	0,00062492	-0,0005678	1,274719	1,754639	-0,0028992	0,4186554
192900000	0,1431885	-0,0038147	0,00056922	-0,0005071	1,838379	1,199402	0,2364807	0,4096832
195850000	0,1381989	-0,0321274	0,00055343	-0,0002329	2,129395	0,5214844	0,2451172	0,4295654
198800000	0,1282425	-0,0583954	0,00044411	-5,46E-05	2,197754	-0,1865234	0,2698975	0,3980255
201750000	0,1131287	-0,0828056	0,00033952	-0,0003323	2,025879	-0,888916	0,3043365	0,3003693
204700000	0,09316635	-0,1036339	0,00044858	-0,0007354	1,603699	-1,472412	0,3250275	0,1543427
207650000	0,07062912	-0,1197433	0,00064218	-0,0012348	1,051819	-1,910706	0,3924866	0,1887817
210600000	0,0450058	-0,1315155	0,00065297	-0,0012981	0,4238281	-2,15625	0,3821869	0,1544189
213550000	0,01689148	-0,1376343	0,00031245	-0,0008987	-0,3061523	-2,230713	0,4461212	-0,0548401
216500000	-0,010994	-0,1390457	0,00017247	-0,0007828	-0,9796143	-2,031982	0,475708	-0,2398987
219450000	-0,0386047	-0,1342468	6,98E-05	-0,0006183	-1,628296	-1,652893	0,4495087	-0,3963318
222400000	-0,0645866	-0,1243668	8,77E-05	-0,0006549	-2,120605	-0,9976807	0,3425293	-0,4622803
225350000	-0,0873451	-0,1110458	-0,0001187	-0,0006453	-2,350464	-0,2232666	0,2833862	-0,4980316
228300000	-0,1079674	-0,0919228	-0,0001919	-0,0006229	-2,302979	0,5965576	0,2254181	-0,4897766
231250000	-0,1241417	-0,069603	-0,0005549	-0,0006211	-2,015747	1,354248	0,1772766	-0,4950714
234200000	-0,1358871	-0,0443344	-0,0009367	-0,0005488	-1,470398	1,948181	0,09338379	-0,4762268
237150000	-0,1421738	-0,0185165	-0,0009782	-0,0004237	-0,7615967	2,322388	-0,0298309	-0,4441528
240100000	-0,1427689	0,00885773	-0,0008604	-0,0003718	-0,0195313	2,468506	-0,1676483	-0,3770599
243050000	-0,1385727	0,03557587	-0,0009187	-0,0003599	0,7359619	2,399536	-0,2686615	-0,319519
246000000	-0,1287231	0,06082916	-0,0008796	-0,0003069	1,496582	2,116211	-0,3246307	-0,2476044
248950000	-0,1147766	0,08374405	-0,0007398	-0,0001272	2,15564	1,529419	-0,4141541	-0,1916046
251900000	-0,0978241	0,1040573	-0,0007182	-7,47E-05	2,582642	0,729248	-0,5041199	-0,111969
254850000	-0,0745239	0,1194763	-0,0006747	5,12E-05	2,734375	-0,1470947	-0,5596619	-0,0744324
257800000	-0,0499802	0,1309433	-0,0006157	7,68E-05	2,552734	-1,050781	-0,4995422	-0,0605011
260750000	-0,0230942	0,1370316	-0,0006703	0,00041598	2,048096	-1,866821	-0,4916534	-0,0046844
263700000	0,00352478	0,1372681	-0,0007294	0,0006035	1,324341	-2,495728	-0,4095154	0,07417297
266650000	0,02938843	0,1320877	-0,0008169	0,00079578	0,3977051	-2,823486	-0,3023529	0,1513367
269600000	0,05235672	0,1229858	-0,0007357	0,00076416	-0,6105957	-2,858398	-0,2207794	0,250061
272550000	0,07475281	0,1081505	-0,0007347	0,00080687	-1,604004	-2,562988	-0,1215515	0,3521576
275500000	0,09342957	0,08938217	-0,00061	0,00084272	-2,528198	-1,807373	-0,0081177	0,4411774
278450000	0,1070595	0,06979752	-0,0007575	0,00091875	-3,208374	-0,7734375	0,07614136	0,6170959
281400000	0,1174545	0,04565048	-0,0006754	0,00081769	-3,508545	0,9432373	0,1770325	0,8027039
284350000	0,1224823	0,02018356	-0,0003375	0,00083032	-2,571655	1,619507	0,1780701	0,8048096
287300000	0,1221275	-0,006546	-0,0001859	0,00082293	-1,860962	2,504395	0,2195129	0,8340149
290250000	0,1167679	-0,0312004	0,00011629	0,00089073	-0,6853027	3,01062	0,2024231	0,8123779
293200000	0,1066742	-0,0545006	0,00047943	0,00084969	0,2390137	2,90686	0,2102051	0,7255859
296150000	0,09236526	-0,0741501	0,00071839	0,00092164	1,014526	2,593506	0,2615051	0,5344238
299100000	0,07431412	-0,0912437	0,00079006	0,00087351	1,712524	2,116943	0,256424	0,3260651
302050000	0,05215454	-0,1040344	0,00077054	0,00085479	2,25415	1,469971	0,2802734	0,0400238
305000000	0,02957153	-0,1118851	0,00091589	0,00106216	2,674072	0,6311035	0,3750458	-0,2480164
307950000	0,00434876	-0,1146393	0,00105655	0,00124687	2,807861	-0,4008789	0,4683838	-0,4304352
310900000	-0,0200844	-0,1127777	0,0011223	0,00125098	2,517334	-1,409424	0,4734497	-0,5662842
313850000	-0,0431595	-0,1057587	0,00098294	0,00103241	1,841431	-2,148926	0,4372559	-0,8198853
316800000	-0,0643158	-0,0948296	0,00089258	0,0003224	0,9046631	-2,554077	0,4956055	-1,306335
319750000	-0,083458	-0,0794525	0,00092864	0,0002372	0,04455566	-2,561401	0,3615723	-1,225342
322700000	-0,0986366	-0,0604019	0,00100833	0,00014812	-0,6557617	-2,370483	0,1536255	-1,084351
325650000	-0,1095009	-0,0374794	0,0011884	1,74E-05	-1,221924	-2,046631	0,05822754	-0,9812927
328600000	-0,1146278	-0,0166893	0,00132591	0,00012916	-1,724182	-1,6026	-0,0984192	-0,7705078
331550000	-0,1153221	0,00748444	0,00137252	0,00012529	-2,109497	-1,05542	-0,1990662	-0,698822
334500000	-0,1112328	0,03009415	0,00131774	-0,0010053	-2,335815	-0,4445801	-0,2727966	-0,6202087
337450000	-0,1025505	0,05071259	0,00115079	-0,0016164	-2,413696	0,1783447	-0,3153076	-0,493042
340400000	-0,0900765	0,06925201	0,00107527	-0,0013071	-2,280762	0,8498535	-0,3782501	-0,3354645
343350000	-0,073822	0,08610153	0,00088763	-0,0009291	-2,028564	1,528931	-0,3041229	-0,2262726

346300000	-0,0540619	0,09809113	0,00072587	-0,0008898	-1,500977	2,10083	-0,2868652	-0,0728149
349250000	-0,0337296	0,1056633	0,00050479	-0,0011804	-0,7706299	2,484741	-0,1947098	0,02110291
352200000	-0,0115624	0,1085587	0,00049293	-0,0014527	0,00610352	2,595947	-0,1869736	0,2357559
355150000	0,00967789	0,1071129	0,00052983	-0,0015419	0,9111328	2,366821	-0,2619171	0,3609009
358100000	0,03027725	0,1005325	0,00011486	-0,0017168	1,648438	1,940552	-0,3684387	0,519104
361050000	0,04720688	0,09090042	-0,0002072	-0,0018881	2,190918	1,338745	-0,4428406	0,5672607
364000000	0,06209183	0,07606506	-0,0002145	-0,0020006	2,471436	0,5428467	-0,3862152	0,3884125
366950000	0,07248688	0,06042862	-0,000474	-0,0019305	2,52356	-0,2348633	-0,9823608	0,0229187
369900000	0,07976151	0,04291916	-0,0004576	-0,0019223	2,380371	-1,080933	-0,4855042	-0,2041473
372850000	0,0839386	0,02581024	-0,0007644	-0,0015765	1,924561	-1,852966	-0,1477051	-0,0767593
375800000	0,08525848	0,0082016	-0,0013044	-0,0011281	1,215698	-2,467651	-0,0125504	-0,1488037
378750000	0,08317184	-0,0093308	-0,0018873	-0,0005056	0,2973633	-2,757446	0,0286293	-0,0517025
381700000	0,07820129	-0,0250359	-0,0023146	6,26E-05	-0,6925049	-2,742554	0,03631973	0,09559631
384650000	0,07048035	-0,0398521	-0,0026023	0,00059617	-1,636719	-2,299438	0,1337509	0,2137299
387600000	0,05951309	-0,0530567	-0,0023892	0,00060773	-2,342773	-1,583618	0,2458344	0,2298889
390550000	0,04652023	-0,064106	-0,0023029	0,00096548	-2,764282	-0,59729	0,3935699	0,3116302
393500000	0,03048706	-0,0728989	-0,0020244	0,00085366	-2,729126	0,4693604	0,3675842	0,3161469
396450000	0,01304245	-0,0782929	-0,0017809	0,00083411	-2,325195	1,432129	0,3524933	0,2843781
399400000	-0,0053177	-0,0795403	-0,0013613	0,00083828	-1,62439	2,135864	0,2433319	0,217392
402350000	-0,0235291	-0,0769501	-0,0011109	0,00101715	-0,7363281	2,556274	0,2385635	0,2110825
405300000	-0,040123	-0,070755	-0,0009391	0,00113928	0,2138672	2,631592	0,2234039	0,1478729
408250000	-0,0552368	-0,0605316	-0,0005242	0,00114185	1,136963	2,395996	0,2480621	0,1216583
411200000	-0,0679016	-0,0479546	-0,0003263	0,00125617	1,99054	1,763184	0,2166901	-0,0005569
414150000	-0,0780449	-0,0324974	-0,000133	0,00118452	2,394043	0,873291	0,2247925	-0,1145782
417100000	-0,084095	-0,0150757	4,08E-05	0,00115746	2,608521	-0,112793	0,16745	-0,2707672
420050000	-0,0867157	0,00247574	2,06E-05	0,00125545	2,340454	-1,077759	0,145874	-0,3317261
423000000	-0,0855866	0,02063751	-9,72E-06	0,00139368	1,753784	-1,856323	0,1135712	-0,322876
425950000	-0,0805931	0,03851318	-6,16E-05	0,0015313	0,8970947	-2,334595	0,1187897	-0,3388214
428900000	-0,0718956	0,05451965	2,91E-05	0,00160486	0,00024414	-2,508667	0,1109161	-0,2724304
431850000	-0,0595589	0,06882858	0,00030696	0,00162715	-0,8768311	-2,322144	0,05174255	-0,2678528
434800000	-0,0454178	0,07966614	0,00044888	0,00162906	-1,816284	-1,893311	0,05122375	-0,2421875
437750000	-0,0283814	0,0879364	0,00046331	0,00164229	-2,360718	-1,019531	0,04956818	-0,1863327
440700000	-0,0104523	0,09199524	0,00081331	0,00150251	-2,596924	-0,0789795	0,01810455	-0,220047
443650000	0,00777054	0,0928688	0,0008257	0,00145	-2,452637	0,9202881	-0,0628281	-0,1504364
446600000	0,02607346	0,08921051	0,00100642	0,00123066	-1,831543	1,661621	-0,0536652	-0,1252518
449550000	0,04360199	0,08156204	0,00120252	0,00101423	-1,024536	2,259277	-0,14254	0,00208283
452500000	0,05870819	0,07138824	0,00143331	0,00077498	-0,0410156	2,348511	-0,0975418	0,07357788
455450000	0,07137299	0,05669022	0,00165016	0,00099432	0,7530518	2,188599	-0,0553646	0,05198479
458400000	0,08118439	0,04144287	0,0018608	0,00100589	1,539001	1,551392	-0,0290642	0,06393814
461350000	0,08701706	0,02271271	0,00182009	0,00090563	1,712158	0,8296509	-0,0371895	0,01588058
464300000	0,0891304	0,00449371	0,00217056	0,00063062	1,856018	0,3345947	-0,0546684	-0,0009308
467250000	0,08714294	-0,0143433	0,00240874	0,0004673	2,232178	-0,1967773	-0,0317841	0,01671791
470200000	0,08069611	-0,0318832	0,00236404	0,00024128	2,032959	-1,043457	-0,0850487	-0,0463715
473150000	0,07139206	-0,0485802	0,00225663	8,70E-06	1,608032	-1,735535	-0,0864487	-0,0767708
476100000	0,05878067	-0,0627518	0,00219739	-0,0003641	0,911499	-2,389404	-0,0701141	-0,0147743
479050000	0,0430603	-0,0742531	0,00156862	-0,0007853	-0,1453857	-2,513062	-0,03405	-0,0207825
482000000	0,02425385	-0,0822067	0,00169021	-0,001478	-1,179565	-2,547974	-0,0103087	-0,0097337
484950000	0,00569534	-0,0863571	0,00181007	-0,0022329	-2,204468	-2,078369	-0,0140743	0,04734993
487900000	-0,0137558	-0,0862961	0,0017426	-0,0032085	-2,948608	-1,046387	-0,0474281	0,0472126
490850000	-0,0337486	-0,0816383	0,00165987	-0,0039158	-3,236694	0,2683105	-0,149971	0,1245499
493800000	-0,0526123	-0,0728912	0,00201225	-0,0045111	-3,029419	1,575562	-0,2791443	0,2051392
496750000	-0,0686417	-0,0611954	0,00193334	-0,0046113	-2,208252	2,475464	-0,412323	0,2339478
499700000	-0,0822449	-0,044075	0,00174594	-0,0046098	-1,116577	3,047363	-0,587677	0,2720337
502650000	-0,0918999	-0,0262604	0,00085187	-0,0047863	0,00146484	2,973022	-0,6333008	0,2678528
505600000	-0,0987701	-0,0053597	-8,82E-06	-0,0049453	0,8475342	2,80957	-0,5839233	0,4596252
508550000	-0,0998573	0,01603317	-0,0008996	-0,0056374	1,479858	2,066772	-0,521759	0,6037598
511500000	-0,09655	0,03869629	-0,0020494	-0,0063059	1,946777	1,5	-0,4357605	0,9256287
514450000	-0,0893593	0,05919266	-0,0030723	-0,0067906	2,145142	0,6091309	-0,2454834	1,242249
517400000	-0,0771408	0,07804108	-0,0047195	-0,007441	1,936584	0,04840088	0,09472656	1,62793

520350000	-0,0606346	0,09397125	-0,0075698	-0,0060816	1,827942	-0,7022095	0,7131958	1,517395
523300000	-0,0407906	0,106678	-0,01015	-0,0029001	1,298218	-1,145081	1,02478	1,265015
526250000	-0,019001	0,1145554	-0,0117216	0,00048018	0,9182739	-1,25116	1,658875	0,710144
529200000	0,00402451	0,1173668	-0,0123282	0,00456715	0,5255737	-1,331848	2,005859	-0,2214355
532150000	0,02721405	0,1157303	-0,0117178	0,00808954	-0,0132446	-1,299194	1,964905	-1,166565
535100000	0,04969406	0,1091232	-0,0088224	0,01204252	-0,5741577	-1,343445	1,660034	-1,899536
538050000	0,0712738	0,09786606	-0,0044336	0,01422119	-1,036865	-1,085754	0,8011475	-2,669556
541000000	0,0886116	0,08342361	-0,0011797	0,01603317	-1,55426	-0,7246094	-0,1938477	-2,975586
543950000	0,1037331	0,06406403	0,00200367	0,01540184	-1,939148	-0,1256104	-1,143066	-3,097046
546900000	0,1149445	0,04190063	0,00503302	0,01302242	-1,971191	0,6864624	-1,959106	-2,768311
549850000	0,1213341	0,01898956	0,00620222	0,00964403	-1,639526	1,438354	-2,197021	-2,460693
552800000	0,1220703	-0,0057259	0,00655651	0,00706554	-1,050171	2,080078	-2,278076	-1,854736
555750000	0,1185684	-0,0298958	0,00575495	0,00456429	-0,1646729	2,416016	-2,182007	-1,312256
558700000	0,1096191	-0,0531921	0,00508571	0,00141215	0,7290039	2,523438	-1,809021	-0,9101562
561650000	0,09684753	-0,0740738	0,0055685	-0,0019166	1,55127	2,081909	-1,357971	-0,4118042
564600000	0,07962036	-0,0924263	0,00732064	-0,0057485	2,098999	1,300659	-0,7296143	0,6102295
567550000	0,05901337	-0,1069603	0,00983524	-0,0084548	2,337891	0,581543	-0,4317017	1,595764
570500000	0,0359993	-0,1175423	0,01150608	-0,0085688	2,44458	-0,2070312	-0,1245117	2,200928
573450000	0,00974274	-0,1232224	0,01106644	-0,0079813	2,432983	-1,217041	-0,015625	2,724976
576400000	-0,0154991	-0,1235352	0,00937367	-0,0067186	1,939575	-2,152344	0,239502	2,829224
579350000	-0,042099	-0,1175728	0,00701809	-0,0050378	1,069092	-2,852295	0,501709	2,76416
582300000	-0,0665894	-0,1076241	0,00369394	-0,0034601	-0,1320801	-3,275635	0,6699219	2,465576
585250000	-0,0887337	-0,09161	2,77E-05	-0,0021937	-1,344116	-3,029053	0,8098755	1,903809
588200000	-0,1078491	-0,0711899	-0,0039208	-0,001703	-2,446899	-2,409912	0,9926147	1,248474
591150000	-0,122551	-0,0478287	-0,0070713	-0,0016112	-3,196045	-1,291016	1,024536	0,602478
594100000	-0,1319504	-0,0213318	-0,007602	-0,0016899	-3,632324	-0,0206299	1,100403	-0,0043945
597050000	-0,1363983	0,00616455	-0,0077319	-0,0015836	-3,27356	1,202515	1,121643	-0,446228
600000000	-0,1350937	0,03404999	-0,0071044	-0,0013535	-2,515503	2,275391	0,946991	-0,7391968

Πίνακας Π.3.4: S-παράμετροι για τάση ελέγχου ενίσχυσης $V_{gain} = 1 \text{ V}$

S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφών φάσης για τάση τροφοδοσίας 0V								
freq (MHz)	S11		S12		S21		S22	
	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase
1000000	-0,232391	-74,25516	-31,63734	22,363868	-31,63342	22,213568	-0,219197	-74,26502
1295000	-0,297709	-96,70838	-28,71225	3,4495362	-28,73051	3,0679315	-0,295018	-97,52527
1590000	-0,388359	-119,6067	-26,16439	-16,78015	-26,15357	-16,3835	-0,416773	-120,7669
1885000	-0,51577	-143,0776	-23,72124	-37,35498	-23,7166	-37,31394	-0,501581	-144,7017
2180000	-0,593087	-167,6862	-21,26926	-59,11187	-21,25934	-58,78225	-0,585267	-169,5119
2475000	-0,766395	167,0779	-18,69952	-82,06781	-18,72314	-82,07653	-0,787748	164,33837
2770000	-0,948536	139,9816	-15,97568	-106,6878	-15,99774	-106,8928	-0,999265	137,25464
3065000	-1,296897	110,82746	-12,87921	-133,5239	-12,92393	-133,3781	-1,378687	108,13404
3360000	-2,04095	77,633987	-9,361897	-165,0604	-9,375092	-164,9946	-2,062049	74,857341
3655000	-4,335318	38,895943	-5,594974	152,78985	-5,621629	152,98219	-4,400241	35,047096
3950000	-12,81711	19,191059	-3,234678	98,052599	-3,190483	98,251214	-12,80065	15,996313
4245000	-9,197371	62,552829	-3,469904	45,38783	-3,455275	45,87389	-9,236557	60,032624
4540000	-5,236134	32,450074	-4,666857	4,118088	-4,62519	4,3462022	-5,287832	29,889886
4835000	-3,984783	-1,178517	-5,628415	-29,66581	-5,621187	-29,45248	-4,016926	-2,699882
5130000	-3,480216	-32,25897	-6,138742	-59,96681	-6,124534	-60,23225	-3,55209	-33,68552
5425000	-3,324305	-62,28031	-6,280862	-88,67199	-6,2307	-88,83555	-3,359687	-62,45935
5720000	-3,340949	-91,22278	-6,157505	-116,1428	-6,165349	-116,2514	-3,396716	-91,241
6015000	-3,546667	-120,0347	-5,877903	-143,6888	-5,878926	-143,4568	-3,617696	-119,637
6310000	-3,90045	-148,0593	-5,461711	-170,2767	-5,479448	-170,0699	-4,03449	-147,6965
6605000	-4,434399	-176,0055	-4,937953	163,42914	-4,958891	163,09358	-4,504919	-175,8315
6900000	-5,210181	155,72623	-4,362629	137,03967	-4,386037	136,97868	-5,302848	156,07243
7195000	-6,245589	127,80485	-3,79624	110,52739	-3,807357	110,00853	-6,393904	127,36802
7490000	-7,846399	99,294488	-3,247873	83,835484	-3,239219	83,826333	-7,97067	99,032774
7785000	-10,13758	71,457245	-2,737675	57,603488	-2,785263	57,157654	-10,2585	70,839005
8080000	-13,34181	46,097472	-2,415407	31,744959	-2,430181	31,254014	-13,4989	44,894582
8375000	-18,08745	25,734423	-2,174221	5,7771568	-2,196266	5,4502684	-18,29309	24,721846
8670000	-25,0192	28,682176	-2,058607	-18,32173	-2,066319	-18,39909	-25,44668	28,109399
8965000	-25,37592	76,525786	-2,031307	-41,93798	-2,060851	-42,25771	-25,42752	78,100869
9260000	-20,61615	76,913917	-2,040997	-64,29321	-2,027479	-64,01777	-20,56701	77,151573
9555000	-17,98599	60,216907	-2,045547	-85,48337	-2,038954	-85,75066	-17,95878	61,326928
9850000	-16,56598	40,132426	-1,9958	-106,0096	-2,018209	-106,5642	-16,59777	41,760671
10145000	-15,86989	19,191892	-1,984715	-126,5146	-1,993971	-126,191	-15,92687	21,712208
10440000	-15,60485	-1,193941	-1,993729	-145,9403	-1,984933	-145,9291	-15,66632	1,9591625
10735000	-15,58199	-20,80428	-1,973576	-165,2889	-1,953472	-165,0269	-15,61991	-16,68201
11030000	-15,68085	-39,48433	-1,926249	176,82261	-1,921682	176,11396	-15,73968	-35,09578
11325000	-15,92386	-57,70372	-1,88573	158,35207	-1,893916	158,25853	-15,92601	-52,7695
11620000	-16,19562	-75,70226	-1,869537	139,99455	-1,887193	139,99059	-16,16821	-70,44138
11915000	-16,51313	-93,67753	-1,837132	122,42613	-1,849311	122,12915	-16,50485	-89,06163
12210000	-16,80423	-111,8445	-1,849425	104,64784	-1,818076	104,9321	-16,86224	-107,6584
12505000	-17,19595	-129,9179	-1,807917	87,488691	-1,819182	87,65803	-17,30556	-127,0842
12800000	-17,65261	-148,8439	-1,81392	70,905738	-1,823106	70,38131	-17,86624	-147,63
13095000	-18,20664	-168,2801	-1,808539	54,420163	-1,830375	54,31431	-18,46725	-168,2045
13390000	-18,76378	171,84741	-1,827429	37,821586	-1,844424	37,531657	-19,07538	169,96302
13685000	-19,3881	151,67946	-1,827222	21,629924	-1,805968	21,502369	-19,71706	147,56641
13980000	-20,00606	131,12158	-1,805686	5,0543461	-1,813024	5,1862096	-20,28664	125,5151
14275000	-20,70175	110,66481	-1,815946	-10,7655	-1,854751	-10,90024	-20,93734	103,5463
14570000	-21,41931	90,37061	-1,82038	-26,2655	-1,835963	-26,79423	-21,53359	83,222371
14865000	-22,00933	71,032089	-1,80651	-42,16612	-1,852923	-42,35927	-22,04112	63,987567
15160000	-22,51665	51,819728	-1,863352	-58,0966	-1,870865	-58,30325	-22,46255	46,652248
15455000	-22,83078	34,743696	-1,866137	-73,12741	-1,876133	-73,55352	-22,66202	31,582412
15750000	-22,99761	17,024504	-1,887442	-88,75913	-1,922261	-88,82186	-22,6634	17,577147
16045000	-22,85565	0,9049134	-1,897228	-103,8926	-1,907556	-104,1029	-22,39186	4,3912279
16340000	-22,55726	-16,46454	-1,961927	-119,7028	-1,931162	-119,4344	-21,8759	-9,447476
16635000	-22,08367	-34,07608	-1,973825	-134,9827	-1,985262	-135,2083	-21,2458	-24,00654
16930000	-21,43266	-52,63575	-2,012119	-150,2699	-2,007054	-150,2333	-20,54441	-40,60586

172250000	-20,75502	-71,38777	-2,057876	-165,4537	-2,06019	-165,374	-19,87303	-57,96954
175200000	-20,15793	-91,133	-2,109162	179,19306	-2,103925	179,49206	-19,28636	-76,7661
178150000	-19,62614	-110,8866	-2,160204	164,42036	-2,193384	164,07102	-18,8677	-95,49741
181100000	-19,31441	-130,7073	-2,220045	149,19015	-2,228423	148,85654	-18,65281	-114,5745
184050000	-19,27349	-149,9203	-2,276632	134,02794	-2,265074	133,5364	-18,70932	-133,4441
187000000	-19,61788	-168,8358	-2,348682	118,56779	-2,35301	118,32274	-19,08897	-150,9512
189950000	-20,50321	174,0161	-2,428722	103,45544	-2,423739	103,11996	-19,9546	-166,5867
192900000	-22,23613	159,71028	-2,522813	87,729338	-2,503943	87,447135	-21,38865	-177,6271
195850000	-25,23153	153,74708	-2,574821	72,242322	-2,604505	72,281813	-23,2565	179,62159
198800000	-28,5191	175,46967	-2,686729	56,182189	-2,69789	55,929241	-24,06812	-166,8408
201750000	-24,94089	-150,2545	-2,828123	40,217534	-2,836285	39,908073	-21,61084	-152,8359
204700000	-19,70473	-150,1208	-3,017526	24,015352	-3,023554	23,264976	-17,96066	-154,4007
207650000	-15,86319	-162,5195	-3,28101	7,0202736	-3,344771	6,8702643	-14,8415	-165,3563
210600000	-13,03737	-179,2136	-3,619997	-9,823138	-3,633496	-9,808529	-12,33051	179,92588
213550000	-10,87678	163,41345	-4,032094	-26,58625	-4,035834	-26,41213	-10,37832	163,39193
216500000	-9,237758	144,35467	-4,504475	-43,1276	-4,518113	-43,37355	-8,805827	145,86933
219450000	-7,872866	126,40923	-5,035967	-59,5772	-5,048221	-59,51066	-7,539119	128,42982
222400000	-6,822038	108,15598	-5,626258	-75,63735	-5,635131	-75,64951	-6,522515	111,09844
225350000	-5,985691	89,78405	-6,279455	-91,37102	-6,298239	-91,87963	-5,719135	93,559074
228300000	-5,280811	72,290208	-6,986949	-106,8495	-6,995258	-107,3598	-5,010318	76,255452
231250000	-4,714519	54,239744	-7,755079	-122,4668	-7,800144	-122,9696	-4,484111	59,484947
234200000	-4,216442	37,364073	-8,64583	-137,78	-8,623696	-137,693	-4,018993	42,571942
237150000	-3,827429	19,938386	-9,547236	-152,6881	-9,521025	-152,3077	-3,645183	26,521388
240100000	-3,46366	3,3340459	-10,50865	-167,0023	-10,47584	-167,0282	-3,264208	10,765057
243050000	-3,185164	-13,12865	-11,49187	178,87067	-11,47645	178,3941	-2,997773	-5,157802
246000000	-2,94463	-29,14779	-12,51375	165,24052	-12,48384	165,05266	-2,789281	-20,46997
248950000	-2,759947	-45,12247	-13,51909	152,50759	-13,49726	152,08733	-2,629565	-36,32655
251900000	-2,623985	-60,94622	-14,56006	140,20933	-14,53831	139,71054	-2,468419	-51,48643
254850000	-2,468347	-75,91667	-15,57212	128,30509	-15,55709	127,93012	-2,324057	-65,9025
257800000	-2,348805	-90,88914	-16,58191	116,53151	-16,56238	116,41775	-2,250995	-80,84368
260750000	-2,275724	-105,9051	-17,54656	105,9073	-17,556	105,67115	-2,173716	-95,22856
263700000	-2,203114	-120,2045	-18,48507	95,329891	-18,50321	94,797988	-2,107617	-109,35
266650000	-2,118881	-134,3133	-19,39671	84,97148	-19,40928	84,529624	-2,043554	-123,3639
269600000	-2,07975	-148,4908	-20,28974	75,005391	-20,31259	74,51614	-2,003155	-137,5152
272550000	-2,02095	-162,2803	-21,13994	65,046768	-21,19099	64,698492	-1,970324	-151,0679
275500000	-1,987803	-175,5905	-21,99168	54,959925	-22,02715	54,612717	-1,961546	-164,756
278450000	-1,943521	170,98773	-22,83655	45,39987	-22,87608	45,142736	-1,929222	-178,0848
281400000	-1,928562	157,55161	-23,67952	35,362485	-23,73041	35,315404	-1,88042	169,07363
284350000	-1,900884	144,60002	-24,52403	25,211751	-24,56957	25,275335	-1,880729	156,08093
287300000	-1,873895	131,17569	-25,45451	15,652957	-25,47463	15,489089	-1,866474	143,56837
290250000	-1,862193	118,79512	-26,40827	5,3901085	-26,40089	5,6815264	-1,819297	130,48145
293200000	-1,85706	105,7109	-27,41784	-4,571775	-27,38657	-4,555313	-1,816526	117,62348
296150000	-1,82126	93,359498	-28,51073	-14,24585	-28,46891	-14,28662	-1,788442	105,15411
299100000	-1,852801	79,971274	-29,70279	-23,69013	-29,6544	-23,50495	-1,806479	92,282561
302050000	-1,802723	68,008078	-30,98866	-32,70741	-30,91269	-32,59036	-1,761847	79,347839
305000000	-1,792418	54,835409	-32,42996	-41,6204	-32,36391	-41,8684	-1,75382	67,251986
307950000	-1,775045	42,403757	-34,01695	-49,27231	-33,94268	-49,38354	-1,755056	54,33719
310900000	-1,751081	29,776006	-35,81025	-55,76312	-35,76697	-55,6077	-1,812585	41,825237
313850000	-1,799826	16,990168	-37,8705	-60,05941	-37,90226	-60,30748	-1,747036	29,519724
316800000	-1,719299	4,326342	-40,36459	-60,92897	-40,31966	-61,33939	-1,759239	16,843322
319750000	-1,74294	-8,724813	-42,95545	-54,38323	-42,97944	-54,50897	-1,800614	4,0931304
322700000	-1,755261	-21,5549	-45,03183	-36,92226	-45,00926	-37,72058	-1,890997	-9,120494
325650000	-1,771767	-34,71844	-44,82206	-13,99194	-44,86384	-14,82933	-1,897982	-22,39991
328600000	-1,768189	-47,41375	-42,80844	-0,751246	-42,88328	-0,820588	-1,99749	-35,26985
331550000	-1,796505	-60,93848	-40,87285	5,0453355	-40,91098	4,4313205	-2,180035	-49,15748
334500000	-1,809405	-73,71894	-39,41098	8,92787	-39,3479	8,5089517	-2,495623	-63,15729
337450000	-1,884409	-87,17289	-37,71229	15,889937	-37,71967	15,356069	-2,934258	-76,46384
340400000	-1,954074	-100,8934	-34,71059	25,494912	-34,74588	25,067838	-3,724627	-89,88187
343350000	-2,044059	-114,1304	-30,18352	25,247416	-30,25277	24,911416	-4,720149	-98,86298

346300000	-2,201735	-127,9663	-25,92691	11,451996	-26,01237	11,463729	-5,337067	-103,5502
349250000	-2,411456	-141,4191	-22,72639	-7,554688	-22,82203	-7,227023	-5,040506	-108,1255
352200000	-2,703768	-155,5202	-20,3827	-28,55101	-20,4249	-28,36873	-4,419878	-116,8289
355150000	-3,179888	-169,981	-18,54315	-49,65499	-18,51663	-49,14168	-3,968099	-128,1776
358100000	-3,886683	176,21708	-16,92533	-71,28464	-16,83804	-70,39561	-3,754682	-140,6628
361050000	-4,970586	163,26107	-15,56386	-93,01528	-15,40138	-92,54436	-3,710358	-152,7515
364000000	-6,420715	154,04242	-14,51766	-116,7054	-14,33261	-116,7094	-3,757356	-163,6867
366950000	-7,787561	151,79104	-13,88691	-141,6107	-13,75521	-142,0077	-3,742531	-173,6081
369900000	-7,960708	154,61846	-13,81287	-165,2686	-13,75981	-166,2003	-3,635558	175,97341
372850000	-6,903857	153,05654	-14,17882	171,81609	-14,13355	171,10731	-3,37354	165,44101
375800000	-5,716526	145,0737	-14,76543	151,60126	-14,81315	150,53904	-3,095918	154,55632
378750000	-4,781576	134,00512	-15,58566	133,17911	-15,59362	132,39135	-2,938588	142,44508
381700000	-4,1368	121,83788	-16,37059	116,86402	-16,37233	116,05338	-2,68898	130,9776
384650000	-3,681131	109,23523	-17,11802	101,58209	-17,11373	101,30751	-2,556787	119,09001
387600000	-3,37276	96,674494	-17,77337	87,854796	-17,83625	86,812416	-2,478059	106,87473
390550000	-3,159229	83,792027	-18,35645	74,471269	-18,3826	74,137182	-2,421997	94,858621
393500000	-2,985389	71,591368	-18,82429	62,502126	-18,90617	61,623255	-2,347288	83,310926
396450000	-2,899454	59,022798	-19,26007	49,912353	-19,31569	49,538566	-2,323896	71,22174
399400000	-2,81278	46,86314	-19,58431	37,759009	-19,66131	37,858745	-2,30896	59,597439
402350000	-2,788813	34,67617	-19,83899	26,103743	-19,95302	25,490786	-2,340064	48,270155
405300000	-2,746374	22,431398	-20,0451	13,696944	-20,11276	13,332052	-2,316461	36,410724
408250000	-2,740013	10,726723	-20,1994	1,7088589	-20,28364	1,2556828	-2,326793	24,677948
411200000	-2,721777	-1,746445	-20,35057	-11,01148	-20,37983	-10,8534	-2,354274	13,487551
414150000	-2,752647	-13,32042	-20,39836	-23,58871	-20,46164	-23,64837	-2,382211	1,9993777
417100000	-2,782828	-25,18079	-20,47322	-36,92544	-20,50162	-36,79171	-2,45163	-10,08527
420050000	-2,83688	-37,1803	-20,54329	-50,81084	-20,55424	-50,06557	-2,463052	-20,51722
423000000	-2,881019	-48,67341	-20,64936	-64,88448	-20,63681	-64,69705	-2,526703	-32,0512
425950000	-2,964993	-60,30041	-20,80047	-79,87177	-20,77213	-79,2786	-2,567166	-43,09513
428900000	-2,944834	-71,44451	-21,05042	-94,74132	-20,96392	-94,25821	-2,600222	-54,36888
431850000	-2,971743	-82,76018	-21,352	-109,9609	-21,27858	-109,8338	-2,61888	-65,02999
434800000	-2,979501	-93,99996	-21,75238	-125,2294	-21,66618	-125,4428	-2,624472	-76,00756
437750000	-2,94474	-104,8619	-22,30295	-140,6949	-22,18457	-140,8364	-2,616311	-86,93358
440700000	-2,89899	-116,1057	-22,93806	-155,7427	-22,81227	-155,9609	-2,580514	-97,98036
443650000	-2,820712	-127,0727	-23,66279	-170,6824	-23,53834	-171,3147	-2,523006	-108,7283
446600000	-2,762583	-138,5009	-24,47067	174,40511	-24,35078	173,98722	-2,472962	-120,0734
449550000	-2,673148	-150,1939	-25,33113	160,70446	-25,2291	159,98391	-2,420169	-131,3069
452500000	-2,577068	-161,2945	-26,22686	147,38661	-26,15305	146,53938	-2,356655	-142,7301
455450000	-2,511363	-172,8746	-27,12961	134,5406	-27,08887	133,64187	-2,30592	-154,2259
458400000	-2,429428	175,72659	-28,06164	122,74089	-28,04479	121,42696	-2,253026	-165,3384
461350000	-2,40407	164,02471	-28,96532	111,20645	-28,99213	109,7044	-2,211041	-177,3151
464300000	-2,331887	152,63929	-29,88452	99,804285	-29,89926	98,623751	-2,149011	171,17802
467250000	-2,282335	141,09767	-30,7464	88,954894	-30,80366	88,022688	-2,139864	159,97399
470200000	-2,232492	129,94113	-31,60184	78,774458	-31,68403	77,39912	-2,10114	148,6967
473150000	-2,209947	118,47653	-32,43671	68,278319	-32,53399	67,410996	-2,08132	137,1613
476100000	-2,185313	107,11432	-33,20997	58,188608	-33,34189	57,42856	-2,055036	126,05875
479050000	-2,16869	95,757722	-33,98729	48,290499	-34,11051	47,72592	-2,046577	114,39
482000000	-2,146606	83,8991	-34,7098	39,135275	-34,87221	38,317181	-2,043948	103,54426
484950000	-2,1171	73,184091	-35,39659	29,421612	-35,55709	29,260816	-2,015113	92,148262
487900000	-2,105308	61,854416	-36,08022	20,076811	-36,24629	19,888387	-1,994671	80,835495
490850000	-2,083161	50,794831	-36,71472	10,38268	-36,89936	10,797239	-2,019001	69,558006
493800000	-2,109573	39,319319	-37,39117	1,0683421	-37,4997	1,6719774	-1,977701	58,182376
496750000	-2,064819	27,924964	-38,0427	-8,558808	-38,08254	-8,027308	-1,971915	47,248711
499700000	-2,041566	16,61233	-38,67791	-18,14537	-38,6978	-17,36391	-1,915172	36,447456
502650000	-2,012473	5,6901803	-39,32989	-27,43351	-39,29471	-26,79611	-1,926882	25,242886
505600000	-2,003579	-6,251132	-39,93434	-37,02127	-39,84197	-35,91676	-1,914723	14,245165
508550000	-2,0082	-17,31888	-40,58137	-46,0566	-40,44161	-45,2012	-1,90298	3,3106219
511500000	-2,004694	-29,02229	-41,20055	-55,641	-41,0159	-54,8068	-1,909187	-8,170078
514450000	-1,990111	-40,47891	-41,80174	-64,88391	-41,58173	-64,10082	-1,910418	-19,07183
517400000	-2,039594	-51,83642	-42,40555	-74,06436	-42,22174	-73,84197	-1,897554	-30,1593

520350000	-1,965979	-63,03972	-43,05753	-82,3789	-42,83459	-82,89756	-1,878816	-41,5102
523300000	-1,980522	-74,82176	-43,69183	-91,28731	-43,45638	-91,65161	-1,864155	-52,33858
526250000	-1,968044	-86,4777	-44,2808	-99,91056	-44,01664	-101,0045	-1,842695	-63,52175
529200000	-2,005755	-98,31384	-44,72148	-108,0814	-44,63246	-109,8073	-1,879646	-75,26687
532150000	-1,972884	-109,4564	-45,28609	-116,3206	-45,19281	-118,0062	-1,87107	-86,30394
535100000	-1,96554	-121,0918	-45,84915	-124,4797	-45,71969	-126,4305	-1,878191	-97,6855
538050000	-1,972231	-132,5899	-46,25012	-132,4783	-46,17555	-134,4317	-1,933461	-109,4946
541000000	-1,975388	-144,0479	-46,80498	-140,5142	-46,66514	-141,9867	-1,891986	-120,4804
543950000	-1,983498	-155,6912	-47,16679	-148,5234	-47,24448	-150,7654	-1,903217	-131,6797
546900000	-1,984588	-167,1435	-47,60523	-156,5954	-47,72715	-158,6772	-1,906425	-143,2557
549850000	-1,99471	-178,5567	-48,07012	-164,1224	-48,08407	-166,3092	-1,953898	-154,3431
552800000	-2,005143	170,10127	-48,42609	-172,2534	-48,4489	-174,0962	-1,935678	-166,035
555750000	-2,012891	158,79943	-48,72866	179,23874	-49,03434	177,91807	-1,931307	-176,9892
558700000	-2,032812	147,27247	-49,15218	171,13924	-49,31979	170,00741	-2,03641	171,20752
561650000	-2,036737	136,02395	-49,50064	161,75384	-49,64085	161,25169	-1,997303	160,25537
564600000	-2,043349	124,95401	-49,75562	153,6193	-50,01888	152,99238	-1,985006	148,98203
567550000	-2,056338	113,78373	-50,13548	144,74429	-50,30509	144,17807	-1,99255	137,61825
570500000	-2,05778	102,69239	-50,67661	135,54845	-50,69247	136,40706	-2,000317	126,59362
573450000	-2,097559	90,986204	-50,83332	125,54278	-51,03618	126,74496	-2,012398	115,68667
576400000	-2,044914	80,551147	-51,33047	116,396	-51,51165	117,71074	-2,015769	104,2767
579350000	-2,051166	69,393511	-51,75646	108,48019	-51,8945	108,59144	-2,029588	93,138036
582300000	-2,034183	58,467312	-52,23374	99,393984	-52,1635	100,38067	-1,971693	82,248952
585250000	-2,121232	47,360192	-52,73565	89,89346	-52,40815	91,721632	-2,02037	70,932865
588200000	-2,021829	36,457857	-53,20111	83,048209	-52,93053	82,234056	-2,012159	60,27474
591150000	-2,004342	25,521893	-53,6239	73,896298	-53,2766	74,412811	-1,987258	49,468
594100000	-2,017157	14,2671	-54,0552	64,913622	-54,00631	67,035734	-1,979785	38,832436
597050000	-2,0085	3,0597752	-54,27432	57,402425	-54,32436	57,080477	-1,972805	27,826357
600000000	-2,006612	-7,900509	-55,02784	50,996923	-54,6605	50,089695	-1,964426	17,070459

Πίνακας Π.3.5 : S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφών φάσης, για τάση τροφοδοσίας 0V

S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφένων φάσης για τάση τροφοδοσίας 2V								
freq (MHz)	S11		S12		S21		S22	
	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase
10000000	-0,20978	-64,28442	-29,86868	32,232203	-29,8826	31,93774	-0,249534	-64,81768
12950000	-0,252819	-83,90389	-27,23919	16,13194	-27,20551	16,231888	-0,293843	-84,76922
15900000	-0,332695	-103,6192	-24,9484	-0,374785	-24,95312	-1,204305	-0,298177	-105,1072
18850000	-0,397326	-124,092	-22,93572	-17,82168	-22,93216	-18,16196	-0,410801	-125,6567
21800000	-0,489107	-144,9704	-21,02507	-35,87465	-21,00212	-35,76537	-0,526679	-146,7729
24750000	-0,591355	-166,3038	-19,10811	-55,12506	-19,12723	-54,74436	-0,624533	-168,6775
27700000	-0,69982	171,72709	-17,28255	-74,37527	-17,27383	-74,48086	-0,720557	168,57726
30650000	-0,932217	148,69099	-15,34462	-94,64209	-15,37119	-94,72315	-0,901309	144,99861
33600000	-1,08005	124,28464	-13,30554	-116,533	-13,32353	-116,6399	-1,122875	120,05002
36550000	-1,497624	97,982703	-11,03622	-139,9676	-11,07075	-140,1503	-1,497272	93,071984
39500000	-2,071215	68,207774	-8,592254	-167,2031	-8,586316	-166,6597	-2,112495	63,121887
42450000	-3,47419	35,182062	-6,0486	160,30674	-6,010789	161,12925	-3,450611	30,151944
45400000	-6,724814	-0,166869	-3,866131	121,3706	-3,787222	121,86966	-6,737757	-5,597778
48350000	-14,45482	-18,33964	-2,597035	78,97221	-2,590124	79,000754	-14,42476	-23,52636
51300000	-14,1605	34,378058	-2,511499	36,838224	-2,532514	36,673106	-14,09325	28,276949
54250000	-8,696198	14,305136	-3,060842	-1,077022	-3,087617	-1,105287	-8,700443	9,3828151
57200000	-6,556119	-16,57924	-3,712423	-35,24867	-3,684503	-35,08672	-6,547944	-20,90236
60150000	-5,570111	-48,11193	-4,158611	-66,95514	-4,130089	-66,65205	-5,636863	-51,72614
63100000	-5,254553	-78,8055	-4,386209	-96,69629	-4,376093	-96,62144	-5,281926	-82,21924
66050000	-5,127489	-108,6174	-4,49416	-126,0253	-4,494864	-126,081	-5,220662	-112,0877
69000000	-5,256801	-138,8721	-4,450053	-154,8563	-4,457228	-154,5111	-5,321764	-142,0471
71950000	-5,507942	-168,8123	-4,28105	176,4713	-4,315611	177,34653	-5,618964	-171,9869
74900000	-6,08208	161,12273	-4,025486	148,60765	-4,03696	149,04969	-6,198693	158,07088
77850000	-6,93811	130,76983	-3,633034	120,70892	-3,683117	120,89979	-7,072838	128,02144
80800000	-8,260881	100,08388	-3,297827	93,055932	-3,302462	93,111275	-8,306255	98,132611
83750000	-10,05447	69,984493	-2,941524	65,043619	-2,927833	65,047548	-10,14629	67,811597
86700000	-12,55246	40,922955	-2,646238	37,14481	-2,647489	37,294529	-12,66764	39,307258
89650000	-16,09746	14,263059	-2,427235	10,049764	-2,403251	10,523204	-16,20028	13,994252
92600000	-21,17233	-4,532427	-2,263304	-15,85317	-2,28603	-15,84853	-21,13276	-1,623788
95550000	-27,939	5,4052795	-2,188747	-40,79967	-2,195628	-40,9433	-26,65534	10,867247
98500000	-26,56372	44,13481	-2,150445	-65,1613	-2,160393	-65,34048	-25,33594	39,62875
101450000	-22,58079	39,514481	-2,139419	-88,99562	-2,14744	-89,18722	-22,07006	35,150359
104400000	-20,3469	21,816801	-2,111187	-111,5213	-2,110928	-111,6408	-20,16357	19,856557
107350000	-19,26756	1,8746426	-2,120323	-133,2688	-2,07094	-132,8119	-19,12527	1,2234056
110300000	-18,66711	-18,17324	-2,045489	-154,1412	-2,030214	-153,6638	-18,57911	-16,7258
113250000	-18,36395	-37,20411	-2,004948	-174,4542	-2,006521	-174,4045	-18,35928	-34,90272
116200000	-18,24133	-56,3111	-1,975521	165,46918	-1,983135	165,35647	-18,21233	-52,96109
119150000	-18,22199	-74,974	-1,958833	146,01843	-1,959946	145,76808	-18,19444	-71,05919
122100000	-18,24098	-93,49538	-1,920824	126,74124	-1,949525	126,51176	-18,21669	-90,20292
125050000	-18,29614	-112,4765	-1,962746	107,89235	-1,95572	108,13471	-18,29785	-109,9067
128000000	-18,44183	-132,166	-1,925629	89,733737	-1,903631	89,952106	-18,5857	-130,7237
130950000	-18,70486	-152,1872	-1,923995	71,747071	-1,917606	71,425869	-18,8934	-152,3548
133900000	-18,99727	-172,7913	-1,899147	53,953913	-1,908147	53,972469	-19,30801	-174,9356
136850000	-19,36908	165,82523	-1,918527	36,855749	-1,895066	36,796922	-19,71848	161,59575
139800000	-19,79402	143,85538	-1,903453	19,713852	-1,875154	19,807975	-20,13346	138,01625
142750000	-20,31788	122,10334	-1,909151	2,5582741	-1,907711	2,202483	-20,52646	115,52883
145700000	-20,80442	100,68889	-1,907815	-14,29399	-1,917291	-14,51278	-20,91533	93,093056
148650000	-21,25984	80,037183	-1,934603	-31,03583	-1,918019	-31,02343	-21,2769	72,686083
151600000	-21,64806	60,249792	-1,935916	-46,75104	-1,932091	-47,36808	-21,55885	54,50265

154550000	-21,89949	41,622585	-1,947547	-63,47631	-1,94948	-63,53565	-21,72758	37,479471
157500000	-22,05356	22,798238	-1,948658	-79,46959	-1,965002	-79,55912	-21,77162	21,984979
160450000	-21,92208	5,9555731	-1,968728	-95,43447	-1,982472	-95,14973	-21,502	7,7742768
163400000	-21,61889	-11,47416	-1,980133	-110,6186	-1,976867	-111,3795	-21,11505	-5,997426
166350000	-21,13181	-29,02766	-1,996898	-126,8711	-2,008776	-127,4165	-20,5104	-20,99698
169300000	-20,54236	-47,62937	-2,077387	-142,563	-2,096521	-142,6995	-19,83941	-37,58931
172250000	-19,91592	-66,65262	-2,101438	-158,1255	-2,109746	-158,6504	-19,18855	-54,89122
175200000	-19,26358	-86,05317	-2,175974	-174,0049	-2,157457	-174,1529	-18,55402	-72,83101
178150000	-18,74646	-105,5253	-2,216708	170,47312	-2,269232	170,58	-18,12802	-92,06539
181100000	-18,38555	-125,4993	-2,286865	154,30719	-2,251627	154,77959	-17,83173	-110,9998
184050000	-18,29012	-145,1171	-2,323691	139,22216	-2,335402	139,31877	-17,82238	-129,9901
187000000	-18,5257	-164,1789	-2,387677	123,8706	-2,38852	123,89614	-18,10094	-148,166
189950000	-19,1941	177,91993	-2,455075	108,19578	-2,460508	107,99552	-18,80596	-164,8712
192900000	-20,56791	162,7758	-2,536675	92,267227	-2,522313	92,031902	-20,07378	-178,3488
195850000	-22,99739	152,54481	-2,627932	76,598846	-2,605148	76,289374	-21,86333	175,23817
198800000	-26,54	160,64904	-2,737155	60,365464	-2,740309	60,03045	-23,44824	-176,9558
201750000	-25,85423	-163,1355	-2,865878	43,964212	-2,871062	43,563169	-22,15195	-160,6342
204700000	-20,67872	-153,7572	-3,081242	26,836136	-3,04814	27,126639	-18,66866	-156,8891
207650000	-16,52677	-162,6418	-3,261001	10,247855	-3,314298	9,7423715	-15,34945	-165,0841
210600000	-13,47661	-178,3413	-3,615232	-6,949746	-3,623952	-7,192127	-12,68684	-179,2315
213550000	-11,15273	164,3656	-4,04258	-23,97518	-4,007116	-23,94099	-10,59349	164,57222
216500000	-9,40779	146,15081	-4,519133	-40,58875	-4,521997	-40,66593	-8,942295	147,14015
219450000	-7,995765	127,73418	-5,067358	-57,32838	-5,072443	-57,45324	-7,626831	129,74096
222400000	-6,891913	109,16127	-5,695677	-73,67842	-5,679071	-73,75178	-6,593073	111,76436
225350000	-6,021061	90,91282	-6,357733	-89,74189	-6,354563	-89,9255	-5,719343	94,707203
228300000	-5,286468	72,955802	-7,081462	-105,393	-7,070824	-105,477	-5,042271	77,506507
231250000	-4,70859	55,784168	-7,886192	-121,2515	-7,86547	-121,1074	-4,464226	60,463524
234200000	-4,210686	37,907134	-8,741232	-136,451	-8,717735	-136,3133	-3,984419	43,880819
237150000	-3,798479	20,961771	-9,671733	-151,4926	-9,651717	-151,374	-3,595344	27,613619
240100000	-3,463009	4,1927071	-10,6424	-165,9516	-10,60232	-166,0176	-3,26138	11,181202
243050000	-3,153943	-12,19677	-11,62883	179,63649	-11,60083	179,7939	-2,992495	-4,57513
246000000	-2,934707	-28,46788	-12,66886	166,35752	-12,63915	165,92255	-2,734266	-19,89613
248950000	-2,734017	-44,56653	-13,70702	153,0195	-13,70104	152,83267	-2,578303	-35,78862
251900000	-2,594107	-60,27936	-14,75602	140,98744	-14,72872	140,63786	-2,443704	-50,79578
254850000	-2,467213	-75,40788	-15,77252	129,25546	-15,76781	128,74556	-2,341517	-65,64521
257800000	-2,353528	-90,38288	-16,77647	117,75565	-16,79955	116,988	-2,22134	-80,27286
260750000	-2,253186	-105,1684	-17,7739	106,93412	-17,78725	106,47082	-2,157899	-94,80278
263700000	-2,185332	-119,7909	-18,71	96,21235	-18,75117	95,608384	-2,093518	-108,9662
266650000	-2,12043	-133,4566	-19,63254	85,86691	-19,67161	85,274074	-2,035134	-122,8054
269600000	-2,062308	-148,1396	-20,52724	75,859657	-20,59727	75,232415	-1,993173	-137,2711
272550000	-2,01578	-161,916	-21,40466	65,880017	-21,4467	65,60472	-1,966076	-150,5228
275500000	-1,977215	-175,3206	-22,25811	56,170822	-22,2936	55,897304	-1,912567	-163,7935
278450000	-1,99226	171,27214	-23,09383	46,383894	-23,14266	45,615509	-1,907232	-177,4947
281400000	-1,914278	158,05482	-23,9604	36,206748	-24,00263	36,482573	-1,861336	169,79401
284350000	-1,897683	144,96576	-24,84295	26,394556	-24,86256	26,350218	-1,846497	156,22344
287300000	-1,879684	132,03131	-25,76624	16,158179	-25,76242	16,777235	-1,856614	143,38155
290250000	-1,873588	119,01759	-26,71135	6,1030784	-26,70949	6,3302462	-1,870326	130,9224
293200000	-1,84812	106,1373	-27,74388	-4,102741	-27,71973	-3,444035	-1,821309	118,07639
296150000	-1,827769	93,43548	-28,79541	-13,54904	-28,81262	-13,17357	-1,799588	105,20325
299100000	-1,804677	81,044716	-30,02843	-23,03628	-30,00331	-22,82231	-1,777254	92,69578
302050000	-1,817866	68,146649	-31,34554	-32,02826	-31,2937	-31,90686	-1,749271	79,991695
305000000	-1,784948	55,28976	-32,80154	-40,56467	-32,73059	-40,56739	-1,755465	67,579355
307950000	-1,782937	42,219125	-34,43124	-48,44616	-34,38689	-48,15851	-1,752744	54,870139

310900000	-1,764476	29,81933	-36,26772	-54,77554	-36,22063	-54,64557	-1,734529	42,420799
313850000	-1,806037	16,996051	-38,40108	-58,57563	-38,38696	-58,96402	-1,764179	29,719544
316800000	-1,73993	4,5251726	-40,8986	-58,69396	-40,82679	-58,94514	-1,766413	16,551214
319750000	-1,734401	-8,175119	-43,52646	-51,39646	-43,57466	-51,73748	-1,784819	4,365585
322700000	-1,744513	-21,31549	-45,44156	-33,0969	-45,42246	-33,18216	-1,820181	-8,546067
325650000	-1,731152	-34,19456	-44,90606	-11,28285	-44,96342	-11,38137	-1,885435	-21,86407
328600000	-1,766326	-47,22639	-42,97468	1,9300682	-43,01261	1,6659746	-2,020568	-35,321
331550000	-1,78273	-60,10669	-41,11058	8,0618709	-41,18054	7,2492524	-2,154239	-48,6414
334500000	-1,812823	-73,39143	-39,54531	12,237168	-39,63395	11,692374	-2,448881	-62,71785
337450000	-1,853638	-86,66695	-37,92114	20,18274	-37,95511	19,977884	-2,932355	-76,64273
340400000	-1,92987	-100,4048	-34,66051	29,646073	-34,71128	29,133855	-3,71059	-89,50143
343350000	-2,050336	-113,9718	-30,03165	28,601026	-30,10522	28,557622	-4,730894	-99,29528
346300000	-2,190364	-127,3084	-25,75796	14,537524	-25,86343	14,410995	-5,402012	-103,9022
349250000	-2,432838	-141,5343	-22,56161	-5,922378	-22,68718	-5,515067	-5,119765	-108,1115
352200000	-2,693662	-155,1466	-20,29465	-27,08063	-20,35524	-26,17186	-4,484475	-116,7042
355150000	-3,162313	-169,5389	-18,46664	-48,30899	-18,45882	-47,54402	-4,002621	-127,8642
358100000	-3,839448	176,55927	-16,89235	-70,0465	-16,79633	-68,98846	-3,768537	-140,2103
361050000	-4,933429	163,16779	-15,54414	-91,87416	-15,36464	-91,02291	-3,715299	-152,2452
364000000	-6,402813	153,94799	-14,47228	-115,1875	-14,3157	-115,397	-3,749196	-163,129
366950000	-7,806834	151,47312	-13,84423	-140,0124	-13,73993	-140,4392	-3,753599	-173,5863
369900000	-8,040443	153,97554	-13,78465	-164,2544	-13,69723	-164,9208	-3,626507	176,61341
372850000	-7,022696	153,19914	-14,14141	173,02189	-14,09497	172,30646	-3,387091	165,83097
375800000	-5,787178	145,93433	-14,78357	152,42185	-14,76875	151,57585	-3,109328	154,75456
378750000	-4,824957	135,01695	-15,53294	134,0867	-15,53949	133,4022	-2,870407	143,24588
381700000	-4,170846	122,36174	-16,32813	117,49189	-16,34496	116,95567	-2,704412	131,25318
384650000	-3,722522	109,66104	-17,08531	102,34309	-17,09626	102,06726	-2,625464	119,16212
387600000	-3,394383	96,998371	-17,76318	88,371151	-17,76359	88,168267	-2,464855	107,40015
390550000	-3,160799	84,430836	-18,35517	75,615567	-18,39302	74,720742	-2,398893	95,276019
393500000	-2,996263	72,032441	-18,8456	62,960677	-18,89864	62,497267	-2,349612	83,442937
396450000	-2,87286	59,814005	-19,26502	51,126582	-19,3264	50,494485	-2,303718	71,742686
399400000	-2,802616	47,641961	-19,60594	38,659894	-19,68859	38,409797	-2,29008	60,384997
402350000	-2,756211	35,115411	-19,86973	26,891685	-19,95334	26,624179	-2,309235	48,227852
405300000	-2,736599	22,656405	-20,09329	14,494299	-20,16308	14,653049	-2,319901	36,76303
408250000	-2,732208	10,403254	-20,23781	2,2378902	-20,30716	2,2513226	-2,310351	25,128351
411200000	-2,709963	-1,450113	-20,34573	-10,12582	-20,39725	-9,515863	-2,335088	13,758051
414150000	-2,755837	-13,52037	-20,43013	-23,2027	-20,48916	-22,99507	-2,396989	2,1019091
417100000	-2,789803	-25,07154	-20,49766	-35,75852	-20,54277	-35,63524	-2,438454	-9,383997
420050000	-2,813462	-36,85817	-20,57611	-49,61739	-20,5963	-49,10896	-2,448115	-20,36368
423000000	-2,876432	-48,76476	-20,68211	-64,20134	-20,67811	-63,26568	-2,499434	-31,37426
425950000	-2,912048	-60,07078	-20,82887	-78,55804	-20,78393	-78,14157	-2,556893	-42,96135
428900000	-2,955268	-71,54876	-21,06054	-93,42479	-20,99821	-93,28483	-2,598681	-54,2858
431850000	-2,973712	-82,70891	-21,36097	-108,9652	-21,27408	-108,8709	-2,596146	-65,29716
434800000	-2,964597	-93,78102	-21,76676	-124,4185	-21,66096	-124,0943	-2,620856	-75,98875
437750000	-2,92852	-104,9016	-22,28686	-139,3258	-22,14335	-139,7734	-2,612857	-86,91348
440700000	-2,879252	-115,8219	-22,90716	-154,9033	-22,78278	-154,8761	-2,574185	-97,66112
443650000	-2,824478	-127,0885	-23,62788	-170,0195	-23,50824	-170,0616	-2,542248	-109,0067
446600000	-2,738321	-138,3642	-24,41391	175,64698	-24,30293	175,29761	-2,466438	-120,1294
449550000	-2,633716	-149,5275	-25,29134	161,4631	-25,17285	160,78476	-2,443177	-131,3789
452500000	-2,583935	-161,0403	-26,1871	148,30924	-26,09389	147,62223	-2,347767	-142,5358
455450000	-2,501445	-172,3866	-27,11015	135,51625	-27,0325	134,38183	-2,302674	-154,0669
458400000	-2,443637	175,80087	-28,05342	123,42138	-27,99976	121,98464	-2,246886	-165,4893
461350000	-2,376659	164,15549	-28,9244	111,60046	-28,93289	110,61944	-2,200413	-177,0477
464300000	-2,306564	152,82809	-29,82699	100,12066	-29,86634	99,110925	-2,148252	171,31911

467250000	-2,27066	141,4886	-30,70372	89,211125	-30,78627	88,743857	-2,171052	160,16654
470200000	-2,234828	130,15542	-31,56498	78,480728	-31,63664	77,733544	-2,096086	148,81335
473150000	-2,203874	118,28025	-32,39031	68,512483	-32,49296	67,802287	-2,133829	137,14383
476100000	-2,173088	107,43317	-33,1693	58,287012	-33,32103	57,937191	-2,053815	125,94883
479050000	-2,156205	95,724624	-33,99321	49,130429	-34,11449	48,285512	-2,042757	114,49801
482000000	-2,136471	84,721984	-34,67779	39,432705	-34,85537	38,528665	-2,022182	103,62056
484950000	-2,101289	73,194998	-35,39047	29,629677	-35,49961	29,873606	-2,046097	92,240122
487900000	-2,111804	62,157541	-36,05603	20,331022	-36,21883	20,189907	-2,008557	80,590974
490850000	-2,100498	50,614584	-36,73529	10,642471	-36,85753	11,045038	-1,980151	69,861152
493800000	-2,067485	39,370629	-37,3672	0,8999255	-37,48958	2,241298	-1,972757	58,660866
496750000	-2,071293	28,673725	-38,03124	-8,50818	-38,0833	-7,155109	-1,912397	47,413754
499700000	-2,049418	16,445421	-38,65741	-17,87764	-38,65414	-17,06351	-1,943489	36,495669
502650000	-2,052453	5,5384493	-39,29495	-27,29156	-39,23707	-26,42306	-1,940352	25,413235
505600000	-2,017575	-5,731234	-39,92702	-36,59252	-39,85673	-35,98391	-1,918534	13,984077
508550000	-1,993634	-17,35312	-40,56848	-45,83225	-40,45031	-45,24962	-1,912627	3,0261563
511500000	-2,001955	-28,70829	-41,14275	-55,33184	-41,01428	-54,2546	-1,904312	-7,871517
514450000	-1,9846	-40,14769	-41,82226	-64,99515	-41,64489	-64,28561	-1,901822	-19,13525
517400000	-1,966674	-51,93406	-42,44902	-73,25943	-42,19429	-73,50777	-1,890311	-30,03854
520350000	-1,932005	-62,89083	-43,05625	-82,53869	-42,83128	-82,81252	-1,897921	-41,24541
523300000	-1,982222	-74,89628	-43,68108	-91,20429	-43,44571	-91,5439	-1,864508	-52,36369
526250000	-1,970564	-86,18652	-44,23499	-99,70927	-44,03324	-100,4709	-1,857844	-63,4743
529200000	-1,972823	-98,13976	-44,76647	-107,972	-44,72543	-109,0908	-1,866932	-75,05303
532150000	-1,964517	-109,2557	-45,2898	-115,5479	-45,18538	-117,0869	-1,919063	-86,18726
535100000	-1,965294	-121,0346	-45,7963	-124,132	-45,68893	-126,128	-1,875486	-97,35891
538050000	-2,004572	-132,657	-46,26479	-131,8716	-46,22995	-134,2604	-1,874002	-108,711
541000000	-1,928631	-143,5332	-46,77816	-140,5042	-46,70647	-142,0847	-1,909601	-120,3642
543950000	-1,962581	-155,2143	-47,19623	-148,2392	-47,17071	-149,677	-1,90152	-131,839
546900000	-1,979874	-166,9091	-47,61968	-156,3076	-47,67278	-158,6457	-1,908424	-142,8565
549850000	-1,999798	-178,6615	-48,03945	-164,052	-48,2043	-166,2756	-1,902178	-154,2429
552800000	-1,981608	170,08375	-48,35457	-172,2144	-48,575	-174,0519	-1,910418	-165,7127
555750000	-1,996895	159,08984	-48,70858	179,58116	-48,97761	178,39654	-1,93652	-176,9348
558700000	-2,015207	147,63233	-48,97265	171,29277	-49,32279	169,58773	-1,955824	171,51508
561650000	-2,020077	136,46482	-49,50183	162,53136	-49,6742	162,01372	-1,96837	160,44659
564600000	-2,047456	125,07835	-49,7972	153,50461	-49,98846	153,18976	-1,981941	149,15278
567550000	-2,041446	114,07662	-50,06343	144,29535	-50,37629	144,29494	-1,988466	137,92198
570500000	-2,036468	102,92149	-50,50489	135,95869	-50,74605	136,16441	-2,001422	126,64308
573450000	-2,043131	91,561994	-50,97311	125,95138	-51,06731	127,41282	-2,001255	115,50258
576400000	-2,075899	80,782548	-51,38679	117,4472	-51,37924	118,23301	-2,012309	104,35737
579350000	-2,038444	69,840047	-51,7151	108,043	-51,73981	110,0761	-2,019356	93,319917
582300000	-2,046115	58,68927	-52,02113	99,936043	-52,1342	100,35381	-2,009665	82,332108
585250000	-2,02206	47,885183	-52,70825	91,678878	-52,63457	91,51544	-2,024549	71,178013
588200000	-1,995203	36,49502	-53,01197	81,821149	-52,89871	83,450937	-1,97177	60,584987
591150000	-2,008725	25,665403	-53,45496	74,338224	-53,40627	74,458059	-1,991128	49,558928
594100000	-2,014082	14,123332	-54,04805	66,141826	-53,66111	66,239686	-1,964953	38,751024
597050000	-2,009466	3,2587781	-54,43295	57,199849	-54,27853	58,977001	-1,967084	27,888529
600000000	-2,014237	-8,143896	-54,71556	49,922944	-54,59266	49,441388	-1,969235	17,206568

Πίνακας Π.3.6: S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφών φάσης για τάση τροφοδοσίας 2V

S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφένων φάσης για τάση τροφοδοσίας 4V								
freq (MHz)	S11		S12		S21		S22	
	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase
1000000	-0,229125	-58,34918	-28,35103	38,764422	-28,36169	39,178138	-0,224192	-58,78538
1295000	-0,297519	-76,07549	-25,80866	24,757333	-25,79568	25,142702	-0,21134	-76,70361
1590000	-0,299773	-93,92521	-23,70816	9,971611	-23,68641	10,187492	-0,26724	-95,04816
1885000	-0,3823	-111,5953	-21,87138	-4,943137	-21,91643	-5,037252	-0,344738	-113,1181
2180000	-0,446871	-130,2853	-20,19152	-20,53754	-20,18217	-20,75765	-0,45115	-132,0217
2475000	-0,509349	-148,7242	-18,60478	-36,64818	-18,60295	-36,41455	-0,54735	-151,2851
2770000	-0,603688	-167,9932	-17,10346	-53,07198	-17,10809	-53,17429	-0,574928	-170,6059
3065000	-0,720259	172,45349	-15,63378	-70,05601	-15,68208	-70,18066	-0,772585	168,98533
3360000	-0,901419	152,23104	-14,18694	-87,69596	-14,20776	-87,27489	-0,889728	148,39624
3655000	-1,046474	131,30704	-12,70923	-105,942	-12,70913	-105,681	-1,089479	126,2553
3950000	-1,293898	109,20274	-11,13668	-125,2419	-11,15627	-125,1484	-1,331245	103,67292
4245000	-1,648175	85,586047	-9,48435	-145,8264	-9,521399	-145,8239	-1,676998	79,508422
4540000	-2,261355	59,602785	-7,756813	-168,7686	-7,722098	-168,6772	-2,192706	53,761704
4835000	-3,139661	32,199008	-6,011491	-165,58173	-6,01222	165,76245	-3,088393	25,68016
5130000	-4,725044	2,2991518	-4,395583	136,66821	-4,39797	136,87648	-4,682493	-5,042796
5425000	-7,558473	-28,12149	-3,093942	105,66434	-3,131098	105,4935	-7,519816	-36,14622
5720000	-12,54339	-52,61336	-2,314598	72,170532	-2,324791	72,096177	-12,48818	-61,51818
6015000	-19,59275	-39,82587	-1,985632	38,601327	-2,022896	38,352364	-19,78623	-49,56175
6310000	-16,31422	-7,811252	-2,085759	5,2695158	-2,080422	5,5184799	-16,49301	-16,17003
6605000	-12,36382	-22,98499	-2,322038	-26,20116	-2,353567	-25,99992	-12,47933	-31,83726
6900000	-10,25311	-49,04098	-2,56987	-56,15463	-2,590762	-56,51036	-10,34773	-57,89966
7195000	-9,011331	-77,55143	-2,832713	-86,15709	-2,81937	-86,53385	-9,136504	-86,19264
7490000	-8,374013	-106,487	-3,061702	-116,1101	-3,06667	-115,8848	-8,547622	-115,8082
7785000	-8,135103	-137,0336	-3,201361	-144,9905	-3,228366	-144,8126	-8,309167	-145,8603
8080000	-8,183565	-167,5595	-3,282587	-174,2366	-3,309084	-174,1675	-8,35213	-176,531
8375000	-8,566414	161,09724	-3,287221	156,56481	-3,290062	156,46727	-8,682756	152,63491
8670000	-9,273562	128,04818	-3,194579	127,71282	-3,211961	127,66739	-9,338361	120,62456
8965000	-10,34507	95,384556	-3,070556	98,341265	-3,074108	98,070156	-10,38377	88,320919
9260000	-11,85329	62,586378	-2,894558	69,310882	-2,92545	69,463583	-11,88267	57,02085
9555000	-13,93801	30,290916	-2,723501	40,751463	-2,750712	39,970403	-13,88155	27,476694
9850000	-16,64537	-0,109923	-2,584821	11,97739	-2,566972	11,621301	-16,51695	0,2810168
10145000	-20,26263	-27,27946	-2,44506	-16,75095	-2,46536	-16,66972	-19,83639	-21,15833
10440000	-24,91606	-46,25734	-2,403949	-43,91258	-2,418094	-44,22394	-23,58171	-32,11106
10735000	-30,06416	-44,42435	-2,349502	-70,21494	-2,357581	-70,03751	-26,24215	-29,30557
11030000	-31,0313	-20,68008	-2,308069	-95,91301	-2,289184	-95,60055	-26,42488	-24,72752
11325000	-28,39126	-18,27832	-2,283386	-120,5362	-2,290695	-120,7095	-25,51654	-28,78038
11620000	-26,28116	-29,53046	-2,22076	-144,5566	-2,210816	-144,7056	-24,64413	-38,71449
11915000	-24,87774	-45,1847	-2,212354	-167,6167	-2,184741	-168,0749	-23,9749	-51,91036
12210000	-23,68714	-61,9693	-2,155417	169,32951	-2,14471	169,45473	-23,23514	-65,3445
12505000	-22,65852	-80,30665	-2,119636	147,50469	-2,161336	147,37427	-22,43469	-82,41322
12800000	-21,90569	-100,525	-2,083304	126,24722	-2,12487	125,98912	-21,83648	-101,8409
13095000	-21,34514	-121,6204	-2,089385	105,65799	-2,088894	105,53679	-21,3815	-123,3152
13390000	-20,90636	-144,2592	-2,067503	85,661046	-2,084205	85,336038	-21,08145	-147,2032
13685000	-20,66752	-167,633	-2,043044	65,773279	-2,098789	65,467711	-20,83353	-172,392
13980000	-20,50876	168,52577	-2,073948	46,640661	-2,050146	46,420121	-20,70246	162,26756
14275000	-20,47059	144,55928	-2,050086	27,813617	-2,049061	27,280712	-20,63717	137,07921
14570000	-20,55784	120,95223	-2,063869	8,6499807	-2,063054	9,0712504	-20,61371	112,65132
14865000	-20,63413	98,40511	-2,06255	-9,466025	-2,051288	-9,247012	-20,59019	89,756708
15160000	-20,69229	76,334119	-2,065646	-26,82865	-2,069943	-26,88049	-20,57552	68,142544
15455000	-20,75354	55,488581	-2,056285	-44,21813	-2,082487	-44,26263	-20,56424	49,331791
15750000	-20,70028	36,008698	-2,059065	-61,61002	-2,079455	-61,83241	-20,47422	32,129754
16045000	-20,5879	17,098267	-2,104662	-78,98659	-2,066814	-79,11132	-20,32293	16,205639
16340000	-20,27599	-1,288417	-2,0629	-95,94186	-2,103392	-95,72788	-19,88724	0,6559034
16635000	-19,84082	-19,42836	-2,090329	-112,6767	-2,104005	-112,5531	-19,43025	-14,53911
16930000	-19,28033	-38,15243	-2,158643	-129,287	-2,151083	-129,3734	-18,79875	-30,69849

172250000	-18,65462	-57,36809	-2,197313	-145,9516	-2,196495	-146,1696	-18,14195	-48,10391
175200000	-18,01177	-76,8392	-2,263923	-162,1567	-2,255459	-162,5573	-17,53735	-66,39498
178150000	-17,43084	-96,59028	-2,295706	-178,7222	-2,311836	-178,7701	-17,02092	-85,45064
181100000	-17,02721	-116,5614	-2,35803	165,21975	-2,342022	164,71935	-16,65588	-104,7335
184050000	-16,79839	-136,3402	-2,415593	148,94398	-2,444585	148,38653	-16,48212	-123,7938
187000000	-16,8763	-155,9484	-2,499554	132,75365	-2,486138	132,53308	-16,61437	-143,0635
189950000	-17,27761	-174,1169	-2,559608	116,88811	-2,549616	116,45062	-17,07832	-160,6151
192900000	-18,25085	168,25965	-2,630918	100,28369	-2,62582	100,39027	-17,99215	-176,4905
195850000	-20,0307	153,91452	-2,710043	83,666378	-2,722451	84,575973	-19,51983	172,01826
198800000	-22,81801	149,38746	-2,799279	67,523337	-2,786449	67,52756	-21,42552	169,76991
201750000	-25,38617	169,06986	-2,906335	50,571676	-2,929094	50,365662	-22,24616	-176,6834
204700000	-22,38674	-164,28	-3,14714	33,416333	-3,097411	33,135276	-19,7948	-164,6374
207650000	-17,79136	-165,1566	-3,323852	15,84235	-3,337637	15,556134	-16,33859	-166,7628
210600000	-14,27082	-177,3229	-3,664877	-1,781429	-3,702862	-1,968704	-13,3438	-178,1348
213550000	-11,65459	166,14144	-4,065167	-19,1603	-4,055961	-19,34249	-11,05357	166,10594
216500000	-9,676868	148,63118	-4,566072	-36,71269	-4,532698	-36,87299	-9,166561	149,37021
219450000	-8,189762	129,63644	-5,117798	-53,72934	-5,122148	-53,62362	-7,80079	131,76086
222400000	-6,997606	111,12488	-5,7406	-70,38006	-5,753083	-70,49574	-6,681526	113,72043
225350000	-6,047934	93,162346	-6,423609	-86,78573	-6,444158	-86,55008	-5,758144	96,651535
228300000	-5,310909	74,897979	-7,211	-103,1335	-7,191132	-102,9078	-5,040309	79,040977
231250000	-4,682282	56,991039	-8,022012	-118,6743	-8,039067	-119,0298	-4,462589	61,867964
234200000	-4,195231	39,618287	-8,943091	-134,2762	-8,898779	-134,447	-3,96878	45,102369
237150000	-3,798378	22,222037	-9,888249	-149,6734	-9,847813	-149,232	-3,559385	28,972192
240100000	-3,42562	5,6039438	-10,87336	-164,1906	-10,85534	-164,3667	-3,241557	12,579714
243050000	-3,198148	-11,25099	-11,909	-178,4396	-11,85689	-178,6441	-2,968302	-3,550812
246000000	-2,9173	-27,53523	-12,95714	167,68187	-12,92438	167,57444	-2,805206	-19,42976
248950000	-2,686017	-43,2213	-14,00768	154,66718	-13,98282	154,50265	-2,567796	-34,33549
251900000	-2,561313	-59,05181	-15,0656	142,41003	-15,06288	141,83184	-2,431612	-49,79017
254850000	-2,546385	-74,23144	-16,10677	130,31588	-16,10419	129,73296	-2,319169	-64,79143
257800000	-2,319608	-89,21893	-17,16573	118,82764	-17,13639	118,30263	-2,248718	-79,36247
260750000	-2,238828	-104,3362	-18,12691	108,15514	-18,15083	107,45198	-2,158962	-94,31756
263700000	-2,173287	-118,9654	-19,0956	97,235548	-19,1443	96,917006	-2,066607	-108,0118
266650000	-2,170183	-133,1501	-20,03427	86,708953	-20,07124	86,975153	-2,030415	-122,2591
269600000	-2,053552	-147,1663	-20,95922	76,913397	-20,97216	76,478669	-1,992496	-136,3251
272550000	-2,008328	-160,8999	-21,84715	67,028385	-21,87393	66,507642	-2,041457	-149,8679
275500000	-1,961718	-174,6799	-22,70253	56,89256	-22,74954	56,881327	-1,93289	-163,4359
278450000	-1,947878	171,94747	-23,5579	47,32261	-23,58584	47,318456	-1,906889	-176,605
281400000	-1,985643	158,7014	-24,43911	37,519614	-24,46826	37,430748	-1,893618	169,90183
284350000	-1,888783	145,88884	-25,32728	27,322591	-25,3496	27,547046	-1,863947	156,60588
287300000	-1,851465	133,04518	-26,27011	17,312728	-26,2632	17,696367	-1,854095	143,96611
290250000	-1,87554	119,92974	-27,22498	7,4274978	-27,25069	7,3911882	-1,780828	130,67804
293200000	-1,828415	107,02053	-28,24906	-2,681866	-28,2536	-2,188178	-1,825617	118,18215
296150000	-1,80889	94,179104	-29,40726	-12,23596	-29,35323	-12,13603	-1,807936	105,83259
299100000	-1,798542	81,477494	-30,6343	-21,71889	-30,58003	-21,57265	-1,783493	93,000833
302050000	-1,825007	68,883718	-31,99829	-30,50185	-31,90763	-30,6754	-1,762493	80,57587
305000000	-1,826412	55,702608	-33,45802	-38,97202	-33,3849	-39,22051	-1,765809	67,897931
307950000	-1,771373	43,197334	-35,12644	-46,47733	-35,06452	-46,74238	-1,817213	54,93681
310900000	-1,772299	30,431487	-37,06719	-52,24516	-36,98069	-52,77103	-1,773858	42,565274
313850000	-1,760056	17,409569	-39,25734	-56,10263	-39,17301	-56,24102	-1,759515	30,018313
316800000	-1,750379	4,9405724	-41,77569	-55,48485	-41,6822	-55,88716	-1,780343	17,388931
319750000	-1,746777	-8,043905	-44,39549	-46,44365	-44,35773	-46,96756	-1,86318	4,2791875
322700000	-1,743441	-20,78596	-46,07459	-26,3691	-45,99244	-26,73209	-1,845741	-8,65673
325650000	-1,75778	-33,95739	-45,20041	-5,215187	-45,32461	-5,673021	-1,899555	-21,74249
328600000	-1,764565	-46,93039	-43,32194	6,5744227	-43,38202	6,3402291	-1,999596	-34,95166
331550000	-1,785734	-60,14968	-41,54102	12,572666	-41,57688	11,99548	-2,18577	-48,94031
334500000	-1,804668	-72,88794	-39,95034	17,268383	-40,11576	16,883388	-2,458988	-62,9493
337450000	-1,87306	-86,85727	-38,19862	27,604236	-38,23878	26,782209	-2,924986	-76,56684
340400000	-1,960966	-100,1331	-34,63451	36,480036	-34,65679	36,531068	-3,692351	-89,32058
343350000	-2,059176	-113,7412	-29,82403	33,751622	-29,7954	33,778906	-4,750633	-99,20949

346300000	-2,192695	-126,9105	-25,52343	18,378142	-25,61926	18,391006	-5,472395	-104,0686
349250000	-2,448666	-140,8769	-22,39623	-2,832168	-22,49451	-2,418329	-5,227123	-107,6739
352200000	-2,694534	-154,994	-20,13026	-24,54855	-20,18604	-24,19446	-4,570264	-116,1201
355150000	-3,160223	-169,2857	-18,34158	-45,76587	-18,35173	-45,35925	-4,063844	-127,287
358100000	-3,809767	176,9919	-16,81456	-67,38863	-16,72911	-66,45887	-3,81218	-139,534
361050000	-4,884215	163,18799	-15,49674	-89,6356	-15,33661	-89,43527	-3,738873	-151,7579
364000000	-6,364196	153,46747	-14,48738	-113,2497	-14,29233	-112,982	-3,781137	-163,0168
366950000	-7,846488	150,51346	-13,83765	-137,8131	-13,6808	-138,3331	-3,759253	-173,2999
369900000	-8,220431	153,79871	-13,72062	-162,3603	-13,61828	-162,545	-3,645039	176,5715
372850000	-7,200576	153,60695	-14,05047	174,85214	-14,00783	174,1833	-3,402384	166,08773
375800000	-5,939905	146,51964	-14,68556	154,28296	-14,69158	153,59293	-3,120458	155,22618
378750000	-4,945224	135,58564	-15,48132	135,73931	-15,47474	134,94466	-2,905776	143,30607
381700000	-4,23114	123,35098	-16,27774	118,72592	-16,27614	118,38619	-2,715696	131,30603
384650000	-3,750598	110,6996	-17,03778	103,50841	-17,04312	103,16538	-2,562263	119,83317
387600000	-3,423266	97,803727	-17,72305	89,741027	-17,75846	88,929426	-2,49337	107,14174
390550000	-3,175946	85,415574	-18,33651	76,515675	-18,34805	76,088303	-2,409016	95,664701
393500000	-2,998748	72,928327	-18,84861	63,943499	-18,89993	63,481003	-2,348522	83,895674
396450000	-2,891508	60,272071	-19,2511	51,820337	-19,34644	51,575484	-2,326968	72,07973
399400000	-2,806173	48,142329	-19,61458	39,567605	-19,71019	39,092622	-2,360424	60,34502
402350000	-2,761267	35,755523	-19,88078	27,587951	-19,98757	27,714999	-2,293493	48,693984
405300000	-2,777157	22,893345	-20,12524	15,766623	-20,20377	15,643579	-2,290567	37,254311
408250000	-2,718873	11,207129	-20,28895	3,5159005	-20,36456	3,3480047	-2,289408	25,721576
411200000	-2,73397	-0,967764	-20,41091	-9,09208	-20,47111	-8,786587	-2,339008	13,806859
414150000	-2,742669	-13,12971	-20,49406	-21,66851	-20,52722	-21,17406	-2,347218	2,4911801
417100000	-2,741569	-24,64889	-20,55641	-34,92356	-20,5861	-34,33524	-2,367115	-8,971218
420050000	-2,813644	-36,77991	-20,65481	-48,28791	-20,63751	-48,27306	-2,425219	-20,46286
423000000	-2,850433	-48,27728	-20,73072	-62,42703	-20,71339	-62,16779	-2,476801	-31,63536
425950000	-2,894023	-59,75858	-20,85981	-77,159	-20,82996	-76,58177	-2,535395	-42,71776
428900000	-2,952576	-70,82509	-21,06472	-92,01158	-21,00627	-91,57823	-2,574667	-54,08606
431850000	-2,957175	-82,56922	-21,36147	-107,7356	-21,26575	-106,9262	-2,590006	-64,79641
434800000	-2,949173	-93,607	-21,7565	-123,0785	-21,65244	-122,7199	-2,589518	-76,01637
437750000	-2,937333	-104,77	-22,26347	-137,9218	-22,1321	-138,38	-2,60509	-86,88317
440700000	-2,892201	-115,8526	-22,87158	-153,5409	-22,73122	-153,8206	-2,570429	-97,74088
443650000	-2,832152	-126,9806	-23,56669	-168,632	-23,43444	-168,9222	-2,512801	-108,6789
446600000	-2,753734	-138,1323	-24,34924	176,57756	-24,24154	176,61081	-2,474626	-120,2304
449550000	-2,665287	-149,7848	-25,20339	162,8426	-25,10996	162,07017	-2,415916	-131,5446
452500000	-2,579122	-161,0357	-26,09599	149,24558	-25,97681	148,53606	-2,363117	-142,7638
455450000	-2,510959	-172,3312	-27,00611	136,29803	-26,94265	135,33338	-2,300272	-154,0497
458400000	-2,447574	176,10328	-27,91843	124,112	-27,90536	122,73728	-2,245432	-165,3346
461350000	-2,385779	164,41102	-28,85342	112,37253	-28,8456	110,83455	-2,186167	-176,771
464300000	-2,345169	153,5343	-29,75127	101,11501	-29,77662	99,883847	-2,140648	171,89882
467250000	-2,26882	141,89455	-30,64604	89,882737	-30,68272	88,805482	-2,168577	159,93615
470200000	-2,239158	130,42549	-31,50479	79,170721	-31,53392	78,311886	-2,131933	148,25048
473150000	-2,274151	118,93848	-32,3217	68,895735	-32,43019	68,332336	-2,079651	137,36179
476100000	-2,185637	107,28932	-33,13036	58,925746	-33,24271	58,604744	-2,078174	126,20348
479050000	-2,146757	96,441085	-33,9021	49,185893	-34,03548	48,52737	-2,088249	114,68409
482000000	-2,141025	84,84951	-34,64273	39,828534	-34,80527	39,374751	-2,025001	103,13282
484950000	-2,102262	73,931192	-35,33006	30,505727	-35,519	30,171251	-2,004814	92,36832
487900000	-2,085387	62,514944	-35,99097	20,895373	-36,17079	20,61758	-1,954673	81,392134
490850000	-2,092404	50,841957	-36,69478	11,137895	-36,81549	11,736314	-1,970375	69,615844
493800000	-2,080616	39,631537	-37,31987	1,4971797	-37,46948	2,1196575	-1,942542	58,915076
496750000	-2,036421	28,432871	-37,99155	-7,897205	-38,02126	-6,919599	-1,956545	47,475841
499700000	-2,041769	16,96173	-38,64531	-17,49843	-38,61908	-16,57613	-1,974896	36,661033
502650000	-2,010658	5,4786243	-39,25342	-27,04966	-39,20754	-26,38191	-1,938907	25,401572
505600000	-2,016999	-5,682043	-39,87683	-36,2406	-39,85541	-35,10914	-1,893321	14,636071
508550000	-1,977601	-16,75499	-40,49114	-45,93249	-40,38808	-44,80385	-1,904897	3,2393912
511500000	-1,999166	-28,69082	-41,14297	-55,40868	-40,99403	-54,60078	-1,901595	-7,104759
514450000	-1,983916	-39,82816	-41,77712	-64,63356	-41,57253	-63,85751	-1,881965	-18,84156
517400000	-1,975384	-51,48937	-42,43158	-73,60717	-42,19359	-73,12492	-1,872227	-29,78931

520350000	-2,024139	-63,21789	-43,04055	-82,49361	-42,80045	-81,98936	-1,882232	-41,16899
523300000	-1,971342	-74,58403	-43,64058	-90,57957	-43,39393	-91,77711	-1,881912	-52,45922
526250000	-1,972591	-86,21424	-44,18762	-99,42449	-44,01721	-100,7096	-1,862343	-63,29271
529200000	-1,981807	-97,76231	-44,80331	-107,1075	-44,6085	-109,0174	-1,861742	-74,73274
532150000	-2,039986	-109,3928	-45,25029	-115,6782	-45,16635	-117,5721	-1,858105	-85,85574
535100000	-1,955271	-120,8292	-45,84777	-123,849	-45,73847	-125,9156	-1,868092	-97,49662
538050000	-1,951018	-132,2064	-46,29057	-131,9719	-46,22716	-133,8067	-1,883482	-108,8585
541000000	-1,994884	-143,9028	-46,69549	-139,8733	-46,76246	-141,8764	-1,860859	-119,6843
543950000	-1,972081	-155,1735	-47,22499	-147,3103	-47,22714	-150,1864	-1,90453	-131,7515
546900000	-1,982803	-166,9637	-47,57337	-155,1945	-47,68717	-157,6196	-1,862554	-142,9567
549850000	-1,995709	-178,2264	-48,02948	-163,424	-48,17161	-166,2111	-1,918777	-154,3304
552800000	-1,989304	170,46958	-48,32757	-172,0086	-48,48352	-173,9011	-1,929495	-165,6422
555750000	-2,006078	159,00794	-48,63478	179,9114	-48,98197	178,02669	-1,942943	-177,1581
558700000	-2,014341	147,92546	-49,05898	171,26006	-49,30881	170,04038	-1,95235	171,78387
561650000	-2,009938	136,92798	-49,48172	162,69681	-49,75658	161,8308	-1,967377	160,5724
564600000	-2,092394	125,108	-49,72627	153,05729	-50,08177	153,10859	-1,977888	149,22737
567550000	-2,042288	113,98229	-50,1746	144,31812	-50,41321	144,99864	-1,994473	137,84438
570500000	-2,038076	103,18049	-50,60293	135,45456	-50,68112	136,56463	-1,974108	127,08507
573450000	-2,043092	92,245949	-50,80232	126,83373	-51,16055	127,6672	-1,9825	115,78692
576400000	-2,085098	80,322246	-51,32248	117,55582	-51,33307	118,14667	-2,007478	104,2397
579350000	-2,030452	70,148246	-51,71952	109,07993	-51,60962	109,44473	-2,016979	93,43832
582300000	-2,030633	58,712358	-52,21025	100,08916	-52,1333	100,93721	-2,00066	82,520573
585250000	-2,033251	47,716667	-52,50804	92,220412	-52,49966	91,0081	-1,98573	71,772281
588200000	-2,087925	36,198213	-53,16591	81,871816	-52,83177	82,920005	-1,988307	60,381813
591150000	-2,022209	25,49969	-53,5462	73,509072	-53,41315	73,272991	-1,958889	49,627559
594100000	-2,001461	14,502202	-53,98574	65,673824	-53,92968	66,332685	-1,979241	38,865578
597050000	-2,008053	3,2317807	-54,37923	57,056239	-54,09624	57,752394	-1,968647	27,901306
600000000	-2,008012	-7,975416	-54,79586	50,798059	-54,45559	49,837568	-1,979665	17,041885

Πίνακας Π.3.7 : S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφών φάσης για τάση τροφοδοσίας 4V

S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφών φάσης για τάση τροφοδοσίας 6V								
freq (MHz)	S11		S12		S21		S22	
	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase
10000000	-0,190737	-53,33029	-26,89902	44,417254	-26,91675	44,151928	-0,179375	-53,44139
12950000	-0,250968	-69,89511	-24,42853	31,93581	-24,41441	32,0597	-0,273887	-70,28126
15900000	-0,288047	-86,37901	-22,39561	18,703757	-22,39404	18,867689	-0,294916	-86,71682
18850000	-0,303461	-102,3555	-20,66967	5,1298759	-20,66808	5,6932305	-0,342866	-103,1625
21800000	-0,366847	-119,0431	-19,07006	-8,66542	-19,11234	-8,263467	-0,362421	-119,9023
24750000	-0,473625	-135,3431	-17,70235	-22,38982	-17,69073	-22,29891	-0,455903	-136,9773
27700000	-0,553692	-152,9824	-16,38307	-36,61162	-16,42437	-36,91773	-0,583948	-153,9365
30650000	-0,616806	-169,5327	-15,1873	-51,05226	-15,18652	-51,4826	-0,660272	-171,7631
33600000	-0,774881	172,33987	-13,99541	-66,06173	-14,01068	-66,54862	-0,811627	170,36755
36550000	-0,90186	154,6628	-12,85048	-81,1865	-12,85137	-81,06131	-0,917008	151,44717
39500000	-1,039827	135,95174	-11,71766	-96,8048	-11,73879	-96,88611	-1,077113	132,68604
42450000	-1,216179	117,29899	-10,57746	-112,4871	-10,58247	-112,4631	-1,317269	113,37002
45400000	-1,499084	97,465959	-9,412171	-129,0975	-9,42911	-129,4428	-1,508444	93,08427
48350000	-1,842989	76,828679	-8,247395	-146,6792	-8,234155	-146,7807	-1,869841	72,074466
51300000	-2,266418	55,641754	-7,078357	-165,5663	-7,078138	-165,3956	-2,253775	50,389844
54250000	-2,919354	32,533552	-5,918256	174,68382	-5,928116	174,74722	-2,887998	27,235011
57200000	-3,79848	8,9469806	-4,819267	153,33945	-4,810417	153,37878	-3,809476	2,5927195
60150000	-5,094814	-15,90578	-3,8297	130,83251	-3,841116	130,35024	-5,11226	-22,36318
63100000	-6,790655	-40,22481	-3,069912	107,19001	-3,078984	107,10681	-6,825272	-47,61705
66050000	-8,988259	-63,44432	-2,513267	82,717711	-2,491219	82,846676	-8,936391	-70,74634
69000000	-11,72737	-84,92047	-2,122269	58,01346	-2,123362	57,806009	-11,78398	-93,54996
71950000	-15,19877	-102,9856	-1,856873	33,158344	-1,852395	32,675318	-15,41182	-113,5486
74900000	-19,42254	-114,4747	-1,732495	8,3973718	-1,732439	8,1471156	-20,00264	-126,8486
77850000	-23,65592	-106,2868	-1,720341	-16,63676	-1,712541	-16,96179	-25,25739	-117,5428
80800000	-23,20295	-83,58062	-1,772345	-42,417	-1,785102	-42,41768	-24,63941	-86,2014
83750000	-20,06075	-83,99999	-1,84284	-67,66294	-1,881477	-67,77564	-20,87751	-86,86955
86700000	-17,67745	-99,32203	-2,002467	-92,93641	-2,003031	-93,0314	-18,26818	-103,6842
89650000	-16,2622	-121,8025	-2,139762	-118,8508	-2,152378	-118,797	-16,76821	-126,5987
92600000	-15,61644	-148,7755	-2,279634	-144,759	-2,300442	-144,9579	-16,07486	-153,7872
95550000	-15,53763	-178,4072	-2,431262	-171,5515	-2,395993	-171,1293	-15,90037	176,3357
98500000	-15,88667	150,3239	-2,45746	161,69657	-2,491614	161,76419	-16,12321	145,27052
101450000	-16,71251	115,67631	-2,493674	133,85161	-2,517086	133,78895	-16,77576	113,0053
104400000	-17,88611	78,88167	-2,602476	105,40294	-2,585698	106,07471	-17,82224	80,682089
107350000	-19,34053	39,653464	-2,619362	76,689533	-2,612702	77,286994	-19,2821	48,426958
110300000	-20,91165	-0,98323	-2,656841	47,277506	-2,644467	47,580512	-21,03299	18,938388
113250000	-22,2628	-40,2326	-2,625072	18,361658	-2,641254	18,37994	-22,7365	-5,678953
116200000	-23,41326	-75,21134	-2,675243	-11,37124	-2,645724	-10,87291	-23,83577	-27,01337
119150000	-24,21993	-105,2817	-2,68117	-40,63717	-2,652343	-40,57776	-24,20955	-49,7791
122100000	-24,893	-132,2193	-2,678772	-70,10405	-2,681826	-69,90164	-24,27555	-74,51954
125050000	-25,35181	-158,0177	-2,674158	-99,16731	-2,658714	-98,32896	-24,708	-104,2312
128000000	-25,86068	175,04784	-2,657973	-127,0308	-2,651995	-126,6397	-25,56634	-136,6297
130950000	-26,94639	148,06637	-2,614675	-154,5998	-2,642043	-154,2477	-27,25359	-169,4666
133900000	-29,17549	119,81212	-2,57412	178,56769	-2,612897	178,70065	-30,09665	159,62901
136850000	-33,66836	94,366674	-2,555738	152,42522	-2,606492	152,83202	-34,89652	138,7353
139800000	-46,08727	112,09454	-2,531844	126,86223	-2,524777	126,83879	-39,16031	166,09042
142750000	-35,52844	-172,4216	-2,498754	101,88645	-2,477232	102,27274	-33,01738	-177,8008
145700000	-29,04998	167,04644	-2,423892	77,725283	-2,483419	77,840104	-28,11229	162,65363
148650000	-25,45227	141,57873	-2,45531	54,319792	-2,441513	54,376658	-25,04657	136,79591
151600000	-23,12583	116,84267	-2,478735	31,703222	-2,449735	31,473931	-22,8211	112,23278

154550000	-21,50054	92,580514	-2,424957	9,7748909	-2,447365	9,3867877	-21,27768	87,956202
157500000	-20,2974	70,110861	-2,425191	-11,49474	-2,416015	-11,88811	-20,11051	65,793052
160450000	-19,41011	47,538191	-2,411335	-32,65779	-2,41084	-32,73568	-19,24661	45,813574
163400000	-18,63444	27,05377	-2,398479	-53,45755	-2,425188	-53,7552	-18,49505	26,761993
166350000	-17,89516	7,5726549	-2,426889	-73,19568	-2,371452	-73,5814	-17,7886	8,931593
169300000	-17,18265	-12,56844	-2,449759	-92,72732	-2,443073	-93,60678	-17,08141	-9,467573
172250000	-16,45207	-32,56343	-2,485903	-112,0953	-2,468578	-112,4109	-16,3075	-27,36338
175200000	-15,66207	-52,35954	-2,526264	-131,1078	-2,517169	-131,3251	-15,54282	-46,19329
178150000	-14,99874	-72,98633	-2,58834	-149,5742	-2,579732	-149,6299	-14,87978	-65,7992
181100000	-14,40661	-93,76573	-2,655472	-167,7721	-2,701077	-168,0635	-14,30968	-86,0918
184050000	-13,99215	-114,7721	-2,713203	173,76986	-2,732568	173,50771	-13,89229	-106,4768
187000000	-13,73562	-135,2817	-2,795105	156,12893	-2,786503	156,25672	-13,67603	-126,4096
189950000	-13,76137	-155,4539	-2,86162	138,19858	-2,858755	138,16312	-13,73768	-146,2868
192900000	-14,13498	-175,304	-2,926421	120,5199	-2,905687	120,62064	-14,1615	-165,888
195850000	-14,94245	167,12562	-2,964545	103,28104	-2,99783	102,72504	-14,97699	176,84801
198800000	-16,3851	151,36354	-3,027738	85,294385	-3,058129	85,183014	-16,35902	162,59594
201750000	-18,66192	142,09538	-3,128462	67,204675	-3,132707	67,341701	-18,29257	155,58768
204700000	-21,22789	148,88379	-3,24152	49,032794	-3,240415	48,749814	-19,92944	162,41408
207650000	-20,57889	171,37672	-3,410922	30,548578	-3,398332	30,490762	-18,68564	176,92869
210600000	-16,66083	177,25494	-3,705627	11,440081	-3,672361	11,621542	-15,46113	178,30963
213550000	-13,26689	167,32844	-4,084242	-7,111778	-4,092542	-7,415058	-12,45854	168,70846
216500000	-10,68108	152,05627	-4,59816	-26,22353	-4,61006	-26,11676	-10,12815	153,50896
219450000	-8,77276	134,18016	-5,188465	-44,41245	-5,188588	-44,49786	-8,340475	136,37705
222400000	-7,346768	115,60562	-5,871609	-62,26465	-5,879744	-62,11275	-6,995192	118,22218
225350000	-6,256982	96,83314	-6,641483	-79,70345	-6,671146	-80,04875	-5,945649	100,49256
228300000	-5,407117	78,272087	-7,463396	-96,72923	-7,470395	-96,70755	-5,142936	82,451969
231250000	-4,724303	60,321842	-8,374287	-113,5001	-8,364214	-113,2146	-4,464008	65,393924
234200000	-4,165991	42,935927	-9,332537	-129,5235	-9,332752	-129,3183	-3,948471	48,10498
237150000	-3,775045	25,498915	-10,34684	-145,0531	-10,33986	-144,8136	-3,557204	30,958429
240100000	-3,396702	8,2679973	-11,40465	-160,4239	-11,36571	-159,8135	-3,18741	15,34027
243050000	-3,097078	-8,314017	-12,48773	-174,7595	-12,45042	-174,6346	-2,940858	-1,332151
246000000	-2,901513	-24,94946	-13,59666	171,32718	-13,56257	171,16112	-2,729467	-17,15499
248950000	-2,70295	-41,03598	-14,69643	158,28121	-14,67235	158,14328	-2,55742	-32,44229
251900000	-2,552981	-56,82824	-15,8031	145,64379	-15,78441	145,22841	-2,398284	-47,63289
254850000	-2,427138	-72,45686	-16,89668	133,27707	-16,87865	133,16972	-2,302359	-62,89352
257800000	-2,308223	-87,81903	-17,95946	121,48544	-17,93703	121,30238	-2,183908	-77,65331
260750000	-2,223586	-102,4458	-18,97014	110,92914	-18,99731	110,13087	-2,161386	-91,7786
263700000	-2,142586	-117,0094	-19,97795	99,921109	-20,01093	99,883525	-2,054548	-106,4948
266650000	-2,103115	-131,5579	-20,92283	89,810406	-20,96965	89,389042	-2,008231	-120,7845
269600000	-2,053108	-145,5158	-21,86967	79,899611	-21,90698	79,094258	-1,973961	-134,73
272550000	-1,997913	-159,3249	-22,78714	69,411327	-22,84773	69,108313	-1,945929	-148,4636
275500000	-1,959122	-173,2296	-23,69436	59,892364	-23,74253	59,608339	-2,001339	-162,1231
278450000	-1,942959	173,42938	-24,56276	49,638306	-24,61743	49,967232	-1,875819	-175,2596
281400000	-1,89464	160,41592	-25,47644	39,871858	-25,51858	40,13474	-1,856747	171,75471
284350000	-1,888422	146,80666	-26,40997	29,827085	-26,43406	29,839387	-1,812102	158,56967
287300000	-1,853736	133,81029	-27,36397	19,756036	-27,38743	20,064234	-1,832977	145,36575
290250000	-1,858899	121,21472	-28,37546	9,8630003	-28,38279	10,159773	-1,828164	132,15253
293200000	-1,838512	108,02924	-29,46078	0,1526471	-29,44744	0,4086074	-1,806849	119,39295
296150000	-1,813368	95,208037	-30,63358	-9,381644	-30,60676	-9,269968	-1,779808	107,08225
299100000	-1,785662	82,262218	-31,91739	-18,70145	-31,87666	-18,65156	-1,758793	94,221573
302050000	-1,744277	69,902603	-33,32072	-27,44154	-33,2736	-27,24118	-1,743444	81,310809
305000000	-1,783147	56,896677	-34,88276	-35,43421	-34,81325	-35,24881	-1,758282	68,901143
307950000	-1,777746	44,060825	-36,65472	-42,48066	-36,57997	-42,75854	-1,767231	56,101338

310900000	-1,774898	31,301389	-38,71646	-47,81415	-38,6605	-47,83743	-1,775824	43,715022
313850000	-1,753566	18,620749	-41,02883	-50,18642	-40,97094	-50,78133	-1,767571	30,622676
316800000	-1,747343	5,769921	-43,6854	-46,90336	-43,69541	-47,87606	-1,78848	17,991726
319750000	-1,750416	-6,977247	-46,19463	-34,22023	-46,17717	-34,90819	-1,79308	5,3685835
322700000	-1,794449	-20,14759	-47,1535	-12,57002	-47,09476	-13,76356	-1,856778	-7,648562
325650000	-1,749784	-32,92265	-45,8894	6,8842392	-45,97532	5,6404934	-1,918667	-21,13632
328600000	-1,769957	-46,25977	-44,07211	16,458937	-44,14186	15,55514	-1,981173	-34,18194
331550000	-1,785255	-59,23368	-42,47471	22,157488	-42,51442	21,707328	-2,170933	-47,91896
334500000	-1,837487	-72,61058	-41,03684	30,438605	-41,10102	29,698334	-2,462279	-61,7452
337450000	-1,876583	-85,91655	-38,59708	42,747389	-38,61324	42,425179	-2,912816	-75,90876
340400000	-1,97045	-99,68308	-34,24878	50,550083	-34,30248	50,345947	-3,690192	-89,46517
343350000	-2,067009	-113,1324	-29,23046	44,075992	-29,30529	43,769904	-4,742419	-99,39334
346300000	-2,236907	-126,4022	-25,03212	26,463521	-25,11171	26,02364	-5,606055	-104,332
349250000	-2,441454	-140,2347	-21,94464	3,8744328	-22,03935	3,9280891	-5,472998	-107,6674
352200000	-2,735009	-154,3843	-19,80604	-19,68349	-19,88299	-18,70291	-4,765192	-114,8635
355150000	-3,141832	-168,6129	-18,12099	-41,57705	-18,11893	-40,33891	-4,181158	-125,8085
358100000	-3,83772	177,25723	-16,67791	-63,00634	-16,59583	-62,12372	-3,873346	-138,1581
361050000	-4,797548	163,43042	-15,42087	-85,35319	-15,28216	-84,77957	-3,758807	-150,3443
364000000	-6,268245	152,66666	-14,36327	-108,9985	-14,22588	-108,72	-3,770318	-161,9099
366950000	-7,915143	148,78082	-13,76153	-133,0557	-13,60701	-133,5637	-3,783227	-172,3469
369900000	-8,567903	152,07845	-13,6066	-157,522	-13,49428	-158,3656	-3,690745	177,31671
372850000	-7,648067	153,60492	-13,90282	179,17239	-13,85668	178,54091	-3,429957	167,18774
375800000	-6,284988	147,45315	-14,53031	157,65189	-14,51892	156,9973	-3,172	155,88262
378750000	-5,169738	137,24868	-15,32019	138,91282	-15,32596	138,2684	-2,940272	144,50325
381700000	-4,397268	124,95908	-16,12808	121,86764	-16,1543	121,30581	-2,728412	132,18562
384650000	-3,858588	112,29995	-16,93721	105,92238	-16,9508	105,42389	-2,586648	120,38076
387600000	-3,487397	99,487091	-17,66151	92,070961	-17,67863	91,549447	-2,474326	108,33546
390550000	-3,233532	86,610901	-18,29238	79,101779	-18,32225	78,542324	-2,377484	96,610614
393500000	-3,052785	73,835943	-18,83184	66,25344	-18,89647	65,617643	-2,348816	84,293964
396450000	-2,91958	61,251949	-19,32164	54,077312	-19,37812	53,682362	-2,305308	72,826303
399400000	-2,826957	48,889529	-19,73889	41,843024	-19,76769	41,173751	-2,287055	60,840396
402350000	-2,782032	36,90131	-19,9861	29,941847	-20,06922	29,588644	-2,24972	49,279456
405300000	-2,714463	24,464566	-20,21006	18,312996	-20,28815	17,865932	-2,261825	37,569589
408250000	-2,700977	12,089897	-20,38617	5,8047664	-20,45263	5,7546179	-2,27183	26,192939
411200000	-2,694214	0,1597583	-20,49543	-6,497744	-20,57418	-6,535614	-2,287476	14,410746
414150000	-2,698217	-12,29632	-20,59847	-18,79619	-20,65641	-18,92152	-2,307538	3,1191592
417100000	-2,721629	-23,89835	-20,67142	-32,01096	-20,7059	-31,87357	-2,349701	-8,211876
420050000	-2,762634	-36,1775	-20,74547	-45,39245	-20,74996	-45,21907	-2,376656	-19,77594
423000000	-2,796459	-47,40787	-20,81395	-59,50201	-20,8092	-59,07356	-2,481554	-31,56694
425950000	-2,895669	-59,00607	-20,94308	-73,84827	-20,92925	-73,48466	-2,493966	-42,66973
428900000	-2,898297	-70,68323	-21,11995	-88,91337	-21,05678	-88,65459	-2,531022	-53,96163
431850000	-2,929491	-82,09857	-21,38965	-104,4811	-21,29391	-104,1488	-2,575453	-64,72483
434800000	-2,933819	-93,40661	-21,7407	-119,7941	-21,6409	-119,5926	-2,597971	-75,69088
437750000	-2,933507	-104,5458	-22,20957	-135,0298	-22,08282	-135,2338	-2,588692	-86,48553
440700000	-2,906289	-115,5803	-22,76825	-150,6643	-22,63878	-150,6313	-2,582316	-97,54484
443650000	-2,839858	-126,6129	-23,44533	-165,9173	-23,29823	-166,2474	-2,548928	-108,6898
446600000	-2,714253	-137,9928	-24,20675	179,10067	-24,09053	178,94811	-2,463534	-119,968
449550000	-2,670457	-149,2241	-25,04454	165,1304	-24,94316	164,61509	-2,436221	-131,1297
452500000	-2,590873	-160,543	-25,92552	151,40392	-25,8273	150,49518	-2,356208	-142,3224
455450000	-2,501448	-172,0592	-26,84796	138,56021	-26,78326	137,22279	-2,304267	-153,7724
458400000	-2,451457	176,73119	-27,75257	125,86468	-27,73728	124,69083	-2,250977	-165,4662
461350000	-2,379557	165,21808	-28,70949	114,00102	-28,65253	112,86775	-2,197585	-176,6676
464300000	-2,292217	153,63679	-29,59539	102,58257	-29,61882	101,1569	-2,157197	172,11691

467250000	-2,287544	142,02582	-30,47397	91,186225	-30,53396	90,264599	-2,121055	160,70181
470200000	-2,289193	130,63333	-31,34562	80,590749	-31,43241	79,796195	-2,131512	149,05822
473150000	-2,213272	119,54343	-32,19125	69,789846	-32,28829	68,934877	-2,096256	137,51446
476100000	-2,175567	108,18357	-33,00392	60,060755	-33,11586	59,357844	-2,057847	126,61677
479050000	-2,158473	96,515245	-33,79207	50,044019	-33,95782	49,632415	-2,048883	114,9821
482000000	-2,10031	85,37429	-34,5105	40,401779	-34,68992	40,219562	-2,03715	103,98617
484950000	-2,125473	73,810839	-35,23372	30,859312	-35,39931	31,051987	-2,013262	92,45233
487900000	-2,09599	62,466193	-35,94093	21,712063	-36,09177	21,461508	-1,990727	81,320343
490850000	-2,070411	51,444105	-36,60793	11,993533	-36,71561	12,085984	-2,008882	70,24175
493800000	-2,08227	39,632064	-37,23993	2,2434035	-37,38052	2,949639	-1,955536	59,011629
496750000	-2,046713	28,62817	-37,92049	-7,476632	-37,95536	-6,610351	-1,945571	48,011615
499700000	-2,018512	17,182659	-38,54631	-17,13654	-38,58885	-15,86418	-1,939283	37,49924
502650000	-2,025521	6,122707	-39,17114	-26,60744	-39,1653	-25,7115	-1,933339	25,761859
505600000	-2,031781	-5,702885	-39,78744	-35,85797	-39,75074	-35,11052	-1,977873	14,418922
508550000	-2,010492	-16,9933	-40,40897	-45,21234	-40,34326	-44,44238	-1,910492	3,4990075
511500000	-1,998726	-28,24375	-41,15054	-54,60672	-40,9436	-53,8488	-1,893442	-7,701242
514450000	-2,014349	-39,76635	-41,74336	-63,73185	-41,56516	-63,0824	-1,922595	-18,60631
517400000	-2,000529	-51,10541	-42,37611	-72,98482	-42,17719	-73,08308	-1,915553	-29,81505
520350000	-1,976288	-62,97523	-42,97865	-82,3006	-42,8102	-81,74593	-1,873441	-40,88566
523300000	-1,965724	-74,48243	-43,58826	-90,81769	-43,38305	-90,72196	-1,86229	-52,31219
526250000	-1,949172	-85,73741	-44,20189	-99,53719	-43,9739	-100,304	-1,889034	-63,61489
529200000	-1,942849	-97,19834	-44,71937	-107,1939	-44,52312	-108,642	-1,848779	-74,41487
532150000	-1,952405	-108,7067	-45,33108	-115,3195	-45,10998	-116,9033	-1,861326	-85,67175
535100000	-1,946244	-120,4838	-45,73554	-123,4142	-45,71584	-125,6946	-1,873923	-97,33321
538050000	-1,949875	-131,7375	-46,28168	-131,3536	-46,18907	-133,0433	-1,87566	-108,5226
541000000	-1,949698	-143,5115	-46,74263	-139,6198	-46,75023	-141,9413	-1,855349	-119,6334
543950000	-1,960341	-154,7783	-47,14852	-147,4728	-47,23532	-149,477	-1,876461	-131,4623
546900000	-1,949197	-166,2499	-47,5495	-155,4746	-47,70182	-157,6098	-1,901372	-142,5223
549850000	-2,019435	-177,9588	-47,99258	-163,7451	-48,13809	-165,6956	-1,927026	-154,3067
552800000	-1,981421	170,85906	-48,32084	-171,5957	-48,58597	-173,6881	-1,90751	-165,3668
555750000	-1,995449	159,42497	-48,71204	179,75046	-48,9023	178,2524	-1,939379	-176,8463
558700000	-2,008282	148,21503	-48,99512	170,57461	-49,22854	171,01639	-1,9447	172,1603
561650000	-2,022227	136,88876	-49,45455	162,2705	-49,66239	162,4913	-1,97667	160,01431
564600000	-2,023675	125,56282	-49,85881	153,64781	-49,97419	153,53432	-1,98656	148,98091
567550000	-2,016944	114,32852	-50,12293	145,36749	-50,30809	145,29511	-1,986634	138,03661
570500000	-2,036336	102,99635	-50,45945	135,98476	-50,73947	136,94224	-1,985483	126,78406
573450000	-2,044542	91,987314	-50,84846	127,19793	-50,95015	127,99341	-2,013538	115,9696
576400000	-2,027991	80,896718	-51,28134	117,7202	-51,59295	119,24381	-2,001324	104,56606
579350000	-2,032492	69,89918	-51,69744	108,48058	-51,76768	109,83619	-2,010318	93,506366
582300000	-2,021633	58,925872	-52,2643	99,060974	-52,16861	100,63237	-2,050546	82,481635
585250000	-2,026063	47,828121	-52,75141	89,768741	-52,76734	92,504673	-1,969981	71,857148
588200000	-2,034867	36,73896	-52,99861	82,378893	-52,84625	84,166062	-1,988753	60,569728
591150000	-2,026783	25,717897	-53,67732	73,354024	-53,36304	75,268498	-1,990661	49,61644
594100000	-2,015715	14,699794	-53,88451	66,530833	-53,801	65,827665	-1,981441	38,702749
597050000	-2,01389	3,5233005	-54,30334	57,692333	-54,25575	58,269857	-1,967785	28,126216
600000000	-1,996957	-7,39914	-54,3893	50,850055	-54,51441	50,391821	-1,979955	16,718338

Πίνακας Π.3.8: S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφών φάσης για τάση τροφοδοσίας 6V

S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφένων φάσης για τάση τροφοδοσίας 8V								
freq (MHz)	S11		S12		S21		S22	
	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase
10000000	-0,219152	-50,98569	-25,73225	48,384964	-25,7129	48,459689	-0,223364	-50,13865
12950000	-0,228294	-66,35722	-23,28798	36,973972	-23,27608	37,057209	-0,219618	-65,25433
15900000	-0,300139	-81,66842	-21,31713	25,135079	-21,28726	25,202114	-0,271567	-80,66761
18850000	-0,286742	-96,17664	-19,62086	12,664865	-19,61938	12,782973	-0,304049	-95,61347
21800000	-0,358808	-112,1387	-18,13786	0,1058336	-18,14691	-0,252502	-0,366282	-111,1992
24750000	-0,475872	-127,8375	-16,81429	-12,85421	-16,80103	-12,71964	-0,477019	-127,5862
27700000	-0,552174	-143,728	-15,61467	-25,3543	-15,58459	-25,55426	-0,533731	-142,4839
30650000	-0,636421	-159,2784	-14,47988	-38,99347	-14,47636	-38,75645	-0,619736	-158,6727
33600000	-0,723906	-175,3596	-13,437	-51,80045	-13,4387	-51,99351	-0,730432	-174,9457
36550000	-0,86184	168,70434	-12,4622	-65,37441	-12,46735	-65,30426	-0,78813	168,66669
39500000	-1,031315	151,75282	-11,4909	-78,69112	-11,48446	-78,75309	-0,979129	151,82143
42450000	-1,12289	135,10282	-10,54714	-92,31487	-10,55849	-92,27961	-1,142553	134,89741
45400000	-1,287247	118,00557	-9,649739	-106,5686	-9,641284	-106,4691	-1,328275	117,60086
48350000	-1,476362	100,19004	-8,758293	-121,0112	-8,741958	-120,6344	-1,536533	100,28527
51300000	-1,760288	82,356438	-7,835512	-135,694	-7,793532	-135,3677	-1,790828	82,272509
54250000	-2,137581	63,981939	-6,924382	-150,6519	-6,899472	-150,2284	-2,188756	63,625826
57200000	-2,535749	44,119497	-6,067165	-166,4382	-6,054048	-166,4674	-2,525929	44,757237
60150000	-3,090504	24,491264	-5,217082	176,92209	-5,198094	176,79175	-3,063438	25,231975
63100000	-3,801874	4,0284869	-4,398535	159,55545	-4,416254	159,6267	-3,777884	4,8735799
66050000	-4,614385	-16,39697	-3,727706	141,75128	-3,764501	142,2857	-4,641498	-15,28384
69000000	-5,650445	-37,32408	-3,139151	123,47224	-3,094776	123,58432	-5,652857	-35,68529
71950000	-6,88664	-57,73923	-2,676663	104,88465	-2,661039	104,93864	-6,938843	-55,85811
74900000	-8,348195	-77,66173	-2,324586	86,245197	-2,316517	86,099937	-8,361271	-75,29507
77850000	-9,923979	-97,05841	-2,080692	67,710669	-2,09211	67,385518	-9,866675	-93,78161
80800000	-11,5596	-116,118	-1,874085	48,858148	-1,865869	48,8102	-11,52338	-113,1447
83750000	-13,27666	-135,4054	-1,743921	30,208243	-1,715014	30,225838	-13,27411	-132,4759
86700000	-15,16638	-154,0163	-1,668728	11,748803	-1,658646	11,970952	-15,24569	-151,8636
89650000	-17,29876	-172,2153	-1,600517	-6,726031	-1,571333	-6,395487	-17,53557	-171,36
92600000	-19,97663	167,62304	-1,571774	-25,05966	-1,54827	-25,50512	-20,41687	166,26162
95550000	-23,3862	145,38458	-1,552442	-43,75347	-1,564013	-43,78577	-24,2886	138,64673
98500000	-27,81046	121,09634	-1,572582	-62,55418	-1,583022	-62,70963	-28,94838	100,90744
101450000	-33,77761	92,200079	-1,643247	-81,73176	-1,618649	-81,74484	-32,78333	38,371318
104400000	-42,28921	40,19953	-1,698112	-101,2424	-1,66049	-100,8851	-31,44201	-23,6758
107350000	-44,85321	-51,32595	-1,724123	-119,9354	-1,648501	-120,6173	-28,97887	-59,90486
110300000	-44,69	-74,75281	-1,796527	-139,5447	-1,76307	-140,102	-27,66778	-83,31902
113250000	-42,00994	-34,24907	-1,807464	-159,9126	-1,825845	-159,5923	-26,93994	-97,45587
116200000	-33,23422	-28,1444	-1,888705	179,23501	-1,888369	179,84788	-25,95594	-106,7197
119150000	-27,57017	-43,66427	-1,975928	157,92289	-1,985401	158,11809	-24,37446	-116,3187
122100000	-23,5433	-66,1836	-2,112337	136,25202	-2,073355	136,48206	-22,33831	-129,667
125050000	-20,60925	-90,37981	-2,196705	113,72021	-2,152756	113,63728	-20,24319	-148,6493
128000000	-18,60882	-115,8346	-2,294033	90,76736	-2,279406	91,104891	-18,56119	-171,5672
130950000	-17,19337	-141,6184	-2,417956	67,071331	-2,399843	67,311868	-17,2897	162,22737
133900000	-16,42248	-167,9528	-2,541905	42,436214	-2,547949	42,514364	-16,46223	134,18039
136850000	-16,09175	166,8795	-2,688897	16,903576	-2,651286	17,473593	-16,17431	104,32591
139800000	-16,3075	142,52798	-2,766268	-9,080755	-2,740303	-8,526454	-16,5296	73,386876
142750000	-17,02826	120,61445	-2,882878	-36,39687	-2,814009	-35,68566	-17,73307	40,619485
145700000	-18,09463	103,15598	-2,924771	-64,45907	-2,895905	-64,10802	-20,18218	4,7013589
148650000	-18,99253	91,498811	-2,999825	-93,25201	-2,993171	-93,15313	-24,79857	-38,78186
151600000	-19,21325	81,68583	-3,070904	-123,0009	-3,090439	-123,0545	-31,50075	-122,5055

154550000	-18,83842	70,302614	-3,136505	-153,1364	-3,161704	-153,2664	-26,86271	140,18877
157500000	-18,43691	55,036602	-3,210266	175,85924	-3,203547	176,24007	-22,62172	95,47945
160450000	-18,45766	37,848518	-3,215217	145,44174	-3,250531	145,12256	-20,84396	60,901729
163400000	-19,00125	21,872539	-3,225192	114,51125	-3,26416	114,65172	-20,62653	32,317078
166350000	-19,8752	9,5540581	-3,306515	83,736969	-3,260503	84,044027	-21,71845	8,8632814
169300000	-20,41551	3,4710435	-3,282989	53,068563	-3,284532	53,210385	-23,87097	-4,663872
172250000	-19,87753	0,801727	-3,294173	23,238055	-3,313735	23,341051	-25,77276	1,2490918
175200000	-18,32344	-5,050174	-3,324306	-6,270768	-3,333486	-6,094198	-23,53267	15,812184
178150000	-16,31247	-15,66541	-3,418971	-35,71135	-3,403794	-35,24505	-19,31619	11,091308
181100000	-14,22398	-31,55249	-3,483713	-63,71047	-3,46099	-62,92503	-15,86591	-6,808349
184050000	-12,32393	-50,912	-3,584919	-90,642	-3,640056	-89,81123	-13,24621	-29,77297
187000000	-10,79139	-72,10324	-3,807023	-117,0874	-3,815126	-116,7129	-11,34019	-54,54883
189950000	-9,561882	-95,04308	-4,033489	-141,9678	-4,025811	-141,8013	-9,949567	-79,68636
192900000	-8,709171	-118,0661	-4,245261	-166,0541	-4,224929	-166,1258	-9,019104	-104,8873
195850000	-8,217113	-141,398	-4,403105	170,74907	-4,451523	170,54004	-8,487261	-129,3516
198800000	-8,068354	-164,1664	-4,498939	148,53729	-4,506885	148,54921	-8,310151	-153,1735
201750000	-8,249115	173,66601	-4,527871	126,61553	-4,553979	126,72568	-8,498822	-175,7608
204700000	-8,89604	152,67925	-4,522986	105,19066	-4,520941	104,65714	-9,109049	163,21586
207650000	-10,08991	134,06921	-4,443652	82,715529	-4,447636	82,732699	-10,24542	144,58885
210600000	-11,95558	119,93235	-4,414203	59,863264	-4,434112	59,685224	-11,93224	131,89216
213550000	-14,22331	116,44752	-4,507795	36,356939	-4,507587	36,293794	-13,67756	129,28727
216500000	-14,706	127,46794	-4,805813	12,7885	-4,831883	12,815296	-13,52325	136,7782
219450000	-12,18975	132,36308	-5,31773	-10,64647	-5,343803	-10,57337	-11,23792	137,17676
222400000	-9,488492	122,31882	-6,065405	-33,70764	-6,083518	-33,5697	-8,83381	126,04449
225350000	-7,462337	105,81848	-7,000137	-55,48916	-7,00285	-55,52201	-6,969414	110,43128
228300000	-6,019695	87,789555	-8,074955	-76,37542	-8,058274	-76,07881	-5,653896	92,511856
231250000	-5,00591	68,936429	-9,214817	-95,77351	-9,221732	-95,51394	-4,708097	74,215104
234200000	-4,281458	50,717457	-10,41903	-113,837	-10,4097	-113,76	-4,008354	56,388083
237150000	-3,783925	32,2449	-11,65764	-131,2154	-11,65188	-130,7411	-3,526173	38,516254
240100000	-3,36301	14,751165	-12,94647	-147,5241	-12,93816	-147,4807	-3,147774	21,49858
243050000	-3,026085	-1,959886	-14,19788	-163,2529	-14,18354	-163,5522	-2,841191	5,6061393
246000000	-2,805335	-18,85288	-15,46463	-178,0729	-15,44976	-178,5475	-2,640009	-10,90441
248950000	-2,705774	-35,66637	-16,71399	167,66051	-16,69145	167,20972	-2,46228	-26,85866
251900000	-2,462057	-51,49357	-17,9495	154,39375	-17,92762	154,11518	-2,302557	-42,42717
254850000	-2,354976	-67,09957	-19,13948	142,09803	-19,11775	141,85086	-2,230114	-57,71786
257800000	-2,265276	-83,02895	-20,29254	129,75451	-20,31897	129,47589	-2,143136	-73,03399
260750000	-2,190016	-97,84316	-21,39965	118,59085	-21,45065	118,15258	-2,052363	-87,33488
263700000	-2,094129	-112,3478	-22,50784	107,64728	-22,55202	106,9567	-2,015458	-102,1961
266650000	-2,057067	-127,1367	-23,52254	96,852502	-23,58584	96,543777	-1,962384	-116,3672
269600000	-2,020597	-141,632	-24,52897	86,760372	-24,57603	86,299559	-1,924142	-130,4295
272550000	-1,961981	-155,228	-25,51828	76,457952	-25,60153	76,077636	-1,915333	-144,6628
275500000	-1,969005	-169,4022	-26,48453	66,478251	-26,56438	66,203741	-1,891414	-158,1807
278450000	-1,908901	177,45273	-27,49131	56,360378	-27,51482	56,48093	-1,883842	-171,7791
281400000	-1,899229	163,48617	-28,42973	46,824512	-28,4862	46,855799	-1,873395	174,65765
284350000	-1,875078	150,34975	-29,44012	36,746908	-29,45646	36,761654	-1,831876	161,72591
287300000	-1,909897	137,08773	-30,46768	27,008858	-30,5261	27,262381	-1,833662	148,269
290250000	-1,845855	123,90724	-31,59201	17,129914	-31,59051	17,548578	-1,786113	135,69721
293200000	-1,780759	110,74645	-32,76486	7,6841895	-32,77168	8,2783149	-1,8162	122,37451
296150000	-1,891459	97,896481	-34,07236	-1,63778	-34,08467	-1,161534	-1,789019	109,65903
299100000	-1,785786	84,924964	-35,5176	-10,41554	-35,51929	-9,88733	-1,763165	96,924967
302050000	-1,780167	72,649751	-37,12214	-18,47892	-37,10158	-18,01109	-1,75845	84,18819
305000000	-1,774308	59,435927	-38,92796	-25,10317	-38,91791	-24,70519	-1,776155	71,494361
307950000	-1,764134	46,639271	-40,99144	-30,2759	-40,95411	-29,97887	-1,760324	58,279783

310900000	-1,783464	34,200925	-43,35656	-32,23242	-43,33567	-31,99575	-1,747085	46,066177
313850000	-1,772132	20,672329	-46,00029	-29,19596	-46,00305	-29,61311	-1,769148	33,091799
316800000	-1,746362	8,078188	-48,529	-16,47802	-48,45253	-17,01801	-1,80246	20,536239
319750000	-1,76356	-5,313726	-49,58855	3,9251708	-49,53408	2,9881207	-1,801628	7,3502817
322700000	-1,769736	-17,84385	-48,47789	22,655892	-48,62595	22,166187	-1,848547	-5,857371
325650000	-1,762728	-31,55936	-46,98036	33,095868	-47,11846	32,479669	-1,842155	-19,26912
328600000	-1,793415	-44,42573	-45,69683	41,321455	-45,7211	40,845056	-2,000272	-32,62848
331550000	-1,808389	-57,72492	-44,32734	51,641202	-44,41466	50,85689	-2,161888	-46,53676
334500000	-1,893651	-71,10877	-41,94862	65,360981	-42,16368	65,718162	-2,44208	-60,2281
337450000	-1,901206	-84,51805	-37,94834	76,433615	-37,97265	76,441534	-2,87578	-74,78176
340400000	-1,99937	-98,2676	-32,82653	75,277774	-32,87956	75,603672	-3,617281	-88,48562
343350000	-2,113839	-111,6696	-27,92891	63,154058	-28,02327	62,874123	-4,777536	-100,2348
346300000	-2,299779	-126,0272	-23,90247	41,746736	-24,03021	41,682349	-5,854336	-105,3167
349250000	-2,48559	-138,9719	-21,01588	17,19942	-21,14516	17,029532	-6,038124	-107,2955
352200000	-2,781701	-153,1939	-19,03686	-7,697494	-19,11672	-7,20526	-5,299333	-112,9197
355150000	-3,167994	-167,7443	-17,5814	-30,86409	-17,58092	-30,16903	-4,536154	-122,5825
358100000	-3,738637	177,79444	-16,32723	-53,35999	-16,23833	-52,67441	-4,069177	-135,0019
361050000	-4,642164	163,78438	-15,19948	-75,73235	-15,07804	-75,21214	-3,875651	-147,4056
364000000	-6,02897	151,6747	-14,27141	-99,08864	-14,09621	-98,82954	-3,808689	-159,3052
366950000	-7,889825	144,54591	-13,57805	-123,0133	-13,42527	-123,5164	-3,798211	-170,5644
369900000	-9,236984	147,97492	-13,3511	-147,5636	-13,23751	-148,5486	-3,732377	178,85251
372850000	-8,698933	153,16499	-13,55665	-171,7273	-13,5127	-172,7872	-3,526653	168,81031
375800000	-7,122705	150,39712	-14,14882	166,19374	-14,13649	165,23544	-3,256465	158,0472
378750000	-5,754375	140,94048	-14,94372	146,59165	-14,9592	145,54945	-3,00199	146,30387
381700000	-4,770286	128,98633	-15,82609	128,21653	-15,85303	127,82211	-2,776131	134,45566
384650000	-4,119353	115,61969	-16,6831	112,19213	-16,71402	111,53648	-2,572803	122,62389
387600000	-3,660421	102,75604	-17,47224	97,580068	-17,51943	96,793434	-2,493704	110,48786
390550000	-3,346749	89,925457	-18,19554	83,756755	-18,23755	83,221686	-2,394368	98,562005
393500000	-3,132126	76,844691	-18,80484	71,341	-18,85468	70,439071	-2,321046	86,603771
396450000	-2,967238	63,999623	-19,33921	58,869142	-19,37525	58,162025	-2,314526	74,576496
399400000	-2,850598	51,656632	-19,76614	46,573772	-19,81369	45,785183	-2,259265	62,822409
402350000	-2,761704	39,071285	-20,135	34,290483	-20,16229	34,326537	-2,250515	51,072123
405300000	-2,7353	26,371256	-20,3243	22,8488	-20,4532	22,413232	-2,224988	39,132064
408250000	-2,672762	14,484633	-20,60136	10,517774	-20,65595	10,699897	-2,250397	27,65014
411200000	-2,670828	2,0264909	-20,75014	-1,694395	-20,80797	-1,552162	-2,24006	15,919932
414150000	-2,664532	-9,893724	-20,85131	-13,61566	-20,90821	-13,96435	-2,263046	4,2741213
417100000	-2,667879	-22,36526	-20,92214	-26,62574	-20,9857	-26,62848	-2,285012	-6,780741
420050000	-2,69851	-34,41206	-20,99621	-39,88645	-21,02071	-39,6894	-2,273037	-18,54676
423000000	-2,725287	-46,0918	-21,04744	-53,62124	-21,05363	-53,27137	-2,369308	-30,24788
425950000	-2,776603	-57,89838	-21,16091	-67,89614	-21,10485	-67,33754	-2,426888	-41,66154
428900000	-2,81329	-69,46574	-21,26498	-82,33125	-21,19215	-82,2166	-2,468454	-52,77275
431850000	-2,86948	-81,34482	-21,47541	-97,63525	-21,44995	-97,50896	-2,521213	-64,45334
434800000	-2,908879	-92,29072	-21,75766	-113,0396	-21,64133	-112,6356	-2,541494	-74,87295
437750000	-2,906729	-103,7438	-22,14081	-128,5319	-22,01922	-128,7102	-2,565255	-86,20551
440700000	-2,882073	-114,8441	-22,64056	-144,3172	-22,4983	-144,5526	-2,56439	-97,27103
443650000	-2,850855	-126,1755	-23,23098	-159,8104	-23,09592	-159,7396	-2,550593	-108,4957
446600000	-2,775223	-137,2094	-23,92086	-174,8476	-23,79644	-175,0807	-2,509448	-119,331
449550000	-2,699492	-148,1824	-24,73321	170,05572	-24,56387	169,25999	-2,454454	-130,5622
452500000	-2,617353	-159,7069	-25,58502	156,12006	-25,46754	155,53291	-2,406572	-141,6533
455450000	-2,549861	-171,2277	-26,48151	142,41159	-26,40007	141,43909	-2,325444	-152,9416
458400000	-2,474509	177,37662	-27,42711	129,83214	-27,35716	128,35923	-2,275337	-164,3625
461350000	-2,398156	166,10625	-28,34104	117,29472	-28,31914	116,28394	-2,23168	-175,6665
464300000	-2,359704	154,54286	-29,24865	105,60525	-29,25952	104,39329	-2,183075	172,43968

467250000	-2,295278	143,04772	-30,15743	94,133228	-30,21181	93,059235	-2,155885	161,29241
470200000	-2,30791	131,53231	-31,04843	83,06394	-31,11817	81,979041	-2,103625	149,82233
473150000	-2,255585	119,85877	-31,88784	72,615322	-31,99741	71,428836	-2,093858	138,52832
476100000	-2,200042	108,74959	-32,75115	62,041185	-32,85829	61,542865	-2,098458	126,77739
479050000	-2,17581	97,284074	-33,51096	52,294044	-33,66668	51,580153	-2,056621	115,57924
482000000	-2,174738	86,22624	-34,29234	42,296264	-34,45152	41,794306	-2,031999	104,33984
484950000	-2,12129	74,811087	-35,04743	32,693571	-35,19826	32,72869	-2,015794	93,146296
487900000	-2,120119	62,930597	-35,74638	23,145941	-35,87291	22,945654	-1,996429	82,051297
490850000	-2,086311	51,924322	-36,41712	13,458335	-36,53226	13,905735	-1,975859	70,534349
493800000	-2,060774	40,42954	-37,08289	3,2295274	-37,16967	4,3078174	-1,958673	59,539551
496750000	-2,047229	29,56461	-37,78237	-5,955711	-37,80488	-5,636646	-1,930801	48,427135
499700000	-2,044128	17,733624	-38,41188	-15,65199	-38,40962	-14,74211	-1,919309	37,329989
502650000	-2,069935	6,3395012	-39,06574	-25,49777	-39,05048	-23,80666	-1,928527	26,398044
505600000	-2,020157	-4,959519	-39,70162	-34,54288	-39,62326	-33,51888	-1,896423	15,228613
508550000	-2,015547	-16,11542	-40,34072	-44,17117	-40,24534	-43,2031	-1,904155	4,0964532
511500000	-1,99426	-27,39421	-40,96745	-53,61994	-40,86863	-52,93355	-1,926079	-6,715991
514450000	-2,011909	-39,10584	-41,67194	-62,97491	-41,46955	-62,34209	-1,89164	-18,11596
517400000	-1,987383	-50,21278	-42,31762	-71,97696	-42,02703	-71,6488	-1,888907	-29,47212
520350000	-1,976188	-62,23911	-42,93331	-81,16102	-42,65583	-81,28684	-1,842461	-40,55527
523300000	-1,965688	-73,9195	-43,53762	-89,77009	-43,2635	-90,11536	-1,859744	-52,01515
526250000	-1,927189	-85,53149	-44,13996	-98,29285	-43,92425	-98,77149	-1,858439	-62,78338
529200000	-1,967878	-96,95179	-44,66421	-106,5022	-44,51725	-107,6836	-1,863664	-74,37345
532150000	-1,943703	-108,425	-45,19201	-115,0299	-45,11273	-116,3398	-1,865403	-85,37842
535100000	-1,956144	-120,1033	-45,77259	-122,7829	-45,61556	-123,9719	-1,859086	-96,76449
538050000	-1,963323	-131,5091	-46,20132	-131,5347	-46,20107	-132,8295	-1,852111	-108,0398
541000000	-1,951696	-142,9087	-46,73865	-138,7476	-46,66013	-140,5629	-1,888081	-119,7196
543950000	-1,957201	-154,4949	-47,1956	-147,2615	-47,13484	-149,3573	-1,891492	-130,667
546900000	-1,956405	-165,6219	-47,54599	-154,5645	-47,63773	-156,9622	-1,877822	-142,115
549850000	-2,007821	-177,0198	-47,90839	-163,5501	-48,03437	-164,5524	-1,9072	-153,4653
552800000	-1,991408	171,04839	-48,36518	-171,022	-48,50369	-173,1934	-1,938626	-165,3945
555750000	-1,993247	159,88549	-48,61391	-178,9651	-48,90104	178,9627	-1,92454	-176,2352
558700000	-2,012615	148,53414	-49,0153	172,43994	-49,17319	170,74377	-1,952242	172,2968
561650000	-2,002793	137,49979	-49,41188	163,28292	-49,50235	162,91694	-1,969092	160,8243
564600000	-2,014134	126,08352	-49,71333	154,75372	-49,97109	154,66662	-1,973394	149,65251
567550000	-2,031161	114,48943	-50,00999	145,70168	-50,30912	146,40887	-2,000878	138,10239
570500000	-2,034586	103,49737	-50,52725	135,92304	-50,75868	137,65037	-1,997893	127,02667
573450000	-2,096564	92,360122	-50,93516	126,56279	-51,07348	127,24796	-2,001657	115,86329
576400000	-2,033081	81,221909	-51,35805	117,65464	-51,40933	118,54583	-1,997113	104,94061
579350000	-2,028576	70,53311	-51,72251	109,41881	-51,77952	110,27661	-2,004309	93,642986
582300000	-2,033041	59,223252	-52,24407	100,47301	-52,22012	101,38954	-2,003921	82,737499
585250000	-2,031742	48,150866	-52,39338	90,995838	-52,58907	92,838391	-2,001147	72,062834
588200000	-2,026485	37,43034	-53,14809	82,026625	-53,07352	83,688938	-1,972972	61,797573
591150000	-2,019534	26,013805	-53,5339	74,562278	-53,43496	74,138651	-1,975764	50,110805
594100000	-2,02424	15,020644	-53,84517	65,879267	-53,88948	67,002298	-1,981539	39,14644
597050000	-2,009597	3,6517919	-54,5551	56,967919	-54,1917	59,140461	-1,980896	28,197804
600000000	-2,002525	-7,368261	-54,57467	50,939626	-54,63342	49,972957	-1,959595	17,496778

Πίνακας Π.3.9 : S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφών φάσης για τάση τροφοδοσίας 8V

S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφών φάσης για τάση τροφοδοσίας 10V

freq (MHz)	S11		S12		S21		S22	
	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase
1000000	-0,244083	-49,59308	-25,24511	50,200602	-25,2729	50,29795	-0,184972	-49,12439
1295000	-0,258875	-64,53135	-22,81852	38,740266	-22,82456	38,879179	-0,223515	-63,49095
1590000	-0,288758	-79,57028	-20,86157	26,896392	-20,86912	27,144206	-0,289557	-78,38882
1885000	-0,365761	-94,47633	-19,22105	15,722347	-19,19548	16,066421	-0,336692	-92,96588
2180000	-0,375763	-109,4553	-17,7396	3,2906522	-17,73515	3,1843945	-0,402626	-108,233
2475000	-0,411551	-124,7135	-16,45165	-8,991157	-16,45275	-8,945263	-0,425164	-122,8336
2770000	-0,54576	-140,0662	-15,26086	-21,59856	-15,24987	-21,42055	-0,542866	-138,8325
3065000	-0,634803	-155,5864	-14,18414	-34,31078	-14,17046	-34,01577	-0,672855	-153,8694
3360000	-0,749712	-171,3324	-13,16356	-46,7614	-13,17093	-46,85892	-0,708975	-169,8729
3655000	-0,835745	173,41863	-12,1889	-59,74188	-12,22476	-59,58181	-0,878006	174,87249
3950000	-0,941824	157,7513	-11,30586	-72,5607	-11,30859	-72,63937	-0,944943	159,1475
4245000	-1,091825	141,8315	-10,41543	-85,26455	-10,42121	-85,38084	-1,082788	143,19319
4540000	-1,263918	125,52581	-9,588267	-98,5775	-9,567066	-98,28512	-1,31432	126,30745
4835000	-1,475591	108,51719	-8,734655	-111,6173	-8,739722	-111,8634	-1,477454	110,08083
5130000	-1,691113	91,276842	-7,901586	-125,5094	-7,915968	-125,5456	-1,732668	92,709766
5425000	-1,973524	74,073668	-7,090653	-139,1729	-7,089817	-139,3214	-1,968394	75,594918
5720000	-2,350153	55,669858	-6,282231	-154,0344	-6,283122	-154,1655	-2,331689	58,011378
6015000	-2,811053	37,209312	-5,494327	-168,9543	-5,511681	-169,2346	-2,80175	40,187722
6310000	-3,315899	18,535274	-4,778927	175,32673	-4,788667	175,44329	-3,324608	21,916389
6605000	-3,97251	-0,533166	-4,111179	159,54375	-4,117186	159,13252	-4,019621	3,3153622
6900000	-4,795238	-19,45555	-3,485663	143,13318	-3,521151	143,19679	-4,761053	-15,24703
7195000	-5,724916	-39,09466	-3,014741	126,09079	-2,974859	126,40039	-5,695423	-34,56077
7490000	-6,780041	-57,94941	-2,567045	109,46447	-2,540136	109,94638	-6,742804	-52,6828
7785000	-7,985251	-77,08784	-2,246511	93,06096	-2,238032	93,051214	-7,911569	-70,66175
8080000	-9,22964	-95,20639	-1,995704	75,721229	-2,009347	76,079519	-9,130784	-88,43142
8375000	-10,60142	-113,4704	-1,800054	59,127877	-1,817159	58,989488	-10,43226	-106,2538
8670000	-12,06484	-131,281	-1,666656	42,349006	-1,664792	42,676713	-11,90771	-123,4591
8965000	-13,59061	-148,5974	-1,573454	26,458787	-1,590011	26,295806	-13,48078	-141,2747
9260000	-15,25919	-166,7715	-1,566187	9,752911	-1,519913	9,7552943	-15,14455	-159,2328
9555000	-17,11125	175,11687	-1,509919	-6,071888	-1,48475	-6,214919	-16,98125	-177,1177
9850000	-19,16441	156,02615	-1,465344	-22,26049	-1,459627	-22,37914	-19,15794	162,97202
10145000	-21,63131	134,78246	-1,488674	-38,8734	-1,458032	-38,61546	-21,72416	140,3212
10440000	-24,33225	111,01123	-1,474268	-54,85285	-1,490911	-54,69963	-24,61605	114,97885
10735000	-27,45085	84,914262	-1,457624	-70,6277	-1,479323	-70,78606	-27,84605	84,833887
11030000	-30,45168	50,878182	-1,501237	-87,24085	-1,518786	-86,9016	-30,75967	47,271385
11325000	-32,4016	13,533086	-1,513768	-103,1062	-1,558244	-103,491	-32,11137	7,1687473
11620000	-32,68549	-20,01286	-1,532385	-119,4497	-1,553712	-119,6206	-31,72619	-25,71991
11915000	-31,94881	-41,66781	-1,605059	-136,6144	-1,564886	-136,0717	-30,89319	-47,5553
12210000	-30,44026	-53,25133	-1,604178	-152,853	-1,620515	-153,0033	-29,44179	-59,21778
12505000	-28,06774	-62,24909	-1,658735	-169,9613	-1,672739	-169,7057	-27,31909	-69,22264
12800000	-25,57867	-73,22492	-1,743007	172,48828	-1,714628	172,53405	-25,03373	-81,93363
13095000	-23,05054	-87,48387	-1,784919	155,49158	-1,797912	155,23923	-22,7399	-97,54536
13390000	-20,7985	-104,6085	-1,854778	137,65836	-1,884722	137,63984	-20,55973	-115,7214
13685000	-18,84973	-123,4621	-1,946228	119,6092	-1,980916	119,67329	-18,65416	-135,7676
13980000	-17,14466	-143,6442	-2,041196	101,27937	-2,078389	101,14735	-16,98766	-157,8015
14275000	-15,81466	-165,0127	-2,144414	82,462351	-2,148334	82,296068	-15,62238	179,07568
14570000	-14,74335	173,14139	-2,2941	62,962439	-2,27181	63,235913	-14,49602	155,85183
14865000	-13,95661	150,66382	-2,432847	43,046054	-2,386341	43,603833	-13,61051	131,92905
15160000	-13,38203	128,85737	-2,548647	22,799776	-2,499468	22,949799	-12,97581	107,92455
15455000	-13,05455	106,76906	-2,613642	2,3394021	-2,616983	2,3687477	-12,67961	83,055738
15750000	-12,99985	84,647965	-2,688258	-19,1068	-2,696667	-19,51777	-12,60841	58,685481
16045000	-13,18922	63,131042	-2,75509	-41,17993	-2,714966	-41,28303	-12,87941	34,159098
16340000	-13,61331	42,95064	-2,81299	-65,17662	-2,794342	-65,13504	-13,58167	9,0233165
16635000	-14,28885	23,494612	-2,86245	-89,76419	-2,853555	-89,65514	-14,76128	-15,62311
16930000	-15,17654	5,4923623	-2,928596	-115,9174	-2,954136	-115,9699	-16,73279	-41,25482

172250000	-16,25739	-10,55149	-3,010932	-143,2418	-3,029186	-142,9159	-19,79	-66,03552
175200000	-17,35705	-22,85707	-3,135497	-172,009	-3,175886	-171,9334	-25,78432	-88,77267
178150000	-18,19423	-30,80492	-3,272184	158,17548	-3,297291	158,56593	-40,54506	-13,35974
181100000	-18,29246	-35,91819	-3,464332	126,67097	-3,456654	127,42505	-25,10516	15,483868
184050000	-17,41639	-43,66598	-3,655809	94,316395	-3,649389	94,612209	-20,32908	-11,02575
187000000	-16,38713	-55,97572	-3,854141	60,337744	-3,844446	61,114334	-18,50565	-40,00328
189950000	-15,80605	-70,07845	-4,049729	26,137823	-4,035898	26,826443	-18,959	-67,03765
192900000	-15,40718	-79,31156	-4,299746	-9,570956	-4,282254	-9,156784	-21,84318	-76,6457
195850000	-13,95152	-83,41677	-4,667309	-45,70449	-4,639922	-45,5032	-20,39313	-48,22632
198800000	-11,04396	-93,7033	-5,232079	-82,1544	-5,176962	-81,39643	-13,88975	-56,42946
201750000	-8,378247	-113,5869	-5,999402	-117,0834	-5,972194	-116,6751	-9,659451	-83,32031
204700000	-6,483263	-138,4958	-6,828343	-149,8168	-6,845143	-149,672	-7,249237	-113,3667
207650000	-5,404395	-164,1999	-7,564073	-179,6637	-7,565128	-179,3566	-5,873808	-141,7117
210600000	-4,848244	171,30116	-8,005113	152,61638	-8,045279	152,25992	-5,169575	-168,5218
213550000	-4,761842	146,63244	-8,136807	125,52527	-8,176072	125,36609	-4,926225	166,46631
216500000	-5,134215	123,76124	-7,966131	97,992866	-7,994382	98,371603	-5,168502	142,79726
219450000	-6,147793	102,54924	-7,609711	69,3615	-7,662742	69,260373	-5,945823	121,73105
222400000	-7,928412	87,078004	-7,420053	38,240779	-7,427622	38,28187	-7,202187	106,10933
225350000	-9,54541	84,581806	-7,685991	5,2517484	-7,707386	4,9364274	-8,003906	100,40064
228300000	-8,575592	86,828188	-8,65417	-27,42492	-8,635529	-27,34551	-7,144367	95,954954
231250000	-6,527865	76,925801	-10,16073	-57,2488	-10,14334	-56,68339	-5,625113	83,890329
234200000	-5,024456	59,753124	-11,90614	-82,97221	-11,88098	-82,42149	-4,448976	67,407131
237150000	-4,074261	41,594749	-13,70586	-105,2088	-13,65799	-105,1778	-3,677546	49,454225
240100000	-3,483029	23,210836	-15,45689	-125,8169	-15,42164	-125,5481	-3,148956	32,266851
243050000	-3,046338	5,7629753	-17,1195	-144,0033	-17,06994	-143,8887	-2,809454	14,694155
246000000	-2,772394	-12,00418	-18,72419	-160,8461	-18,66384	-161,0373	-2,520701	-2,31219
248950000	-2,581084	-28,4865	-20,20708	-176,0147	-20,18461	-176,383	-2,384024	-18,59278
251900000	-2,429703	-45,22723	-21,63169	169,03311	-21,60811	169,15658	-2,235852	-34,51707
254850000	-2,298441	-61,14509	-22,99553	155,6183	-22,99794	155,45198	-2,147897	-50,17639
257800000	-2,215419	-77,42748	-24,29779	142,98256	-24,29516	142,43714	-2,105305	-65,2987
260750000	-2,137931	-92,70943	-25,53764	130,82139	-25,56155	130,42752	-2,001758	-80,58963
263700000	-2,061133	-108,0077	-26,71486	119,27945	-26,7457	119,06549	-1,947193	-95,56171
266650000	-2,027521	-122,4664	-27,83188	108,47914	-27,86092	108,07037	-1,938911	-110,3515
269600000	-1,975928	-136,897	-28,91933	97,824064	-28,96089	97,555551	-1,902598	-124,3257
272550000	-1,94276	-151,3929	-29,98931	87,558986	-30,02844	87,322325	-1,929723	-138,8348
275500000	-1,897127	-164,9304	-31,03241	77,535067	-31,10341	77,282234	-1,837408	-152,689
278450000	-1,890382	-179,1131	-32,0706	67,675264	-32,12616	67,717677	-1,826823	-166,315
281400000	-1,867053	167,20776	-33,13043	57,836267	-33,18757	57,774513	-1,855739	179,69907
284350000	-1,828782	153,82303	-34,24302	48,271798	-34,2932	48,492751	-1,850558	166,06504
287300000	-1,885898	140,43871	-35,40714	38,784787	-35,45763	38,97063	-1,791039	153,00855
290250000	-1,818438	127,02333	-36,66433	29,725181	-36,68949	30,024693	-1,785028	139,87116
293200000	-1,827974	113,98956	-38,05145	20,674037	-38,04709	21,59875	-1,794752	126,45074
296150000	-1,803506	100,98687	-39,56407	12,980485	-39,553	12,982094	-1,818869	113,62315
299100000	-1,787552	88,590685	-41,27118	5,4638313	-41,2268	5,9197213	-1,751544	100,32572
302050000	-1,78891	74,900477	-43,28593	0,0378894	-43,19466	0,2486402	-1,76552	87,348628
305000000	-1,794984	61,569176	-45,47157	-2,752979	-45,32796	-2,546167	-1,790187	74,74062
307950000	-1,752242	49,096989	-47,76765	-1,135928	-47,70134	-0,835492	-1,768327	61,00222
310900000	-1,755018	35,86832	-50,18338	7,3460979	-49,9274	6,5190877	-1,762559	48,862075
313850000	-1,751096	23,076825	-51,44923	22,42159	-51,56469	22,114235	-1,77341	35,828664
316800000	-1,754195	9,9855584	-51,32999	40,298731	-51,26099	39,561213	-1,787163	22,949702
319750000	-1,739788	-2,93655	-50,21631	51,893999	-50,2019	50,929799	-1,819068	9,9822801
322700000	-1,804114	-16,54436	-49,00897	59,489787	-49,08453	58,619287	-1,848995	-3,524147
325650000	-1,77352	-29,55015	-48,04946	67,520981	-48,12345	66,68525	-1,920958	-16,90046
328600000	-1,810496	-43,19818	-46,92233	78,623001	-46,99509	77,80455	-2,034091	-30,61329
331550000	-1,836201	-56,39003	-44,58267	93,057544	-44,61139	92,897923	-2,207202	-43,93537
334500000	-1,916324	-69,54136	-40,62094	103,21036	-40,68781	103,77106	-2,452261	-58,44278
337450000	-1,934155	-83,19851	-35,87008	104,20313	-35,90103	103,67701	-2,866725	-72,8886
340400000	-2,041886	-97,23669	-31,05742	96,07305	-31,12213	95,377635	-3,547832	-87,30789
343350000	-2,160794	-110,6022	-26,63376	79,913859	-26,70093	79,132653	-4,636873	-99,93864

346300000	-2,380303	-124,6054	-22,88183	57,317062	-22,97664	57,254007	-6,023374	-107,6353
349250000	-2,565778	-138,0385	-20,10991	31,096706	-20,20677	31,188964	-6,680305	-108,0913
352200000	-2,809364	-151,8201	-18,19835	4,3238849	-18,30685	5,5158987	-6,030851	-110,4881
355150000	-3,163324	-166,3412	-16,88957	-20,05082	-16,92074	-19,05218	-5,074775	-119,2952
358100000	-3,695294	178,97517	-15,826	-43,04527	-15,78632	-42,17048	-4,411813	-131,0811
361050000	-4,520504	164,48384	-14,88834	-66,04245	-14,76058	-65,35765	-4,034736	-143,3615
364000000	-5,791433	151,11039	-14,06941	-89,22262	-13,8725	-88,52962	-3,895646	-155,8384
366950000	-7,6505	141,81777	-13,4066	-113,2805	-13,23037	-113,2154	-3,864176	-167,6498
369900000	-9,584758	142,23258	-13,09499	-137,7455	-12,97165	-138,2088	-3,832864	-178,6597
372850000	-9,787874	150,84836	-13,22435	-161,9609	-13,15428	-162,8838	-3,65096	171,24197
375800000	-8,138021	152,52266	-13,75849	174,9008	-13,75458	173,99997	-3,385372	160,52078
378750000	-6,444335	144,79605	-14,56441	154,1539	-14,58154	153,04992	-3,110578	148,86474
381700000	-5,244985	132,57302	-15,47279	135,31756	-15,46137	134,56513	-2,858385	137,05379
384650000	-4,413255	119,80441	-16,37918	118,19267	-16,41335	118,08408	-2,658932	125,22993
387600000	-3,863229	106,2833	-17,25634	103,29554	-17,27391	102,29433	-2,514652	113,0172
390550000	-3,480274	93,105103	-18,04361	89,204315	-18,08626	88,57606	-2,4129	100,76979
393500000	-3,194924	80,048358	-18,7241	76,262984	-18,78774	75,689885	-2,340607	88,498011
396450000	-3,012081	67,151525	-19,31608	63,472842	-19,37439	62,805725	-2,286614	76,376013
399400000	-2,888041	53,846628	-19,8078	51,16287	-19,85799	50,992295	-2,217985	64,918986
402350000	-2,749916	41,75546	-20,21518	39,255025	-20,28666	38,989328	-2,224595	52,993164
405300000	-2,699467	29,306862	-20,54217	27,178179	-20,62352	27,145679	-2,210816	40,916803
408250000	-2,658945	16,662424	-20,79244	15,376508	-20,86299	15,580578	-2,179242	28,98716
411200000	-2,62819	3,9194262	-20,97298	3,6034385	-21,04328	3,2550257	-2,19449	17,7678
414150000	-2,603804	-8,323766	-21,12998	-8,794486	-21,16241	-8,585112	-2,234614	5,6903151
417100000	-2,626972	-20,54906	-21,19837	-21,63091	-21,27014	-21,46065	-2,241576	-5,572075
420050000	-2,672536	-33,11356	-21,28825	-34,19473	-21,28888	-34,05707	-2,272964	-17,60544
423000000	-2,686389	-45,19044	-21,32819	-47,90927	-21,31751	-46,82596	-2,292278	-28,70572
425950000	-2,697956	-56,69084	-21,37902	-61,59395	-21,35762	-60,92093	-2,352659	-40,7733
428900000	-2,742341	-68,51562	-21,48258	-76,22056	-21,42732	-75,62751	-2,397824	-51,71427
431850000	-2,780316	-80,21647	-21,61665	-91,01633	-21,54002	-90,24531	-2,444691	-62,96844
434800000	-2,824768	-91,71396	-21,83695	-106,1904	-21,7445	-105,9393	-2,487184	-74,38964
437750000	-2,857451	-103,09	-22,11829	-121,5007	-22,02314	-121,6332	-2,528017	-85,62375
440700000	-2,8621	-114,1932	-22,53185	-137,3101	-22,41638	-137,5248	-2,546671	-96,63505
443650000	-2,848458	-125,5976	-23,05346	-152,9706	-22,92474	-153,4375	-2,572798	-107,3243
446600000	-2,793923	-136,3492	-23,69609	-168,7864	-23,54664	-168,9634	-2,512272	-118,4614
449550000	-2,751247	-148,0513	-24,42201	176,29724	-24,31824	175,85872	-2,485462	-129,5019
452500000	-2,674178	-159,0136	-25,22248	161,13268	-25,14859	160,74825	-2,421383	-141,162
455450000	-2,589949	-170,3468	-26,09776	147,41274	-26,04773	146,41418	-2,384421	-152,2618
458400000	-2,589762	177,99474	-27,02506	133,99846	-26,9813	132,96955	-2,317194	-163,6226
461350000	-2,434225	166,76656	-27,94162	121,1898	-27,96328	120,19764	-2,244744	-175,5782
464300000	-2,377654	155,28932	-28,87788	109,04523	-28,89936	107,40164	-2,222506	173,35677
467250000	-2,342655	143,52688	-29,79659	97,267448	-29,85525	96,11911	-2,214419	161,42501
470200000	-2,328897	132,34777	-30,71644	85,775989	-30,7846	84,531531	-2,147782	150,46352
473150000	-2,273152	120,96146	-31,59237	75,035637	-31,68464	74,05125	-2,122861	138,89783
476100000	-2,209013	109,44766	-32,45182	64,179636	-32,55673	63,844982	-2,088628	127,51861
479050000	-2,195277	97,936573	-33,25512	54,052074	-33,37513	53,763976	-2,036105	116,07689
482000000	-2,140336	86,736486	-34,01189	44,375764	-34,20601	43,716992	-2,054937	104,96761
484950000	-2,129604	75,231246	-34,76501	34,52855	-34,96028	34,377698	-2,027788	93,57535
487900000	-2,134113	63,812019	-35,5066	24,589359	-35,65846	24,975948	-2,052633	82,671557
490850000	-2,057982	52,728397	-36,19349	14,923321	-36,36198	15,21717	-1,972692	71,182591
493800000	-2,094495	41,481239	-36,88206	4,8600777	-37,01151	5,9761176	-1,981757	60,19423
496750000	-2,062732	30,001172	-37,57328	-4,467497	-37,65884	-3,580833	-1,964091	49,202906
499700000	-2,047634	18,657192	-38,23603	-14,2649	-38,26385	-13,58314	-1,979984	38,156742
502650000	-2,026049	7,3059251	-38,90748	-23,98655	-38,89744	-23,34504	-1,972689	26,707184
505600000	-2,07783	-4,551301	-39,61084	-33,37341	-39,48533	-32,5949	-1,93931	15,603096
508550000	-2,022953	-15,69336	-40,20666	-42,88271	-40,18528	-42,44429	-1,913342	4,6253614
511500000	-2,016225	-27,22371	-40,8601	-52,64806	-40,7437	-51,40599	-1,937614	-6,551129
514450000	-1,99457	-38,72139	-41,53263	-61,95896	-41,3584	-61,65827	-1,917873	-17,92768
517400000	-1,998582	-50,03367	-42,20165	-71,48521	-42,00612	-70,96609	-1,884835	-28,94972

520350000	-1,973219	-61,52791	-42,76642	-80,29301	-42,63144	-80,47085	-1,866984	-39,8163
523300000	-1,965464	-73,29835	-43,43111	-89,19901	-43,23754	-89,49034	-1,887915	-51,29893
526250000	-1,98198	-84,91893	-44,05911	-97,31349	-43,81792	-98,37027	-1,86286	-62,20158
529200000	-2,017745	-96,35242	-44,52784	-105,7832	-44,41163	-107,0422	-1,881088	-73,95296
532150000	-1,978487	-108,1772	-45,16314	-113,4727	-45,05105	-115,4086	-1,869723	-85,06273
535100000	-1,953779	-119,4281	-45,64028	-122,2605	-45,47956	-123,4297	-1,876951	-96,38739
538050000	-1,963203	-131,0877	-46,21468	-130,6282	-46,10141	-131,9709	-1,90171	-107,8955
541000000	-1,960106	-142,9739	-46,70089	-137,7965	-46,67901	-140,3704	-1,898821	-119,0302
543950000	-1,98333	-154,4221	-47,11754	-146,4185	-47,19255	-148,3221	-1,906903	-130,7893
546900000	-1,986235	-165,8797	-47,46266	-153,7568	-47,59501	-156,5677	-1,94653	-142,0379
549850000	-1,979724	-177,2384	-47,95531	-162,6337	-48,05692	-163,9603	-1,922275	-153,5961
552800000	-2,009396	171,22408	-48,256	-170,779	-48,4388	-171,8903	-1,924991	-165,0452
555750000	-1,996376	160,11502	-48,70732	-178,3451	-48,96016	179,70491	-1,952182	-176,4841
558700000	-2,010911	148,78369	-49,07194	171,916	-49,30155	171,32928	-2,001412	172,57522
561650000	-2,082976	137,31683	-49,35417	164,03591	-49,56994	162,77735	-1,978186	161,07291
564600000	-2,027425	126,32242	-49,75845	154,73379	-49,96601	155,0712	-1,997521	149,63357
567550000	-2,03537	115,15726	-50,09853	145,69392	-50,35129	146,19168	-1,993305	138,4657
570500000	-2,041949	104,01497	-50,49259	136,8783	-50,75191	136,95202	-1,978353	127,1613
573450000	-2,064072	92,857434	-50,95772	127,80419	-50,98271	128,7498	-2,01836	115,89427
576400000	-2,04412	81,602195	-51,40201	117,73732	-51,44447	119,37943	-2,02005	105,12329
579350000	-2,026381	70,725353	-51,72655	109,60152	-51,77776	112,01424	-2,0168	93,767587
582300000	-2,000375	59,430879	-52,25348	100,49858	-52,27965	102,16323	-2,012343	83,019052
585250000	-2,031796	48,506243	-52,64374	92,519173	-52,74413	92,032622	-2,009432	72,232523
588200000	-2,030147	37,460689	-53,29339	83,558162	-52,88912	83,679676	-2,012283	61,045723
591150000	-2,023378	26,308231	-53,75508	74,170913	-53,45463	75,118787	-1,984274	49,954833
594100000	-2,024877	15,099679	-54,14756	67,051656	-53,86813	67,398149	-1,981143	39,565048
597050000	-2,01832	4,1662552	-54,40853	59,252528	-54,24472	59,151736	-1,976492	28,299002
600000000	-1,993046	-7,005243	-54,72393	51,538095	-54,58522	50,728532	-1,966291	17,53105

Πίνακας Π.3.10: S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφών φάσης για τάση τροφοδοσίας 10V

S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφών φάσης για τάση τροφοδοσίας 12V								
freq (MHz)	S11		S12		S21		S22	
	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase
10000000	-0,240398	-49,0406	-25,08833	50,79605	-25,0829	50,766829	-0,20542	-48,27818
12950000	-0,256337	-64,08946	-22,66356	39,428056	-22,66455	39,342769	-0,269224	-62,99832
15900000	-0,25494	-78,51453	-20,68598	27,753054	-20,69689	28,47807	-0,299847	-77,53616
18850000	-0,317731	-93,50258	-19,02492	17,020536	-19,03478	16,983087	-0,332913	-91,98438
21800000	-0,383189	-108,2715	-17,58692	4,5406978	-17,57135	4,2940132	-0,387537	-106,6136
24750000	-0,449618	-123,2498	-16,28049	-7,726153	-16,31246	-7,673889	-0,465234	-121,9635
27700000	-0,533968	-138,5156	-15,11673	-19,91668	-15,12078	-19,95799	-0,594189	-136,9491
30650000	-0,661946	-153,4645	-14,01527	-32,37831	-14,06422	-32,50492	-0,611207	-152,2192
33600000	-0,772704	-169,448	-13,02149	-44,89478	-13,06669	-44,81763	-0,72312	-167,7327
36550000	-0,786746	175,46985	-12,10741	-57,53146	-12,12407	-57,32136	-0,92182	176,61492
39500000	-0,950878	159,7341	-11,23682	-70,16059	-11,22912	-70,05705	-0,962043	161,27622
42450000	-1,093175	143,65827	-10,36955	-82,53904	-10,37142	-82,95032	-1,083963	145,72212
45400000	-1,27322	127,83454	-9,531522	-95,68582	-9,536875	-95,03371	-1,268656	129,7273
48350000	-1,45745	111,41724	-8,7204	-108,5863	-8,728476	-108,7463	-1,51575	112,92045
51300000	-1,664584	94,887644	-7,893014	-122,2402	-7,912469	-122,1646	-1,664074	96,483566
54250000	-1,944877	77,597524	-7,135622	-135,3105	-7,129115	-135,7632	-1,889094	79,482977
57200000	-2,287241	60,149234	-6,341485	-149,6551	-6,366701	-149,7013	-2,281114	62,443656
60150000	-2,746678	42,431207	-5,560372	-164,1648	-5,585037	-164,1322	-2,671049	44,944348
63100000	-3,230383	24,004512	-4,871156	-179,758	-4,889652	-179,3123	-3,198101	26,852028
66050000	-3,809366	5,4057156	-4,200293	165,40571	-4,2372	164,98208	-3,776585	8,9412939
69000000	-4,581616	-13,38179	-3,595255	149,78231	-3,623061	149,74876	-4,550223	-9,515127
71950000	-5,410568	-32,10367	-3,076712	133,84059	-3,090184	133,64966	-5,350265	-27,35686
74900000	-6,32599	-50,56478	-2,678388	117,08544	-2,701789	117,0872	-6,336275	-45,53274
77850000	-7,468152	-69,16922	-2,32107	101,26281	-2,328976	101,32668	-7,418272	-63,09907
80800000	-8,624714	-87,08431	-2,053658	85,236877	-2,093007	85,018729	-8,555662	-80,59796
83750000	-9,86052	-104,458	-1,861819	68,531332	-1,889448	68,77693	-9,760641	-97,85922
86700000	-11,16528	-121,3678	-1,678942	52,841342	-1,712176	52,50514	-11,06362	-114,6478
89650000	-12,58589	-138,8334	-1,602668	37,054014	-1,620037	36,968492	-12,42637	-131,5641
92600000	-14,13568	-156,4916	-1,526897	21,415675	-1,552263	21,56021	-13,9629	-148,8342
95550000	-15,70059	-173,4897	-1,483614	6,3204966	-1,483115	6,0801752	-15,61055	-166,6081
98500000	-17,50343	168,4709	-1,470077	-9,354886	-1,460642	-9,235423	-17,44978	175,43545
101450000	-19,55104	150,07999	-1,463527	-24,93603	-1,434444	-24,98562	-19,53381	156,06855
104400000	-21,93134	129,431	-1,420795	-40,57919	-1,417992	-40,1279	-21,97367	135,06102
107350000	-24,60083	106,40415	-1,433452	-55,38814	-1,435299	-55,54056	-24,76475	111,22134
110300000	-27,6283	79,967673	-1,444756	-70,6231	-1,449954	-70,86492	-27,83259	84,65534
113250000	-30,60665	48,625268	-1,478124	-86,02722	-1,448663	-85,89363	-30,89853	53,435922
116200000	-32,85716	10,449073	-1,476651	-101,1413	-1,486278	-101,4991	-32,95117	17,144604
119150000	-33,3821	-24,20653	-1,485757	-116,7894	-1,480152	-116,6179	-34,0602	-15,75919
122100000	-32,62553	-48,05907	-1,509086	-131,7871	-1,522748	-131,9237	-33,53696	-36,32702
125050000	-31,20107	-61,74222	-1,574188	-147,3979	-1,550444	-147,7525	-32,14934	-47,87273
128000000	-29,67412	-71,93314	-1,60345	-162,7301	-1,596968	-163,1259	-30,1456	-57,31514
130950000	-27,59606	-81,30912	-1,664806	-179,1973	-1,654089	-179,0227	-27,76504	-67,96266
133900000	-25,20836	-91,51499	-1,695665	165,24633	-1,705502	164,9536	-25,23322	-82,27104
136850000	-22,99736	-106,582	-1,740221	148,93707	-1,752365	148,8339	-22,87896	-99,80242
139800000	-20,91334	-122,3612	-1,826447	132,72761	-1,794925	132,66157	-20,84274	-119,0035
142750000	-19,1614	-141,0903	-1,873343	116,35841	-1,886173	116,05436	-19,07605	-139,5792
145700000	-17,60735	-160,1522	-1,954986	99,60601	-1,953189	99,464327	-17,50756	-161,2029
148650000	-16,3797	-179,8905	-2,064362	82,163095	-2,079087	81,974795	-16,23581	177,60739
151600000	-15,32779	160,03427	-2,159327	65,314603	-2,117372	65,232264	-15,15978	155,66107

154550000	-14,49104	139,36377	-2,218972	48,042534	-2,238635	47,435356	-14,26462	133,84231
157500000	-13,8573	119,45719	-2,285304	29,560248	-2,320818	29,665044	-13,59607	111,81922
160450000	-13,40843	99,202217	-2,392208	11,384374	-2,387243	11,523219	-13,10114	90,120503
163400000	-13,17358	78,836003	-2,451883	-7,055444	-2,458654	-7,772529	-12,72342	67,824318
166350000	-13,06149	58,819203	-2,524186	-26,48282	-2,512669	-26,52536	-12,73301	46,237316
169300000	-13,12585	38,879606	-2,55075	-46,85451	-2,581947	-46,98779	-12,79943	24,992116
172250000	-13,26754	19,69686	-2,608723	-67,7002	-2,642477	-67,96523	-13,06884	2,9023403
175200000	-13,51222	0,2423321	-2,678959	-89,67391	-2,707135	-89,66091	-13,5303	-19,19003
178150000	-13,8622	-18,70487	-2,791874	-112,2839	-2,802682	-112,2558	-14,22423	-41,98152
181100000	-14,37999	-38,22783	-2,874168	-136,0672	-2,871446	-135,8605	-15,27254	-65,58989
184050000	-15,18077	-57,1408	-3,013649	-160,7686	-3,019928	-161,612	-16,94081	-90,95287
187000000	-16,32202	-73,47109	-3,132468	171,90288	-3,128667	171,91914	-19,84612	-117,8425
189950000	-17,78016	-84,61615	-3,284298	143,7267	-3,272096	143,59191	-26,17368	-145,2712
192900000	-18,55845	-86,03107	-3,509705	113,52303	-3,466777	113,68146	-36,77853	-18,62889
195850000	-17,27476	-85,86962	-3,783522	81,814482	-3,751028	81,728283	-22,13306	-38,14768
198800000	-15,19832	-96,40138	-4,144988	47,87861	-4,145855	47,996589	-17,95031	-70,71487
201750000	-13,96188	-111,554	-4,547743	12,74995	-4,519417	12,55955	-17,16433	-101,9155
204700000	-13,47424	-122,6652	-5,088399	-25,41418	-5,065347	-25,71064	-19,61495	-116,6751
207650000	-11,76837	-126,3342	-5,937639	-65,71517	-5,89371	-65,94326	-17,8875	-87,68919
210600000	-8,509374	-139,338	-7,281744	-106,91	-7,268869	-106,9617	-11,02472	-100,6348
213550000	-5,964021	-162,9894	-9,000296	-145,0602	-9,010796	-145,1794	-7,202401	-131,3294
216500000	-4,464899	171,19756	-10,64409	-178,9787	-10,66569	-179,3732	-5,19574	-161,2105
219450000	-3,808822	145,56587	-11,80181	150,09085	-11,8649	149,92559	-4,186276	170,48292
222400000	-3,556103	120,99735	-12,33999	120,26241	-12,41328	119,87899	-3,721894	144,28474
225350000	-3,730266	97,660466	-12,26098	88,798375	-12,29836	89,149857	-3,66346	120,23713
228300000	-4,567056	75,922614	-11,8863	53,382701	-11,86571	53,592333	-4,091233	98,315866
231250000	-5,933405	62,51965	-11,89797	12,20724	-11,88557	12,222959	-4,740872	82,557852
234200000	-6,019212	57,595416	-13,24473	-29,56138	-13,22882	-29,58649	-4,671927	71,506413
237150000	-4,775751	46,418375	-15,5843	-65,51723	-15,53526	-65,66101	-3,8905	57,829419
240100000	-3,77299	30,286175	-18,10247	-94,39613	-18,0698	-94,6149	-3,249295	40,424952
243050000	-3,1988	12,077927	-20,46505	-118,1139	-20,40365	-118,0338	-2,866994	23,211882
246000000	-2,800677	-5,378697	-22,54487	-138,4533	-22,49261	-138,7754	-2,535395	5,8538767
248950000	-2,599408	-23,06443	-24,41378	-156,7551	-24,36609	-156,7879	-2,326671	-10,79936
251900000	-2,421841	-39,76912	-26,1068	-172,7001	-26,06865	-173,1575	-2,20415	-27,57997
254850000	-2,285977	-56,14432	-27,64774	172,18124	-27,64633	172,07344	-2,124976	-43,41748
257800000	-2,190172	-72,1941	-29,04992	158,45887	-29,02792	157,96485	-1,982787	-58,66438
260750000	-2,154063	-87,61971	-30,38166	145,70502	-30,37842	145,14039	-1,964635	-74,56418
263700000	-2,069253	-103,3109	-31,6315	133,21728	-31,6308	133,12	-1,93924	-89,8142
266650000	-2,008477	-118,2078	-32,76328	121,8586	-32,81255	121,48395	-1,910369	-104,8338
269600000	-1,977158	-133,0269	-33,90899	111,0125	-33,93733	110,5114	-1,900237	-119,4644
272550000	-1,917273	-147,5878	-35,01384	100,6264	-35,04605	100,80777	-1,863057	-134,2765
275500000	-1,916596	-161,9331	-36,06617	90,521105	-36,13177	90,358789	-1,81344	-147,8307
278450000	-1,905178	-175,8682	-37,20488	80,654975	-37,24522	80,631376	-1,821752	-162,3103
281400000	-1,866134	170,48186	-38,31939	71,43082	-38,35008	71,439186	-1,821454	-176,1759
284350000	-1,875518	157,33397	-39,50389	62,164537	-39,57415	62,015602	-1,807844	170,03289
287300000	-1,852203	143,00288	-40,7914	53,334454	-40,84009	54,088726	-1,787901	156,33926
290250000	-1,838239	129,49609	-42,22771	45,275934	-42,1969	45,980394	-1,800102	142,80627
293200000	-1,822754	116,38363	-43,78276	38,178467	-43,74943	38,565839	-1,808702	129,65416
296150000	-1,793456	103,32009	-45,53489	32,950731	-45,40812	33,117837	-1,77739	116,28585
299100000	-1,786154	90,242696	-47,37451	30,265306	-47,34951	29,662397	-1,773383	103,04629
302050000	-1,785979	77,029067	-49,47723	30,749002	-49,32578	29,681873	-1,780354	89,907706
305000000	-1,780061	64,008633	-51,49152	35,375874	-51,27092	35,374324	-1,790004	76,565884
307950000	-1,738166	50,651993	-52,80126	46,496548	-52,63812	45,492989	-1,740259	63,929929

310900000	-1,773431	37,695504	-52,97388	60,280438	-52,8475	59,247571	-1,768559	50,853062
313850000	-1,775886	24,61342	-52,1849	70,448682	-52,28691	69,135072	-1,767114	38,018118
316800000	-1,765153	11,617252	-51,4812	76,64668	-51,56371	75,997849	-1,810713	24,870522
319750000	-1,797976	-1,927371	-50,50612	81,722224	-50,68106	81,979892	-1,829966	11,46072
322700000	-1,783159	-15,25549	-49,84667	89,369726	-49,92198	89,201538	-1,885775	-1,744821
325650000	-1,792826	-28,39349	-48,67399	100,38414	-48,73707	100,26892	-1,918573	-15,55827
328600000	-1,816571	-41,75025	-46,37366	114,04344	-46,42665	113,67049	-2,074226	-28,48464
331550000	-1,870143	-55,31262	-42,74893	123,07291	-42,77549	122,79233	-2,195413	-42,61799
334500000	-1,895533	-68,88057	-38,51324	124,50293	-38,61583	124,79054	-2,455245	-57,18846
337450000	-1,952996	-82,22155	-34,04552	118,86125	-34,11125	118,7402	-2,838351	-71,44422
340400000	-2,071225	-96,18191	-29,73611	107,4092	-29,80097	107,06629	-3,492861	-86,19632
343350000	-2,273865	-109,9514	-25,68144	90,031529	-25,76672	89,927828	-4,524464	-99,84482
346300000	-2,398289	-123,4249	-22,15892	67,354819	-22,26578	67,2644	-6,019712	-108,4821
349250000	-2,630188	-137,4226	-19,45181	41,112754	-19,55754	40,936932	-7,088165	-109,8922
352200000	-2,883102	-151,0638	-17,6274	13,555089	-17,72038	14,233768	-6,631847	-109,9203
355150000	-3,194035	-165,2494	-16,39589	-12,16035	-16,43297	-11,35763	-5,548723	-116,8383
358100000	-3,679683	179,97329	-15,46453	-36,41647	-15,41957	-35,19341	-4,709241	-128,1192
361050000	-4,415394	165,4303	-14,62722	-59,35386	-14,49595	-58,26088	-4,214967	-140,767
364000000	-5,587732	151,10233	-13,89734	-82,11571	-13,68378	-81,49758	-3,997814	-153,0704
366950000	-7,407926	140,10871	-13,273	-105,9626	-13,05948	-105,9634	-3,922654	-165,1681
369900000	-9,634631	137,69733	-12,92828	-130,5371	-12,76586	-130,8002	-3,848268	-176,4439
372850000	-10,51869	147,17094	-12,99296	-155,1143	-12,885	-155,336	-3,726942	173,0329
375800000	-8,972472	153,08004	-13,43626	-178,8152	-13,46241	-179,306	-3,489404	161,80739
378750000	-7,036016	146,79006	-14,24604	159,72816	-14,26832	158,98562	-3,161932	151,08571
381700000	-5,595494	135,86652	-15,19274	140,11049	-15,24798	139,57383	-2,914122	138,85214
384650000	-4,66254	122,71691	-16,16961	122,91862	-16,17823	122,32354	-2,703771	126,51056
387600000	-4,031367	108,79779	-17,06737	107,19181	-17,1026	106,52391	-2,559474	114,28173
390550000	-3,601316	95,261466	-17,91906	92,973547	-17,94964	92,54163	-2,437471	102,00246
393500000	-3,293315	81,882174	-18,60542	79,053247	-18,68849	79,176548	-2,352862	89,782206
396450000	-3,072517	68,688096	-19,27814	66,97657	-19,33634	66,378403	-2,318324	77,906445
399400000	-2,862978	56,262207	-19,81699	54,607298	-19,83749	54,046301	-2,248925	66,153049
402350000	-2,792015	43,229636	-20,26757	42,619848	-20,33667	42,11303	-2,20531	54,325038
405300000	-2,721921	30,402793	-20,61831	30,648276	-20,70008	30,152768	-2,185454	42,22536
408250000	-2,659314	17,916683	-20,9027	18,899732	-20,97509	18,552724	-2,175988	30,756982
411200000	-2,636493	5,2205622	-21,09569	6,8850058	-21,1897	6,740584	-2,186876	18,670339
414150000	-2,593911	-6,865994	-21,28375	-5,646814	-21,32692	-5,31432	-2,204229	7,0036696
417100000	-2,557573	-19,34536	-21,37788	-17,69198	-21,43152	-17,59742	-2,201962	-4,499489
420050000	-2,600522	-31,84783	-21,47771	-30,52857	-21,47789	-29,96553	-2,281327	-16,34842
423000000	-2,614307	-43,73371	-21,5123	-43,69314	-21,50493	-43,53666	-2,265158	-27,87353
425950000	-2,666541	-56,06497	-21,57845	-57,70968	-21,56404	-56,98367	-2,30792	-39,75256
428900000	-2,703381	-67,95647	-21,61867	-71,95407	-21,5962	-71,53762	-2,354298	-51,03159
431850000	-2,739454	-79,32993	-21,76167	-86,36201	-21,68243	-86,00961	-2,403756	-62,60564
434800000	-2,786373	-91,7884	-21,90346	-101,5398	-21,79938	-101,3861	-2,461331	-74,02462
437750000	-2,806683	-102,5765	-22,16583	-116,86	-22,05446	-116,6085	-2,4943	-85,10534
440700000	-2,840701	-114,1055	-22,53433	-132,6914	-22,40925	-133,053	-2,511412	-95,88698
443650000	-2,821868	-125,0402	-22,98708	-148,6346	-22,84297	-148,7633	-2,525975	-107,1737
446600000	-2,804914	-136,2603	-23,56465	-164,2689	-23,42549	-165,0387	-2,521997	-118,3186
449550000	-2,735086	-147,3984	-24,23372	-179,742	-24,12892	179,88749	-2,50843	-129,4248
452500000	-2,631482	-158,7656	-25,01918	165,05852	-24,94116	164,53683	-2,484589	-140,9658
455450000	-2,659511	-170,003	-25,87482	150,71971	-25,8154	149,97888	-2,450575	-151,7686
458400000	-2,518565	178,53945	-26,77263	137,06269	-26,73111	135,99284	-2,346948	-163,2468
461350000	-2,457002	167,15964	-27,70381	124,23171	-27,70056	122,74174	-2,305383	-174,9592
464300000	-2,39783	155,74171	-28,63262	111,62521	-28,65739	110,25698	-2,227337	174,05777

467250000	-2,375614	144,59401	-29,56018	99,758112	-29,61235	98,151201	-2,179747	162,47351
470200000	-2,277416	132,81883	-30,48621	88,053375	-30,54966	86,822975	-2,149349	150,88945
473150000	-2,25799	121,44954	-31,379	76,673718	-31,48458	75,616224	-2,124307	139,65807
476100000	-2,235017	109,70736	-32,24659	66,220692	-32,35798	65,304048	-2,122198	127,64388
479050000	-2,183721	98,480494	-33,06371	55,714285	-33,21605	55,109865	-2,061352	116,83956
482000000	-2,161663	87,024971	-33,85779	45,495398	-34,02987	45,309704	-2,053359	105,47854
484950000	-2,138666	75,451093	-34,61567	35,474611	-34,79646	35,42133	-2,035454	94,227655
487900000	-2,125066	64,384696	-35,34706	25,854498	-35,49467	25,665359	-2,004097	83,176544
490850000	-2,105932	52,847529	-36,04271	15,683807	-36,20035	16,287137	-1,987484	71,92083
493800000	-2,076468	41,658135	-36,74815	5,9348608	-36,8698	6,8951434	-1,995453	60,562996
496750000	-2,053296	30,521403	-37,46485	-3,98014	-37,51303	-3,079266	-1,989123	49,368309
499700000	-2,034124	19,154475	-38,14293	-13,5912	-38,15304	-12,79991	-1,985594	38,418911
502650000	-2,044178	7,1516518	-38,77527	-22,92279	-38,7784	-22,31675	-1,948222	27,077798
505600000	-2,027589	-3,927189	-39,45041	-32,56409	-39,40323	-31,70419	-1,920165	16,009798
508550000	-2,021246	-15,372	-40,14254	-42,28203	-40,07038	-41,37882	-1,905053	4,9115427
511500000	-2,003327	-26,6467	-40,77794	-52,00696	-40,67	-51,07255	-1,925199	-6,40333
514450000	-2,102289	-38,0925	-41,44775	-61,53631	-41,2943	-60,60783	-1,891584	-17,42389
517400000	-1,985117	-49,75705	-42,13729	-70,43111	-41,94313	-70,18146	-1,874224	-28,04238
520350000	-1,969195	-61,28692	-42,74227	-79,67161	-42,57103	-79,55832	-1,874805	-39,90753
523300000	-1,973549	-73,24855	-43,33638	-88,37712	-43,17864	-88,82994	-1,839748	-50,77506
526250000	-2,008978	-84,52686	-43,99005	-96,87395	-43,84066	-97,71613	-1,866086	-62,10199
529200000	-1,960253	-96,15599	-44,5505	-105,2079	-44,4322	-106,7298	-1,870066	-73,31178
532150000	-1,964254	-107,7039	-45,09806	-113,5443	-44,92698	-114,747	-1,884063	-84,88014
535100000	-1,945356	-119,4025	-45,61723	-122,0846	-45,58244	-123,1002	-1,916368	-96,06787
538050000	-1,956622	-130,9539	-46,14775	-129,6015	-46,09215	-131,7671	-1,883868	-107,7798
541000000	-1,956548	-142,6176	-46,55211	-138,2726	-46,6146	-140,2653	-1,91431	-119,2718
543950000	-1,976852	-154,0768	-47,07506	-145,6611	-47,06181	-148,0773	-1,962188	-129,8977
546900000	-2,013434	-165,6892	-47,48981	-154,4516	-47,6155	-155,8649	-1,924956	-141,8411
549850000	-1,982996	-176,7313	-47,90447	-162,0048	-48,07205	-163,649	-1,923163	-153,315
552800000	-1,993346	171,64494	-48,16423	-170,7493	-48,48134	-172,2439	-1,945491	-164,8917
555750000	-1,986467	160,51418	-48,61742	-179,0495	-48,80325	179,80616	-1,981758	-176,0737
558700000	-1,979649	149,1794	-49,00985	172,34163	-49,11005	172,12232	-1,964925	172,34782
561650000	-2,027493	137,65237	-49,36785	164,61307	-49,65663	163,59719	-1,971458	161,12535
564600000	-2,030403	126,28835	-49,7717	154,51473	-50,01718	155,076	-1,982619	149,94011
567550000	-2,018747	115,45517	-50,20223	146,61135	-50,25911	146,97731	-1,963715	138,99598
570500000	-2,032614	104,25943	-50,5697	137,38378	-50,73891	137,59826	-2,002378	127,65622
573450000	-2,029992	92,965672	-50,90476	127,91837	-51,09161	129,00377	-2,002307	116,53278
576400000	-2,014818	82,185338	-51,28024	118,69324	-51,48184	120,01622	-2,019398	105,29069
579350000	-2,038889	70,283693	-51,79466	110,37864	-51,67034	110,65176	-2,035718	94,29206
582300000	-2,069229	60,007654	-52,1524	100,19858	-52,13472	101,75018	-2,000767	83,31
585250000	-2,04218	48,460121	-52,56307	91,598793	-52,7865	94,735521	-2,023188	72,125167
588200000	-2,025935	37,500485	-53,07922	82,987363	-52,94349	84,64514	-2,007761	61,288017
591150000	-2,036726	26,30816	-53,66276	74,981308	-53,42621	76,223491	-2,004923	50,27972
594100000	-2,035155	15,305617	-53,93428	66,587956	-53,88801	68,13042	-1,984629	39,575646
597050000	-2,010032	4,4495608	-54,29336	59,859957	-54,17319	59,480614	-1,983601	28,659299
600000000	-1,994473	-6,838007	-54,78035	52,736153	-54,55346	50,487933	-1,954818	17,684065

Πίνακας Π.3.11: S-παράμετροι του κυκλώματος των στροφών φάσης για τάση τροφοδοσίας 12V

Συντελεστές ανάκλασης στις δύο εισόδους σήματος				
freq (Hz)	S11 - Είσοδος 1		S11 - Είσοδος 2	
	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase
10000000	-29,4312	128,7345	-30,6133	128,6252
12950000	-29,1573	114,4695	-30,2578	112,8589
15900000	-28,8665	100,5045	-29,938	98,8397
18850000	-28,4933	87,23869	-29,3959	85,06824
21800000	-28,0635	74,34575	-29,1006	72,04653
24750000	-27,7083	60,98392	-28,6346	59,14697
27700000	-27,3734	48,93059	-28,2502	47,32695
30650000	-27,0851	36,09061	-27,9322	34,86883
33600000	-26,7215	24,21058	-27,5352	22,89281
36550000	-26,4687	12,67329	-27,1671	11,47188
39500000	-26,1593	0,89948	-26,8751	-0,24599
42450000	-25,9656	-10,795	-26,6389	-11,8397
45400000	-25,7313	-22,0208	-26,3893	-23,6422
48350000	-25,5308	-33,6237	-26,2155	-35,4309
51300000	-25,2812	-45,4227	-26,0366	-46,3022
54250000	-25,1963	-57,2245	-25,8229	-58,2231
57200000	-25,0038	-69,171	-25,6891	-70,0825
60150000	-24,8588	-80,5248	-25,4707	-81,9105
63100000	-24,6924	-92,7377	-25,3235	-93,6858
66050000	-24,5512	-104,423	-25,2158	-105,367
69000000	-24,3617	-116,428	-25,0365	-116,856
71950000	-24,263	-127,975	-24,8668	-129,16
74900000	-24,0306	-140,212	-24,6576	-140,897
77850000	-23,88	-151,933	-24,5091	-153,109
80800000	-23,6684	-164,071	-24,2837	-164,675
83750000	-23,4621	-175,724	-24,0882	-176,121
86700000	-23,2463	172,3739	-23,9612	172,1366
89650000	-23,0432	161,063	-23,7206	160,1014
92600000	-22,9083	149,1009	-23,4889	148,4675
95550000	-22,6409	137,7471	-23,2449	137,0401
98500000	-22,4277	126,5479	-23,0531	126,1041
1,01E+08	-22,2258	115,2237	-22,8342	114,5857
1,04E+08	-21,9892	104,3184	-22,6325	103,3645
1,07E+08	-21,8055	92,62697	-22,3921	92,61181
1,1E+08	-21,6356	81,47481	-22,2399	81,15952
1,13E+08	-21,4656	70,93037	-22,0274	70,26547
1,16E+08	-21,2867	59,94607	-21,872	59,40339
1,19E+08	-21,1276	49,05084	-21,7005	48,70073
1,22E+08	-20,9766	37,84243	-21,5711	37,22416
1,25E+08	-20,8475	26,66816	-21,4143	26,64315
1,28E+08	-20,7006	16,22505	-21,2929	15,71962
1,31E+08	-20,5859	5,188513	-21,1498	4,700885
1,34E+08	-20,4791	-5,92543	-21,0202	-6,33747
1,37E+08	-20,3739	-16,973	-20,9653	-17,3573
1,4E+08	-20,2883	-28,4177	-20,7926	-28,3925
1,43E+08	-20,1746	-39,7939	-20,6987	-39,7501
1,46E+08	-20,0427	-50,4051	-20,6005	-50,7717
1,49E+08	-19,9645	-61,6649	-20,4765	-62,0232
1,52E+08	-19,8363	-73,0319	-20,3586	-73,0628

1,55E+08	-19,7318	-84,7285	-20,2475	-84,9471
1,58E+08	-19,5928	-95,4243	-20,1164	-95,8869
1,6E+08	-19,4595	-106,834	-19,9761	-107,106
1,63E+08	-19,3162	-118,511	-19,8148	-118,24
1,66E+08	-19,1528	-129,572	-19,6717	-129,569
1,69E+08	-18,99	-140,62	-19,5186	-140,531
1,72E+08	-18,835	-152,033	-19,3625	-151,851
1,75E+08	-18,6552	-162,496	-19,2064	-163,109
1,78E+08	-18,5102	-174,329	-18,9996	-173,939
1,81E+08	-18,3499	174,5204	-18,8483	175,2088
1,84E+08	-18,1664	164,4268	-18,6696	164,4398
1,87E+08	-18,0098	153,2063	-18,5059	153,564
1,9E+08	-17,8443	142,2845	-18,311	142,9988
1,93E+08	-17,6663	131,7922	-18,1762	132,1837
1,96E+08	-17,5178	121,2255	-18,0085	121,9131
1,99E+08	-17,4122	111,0123	-17,8766	111,1907
2,02E+08	-17,2474	100,3793	-17,7294	100,5537
2,05E+08	-17,0985	90,10642	-17,6248	89,89691
2,08E+08	-17,0163	79,39183	-17,4839	79,33097
2,11E+08	-16,9008	68,65955	-17,4062	69,19392
2,14E+08	-16,8142	58,3468	-17,3117	58,75611
2,17E+08	-16,7038	47,89244	-17,2373	48,14168
2,19E+08	-16,657	37,68423	-17,1585	37,7085
2,22E+08	-16,6056	26,96098	-17,078	27,29026
2,25E+08	-16,5262	16,63413	-16,9909	17,08813
2,28E+08	-16,4561	5,958153	-16,9921	6,108596
2,31E+08	-16,4288	-5,13577	-16,9189	-4,6437
2,34E+08	-16,2987	-15,8355	-16,8768	-15,0148
2,37E+08	-16,3223	-26,6775	-16,8065	-25,953
2,4E+08	-16,2694	-37,216	-16,7769	-36,9842
2,43E+08	-16,2505	-48,4962	-16,7198	-47,9042
2,46E+08	-16,1704	-59,25	-16,6738	-58,7197
2,49E+08	-16,1095	-70,3501	-16,6167	-69,5803
2,52E+08	-16,0577	-81,3771	-16,5445	-80,5753
2,55E+08	-15,9869	-92,3966	-16,4807	-91,8368
2,58E+08	-15,9032	-103,45	-16,4029	-102,774
2,61E+08	-15,8046	-114,534	-16,2962	-113,837
2,64E+08	-15,737	-125,546	-16,2106	-125,063
2,67E+08	-15,6379	-136,668	-16,1076	-136,072
2,7E+08	-15,5146	-147,735	-15,9967	-147,32
2,73E+08	-15,4087	-158,464	-15,8789	-158,074
2,76E+08	-15,2815	-169,826	-15,7347	-168,563
2,78E+08	-15,1377	179,8551	-15,6345	-179,794
2,81E+08	-15,028	168,6837	-15,5156	169,5313
2,84E+08	-14,9116	158,0807	-15,3929	159,0813
2,87E+08	-14,7849	147,7939	-15,2625	148,5892
2,9E+08	-14,6907	136,8955	-15,1601	137,3329
2,93E+08	-14,5583	126,0161	-15,0431	127,4268
2,96E+08	-14,4516	115,9217	-14,9361	116,7132
2,99E+08	-14,3555	105,0798	-14,8371	106,3585
3,02E+08	-14,2591	95,28255	-14,7232	95,94412
3,05E+08	-14,1783	84,77561	-14,6549	85,55646

3,08E+08	-14,0935	73,89045	-14,5721	75,18712
3,11E+08	-14,0223	63,9461	-14,5005	64,69395
3,14E+08	-13,983	53,38747	-14,4405	54,35732
3,17E+08	-13,9136	43,44576	-14,3641	44,01111
3,2E+08	-13,8538	32,63903	-14,3437	33,64947
3,23E+08	-13,8135	22,0013	-14,295	23,11503
3,26E+08	-13,7767	11,24791	-14,2572	12,39534
3,29E+08	-13,7595	1,112447	-14,2476	2,087848
3,32E+08	-13,7244	-9,23438	-14,2062	-8,49107
3,35E+08	-13,7179	-20,1718	-14,1829	-19,2819
3,37E+08	-13,6996	-31,282	-14,1509	-29,6996
3,4E+08	-13,6721	-41,6232	-14,1325	-40,4615
3,43E+08	-13,6537	-52,6439	-14,1013	-51,4024
3,46E+08	-13,6178	-63,2752	-14,0651	-62,5188
3,49E+08	-13,5674	-73,8909	-14,0383	-73,3394
3,52E+08	-13,532	-84,9343	-14,0007	-84,1177
3,55E+08	-13,4875	-96,2394	-13,9321	-94,9865
3,58E+08	-13,4392	-106,912	-13,8981	-105,99
3,61E+08	-13,3734	-117,801	-13,8201	-116,838
3,64E+08	-13,3225	-129,345	-13,745	-127,39
3,67E+08	-13,2369	-140,024	-13,6808	-138,429
3,7E+08	-13,1738	-151,166	-13,6036	-149,47
3,73E+08	-13,0887	-161,897	-13,5045	-160,096
3,76E+08	-12,9866	-172,639	-13,4203	-171,032
3,79E+08	-12,886	176,8688	-13,3474	178,0425
3,82E+08	-12,7879	166,0694	-13,2467	167,3729
3,85E+08	-12,7059	155,3039	-13,1422	156,8344
3,88E+08	-12,6099	144,3904	-13,0519	145,7922
3,91E+08	-12,5291	133,9834	-12,9686	135,128
3,94E+08	-12,4274	123,502	-12,8758	124,8531
3,96E+08	-12,3548	112,6234	-12,7862	114,645
3,99E+08	-12,263	102,5213	-12,6883	103,9162
4,02E+08	-12,173	92,22495	-12,6273	93,25286
4,05E+08	-12,1031	81,72444	-12,5402	82,95242
4,08E+08	-12,0259	71,59522	-12,4862	72,6591
4,11E+08	-11,9954	60,71887	-12,421	62,08568
4,14E+08	-11,9369	50,47973	-12,3769	51,97898
4,17E+08	-11,8815	40,29793	-12,3338	42,12429
4,2E+08	-11,8552	29,82529	-12,3134	31,18316
4,23E+08	-11,8282	19,55316	-12,2568	21,08633
4,26E+08	-11,7967	9,085524	-12,1736	10,37707
4,29E+08	-11,7535	-0,99806	-12,2	0,049862
4,32E+08	-11,7631	-11,9057	-12,1936	-10,7016
4,35E+08	-11,7741	-22,3563	-12,1744	-21,1955
4,38E+08	-11,7377	-33,1554	-12,1502	-31,7001
4,41E+08	-11,7261	-43,6386	-12,1314	-42,5528
4,44E+08	-11,7192	-54,3992	-12,1127	-52,9683
4,47E+08	-11,7064	-65,162	-12,0991	-63,4504
4,5E+08	-11,6695	-75,7753	-12,0919	-74,3501
4,53E+08	-11,6515	-86,7785	-12,0698	-85,052
4,55E+08	-11,6566	-97,6372	-12,0588	-95,7899
4,58E+08	-11,6321	-108,435	-12,0333	-106,846

4,61E+08	-11,6062	-119,43	-12,009	-117,862
4,64E+08	-11,5541	-130,265	-11,9847	-128,54
4,67E+08	-11,5565	-141,434	-11,9333	-139,399
4,7E+08	-11,5015	-152,904	-11,913	-150,411
4,73E+08	-11,4403	-163,131	-11,8312	-161,399
4,76E+08	-11,3774	-174,087	-11,7907	-172,442
4,79E+08	-11,3007	174,9937	-11,6995	176,9861
4,82E+08	-11,2526	164,0108	-11,6603	165,9288
4,85E+08	-11,1758	153,4526	-11,5812	155,2277
4,88E+08	-11,1177	142,6228	-11,51	144,2831
4,91E+08	-11,0201	132,0133	-11,433	133,8365
4,94E+08	-10,9473	121,2902	-11,3578	123,1125
4,97E+08	-10,8805	110,6072	-11,2811	112,391
5E+08	-10,8181	100,0023	-11,1967	102,2945
5,03E+08	-10,7347	89,50356	-11,1549	91,34535
5,06E+08	-10,6985	79,3534	-11,0695	81,21014
5,09E+08	-10,5876	69,07955	-11,0061	70,42856
5,12E+08	-10,5415	58,35561	-10,9396	60,62322
5,14E+08	-10,4805	48,2596	-10,8782	49,88771
5,17E+08	-10,4314	38,01777	-10,8242	39,55279
5,2E+08	-10,388	27,65221	-10,7863	29,33377
5,23E+08	-10,3715	16,92022	-10,736	19,04761
5,26E+08	-10,3255	6,743453	-10,7047	8,750061
5,29E+08	-10,2974	-3,32635	-10,6768	-1,66793
5,32E+08	-10,269	-13,9213	-10,6422	-11,9552
5,35E+08	-10,2624	-24,2386	-10,6236	-22,2829
5,38E+08	-10,2471	-34,7242	-10,6164	-32,7567
5,41E+08	-10,2299	-44,9013	-10,5936	-43,2123
5,44E+08	-10,2318	-55,4155	-10,5947	-53,5849
5,47E+08	-10,2348	-66,3766	-10,5878	-64,1884
5,5E+08	-10,2419	-76,8275	-10,5871	-74,7189
5,53E+08	-10,233	-87,5258	-10,5792	-85,4855
5,56E+08	-10,2445	-98,4535	-10,5837	-96,5222
5,59E+08	-10,2239	-109,056	-10,5793	-107,092
5,62E+08	-10,2433	-120,233	-10,5684	-117,583
5,65E+08	-10,2277	-130,956	-10,5832	-128,531
5,68E+08	-10,2337	-141,709	-10,5662	-139,686
5,71E+08	-10,1954	-152,698	-10,5181	-150,335
5,73E+08	-10,1772	-163,603	-10,5127	-161,314
5,76E+08	-10,1399	-174,634	-10,4891	-172,258
5,79E+08	-10,1156	174,2187	-10,4416	176,819
5,82E+08	-10,0661	163,4373	-10,4108	166,048
5,85E+08	-10,0217	152,7973	-10,3569	155,1964
5,88E+08	-9,96458	141,8131	-10,3096	144,0686
5,91E+08	-9,90562	131,133	-10,2523	133,6097
5,94E+08	-9,84576	120,0953	-10,1899	122,8071
5,97E+08	-9,77061	109,7034	-10,1369	112,1155
6E+08	-9,71209	99,15636	-10,0431	101,4226

Πίνακας Π.3.12 : Συντελεστές ανάκλασης στις δύο εισόδους σήματος

Συντελεστές μετάδοσης από τη θύρα 1 στις θύρες 2 και 3				
freq (Hz)	S21		S31	
	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase
10000000	-3,5483938	-29,999474	-3,5557197	-30,005468
12950000	-3,5489161	-38,757423	-3,57972	-38,967746
15900000	-3,5690711	-47,84367	-3,6005341	-47,643412
18850000	-3,5283155	-56,046341	-3,5849859	-56,188199
21800000	-3,5603203	-65,050434	-3,5982644	-65,199486
24750000	-3,5713148	-74,003076	-3,6087337	-74,378819
27700000	-3,5641254	-82,74059	-3,6025733	-83,521518
30650000	-3,5744235	-91,945073	-3,6193704	-92,167551
33600000	-3,5912169	-100,53669	-3,6258851	-101,05218
36550000	-3,557891	-109,97625	-3,626655	-110,03721
39500000	-3,5849297	-118,86382	-3,6255998	-118,86605
42450000	-3,5704104	-127,8552	-3,6183075	-128,01797
45400000	-3,5627753	-136,82229	-3,6094157	-137,07043
48350000	-3,5644272	-145,81241	-3,6046651	-145,8551
51300000	-3,5497985	-154,74569	-3,5930689	-154,69022
54250000	-3,5298579	-163,49628	-3,6171448	-163,96318
57200000	-3,5357271	-172,3458	-3,5725559	-172,76008
60150000	-3,4958815	178,399409	-3,5499785	178,494724
63100000	-3,4762368	169,252935	-3,5332251	169,339005
66050000	-3,47394	160,321109	-3,5301433	160,283101
69000000	-3,4670842	151,410261	-3,5175141	151,087068
71950000	-3,4495484	142,295827	-3,4878822	142,086649
74900000	-3,4526329	133,087272	-3,5032368	132,764796
77850000	-3,4482241	124,142217	-3,4743379	124,120819
80800000	-3,4781918	115,130805	-3,5084468	114,468101
83750000	-3,4571472	105,990978	-3,5002229	105,889813
86700000	-3,462262	96,9512174	-3,5128704	96,7122995
89650000	-3,4562993	87,8910486	-3,4671019	87,1840392
92600000	-3,4426119	78,9272356	-3,5182322	78,4383581
95550000	-3,4815666	69,2766468	-3,5279374	69,3095732
98500000	-3,4777832	60,6973969	-3,5060282	60,4211128
101450000	-3,5290456	51,478555	-3,5420296	51,3871441
104400000	-3,5347346	42,7298718	-3,5566231	42,4505495
107350000	-3,5115625	33,5048383	-3,547737	33,2819596
110300000	-3,522685	24,5912034	-3,5671653	24,6127659
113250000	-3,5410801	15,745562	-3,573736	15,5136979
116200000	-3,5251455	6,37584367	-3,5580652	5,92862951
119150000	-3,5164439	-2,7349312	-3,553622	-2,83096
122100000	-3,5048102	-12,072831	-3,5308058	-12,088448
125050000	-3,4719931	-21,286167	-3,4972726	-21,390817
128000000	-3,4680429	-30,079554	-3,5061916	-30,20191
130950000	-3,466451	-39,381218	-3,4946976	-39,782754
133900000	-3,4382571	-48,517877	-3,5062804	-48,727318
136850000	-3,4347456	-57,656127	-3,4277592	-57,810954
139800000	-3,4080028	-66,742044	-3,4480092	-67,063915
142750000	-3,4074952	-76,093359	-3,4208622	-76,567245
145700000	-3,415669	-85,346713	-3,476803	-85,84511
148650000	-3,4036885	-94,535181	-3,4407492	-94,632858
151600000	-3,4144183	-103,69942	-3,409101	-104,10949
154550000	-3,412185	-113,38257	-3,4519947	-113,12045
157500000	-3,4378851	-122,84702	-3,4539016	-123,07088
160450000	-3,4345094	-131,98924	-3,4633411	-132,41133
163400000	-3,4637834	-141,35392	-3,4852568	-141,7675
166350000	-3,4973829	-150,78982	-3,499403	-151,01292
169300000	-3,5306388	-160,14479	-3,520548	-160,63947

172250000	-3,5352264	-169,32075	-3,5649358	-170,0309
175200000	-3,5914224	-178,75461	-3,5837177	-178,85086
178150000	-3,6119005	171,951578	-3,6204176	171,689042
181100000	-3,6572247	162,333314	-3,6465979	162,174382
184050000	-3,6484836	153,20329	-3,6975576	152,985083
187000000	-3,7338241	143,66274	-3,7227579	143,550355
189950000	-3,7789511	134,203737	-3,7416531	134,306884
192900000	-3,7813191	125,20138	-3,77624	125,038203
195850000	-3,8085935	116,361657	-3,7889065	115,707706
198800000	-3,8404228	106,712651	-3,8153594	106,459976
201750000	-3,8697335	97,6034218	-3,8437585	97,0592165
204700000	-3,8829292	88,4331099	-3,8554681	87,7508855
207650000	-3,9296419	78,8349222	-3,8736684	78,5543927
210600000	-3,9293759	69,126423	-3,8952065	69,3052394
213550000	-3,9432299	59,8203857	-3,8974633	59,5164367
216500000	-3,9507041	50,4300414	-3,9096001	50,1669287
219450000	-3,9752716	41,1567078	-3,9218658	40,4388668
222400000	-3,9854789	31,18624	-3,9331182	30,9906464
225350000	-3,992537	22,3023094	-3,9419211	21,4216799
228300000	-4,050626	12,3690067	-3,954391	11,9340649
231250000	-4,0887298	2,66343979	-3,9768509	2,28078243
234200000	-4,1011259	-6,8517126	-3,9939136	-7,428689
237150000	-4,1450137	-16,811831	-3,9936252	-17,021871
240100000	-4,160915	-26,285804	-4,0109676	-27,107487
243050000	-4,1895806	-36,090628	-4,0034057	-36,872623
246000000	-4,2387267	-45,716119	-4,0196215	-46,524129
248950000	-4,2761085	-55,288898	-4,0425139	-56,371687
251900000	-4,3028889	-64,810587	-4,1082471	-65,871615
254850000	-4,3549634	-74,4847	-4,1001964	-76,615673
257800000	-4,4050202	-84,334754	-4,1815315	-86,744046
260750000	-4,4595877	-94,35768	-4,2456494	-96,993117
263700000	-4,4741227	-103,58686	-4,382039	-107,19796
266650000	-4,506366	-113,76838	-4,4900336	-116,5324
269600000	-4,5203299	-123,51973	-4,5542619	-126,41614
272550000	-4,5505064	-133,54677	-4,6421124	-135,64783
275500000	-4,5776937	-142,92416	-4,6765721	-145,83729
278450000	-4,6001853	-153,07246	-4,68221	-155,41785
281400000	-4,634012	-163,34988	-4,7579702	-164,94329
284350000	-4,6752351	-173,55859	-4,7919389	-175,11257
287300000	-4,6952882	176,593512	-4,8214245	174,900231
290250000	-4,7375185	166,623347	-4,8691028	164,808171
293200000	-4,7990926	155,801171	-4,9114903	154,292402
296150000	-4,8587711	145,422708	-4,9847952	144,234128
299100000	-4,9374732	134,384125	-5,083185	133,443195
302050000	-5,0117361	124,062456	-5,1204547	123,070859
305000000	-5,1169989	113,008479	-5,2114837	112,12846
307950000	-5,2332663	102,370559	-5,325395	101,56364
310900000	-5,3905921	91,5776046	-5,4958173	90,7045159
313850000	-5,5429242	80,7851684	-5,6424679	79,9409933
316800000	-5,7396043	70,0829591	-5,8273315	68,9490519
319750000	-5,9374616	59,2242765	-6,0266758	58,3528323
322700000	-6,1767601	48,6224435	-6,2551256	47,5090069
325650000	-6,4102063	37,9440437	-6,4949545	36,9204856
328600000	-6,6754657	27,0679237	-6,7319853	26,3853958
331550000	-6,9163789	16,4427365	-6,9770744	15,9323921
334500000	-7,1633844	6,06031652	-7,2415603	5,17699585
337450000	-7,4229019	-4,3688556	-7,4778182	-5,2369925
340400000	-7,6780863	-14,637327	-7,7295482	-15,359
343350000	-7,93346	-25,266422	-8,0096293	-26,032814

346300000	-8,2107462	-35,635898	-8,2751544	-36,428098
349250000	-8,5130515	-45,756817	-8,5675515	-46,752618
352200000	-8,8094508	-56,872089	-8,9004567	-57,775646
355150000	-9,1332096	-67,454682	-9,1854753	-68,010194
358100000	-9,483413	-77,754549	-9,5333044	-78,774759
361050000	-9,8582555	-88,566452	-9,9093635	-88,938386
364000000	-10,247144	-98,361069	-10,297631	-99,618174
366950000	-10,645198	-109,0563	-10,704526	-109,81862
369900000	-11,087788	-119,43438	-11,137529	-120,15861
372850000	-11,537031	-129,44035	-11,577484	-130,53555
375800000	-11,980706	-139,28318	-12,028497	-140,20644
378750000	-12,43788	-149,10947	-12,458875	-149,90316
381700000	-12,913897	-159,08164	-12,920012	-159,67831
384650000	-13,35362	-167,98221	-13,393733	-169,08502
387600000	-13,812305	-177,76751	-13,864959	-178,36473
390550000	-14,2641	173,508811	-14,26922	172,633094
393500000	-14,665466	164,501114	-14,688698	163,092632
396450000	-15,103574	155,235244	-15,099959	154,087964
399400000	-15,509806	146,09046	-15,513936	145,107956
402350000	-15,904328	136,866196	-15,908389	135,996656
405300000	-16,297821	127,732806	-16,277884	127,278103
408250000	-16,665253	118,739321	-16,677471	117,713834
411200000	-17,067957	109,357378	-17,048112	108,492733
414150000	-17,427845	100,623006	-17,419606	99,4386674
417100000	-17,801301	91,1437615	-17,818479	90,2448349
420050000	-18,207376	82,2166963	-18,185107	81,0873876
423000000	-18,588391	72,8403394	-18,550105	72,1210355
425950000	-19,004963	63,6424271	-19,002334	62,4839485
428900000	-19,428116	54,1594961	-19,426846	53,4864692
431850000	-19,874967	45,1952836	-19,863264	44,2821153
434800000	-20,319735	36,6032301	-20,306859	35,5966039
437750000	-20,761567	27,5961369	-20,755801	26,4837081
440700000	-21,215293	18,5295602	-21,215553	17,6759293
443650000	-21,720516	10,1082431	-21,64758	8,90003417
446600000	-22,12869	1,46629183	-22,108556	0,32319604
449550000	-22,585501	-7,4740023	-22,529883	-8,4480078
452500000	-23,018153	-15,582892	-23,002391	-16,879294
455450000	-23,461047	-23,862577	-23,422159	-24,751167
458400000	-23,902377	-32,234768	-23,837855	-33,025586
461350000	-24,347968	-39,904444	-24,26419	-40,973429
464300000	-24,707482	-48,183694	-24,649601	-49,661411
467250000	-25,075337	-56,262615	-25,033606	-57,742107
470200000	-25,464652	-64,730053	-25,398299	-65,658979
473150000	-25,852657	-72,549288	-25,780488	-73,670596
476100000	-26,207856	-80,632076	-26,139101	-82,071391
479050000	-26,534676	-88,842775	-26,499456	-90,110858
482000000	-26,902781	-97,199432	-26,836322	-98,744315
484950000	-27,253656	-105,16512	-27,167767	-106,91669
487900000	-27,578562	-113,73238	-27,508264	-114,99142
490850000	-27,939048	-122,20747	-27,847569	-123,40335
493800000	-28,263446	-130,28462	-28,184447	-132,13495
496750000	-28,614424	-138,79184	-28,516365	-140,39937
499700000	-28,991834	-146,95517	-28,904667	-149,12088
502650000	-29,351135	-155,20384	-29,261792	-157,6386
505600000	-29,726598	-163,906	-29,63461	-165,71036
508550000	-30,099084	-171,59121	-29,992397	-173,81098
511500000	-30,474669	179,936125	-30,369151	177,494836
514450000	-30,862288	171,503864	-30,747049	169,277145
517400000	-31,257506	163,223332	-31,1359	160,731393

520350000	-31,659938	154,822108	-31,516685	152,590651
523300000	-32,046734	146,935177	-31,906796	144,693697
526250000	-32,415055	139,128288	-32,272219	136,597887
529200000	-32,776153	131,136417	-32,65006	128,766536
532150000	-33,160513	123,094252	-33,020549	120,317005
535100000	-33,521843	115,285341	-33,363301	112,281604
538050000	-33,88048	107,040257	-33,715598	104,25436
541000000	-34,239871	99,1346421	-34,079913	96,3395517
543950000	-34,611378	91,3928719	-34,442807	88,3427451
546900000	-34,968518	83,5387039	-34,821247	80,0405649
549850000	-35,299023	75,4499902	-35,168653	71,9976349
552800000	-35,679755	67,5415368	-35,453848	63,850333
555750000	-36,033068	59,5285305	-35,855401	55,8101706
558700000	-36,391794	51,820385	-36,201552	47,7193421
561650000	-36,753653	43,7397296	-36,542917	39,2112369
564600000	-37,138836	35,4171299	-36,918912	31,5984986
567550000	-37,48506	27,6005442	-37,289548	23,0233692
570500000	-37,860726	20,0163203	-37,648007	15,3373773
573450000	-38,24745	12,578278	-37,99308	7,30585206
576400000	-38,595888	4,98935486	-38,329786	-0,3493959
579350000	-38,898826	-2,3617209	-38,634389	-8,2651897
582300000	-39,234648	-10,215643	-38,939196	-15,820576
585250000	-39,581528	-17,689715	-39,278889	-23,669354
588200000	-39,921744	-25,27139	-39,62648	-31,604482
591150000	-40,21892	-32,914326	-39,934482	-39,45769
594100000	-40,539688	-40,445228	-40,187629	-47,102709
597050000	-40,805949	-48,139982	-40,468326	-54,983706
600000000	-41,064732	-55,345973	-40,715776	-63,264941

Πίνακας Π.3.13 : Συντελεστές μετάδοσης από τη θύρα 1 στις θύρες 2 και 3

Συντελεστές ανάκλασης στις θύρες 1, 2 και 3						
freq (Hz)	S11		S22		S33	
	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase
10000000	-9,8971547	137,498792	-11,308802	128,209758	-11,268054	127,765202
12950000	-10,046366	125,183628	-12,007538	115,901403	-11,948603	114,900729
15900000	-10,166982	113,499081	-12,68193	104,573977	-12,647517	103,481204
18850000	-10,29998	102,220876	-13,338289	94,6887736	-13,358457	93,5022658
21800000	-10,438377	90,7211523	-13,881302	85,4352272	-13,943796	84,5389479
24750000	-10,555674	80,1069555	-14,332903	76,9574115	-14,471966	76,1505368
27700000	-10,627949	69,2547476	-14,684131	69,0389328	-14,881787	68,7253681
30650000	-10,727204	57,4399621	-14,896998	61,4983251	-15,086204	61,4489612
33600000	-10,790442	46,4047768	-15,085421	53,7307687	-15,260681	53,5325069
36550000	-10,882206	34,6913483	-15,132434	45,5482572	-15,29196	45,8034785
39500000	-10,929845	23,6002796	-15,130782	37,8276496	-15,251812	38,3360628
42450000	-10,976887	12,3688843	-15,026442	30,177529	-15,076927	30,159286
45400000	-11,005372	0,89086811	-14,901661	21,1302572	-14,821514	21,7307799
48350000	-11,057618	-10,828113	-14,729825	12,4823963	-14,630801	12,4303384
51300000	-11,121946	-22,881857	-14,537988	3,6618624	-14,43532	2,5830565
54250000	-11,207785	-35,148951	-14,353112	-5,84927	-14,321011	-8,0330553
57200000	-11,319907	-47,700489	-14,158521	-15,248937	-14,179425	-17,86769
60150000	-11,473031	-59,806454	-13,989701	-25,153433	-14,084718	-28,563828
63100000	-11,680053	-71,145618	-13,827192	-35,267377	-13,937203	-38,147779
66050000	-11,884187	-83,277277	-13,671121	-45,510282	-13,81832	-48,00798
69000000	-12,138914	-94,980413	-13,520419	-55,380637	-13,726387	-58,129999
71950000	-12,462664	-107,53689	-13,340871	-65,279385	-13,694137	-68,314418
74900000	-12,780715	-119,1741	-13,1895	-75,329836	-13,646381	-78,219925
77850000	-13,178622	-131,38057	-13,031895	-85,721669	-13,601409	-88,177051
80800000	-13,614004	-142,94991	-12,893105	-96,358589	-13,512586	-97,860343
83750000	-14,041838	-153,50979	-12,775164	-106,89225	-13,348755	-107,16699
86700000	-14,475164	-164,19209	-12,641813	-117,55688	-13,134022	-117,06138
89650000	-14,89681	-174,58468	-12,479496	-127,94454	-12,928809	-126,74348
92600000	-15,351649	174,374871	-12,329245	-138,87269	-12,748941	-137,36538
95550000	-15,773289	164,040236	-12,176223	-149,14203	-12,558521	-147,5831
98500000	-16,23038	153,662727	-11,999316	-159,96755	-12,358263	-158,0335
101450000	-16,635001	144,005854	-11,838558	-170,9707	-12,120065	-169,0502
104400000	-16,978418	134,523054	-11,688962	178,213207	-11,85285	-179,90418
107350000	-17,28661	124,870096	-11,544821	166,706198	-11,624902	168,611665
110300000	-17,632283	114,804604	-11,381412	155,508228	-11,40838	157,137715
113250000	-18,012279	104,038454	-11,272248	144,706902	-11,276623	145,278432
116200000	-18,414374	93,6060752	-11,147661	133,033027	-11,148332	133,912014
119150000	-18,811571	83,1750873	-11,010486	122,592019	-11,037845	121,567106
122100000	-19,327194	72,8152078	-10,887065	110,730784	-10,915944	110,144747
125050000	-19,751774	63,2479379	-10,779768	99,0715667	-10,824982	97,9081275
128000000	-20,348974	53,473896	-10,701578	88,0454261	-10,765559	85,7962392
130950000	-21,055692	44,1028035	-10,597294	76,6201432	-10,756672	74,0810512
133900000	-21,848138	35,4500069	-10,523721	64,9774097	-10,766273	62,3410022
136850000	-22,807233	28,5789993	-10,439224	53,232636	-10,773846	50,9631149
139800000	-23,834311	22,6797621	-10,426082	41,6098347	-10,795673	39,5467554
142750000	-24,800414	20,2807723	-10,377987	30,4619948	-10,813443	28,4589662

145700000	-25,583989	20,154788	-10,350425	19,2570173	-10,853851	17,0864006
148650000	-25,964654	22,2170747	-10,333637	7,24757443	-10,909553	5,74102182
151600000	-25,704237	25,4081922	-10,317542	-4,2939322	-10,954845	-4,8569213
154550000	-24,842247	26,1757618	-10,335054	-15,900724	-10,994356	-15,737326
157500000	-23,7019	24,5366874	-10,346638	-27,51378	-11,040884	-26,606156
160450000	-22,495398	19,8663872	-10,370273	-39,352864	-11,067513	-37,522248
163400000	-21,365336	11,836964	-10,370801	-50,839643	-11,050639	-48,531689
166350000	-20,297024	3,56675566	-10,469242	-62,893559	-11,069341	-59,520533
169300000	-19,443536	-6,7827997	-10,499084	-74,658118	-11,049596	-70,802487
172250000	-18,671	-17,759376	-10,577985	-86,602904	-11,033578	-82,595982
175200000	-17,993007	-29,591798	-10,642097	-98,602438	-11,008269	-94,127023
178150000	-17,45204	-41,961455	-10,718789	-110,44755	-10,975392	-105,88856
181100000	-16,968787	-54,22886	-10,831898	-122,85276	-10,961632	-118,38561
184050000	-16,561541	-66,973532	-10,88526	-134,19703	-10,909068	-130,30039
187000000	-16,198494	-80,291534	-10,969733	-145,8048	-10,906638	-142,9137
189950000	-15,888704	-92,953054	-11,046225	-157,41865	-10,91303	-155,01302
192900000	-15,593762	-105,40644	-11,142722	-169,17319	-10,935394	-167,47032
195850000	-15,320934	-118,38017	-11,243691	179,291732	-11,014439	-179,93475
198800000	-15,072503	-130,84269	-11,373899	167,653604	-11,073135	168,140843
201750000	-14,840785	-143,49327	-11,477629	156,385135	-11,249612	155,985465
204700000	-14,57636	-155,1366	-11,622039	144,907612	-11,419432	144,279287
207650000	-14,299001	-166,72039	-11,7511	134,252359	-11,627543	133,078956
210600000	-14,017103	-177,98004	-11,911178	123,020649	-11,862679	122,052744
213550000	-13,698947	170,533391	-12,075752	112,101574	-12,124632	111,047712
216500000	-13,414795	158,389516	-12,248259	101,092897	-12,401287	100,249913
219450000	-13,076741	147,131354	-12,401555	90,9113372	-12,674117	90,7711205
222400000	-12,701955	135,953064	-12,604499	80,4141774	-12,934446	81,3628527
225350000	-12,390347	123,847555	-12,807504	69,857586	-13,15437	72,114641
228300000	-12,071837	111,149235	-13,01572	60,1962853	-13,33994	62,774827
231250000	-11,772789	98,8301774	-13,256302	50,0371541	-13,453015	53,7702249
234200000	-11,515817	85,7264972	-13,50022	40,2769535	-13,506637	44,6968912
237150000	-11,268388	72,5241221	-13,754423	30,8924235	-13,566939	35,6650276
240100000	-11,087456	58,6263107	-13,976444	22,50659	-13,541032	26,8832252
243050000	-10,939673	44,6502481	-14,165023	14,247061	-13,458245	17,3181657
246000000	-10,845262	29,8704662	-14,268502	6,23075404	-13,309677	7,92080843
248950000	-10,752003	15,7159127	-14,143567	-0,9221771	-13,090527	-1,8135362
251900000	-10,738242	0,49966098	-13,768629	-7,5416138	-12,740226	-11,707436
254850000	-10,722593	-14,544183	-13,09579	-16,297219	-12,204807	-22,211452
257800000	-10,72232	-29,463294	-12,160657	-26,695982	-11,582935	-34,486017
260750000	-10,796249	-45,564486	-11,311851	-40,410216	-10,977912	-48,203452
263700000	-10,808418	-61,058001	-10,674226	-55,963447	-10,599858	-63,992356
266650000	-10,814106	-76,297344	-10,365198	-72,204395	-10,459809	-80,396853
269600000	-10,862546	-92,162208	-10,372857	-88,955233	-10,560485	-95,855013
272550000	-10,860759	-107,25055	-10,535823	-103,79796	-10,780898	-110,47391
275500000	-10,842435	-123,22163	-10,681971	-117,62564	-11,099736	-124,13836
278450000	-10,840612	-139,16294	-10,920726	-131,44517	-11,40254	-137,0316
281400000	-10,755012	-154,52748	-11,156493	-144,57421	-11,698067	-149,31508
284350000	-10,626067	-169,95919	-11,356386	-156,83562	-11,924464	-161,38013
287300000	-10,467211	173,934971	-11,5598	-169,25053	-12,084701	-172,74585
290250000	-10,234933	157,951776	-11,728002	178,056653	-12,160012	175,732857
293200000	-9,9732333	141,722149	-11,825429	166,078489	-12,228352	163,636309
296150000	-9,6952155	125,072993	-11,910368	154,274979	-12,235504	151,700038

299100000	-9,349609	108,586461	-11,978495	141,907694	-12,239339	138,799517
302050000	-8,9889801	91,7401206	-12,03107	129,748124	-12,214286	126,365827
305000000	-8,6352324	74,5677247	-12,076038	117,532411	-12,225115	113,020806
307950000	-8,2268593	57,8441314	-12,122668	104,934696	-12,2483	99,4312986
310900000	-7,8432179	40,8636111	-12,174018	92,2287807	-12,321671	86,2934659
313850000	-7,4512983	23,9151607	-12,186006	79,5646114	-12,424717	72,6434319
316800000	-7,0776369	6,70597321	-12,2185	66,4984778	-12,568432	59,3081298
319750000	-6,6954631	-9,8087023	-12,267402	53,4335505	-12,775561	45,0969948
322700000	-6,3604429	-27,193373	-12,322051	40,2123107	-13,016503	31,1845128
325650000	-5,9973469	-43,597775	-12,436857	26,1488378	-13,224579	17,7953499
328600000	-5,6803473	-60,023867	-12,561516	12,2644016	-13,489019	4,04163474
331550000	-5,3796683	-76,578953	-12,692364	-1,7907038	-13,769077	-9,6543857
334500000	-5,0824024	-92,728855	-12,880313	-16,358329	-13,982998	-23,003468
337450000	-4,8058143	-108,72419	-13,059383	-31,308021	-14,224817	-36,797404
340400000	-4,5186575	-124,51488	-13,301469	-45,959337	-14,432291	-50,859879
343350000	-4,260989	-139,81486	-13,569723	-60,679165	-14,631593	-65,073403
346300000	-3,9843727	-154,90338	-13,855881	-75,897037	-14,81685	-79,576078
349250000	-3,7335143	-170,02487	-14,206301	-91,337247	-14,93745	-94,076546
352200000	-3,4788101	175,234171	-14,564404	-107,01419	-15,06179	-109,44135
355150000	-3,2407681	160,701708	-14,911844	-122,23697	-15,19342	-124,94263
358100000	-3,0459747	145,855454	-15,237242	-137,54122	-15,265143	-140,90856
361050000	-2,8344383	131,797932	-15,595365	-152,88682	-15,323667	-156,80053
364000000	-2,6398434	117,734637	-15,860914	-167,83289	-15,378829	-172,01926
366950000	-2,4670019	103,879512	-16,106466	-177,589667	-15,41301	-171,784507
369900000	-2,3030693	90,0569858	-16,297373	-162,579069	-15,444101	-156,313265
372850000	-2,1564809	76,8148639	-16,400764	-148,78303	-15,426656	-140,954896
375800000	-2,0421138	63,4945921	-16,467085	-134,692483	-15,418786	-125,823582
378750000	-1,8987986	49,9709636	-16,441443	-120,456577	-15,390899	-110,707361
381700000	-1,7910397	36,6245657	-16,335131	-106,764024	-15,372424	-96,3169795
384650000	-1,7181164	23,4622873	-16,215265	-93,1908894	-15,340557	-81,7242278
387600000	-1,6381749	10,3042895	-16,015069	-79,3907114	-15,336288	-66,9956991
390550000	-1,5293803	-3,0061223	-15,786333	-65,2875077	-15,307518	-52,8396869
393500000	-1,442119	-15,878961	-15,546256	-51,5845402	-15,257588	-38,7779886
396450000	-1,3463108	-28,850304	-15,323487	-37,0598506	-15,249757	-24,3394786
399400000	-1,2752923	-41,492301	-15,116874	-22,6579974	-15,181413	-10,7253546
402350000	-1,2937261	-54,470825	-14,985976	-8,0962107	-15,113708	-3,0897835
405300000	-1,2172619	-67,068507	-14,819458	-6,8417081	-15,06268	-17,09402
408250000	-1,2258864	-80,004098	-14,692381	-21,371466	-14,981231	-30,527341
411200000	-1,154054	-92,63098	-14,566392	-35,979149	-14,899265	-44,484282
414150000	-1,117892	-105,45567	-14,488369	-51,347308	-14,808427	-58,214909
417100000	-1,08067	-117,80771	-14,417687	-66,112556	-14,723827	-72,123402
420050000	-1,0754788	-130,09078	-14,40115	-81,402616	-14,586479	-85,603392
423000000	-1,0625547	-143,22904	-14,351061	-96,837073	-14,473971	-99,62625
425950000	-1,0020556	-155,25585	-14,357196	-111,55971	-14,324871	-113,08551
428900000	-0,9655412	-167,27026	-14,359532	-126,50356	-14,181322	-126,78838
431850000	-0,9514019	-179,27619	-14,33016	-140,77418	-14,004725	-139,96745
434800000	-1,0108612	168,213778	-14,339821	-155,05373	-13,785696	-152,54685
437750000	-0,9347262	156,260177	-14,292865	-168,5625	-13,638472	-166,1746
440700000	-0,9188157	144,610396	-14,269036	-178,243894	-13,432385	-179,02924
443650000	-0,9082295	132,862056	-14,219185	-165,884616	-13,255156	-168,164905
446600000	-0,8806996	120,910797	-14,158301	-153,593197	-13,064398	-155,518553
449550000	-0,8797539	109,267246	-14,081446	-141,71774	-12,848951	-143,521971

452500000	-0,8733071	97,7479599	-13,947997	130,07712	-12,67342	130,634981
455450000	-0,8437145	86,1645679	-13,82839	119,713103	-12,512139	118,691754
458400000	-0,8373485	74,5922054	-13,647204	108,988286	-12,333667	106,738748
461350000	-0,8296371	62,8905611	-13,41291	98,4340193	-12,160876	94,9753267
464300000	-0,7906536	51,916687	-13,184942	87,7714582	-11,982393	83,3402992
467250000	-0,8230875	40,4949155	-12,91951	77,244535	-11,840572	71,316829
470200000	-0,8031696	28,9690843	-12,636567	66,0082787	-11,66046	60,2254625
473150000	-0,7499427	17,5968248	-12,342728	55,7386982	-11,574906	48,2562496
476100000	-0,756456	6,5999529	-12,013004	44,5105529	-11,437282	36,7416237
479050000	-0,7559439	-4,7877582	-11,741823	32,7062241	-11,327784	25,3782085
482000000	-0,723137	-16,099871	-11,505401	21,212818	-11,202644	14,0346284
484950000	-0,7010938	-27,238948	-11,229765	9,38078486	-11,133367	2,49869939
487900000	-0,7453697	-39,074084	-11,00736	-2,7299112	-10,983905	-8,9410425
490850000	-0,7187369	-50,31691	-10,832902	-15,367599	-10,953905	-20,171111
493800000	-0,6831551	-61,452563	-10,691956	-27,950721	-10,892092	-31,89386
496750000	-0,6635106	-72,664016	-10,571888	-40,648522	-10,816269	-43,247499
499700000	-0,7168291	-84,57416	-10,498514	-53,473201	-10,74213	-54,641951
502650000	-0,7198108	-95,956485	-10,440441	-66,096346	-10,684926	-66,124102
505600000	-0,6483508	-107,28928	-10,418534	-78,690627	-10,635776	-77,901703
508550000	-0,6636814	-118,95789	-10,442896	-91,120143	-10,570177	-89,636878
511500000	-0,70764	-130,59199	-10,463315	-103,47399	-10,48927	-101,01558
514450000	-0,666363	-141,77477	-10,545485	-115,64699	-10,429125	-112,52644
517400000	-0,6854962	-153,42913	-10,628089	-127,29451	-10,352941	-124,35789
520350000	-0,6913509	-164,78259	-10,715379	-138,86479	-10,288515	-136,12055
523300000	-0,7174947	-176,12481	-10,822894	-150,2692	-10,243514	-148,00271
526250000	-0,7045712	172,206989	-10,894714	-161,18397	-10,122016	-159,02265
529200000	-0,7211792	161,062433	-10,964469	-171,54792	-10,055444	-170,70507
532150000	-0,7322766	150,005381	-10,992	177,597365	-9,9688876	177,903132
535100000	-0,7294898	139,150917	-10,956685	167,192327	-9,8754593	166,362201
538050000	-0,7512428	127,639325	-10,863536	157,014521	-9,7952213	154,622933
541000000	-0,7516732	116,423397	-10,690886	147,128862	-9,7093367	143,273084
543950000	-0,7586537	105,244041	-10,499804	136,55945	-9,6043931	132,114732
546900000	-0,8024997	94,8751031	-10,305754	125,464809	-9,5070061	120,585323
549850000	-0,728261	83,7563437	-10,070653	114,838675	-9,3918257	109,479392
552800000	-0,7484033	72,5098811	-9,8157323	103,600949	-9,308454	98,2390445
555750000	-0,7582464	61,9643277	-9,5330026	92,4504048	-9,1993479	87,4149192
558700000	-0,7269379	51,1365589	-9,2480102	81,1930107	-9,1193083	76,0764442
561650000	-0,715528	40,4344108	-8,9748393	69,6578495	-9,0345948	65,2652838
564600000	-0,676909	29,9289581	-8,7839394	58,1944739	-8,9566338	54,3384847
567550000	-0,6843013	19,3765562	-8,6048395	46,4032466	-8,862433	43,7444986
570500000	-0,7088338	7,97510219	-8,4747505	34,5855574	-8,7915699	33,0661
573450000	-0,666036	-2,6439951	-8,3509222	23,0303535	-8,7040903	21,9240034
576400000	-0,6527627	-13,708161	-8,2850883	11,639812	-8,6561047	11,0817859
579350000	-0,681467	-24,397795	-8,2280249	-0,1803572	-8,5961013	0,46100457
582300000	-0,6218297	-35,272519	-8,2918575	-11,116259	-8,5466037	-10,370114
585250000	-0,6189816	-46,262668	-8,3361989	-22,612615	-8,5032983	-21,085469
588200000	-0,5878578	-56,923778	-8,4071993	-33,511444	-8,4666324	-31,992827
591150000	-0,6321953	-68,124212	-8,513564	-44,751678	-8,4346689	-43,027794
594100000	-0,5604045	-78,767494	-8,5875001	-55,163529	-8,3955784	-53,638624
597050000	-0,5764185	-90,100896	-8,7044414	-65,977925	-8,3815681	-64,597172
600000000	-0,5632332	-100,94341	-8,7677189	-76,140535	-8,3588741	-75,43641

Πίνακας Π.3.14: Συντελεστές ανάκλισης στις θύρες 1, 2 και 3

Συντελεστές μετάδοσης από τη θύρα 2 στη θύρα 3 και αντίστροφα				
freq (Hz)	S23		S32	
	Mag (dB)	phase	Mag (dB)	phase
1000000	-4,2046494	-34,128949	-4,2876936	-34,046211
1295000	-4,5503299	-43,007478	-4,5693411	-43,237714
1590000	-4,8304224	-51,30789	-4,8493307	-51,446378
1885000	-5,0284864	-59,459096	-5,079785	-59,49405
2180000	-5,309688	-67,016997	-5,2906112	-67,4256
2475000	-5,4701289	-75,356728	-5,4811901	-75,194004
2770000	-5,6687704	-83,166557	-5,6705782	-83,09074
3065000	-5,817721	-91,110373	-5,8249911	-90,697532
3360000	-5,9657547	-98,728285	-5,9337722	-98,746688
3655000	-6,1011172	-106,36767	-6,09358	-106,51573
3950000	-6,2380521	-114,42383	-6,2289057	-114,21228
4245000	-6,3391525	-122,17562	-6,3780733	-122,27548
4540000	-6,5001821	-130,00326	-6,4594574	-129,62362
4835000	-6,5711088	-137,29268	-6,5608751	-137,52214
5130000	-6,6688977	-145,34178	-6,6745734	-145,14442
5425000	-6,7708167	-153,41316	-6,7779552	-152,7768
5720000	-6,8774946	-160,51394	-6,8799864	-160,56046
6015000	-6,9820493	-168,77165	-6,9858711	-168,99961
6310000	-7,0873024	-176,49658	-7,1032209	-176,34721
6605000	-7,2254376	176,077955	-7,204848	176,000897
6900000	-7,3307271	168,162063	-7,346771	168,179414
7195000	-7,4588799	160,481804	-7,4577093	160,679517
7490000	-7,5863684	153,140372	-7,5862398	152,806517
7785000	-7,7228202	145,392041	-7,7297145	145,269023
8080000	-7,8268132	137,477767	-7,8796298	137,457728
8375000	-8,0240148	129,864147	-8,0232563	129,876891
8670000	-8,1843221	122,417862	-8,1853776	122,230893
8965000	-8,3434358	114,560557	-8,3458008	114,684661
9260000	-8,5151206	107,114518	-8,5158888	107,25836
9555000	-8,6897426	100,160115	-8,6778564	99,8880423
9850000	-8,8533262	92,4719797	-8,8671326	92,7091325
10145000	-9,0545192	85,129264	-9,0342311	85,2226527
10440000	-9,2059732	78,1708709	-9,2379703	78,2171286
10735000	-9,3997532	71,0715169	-9,4019745	71,3773231
11030000	-9,5648874	63,8650001	-9,5950989	63,851804
11325000	-9,7614542	57,0305961	-9,7874843	56,870436
11620000	-9,9255279	49,9384344	-9,9491797	50,4289808
11915000	-10,109316	43,4078871	-10,114747	43,75362
12210000	-10,319256	36,5909511	-10,267615	36,606432
12505000	-10,425311	30,3988809	-10,411754	30,1485403
12800000	-10,566661	23,8967058	-10,577776	23,2741091
13095000	-10,710748	17,3198427	-10,698426	16,8621173
13390000	-10,844915	10,888725	-10,831193	10,4750817
13685000	-10,925357	4,32824571	-10,946204	4,2211565
13980000	-11,058472	-2,2054142	-11,066298	-2,0854313
14275000	-11,161385	-8,1587179	-11,156975	-8,3875706
14570000	-11,244484	-14,245487	-11,272881	-14,693111
14865000	-11,309695	-20,260057	-11,333343	-20,07396
15160000	-11,366486	-26,201836	-11,374042	-26,292641

154550000	-11,407086	-32,482794	-11,423814	-32,555669
157500000	-11,453908	-38,657467	-11,442549	-38,373495
160450000	-11,458822	-44,840875	-11,465132	-44,316008
163400000	-11,470933	-50,494503	-11,475079	-50,605443
166350000	-11,495815	-56,35948	-11,479196	-56,751435
169300000	-11,46943	-62,597152	-11,469173	-62,232465
172250000	-11,475001	-68,847131	-11,437135	-68,695232
175200000	-11,39127	-74,784814	-11,387789	-74,508455
178150000	-11,334336	-80,377074	-11,328943	-80,716371
181100000	-11,286969	-86,711891	-11,258682	-86,946616
184050000	-11,183847	-93,328711	-11,178659	-92,968211
187000000	-11,090137	-99,277533	-11,098899	-99,255104
189950000	-10,994973	-105,35886	-10,984592	-105,4011
192900000	-10,861736	-111,51903	-10,873774	-111,6883
195850000	-10,733809	-117,84541	-10,742004	-117,87398
198800000	-10,5835	-124,09745	-10,58831	-124,09552
201750000	-10,433144	-130,69735	-10,460554	-130,70947
204700000	-10,283788	-137,36352	-10,259113	-137,57877
207650000	-10,117531	-144,375	-10,131054	-144,19996
210600000	-9,9583502	-150,86325	-9,9863651	-150,63141
213550000	-9,8090016	-157,39745	-9,8072426	-157,79712
216500000	-9,6222665	-164,10815	-9,6456898	-164,45842
219450000	-9,4650834	-170,96295	-9,4750504	-170,93142
222400000	-9,3070586	-177,85783	-9,253918	-177,90135
225350000	-9,1482842	174,653569	-9,1517307	174,865468
228300000	-8,9856019	168,277941	-8,9916287	167,957772
231250000	-8,8098449	160,918566	-8,821427	160,955726
234200000	-8,6485841	154,148612	-8,6513413	154,13635
237150000	-8,4428888	147,339937	-8,448485	147,271239
240100000	-8,2349578	140,672099	-8,2283375	140,688762
243050000	-7,9936787	133,776539	-7,9950333	133,631884
246000000	-7,7023082	126,888533	-7,7044545	127,232132
248950000	-7,3421087	120,207265	-7,357515	120,152049
251900000	-6,9108053	112,908356	-6,927147	112,849017
254850000	-6,4196694	104,928171	-6,4546943	104,708246
257800000	-5,9693273	95,4698333	-5,9975182	95,5385341
260750000	-5,6296586	85,2338656	-5,6270202	85,0675963
263700000	-5,4627737	74,6317791	-5,4637236	74,249622
266650000	-5,4866948	63,9785595	-5,5067547	63,5054714
269600000	-5,6339695	54,0744817	-5,6552403	54,2086637
272550000	-5,8159019	45,4139122	-5,8456264	45,6440491
275500000	-6,0103157	37,9092148	-6,0070527	37,5611976
278450000	-6,1361171	29,8048004	-6,1425575	29,9430784
281400000	-6,2619404	22,3676383	-6,2456786	22,4825444
284350000	-6,3168461	15,3525578	-6,3126185	15,2343307
287300000	-6,3461164	8,03544739	-6,3534585	8,31763615
290250000	-6,3535253	1,51366279	-6,365613	1,03710192
293200000	-6,347071	-5,7174598	-6,3708209	-5,8025967
296150000	-6,3200026	-12,914249	-6,3359034	-13,166424
299100000	-6,3038972	-19,97198	-6,3077015	-20,323013
302050000	-6,2275052	-27,091981	-6,2353938	-27,23745
305000000	-6,1588875	-34,412459	-6,1679687	-34,586499

307950000	-6,0849132	-41,418981	-6,0941347	-41,653406
310900000	-5,9977419	-48,523352	-5,997008	-49,083487
313850000	-5,8781571	-56,088263	-5,9025206	-56,263217
316800000	-5,8231723	-63,117344	-5,7838286	-63,436944
319750000	-5,648199	-70,62281	-5,6807734	-70,857646
322700000	-5,5415869	-78,008855	-5,5343533	-78,018985
325650000	-5,4054373	-85,525557	-5,393847	-85,345438
328600000	-5,2578509	-92,887144	-5,2551477	-92,988892
331550000	-5,094458	-100,46856	-5,0900259	-100,40558
334500000	-4,9405136	-108,16423	-4,9343168	-107,90092
337450000	-4,7620642	-115,59585	-4,7770367	-115,75453
340400000	-4,5964285	-123,2277	-4,6092186	-123,41829
343350000	-4,425166	-131,02642	-4,4297405	-131,55438
346300000	-4,2800442	-138,9555	-4,2670965	-138,90314
349250000	-4,1149934	-146,92475	-4,1101984	-147,36241
352200000	-3,9745387	-155,02566	-3,9655452	-155,19883
355150000	-3,822439	-163,74969	-3,8170409	-164,01735
358100000	-3,6889874	-171,82262	-3,693344	-172,15894
361050000	-3,5744967	179,751953	-3,5968583	179,648143
364000000	-3,491314	171,561594	-3,5002678	171,34346
366950000	-3,403251	162,806954	-3,4339047	162,41256
369900000	-3,3388319	154,516611	-3,3259542	154,451867
372850000	-3,266349	146,341873	-3,2668622	145,967818
375800000	-3,2231977	137,667325	-3,2288928	138,067942
378750000	-3,1527429	129,834995	-3,1776715	129,232739
381700000	-3,1278792	121,468734	-3,1335622	121,209713
384650000	-3,0881598	112,75747	-3,1747252	112,528268
387600000	-3,0569891	104,360675	-3,071212	104,467287
390550000	-2,9813004	96,3345019	-3,053042	96,3122079
393500000	-2,9895446	88,2556329	-2,9964342	88,3703081
396450000	-2,9459597	79,9714731	-2,9671648	80,0834239
399400000	-2,8945919	71,4474787	-2,922129	71,9896595
402350000	-2,884197	63,3574478	-2,8882122	63,4210136
405300000	-2,8599865	55,0835303	-2,8632681	55,2373283
408250000	-2,8239235	46,7550007	-2,8263184	47,0086096
411200000	-2,8130578	38,5734629	-2,8058249	38,5202626
414150000	-2,7994468	30,4805014	-2,7973739	30,3945086
417100000	-2,7990634	22,2827926	-2,781878	22,3114475
420050000	-2,7959673	14,1183052	-2,7811057	13,8846505
423000000	-2,7979398	5,49328117	-2,7707507	5,66463133
425950000	-2,7769886	-2,8489334	-2,7797297	-3,0499671
428900000	-2,7918562	-11,190146	-2,7889971	-11,097857
431850000	-2,7963584	-19,629787	-2,8120382	-19,323087
434800000	-2,8117893	-27,445229	-2,8401393	-27,808129
437750000	-2,8420534	-35,275761	-2,8246358	-35,81622
440700000	-2,8553593	-43,544934	-2,8865797	-43,663998
443650000	-2,8537807	-51,84778	-2,8913385	-51,875319
446600000	-2,8575586	-60,091487	-2,8967453	-59,959904
449550000	-2,9080844	-67,872328	-2,9127707	-68,283845
452500000	-2,9385932	-76,197256	-2,9299738	-76,367402
455450000	-2,9432066	-83,651426	-2,9522294	-83,69914
458400000	-2,9818691	-91,787186	-2,9560955	-91,467234

461350000	-3,0066406	-99,55047	-2,9703208	-99,725398
464300000	-2,9690458	-107,46251	-2,9634725	-107,69865
467250000	-2,9732948	-115,63443	-2,9743143	-115,69496
470200000	-2,9929927	-123,80243	-2,9701307	-124,00078
473150000	-2,9810441	-131,75996	-2,989397	-132,10486
476100000	-3,0108412	-139,67566	-3,015772	-139,99822
479050000	-3,0221197	-147,36632	-3,0074618	-147,94859
482000000	-3,0218412	-155,76837	-3,0145793	-155,81214
484950000	-3,0269607	-164,03475	-3,0192039	-164,25259
487900000	-3,0480587	-172,15475	-3,0368704	-171,96706
490850000	-3,0532862	179,763916	-3,0592338	179,798574
493800000	-3,1053346	171,781827	-3,0623632	171,757269
496750000	-3,1189238	163,244251	-3,1279921	163,594747
499700000	-3,1633587	155,761688	-3,1680836	155,435037
502650000	-3,2092442	147,456256	-3,2052091	147,584229
505600000	-3,2322862	139,670457	-3,2426329	139,563268
508550000	-3,260218	131,872538	-3,2870909	131,443332
511500000	-3,3010509	123,921986	-3,296895	123,710043
514450000	-3,346921	115,927679	-3,3362544	115,779464
517400000	-3,3751803	108,006311	-3,3657471	107,940841
520350000	-3,4108719	100,091886	-3,4093211	100,29263
523300000	-3,4405517	92,4275643	-3,4297166	92,5050557
526250000	-3,4479962	84,9718398	-3,4493374	84,5818207
529200000	-3,4789052	76,9666668	-3,4656081	76,8423061
532150000	-3,476533	69,1026266	-3,4993788	68,845677
535100000	-3,5023291	61,3897456	-3,4689121	61,427036
538050000	-3,5135283	53,4067495	-3,4813628	53,3626122
541000000	-3,5162417	45,4955817	-3,4905676	45,4408305
543950000	-3,5180298	37,356304	-3,4968719	37,6158264
546900000	-3,5068166	29,4250997	-3,4925146	29,3847223
549850000	-3,5134485	22,0844158	-3,5016386	21,2391844
552800000	-3,5216757	13,3548356	-3,5076523	13,3355393
555750000	-3,5388961	5,30289864	-3,5337545	5,30502391
558700000	-3,554821	-2,6099895	-3,5457745	-3,5712381
561650000	-3,5945186	-11,047164	-3,5901554	-11,175727
564600000	-3,6567288	-19,179151	-3,6632085	-19,371713
567550000	-3,7301962	-27,288267	-3,7099122	-27,799608
570500000	-3,8098452	-35,108253	-3,7799301	-35,45318
573450000	-3,8458485	-43,106588	-3,8390493	-43,104917
576400000	-3,8868235	-51,017532	-3,8840207	-51,243076
579350000	-3,9279425	-58,163583	-3,9247695	-58,695346
582300000	-3,9700676	-66,067281	-3,9761078	-66,556932
585250000	-4,032103	-73,990879	-4,0302076	-73,757328
588200000	-4,0690004	-81,420354	-4,0750803	-81,747732
591150000	-4,1161375	-89,098428	-4,1262714	-89,527606
594100000	-4,12921	-96,837155	-4,1269934	-96,702338
597050000	-4,1249827	-104,3495	-4,1230628	-104,5793
600000000	-4,0966141	-112,02018	-4,1042032	-112,14359

Πίνακας Π.3.15: Συντελεστές μετάδοσης από τη θύρα 2 στη θύρα 3 και αντίστροφα

Βιβλιογραφία

- [1] Tanenbaum Andrew S., “Δίκτυα Υπολογιστών 1^η Έκδοση”, μετάφραση: Βασίλης Στυλιανάκης, Επιστημονική Επιμέλεια: Ευστάθιος Συκάς & Μιχαήλ Θεολόγου, *Α. Παπασωτηρίου & ΣΙΑ.Ο.Ε.*, 2000.
- [2] Μιχαήλ Ε. Θεολόγου, “Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών”, *Έκδοση Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου*, Αθήνα Μάρτιος 2004.
- [3] Χρήστος Καψάλης, Παναγιώτης Γ. Κωττής, “Κεραίες, Ασύρματες Ζεύξεις”, *Εκδόσεις Τζιόλα*, Θεσσαλονίκη, 2003.
- [4] Παναγιώτης Γ. Κωττής, “Διαμόρφωση και μετάδοση σημάτων”, *Εκδόσεις Τζιόλα*, Θεσσαλονίκη, 2003.
- [5] Νικόλαος Κ. Ουζούνογλου, “Εισαγωγή στα Μικροκύματα”, *Παπασωτηρίου & ΣΙΑ Ο.Ε.*, Αθήνα 1994.
- [6] Φ. Κωνσταντίνου, “Κινητές Επικοινωνίες-Μοντέλα Ραδιοκάλυψης”, *Έκδοση Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου*, 2002.
- [7] Φ. Κωνσταντίνου, “Εργαστήριο - Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες”, *Έκδοση Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου*, Αθήνα, Φεβρουάριος 2000.
- [8] Tanenbaum Andrew S., “Computer Networks, 3rd Edition”, *Prentice-Hall Inc*, 1996.
- [9] Guillermo Gonzales, “Microwave Transistor Amplifiers, second edition”, *Prentice-Hall*, 1997.
- [10] Kaveh Pahlavan, Allen H. Levesque, “Wireless Information Networks”, *John Wiley & Sons*, Inc. 1995.
- [11] A. Santamaria, F.J. Lopez-Hernandez, “Wireless LAN Systems”, *Artech House, Inc.*, 1994.
- [12] Fernando Noriega, Pedro J. González, “Designing LC Wilkinson power splitters”, RF interconnects/interfaces, *www.rfdesign.com*, August 2002.
- [13] Data Sheet C02710–8–10/01(0), “AD8367 - 500 MHz, Linear-in-dB VGA with AGC Detector”, © Analog Devices, Inc.
- [14] Data Sheet C02492–0–7/02(A), “AD8302 - LF - 2.7 GHz RF / IF Gain and Phase Detector”, © Analog Devices, Inc.
- [15] Data Sheet ED-5415A/3, JSPHS-150.PM6, LC/TD/CP 981109, “Surface Mount Phase Shifter JSPHS-150, 180⁰ Voltage Variable 100 to 150 MHz”, Mini Circuits ®
- [16] Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements, “Part 11:

Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications”, *Sponsor LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society*, ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition.

[17] Christopher Steger, Predrag Radosavljevic, and J. Patrick Frantz, “802.11b Operating in a Mobile Channel: Performance and Challenges”, *Rice University, Center for Multimedia Communication*.

[18] Supplement to IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements, “Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band”, *Sponsor LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society*, IEEE Std 802.11b-1999 (Supplement to ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition).

[19] IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements, “Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications-Amendment 2: Higher-speed Physical Layer (PHY) extension in the 2.4 GHz band-Corrigendum 1”, *Sponsored by the LAN/MAN Standards Committee IEEE Computer Society*, IEEE Std 802.11b-1999/Cor 1-2001 (Corrigendum to IEEE Std 802.11b-1999)

[20] Agilent E5070B/E5071B ENA Series RF Network Analyzers, “Manual Supplement Second Edition”, *Agilent Part No. E5070-90045*, Printed in Japan, October 2002.