



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

**Διαχείριση Φάσματος και Έγχυσης Ισχύος στο Ελληνικό Δίκτυο Πρόσβασης
Χαλκού**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λόουελ – Παναγιώτης Γ. Δήμος

Επιβλέπων: Παναγιώτης Γ. Κωττής, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2017



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

**Διαχείριση Φάσματος και Έγχυσης Ισχύος στο Ελληνικό Δίκτυο Πρόσβασης
Χαλκού**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λόουελ – Παναγιώτης Γ. Δήμος

Επιβλέπων: Παναγιώτης Γ. Κωττής, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Ιουλίου 2017.

.....
Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Χ. Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Γ. Φικιώρης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2017

.....

Λόουελ – Παναγιώτης Γ. Δήμος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Λόουελ – Παναγιώτης Γ. Δήμος, 2017

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

Περίληψη

Τα Δίκτυα Πρόσβασης Χαλκού αποτελούν το βασικό μέσο παροχής ευρυζωνικών συνδέσεων. Παρά την ύπαρξη, πλέον, νεότερων εναλλακτικών όπως τα δίκτυα οπτικών ινών και τα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι συνεχίζουν να εξελίσσουν και να αναβαθμίζουν την υπάρχουσα υποδομή δικτύων χαλκού. Ανώτερος σκοπός της στρατηγικής αυτής είναι η μεγιστοποίηση της απόδοσης των επενδύσεών τους, καθώς και λόγοι κοστοστρέφειας. Το βασικό πλεονέκτημα των δικτύων χαλκού είναι ότι καλύπτουν το σύνολο του πληθυσμού, ενώ η εξέλιξη της τεχνολογίας επιτρέπει τη διαρκή αναβάθμιση των δυνατοτήτων ρυθμαπόδοσής τους. Παρ' όλα αυτά, το δίκτυο χαλκού δεν είναι το ιδανικό περιβάλλον διάδοσης υψίσυχνων σημάτων. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση των χαρακτηριστικών του Ελληνικού δικτύου πρόσβασης και η πραγματοποίηση μιας λεπτομερούς ανάλυσης των τεχνολογικών προκλήσεων που αντιμετωπίζουν οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι. Επιπλέον, βασικό στόχο αποτελεί η παρουσίαση των εργαστηριακών μετρήσεων, διαδικασιών, μεθόδων και συμπερασμάτων που εξασφαλίζουν την αποδοτική εισαγωγή και αξιοποίηση της τεχνολογίας VDSL2 στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, η εν λόγω μελέτη επικεντρώνεται στη χρήση της μεθόδου περιορισμού της ισχύος της κατερχόμενης ζεύξης (DPBO). Μέσω αυτής διαφυλάσσεται η απόδοση των ήδη εγκατεστημένων τεχνολογιών κατά την εισαγωγή της τεχνολογίας VDSL2 σε αρχιτεκτονικές Fiber To The Cabinet (FTTC). Ο αλγόριθμος του περιορισμού της ισχύος της κατερχόμενης ζεύξης παρουσιάζεται, αναλύεται και αξιολογείται λεπτομερώς. Οι εργαστηριακές δοκιμές, τα σχετικά αποτελέσματα και η παραμετροποίηση του εξοπλισμού αποτελούν μέρος των διεργασιών της Εθνικής Επιτροπής Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) για τη δημιουργία του, πρώτου στην Ελλάδα, Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Φάσματος, με σκοπό τη ρύθμιση των φασματικών χαρακτηριστικών των σημάτων που εγχέονται στο Ελληνικό δίκτυο πρόσβασης χαλκού.

Λέξεις-Κλειδιά

Δίκτυα Πρόσβασης, Διαχείριση Φάσματος, Δίκτυα Νέας Γενιάς, Έγχυση Ισχύος, Φασματικός Περιορισμός

Abstract

The fixed copper access network has been for decades the prominent medium for delivering broadband internet services. Although there are modern alternatives such as optical and wireless networks, ISPs continue to develop and upgrade the copper access network in order to maximize the potential of their investment. The main advantage of copper is that there is existing infrastructure reaching every subscriber and as technology progresses, the capabilities of copper broadband access technologies increase. However, it is a rather harsh environment for the propagation of high frequency signals. The aim of this thesis is to present the characteristics of the Greek copper access network and to provide a thorough analysis of the challenges ISPs face as they try to exploit it. Furthermore, the main objective is to present the processes, lab trials and measures followed, in order to effectively introduce VDSL2 technologies into the network. More specifically, this study emphasizes in the utilization of the DPBO mechanism, as a means to safeguard existing technologies from the introduction of VDSL2 in FTTC topologies. The DPBO algorithm is explained in depth and the procedure of configuring all the parameters is being presented in detail. The lab trials and all the results obtained are part of the Hellenic Telecommunication Regulating Authority's (EETT) effort to create the first ever Greek Access Network Frequency Plan (ANFP), regulating the spectral characteristics of coexisting xDSL technologies in the Greek copper access network.

Keywords

Access Network Frequency Plan, ANFP, Spectral Management, Downstream Power Back-Off, DPBO, VDSL2, FTTC, Next Generation Access Networks, Copper Networks

Πινάκας Περιεχομένων

Περίληψη	5
Abstract	6
Πινάκας Περιεχομένων	7
Ακρωνύμια	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΧΑΛΚΟΥ	11
1.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ xDSL	11
1.1.1 Εισαγωγή.....	11
1.1.2 Διακριτή Πολυτονική Διαμόρφωση.....	12
1.1.3 Παρουσίαση Τεχνολογιών xDSL.....	12
1.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΧΑΛΚΟΥ	16
1.2.1 Κατηγοριοποίηση Παραγόντων	16
1.2.2 Εξασθένηση	17
1.2.3 Παρεμβολή.....	19
1.3 ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΡΟΧΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	25
1.3.1 Το Δίκτυο Πρόσβασης.....	25
1.3.2 Παροχή Ευρυζωνικών Υπηρεσιών.....	27
1.3.3 Δίκτυα FTTx	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ	33
2.1 Ηνωμένο Βασίλειο	33
2.2 Γαλλία	33
2.3 Ισπανία	33
2.4 Πορτογαλία	34
2.5 Κροατία.....	34
2.6 Ελβετία.....	34
2.7 Τουρκία	34
2.8 Λιθουανία.....	34
2.9 Λετονία	34
2.10 Φινλανδία.....	34
2.11 Ουγγαρία.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	36

3.1	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	36
3.2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ xDSL ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΕΓΧΥΣΗΣ ΑΥΤΩΝ.....	39
3.3	ΕΙΔΟΣ, ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΟ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	41
3.4	ΜΕΘΟΔΟΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	44
3.4.1	PSD Masking	44
3.4.2	PSD Shaping	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....		54
4.1	Σενάριο 1: Έγχυση σημάτων VDSL2 στο ΑΚ και το ΚV	54
4.1.1	Τρέχουσα κατάσταση του δικτύου.....	54
4.1.2	Έγχυση VDSL2 από το ΑΚ.....	55
4.1.3	Έγχυση VDSL2 από ΑΚ και από ΚV.....	60
4.2	Σενάριο 2: Ταυτόχρονη έγχυση σημάτων ADSL2+ από ΑΚ και ΚV	68
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ		72
5.1	Ενδεικτική παραμετροποίηση ενεργού εξοπλισμού δοκιμών.....	72
5.1.1	Κατατομή ADSL2+ με DPBO	72
5.1.2	Κατατομή VDSL2 8b.....	74
5.1.3	Κατατομή VDSL2 12a.....	77
5.1.4	Κατατομή VDSL2 17a με DPBO	79
5.2	Δομή συνδρομητικού τηλεφωνικού καλωδίου χαλκού.....	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		85

Ακρωνύμια

2B1Q PAM	Two-binary, one-quaternary Pulse Amplitude Modulation
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BPON	Broadband PON
BRAS	Broadband Remote Access Server
Crosstalk	Παρεμβολή, διαφωνία
DMT	Discrete Multi-Tone modulation
Downstream	Κατερχόμενη ζεύξη
DPBO	Downstream Power Back-off - Περιορισμός ισχύος κατερχόμενης ζεύξης
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Access Line Multiplexer
DSM	Dynamic Spectrum Management
EFM	Ethernet to the First Mile
EPON	Ethernet PON
FDM	Frequency Division Multiplexing
FEXT	Far-end crosstalk - μακρόθεν παρεμβολή (τηλεδιαφωνία)
FFT	Fast Fourier Transform
GEM	GPON Encapsulation Method
GPON	Gigabit PON
GUI	Graphical User Interface
HDSL	High-bitrate digital subscriber line
ISI	Intersymbol Interference
ITU	International Telecommunication Union
KV	Kabelverzweiger (ΚΑΦΑΟ)
MDF	Main Distribution Frame - Κύριος Κατανεμητής
NEXT	Near-end crosstalk - εγγύς παρεμβολή (παραδιαφωνία)
NGA	Next Generation Access - Δίκτυα Νέας Γενιάς
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
P2MP	Point to Multi-Point
P2P	Point to Point
PON	Passive Optical Network
POTS	Plain Old Telephone Service
PSD	Power Spectral Density - Φασματική Πυκνότητα Ισχύος
PSD Masking	Αποκοπή Φασματικής Πυκνότητας Ισχύος
PTM	Packet Transfer Mode
R-DSLAM	Remote DSLAM
SHDSL	Single pair HSDL
Skin effect	Επιδερμικό φαινόμενο
TDM	Time Division Multiplexing
UPBO	Upstream Power Back-off - Περιορισμός ισχύος ανερχόμενης ζεύξης
Upstream	Ανερχόμενη ζεύξη
VDSL	Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line

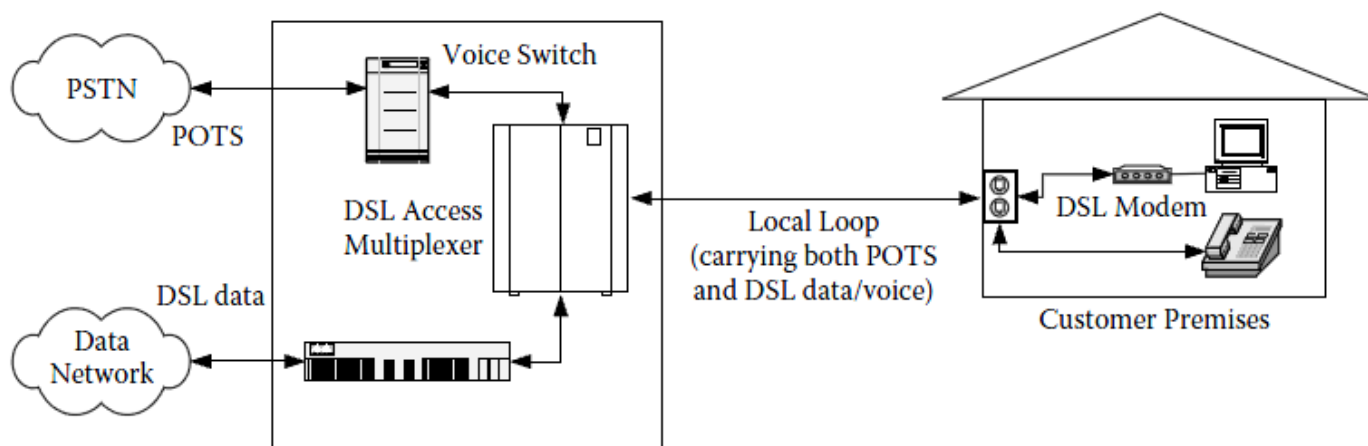
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΧΑΛΚΟΥ

1.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ xDSL

1.1.1 Εισαγωγή

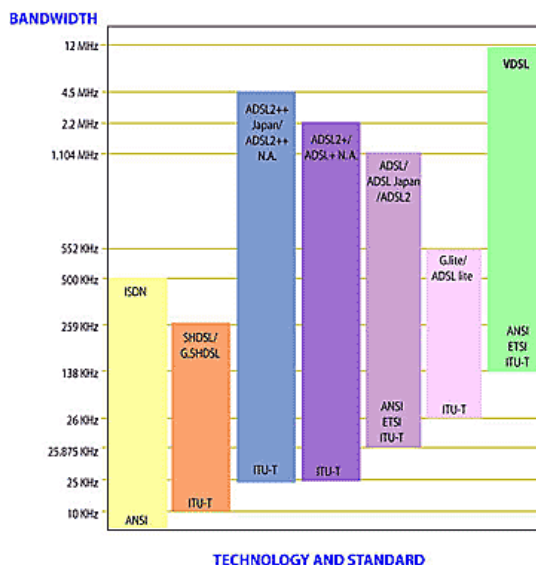
Σκοπός της ενότητας αυτής είναι η παρουσίαση των διαφόρων xDSL τεχνολογιών που συνθέτουν το περιβάλλον διάδοσης στον τοπικό βρόχο. Η γνώση των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων των τεχνολογιών αυτών δρα καταλυτικά στη σαφή κατανόηση των προβλημάτων που προκύπτουν από την ταυτόχρονη συνύπαρξη των τεχνολογιών αυτών στο δίκτυο χαλκού. Δίδεται έμφαση στο φυσικό επίπεδο¹ διότι τα φαινόμενα² που οδηγούν σε περιορισμό των επιδόσεων των διαφόρων τεχνολογιών επηρεάζονται κατά συνδυαστικό τρόπο από τη συνολική ισχύ και το φασματικό εύρος της εκάστοτε τεχνολογίας, καθιστώντας αδιάφορα οποιαδήποτε χαρακτηριστικά ανώτερου επιπέδου³.

Οι ευρυζωνικές (xDSL) τεχνολογίες προέκυψαν από την ανάγκη για μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες μέσω του προϋπάρχοντος χάλκινου τηλεφωνικού δικτύου. Η τεχνική πολύπλεξης με διαίρεση συχνότητας (FDM) κατέστησε δυνατή την αξιοποίηση συχνοτήτων άνω των 4kHz οι οποίες χρησιμοποιούνται για την απλή τηλεφωνία (POTS).



Σχήμα 1.1.1 Σχηματική αναπαράσταση τοπολογίας παροχής τηλεφωνικών και ευρυζωνικών υπηρεσιών

Με την πάροδο των ετών η ανάπτυξη της τεχνολογίας, κυρίως της ηλεκτρονικής, επέτρεψε την αξιοποίηση όλο και μεγαλύτερου ποσοστού του διαθέσιμου εύρους συχνοτήτων (Σχ. 1.1.2), οδηγώντας σε νέες ευρυζωνικές τεχνολογίες και ολοένα αυξανόμενους ρυθμούς μετάδοσης.



Σχήμα 1.1.2 Εύρος ζώνης συχνοτήτων τεχνολογιών xDSL

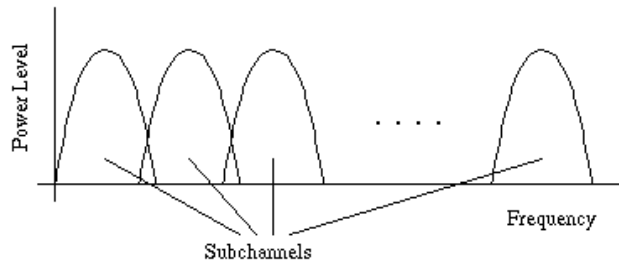
¹ Ισχύς και φάσμα συχνοτήτων

² Εξασθένηση και παρεμβολή (διαφωνία)

³ κωδικοποίηση, τεχνικές διόρθωσης λαθών κλπ.

1.1.2 Διακριτή Πολυτονική Διαμόρφωση

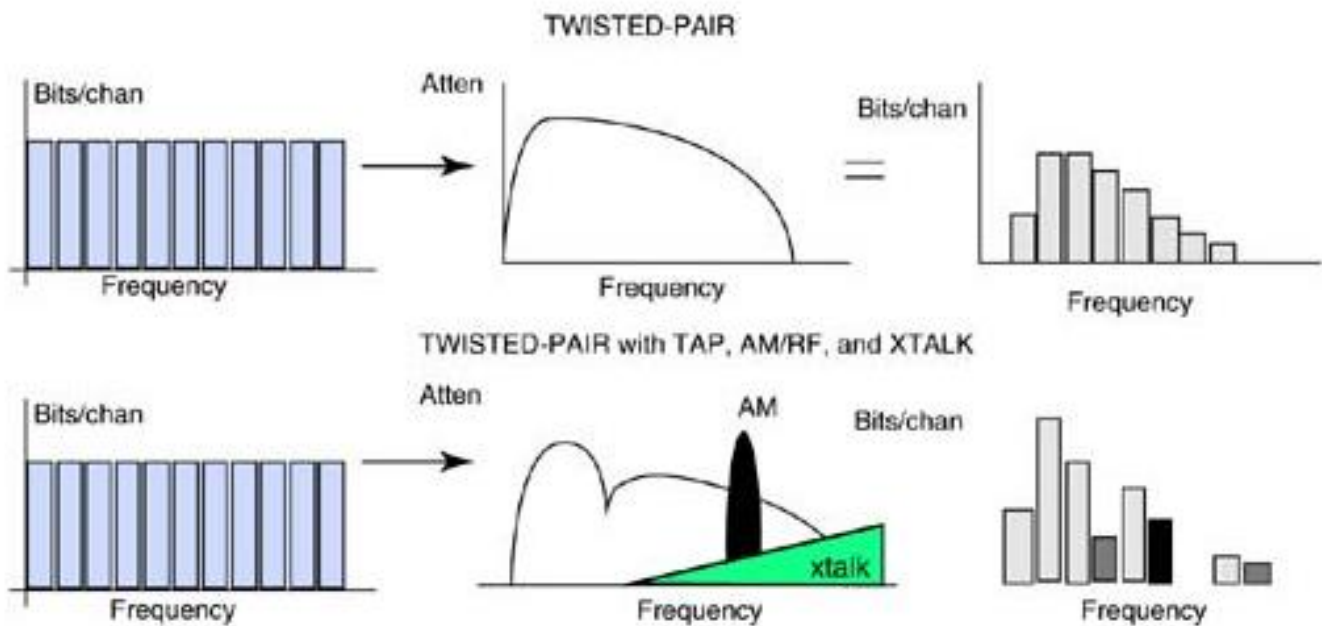
Κοινό χαρακτηριστικό όλων των xDSL τεχνολογιών είναι η χρήση της διακριτής πολυτονικής διαμόρφωσης (DMT). Χαρακτηριστικό της διαμόρφωσης αυτής αποτελεί ο διαχωρισμός μέσω του ταχέως μετασχηματισμού Fourier (FFT) του διαθέσιμου φάσματος σε πολλά υπο-κανάλια εύρους 4.3125kHz (τα οποία ονομάζονται *τόνοι* – Σχ.1.1.3), έκαστο με τη δική του φέρουσα συχνότητα. Ουσιαστικά πρόκειται για ορθογωνική διαμόρφωση διαίρεσης συχνότητας (OFDM), η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στα ευρυζωνικά συστήματα (ασύρματα και ενσύρματα) μετάδοσης πληροφορίας.



Σχήμα 1.1.3 Απεικόνιση των υπο-καναλιών που προκύπτουν μέσω του ταχέως μετασχηματισμού Fourier

Η διαμόρφωση OFDM ανήκει στις τεχνικές πολυδιαυλικής (multicarrier) διαμόρφωσης, η βασική ιδέα της οποίας είναι ο χωρισμός μιας ροής ψηφίων σε πολλές επιμέρους ροές (substreams) και η μετάδοσή τους σε αντίστοιχο πλήθος υποδιαύλων (subchannels). Τα πολλαπλά υπό-φέροντα (subcarriers) επιλέγεται να είναι ορθογώνια μεταξύ τους υπό ιδανικές συνθήκες διάδοσης (1). Η ορθογωνιότητα των παλμών επιτρέπει την αποφυγή διασυμβολικής παρεμβολής (ISI) και εξασφαλίζει την ανθεκτικότητα σε παρεμβολή στενής ζώνης.

Πέραν της αποδοτικής εκμετάλλευσης του διαθέσιμου εύρους ζώνης, το βασικό πλεονέκτημα της διαμόρφωσης αυτής, είναι ότι το μεταδιδόμενο σήμα απαλλάσσεται από φαινόμενα επιλεκτικά ως προς τη συχνότητα, όπως φαίνεται στο Σχ.1.1.4, όπως η επιλεκτική ως προς τη συχνότητα εξασθένηση⁴ που εισάγει το χάλκινο καλώδιο στο μεταδιδόμενο σήμα, διότι κάθε υπο-κάνάλι στενού εύρους ζώνης επηρεάζεται σε διαφορετικό βαθμό από τέτοια φαινόμενα. Επομένως, δεν επηρεάζεται η μετάδοση του συνόλου της πληροφορίας αλλά μικρών τμημάτων αυτής.



Σχήμα 1.1.4 Επίδραση παρεμβολής φαινομένων επιλεκτικών ως προς τη συχνότητα σε σήματα ορθογώνιας πολυδιαυλικής διαμόρφωσης (OFDM)

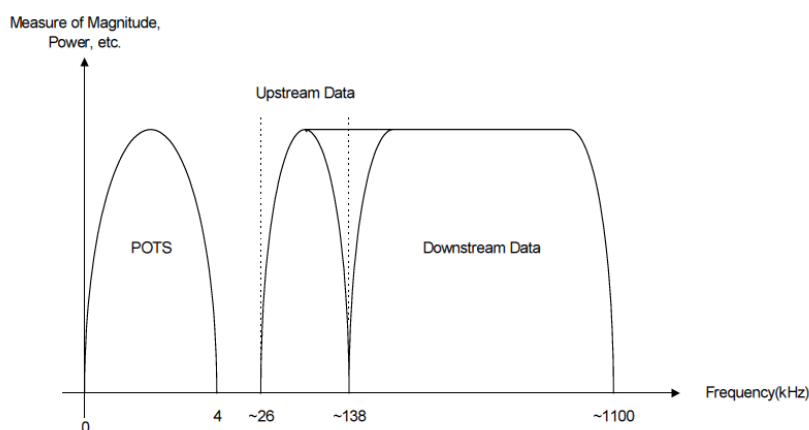
1.1.3 Παρουσίαση Τεχνολογιών xDSL

Η πρώτη τεχνολογία που υπερέβη το φράγμα των 64kbps για συνδέσεις dial-up και άνοιξε το δρόμο προς την εποχή των ευρυζωνικών τεχνολογιών ήταν το ISDN βασικού ρυθμού (basic rate ISDN – BRI). Η τεχνολογία αυτή επέτρεπε συμμετρικούς ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 160kbps σε απόσταση μέχρι και 5.5km. Η λειτουργία του BRI περιγράφεται στο πρότυπο ANSI T1.601 του 1992, ενώ και η ITU εξέδωσε την οικογένεια προτύπων G.960 -

⁴ Frequency selective fading

G.969 όπου περιλαμβάνονται βελτιώσεις και αναβαθμίσεις της τεχνολογίας αυτής (2). Έπειτα, ακολούθησε η τεχνολογία ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής υψηλού ρυθμού μετάδοσης (HDSL), η οποία αποτελεί μία ακόμη συμμετρική υπηρεσία με συνδέσεις T1 και E1 με ρυθμούς 1.544Mbps και 2.048Mbps αντίστοιχα. Το πρότυπο που περιγράφει την τεχνολογία HDSL είναι το G.991.1, ενώ η υλοποίησή της απαιτεί ένα, δύο ή και τρία ζεύγη συνεστραμμένων αγωγών χαλκού. Επικρατέστερη είναι η υλοποίηση με δύο ζεύγη, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται διαθέσιμη υπηρεσία σε μήκος 3.7km. Ακολούθησαν οι βελτιωμένες εκδόσεις HDSL2 και HDSL4 με περισσότερο εύρωστα σχήματα κωδικοποίησης τα οποία οδήγησαν σε ακόμη καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας. Το 2003 το πρότυπο G.991.2 εισήγαγε την τεχνολογία απλού ζεύγους HDSL (SHDSL), η οποία προσφέρει ποικιλία ρυθμών μετάδοσης με ανώτερο αυτόν των 2.304Mbps χρησιμοποιώντας μόνο ένα ζεύγος συνεστραμμένων αγωγών. Επίσης, παρέχει τη δυνατότητα για κάλυψη σε μεγαλύτερα μήκη βρόχου μέσω της χρήσης δύο ζευγών συνεστραμμένων αγωγών.

Όλες οι ανωτέρω τεχνολογίες έχουν δύο βασικά χαρακτηριστικά τα οποία τις διαφοροποιούν από τις σύγχρονες ευρυζωνικές τεχνολογίες. Αφενός, βασίζονται όλες στη διαμόρφωση 2B1Q PAM (διαμόρφωση πλάτους), σε αντίθεση με τις σύγχρονες που βασίζονται στην διακριτή πολυτονική διαμόρφωση (DMT) (διαμόρφωση συχνότητας). Αφετέρου, χαρακτηρίζονται όλες από συμμετρία στους ρυθμούς downstream και upstream ζεύξης. Ωστόσο, η ζήτηση για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης γενικά αλλά και ειδικότερα στη downstream ζεύξη, καθώς και η ανάγκη για τεχνολογίες ικανές να προστατεύονται από το ιδιαίτερα δυσμενές περιβάλλον διάδοσης, όπως είναι το δίκτυο χαλκού οδήγησαν στη δημιουργία νέων, περισσότερο αποδοτικών τεχνολογιών.



Σχήμα 1.1.5 Φασματική πυκνότητα ισχύος τεχνολογίας ADSL

Για τους ανωτέρω λόγους, η ITU εξέδωσε το 1999 το πρότυπο G.992.1 (G.DMT) το οποίο περιγράφει την υλοποίηση της τεχνολογίας ασύμμετρης⁵ ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής (ADSL) η οποία επέτρεπε ρυθμούς μετάδοσης 8Mbps για τη downstream ζεύξη και 1Mbps για την upstream ζεύξη. Η ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι η ζώνη 138 – 1104kHz για τη downstream ζεύξη και η ζώνη 25 – 138kHz για την upstream ζεύξη (Σχ.1.1.5). Συνολικά, χρησιμοποιούνται 255 υπο-κανάλια (τόνοι) με απόσταση 4.3125kHz μεταξύ τους.

Ο διαχωρισμός της downstream και upstream ζεύξης επιτυγχάνεται μέσω πολύπλεξης με διαίρεση συχνότητας (FDM), ώστε να μην υπάρχει παρεμβολή μεταξύ τους κατά τη μετάδοση του σήματος.

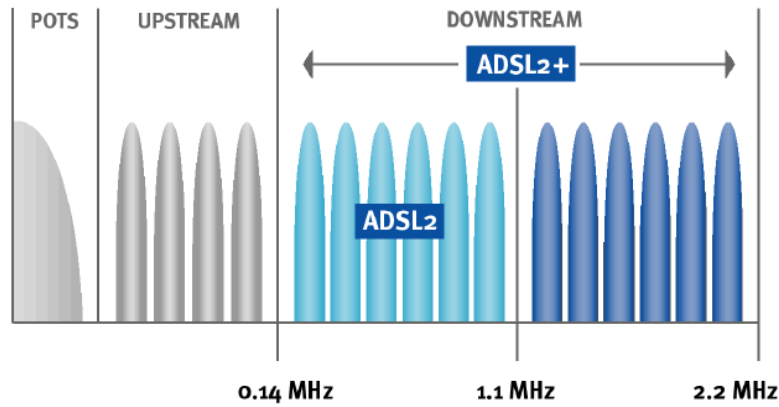
Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε το πρότυπο G.992.2 (G.lite) το οποίο θυσίαζε αρκετά μεγάλο μέρος της ταχύτητας⁶ προσφέροντας, όμως, μεγαλύτερη απλότητα εγκατάστασης σε σχέση με το προηγούμενο πρότυπο. Η διαφορά των δύο προτύπων εντοπίζεται σε δύο σημεία. (i) Το πρότυπο G.lite προσέφερε μόνο διαπλεκόμενη διαδρομή πληροφορίας (interleaved data path) και όχι γρήγορη διαδρομή πληροφορίας (fast data path) καθιστώντας τη μετάδοση περισσότερο εύρωστη απέναντι σε λάθη, θυσιάζοντας παράλληλα τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης που προσφέρει η ζεύξη fast data path. (ii) Το G.lite αντικαθιστά το διαμεριστή με ένα βαθυπερατό φίλτρο γραμμής στο σημείο τερματισμού της γραμμής στο χώρο του συνδρομητή. Κατ' αυτόν τον τρόπο, απλοποιείται σημαντικά η διαδικασία εγκατάστασης. Δεύτερον,

Το 2002 ακολούθησε η τεχνολογία ADSL2 με τα πρότυπα G.992.3 και G.992.4, η οποία αποτέλεσε βελτιωμένη έκδοση του ADSL, προσφέροντας περίπου τις ίδιες ταχύτητες με την τεχνολογία ADSL με βασικό πλεονέκτημα την παροχή υπηρεσίας σε μεγαλύτερα μήκη βρόχου.

Το μεγάλο άλμα στις ταχύτητες των ευρυζωνικών τεχνολογιών πραγματοποιήθηκε τον Ιανουάριο του 2003, οπότε και εκδόθηκε από την ITU το πρότυπο G.992.5 εισάγοντας την τεχνολογία ADSL2+. Το πρότυπο όριζε διπλασιασμό του εύρους ζώνης της downstream ζεύξης φθάνοντας έτσι τα 2.2MHz, όπως φαίνεται στο Σχ.1.1.6, επιτρέποντας ρυθμούς downstream ζεύξης μέχρι 24Mbps για μικρά μήκη βρόχου.

⁵ Το εύρος ζώνης της κάτω ζεύξης είναι μεγαλύτερο από αυτό που διατίθεται για την άνω ζεύξη

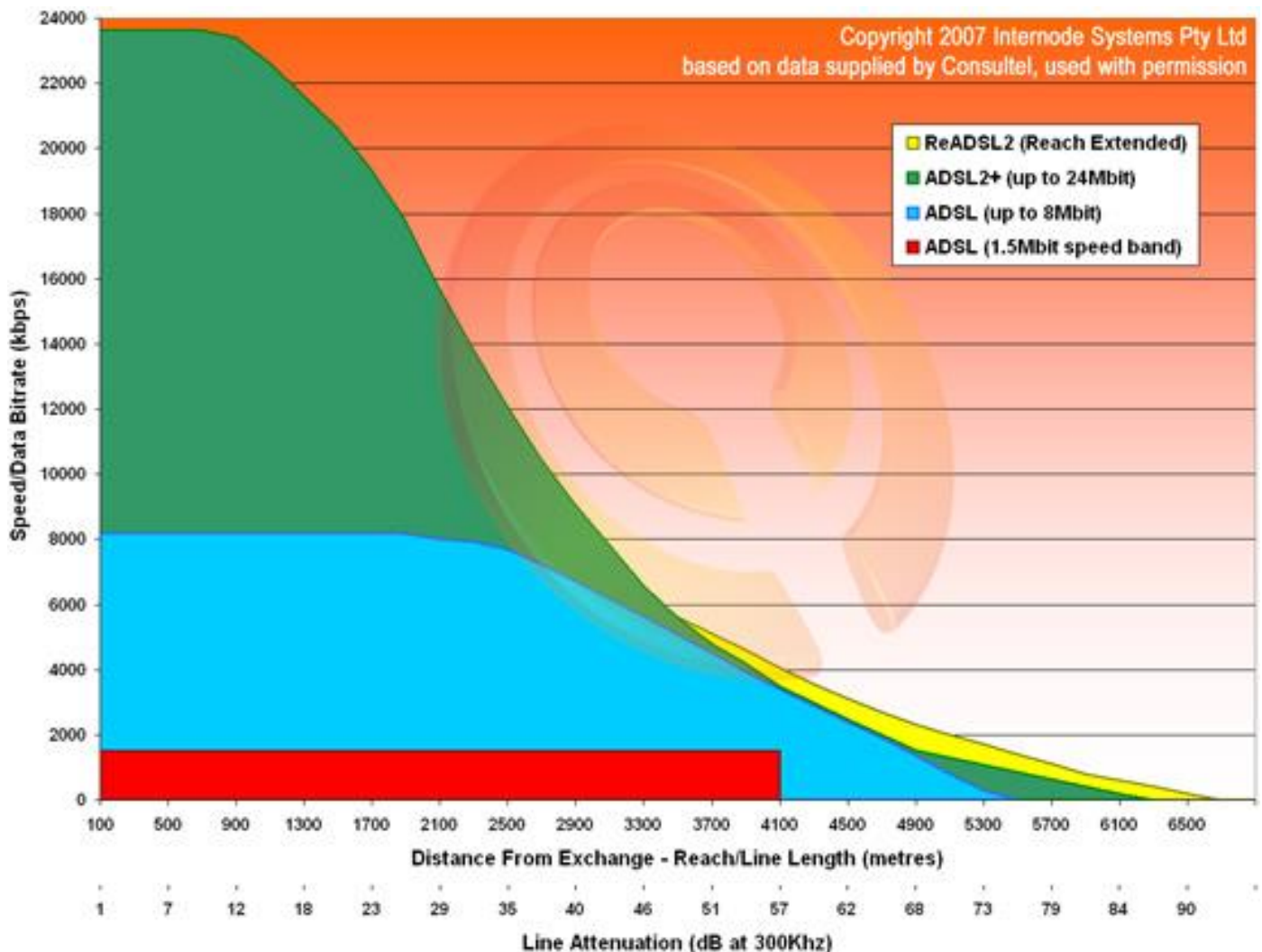
⁶ Ρυθμός άνω ζεύξης 800kbps και κάτω ζεύξης 2Mbps



Σχήμα 1.1.6 Σύγκριση φασματικού περιεχομένου μεταξύ ADSL2+ και ADSL2

Μία ακόμη καινοτομία του ADSL2+ είναι η δυνατότητα ελέγχου της φασματικής πυκνότητας ισχύος⁷. Η λειτουργία αυτή αποτελεί βασικό εργαλείο για την αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των διαφόρων σημάτων στο κοινό περιβάλλον διάδοσης. Η ιδιότητα αυτή θα αναλυθεί εκτενέστερα σε άλλη ενότητα, όπου θα αναδειχθεί ο ρόλος της στην προσπάθεια ελέγχου της συνολικής εγχεόμενης ισχύος στο δίκτυο.

Στο Σχ.1.1.7 που ακολουθεί αποτυπώνεται πλήρως η βελτίωση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων που επιτυγχάνεται σε μεγάλα μήκη βρόχου. Ενδεικτικά, φαίνεται ότι για μήκος 3.7km είναι δυνατό να επιτευχθεί ρυθμός downstream ζεύξης της τάξης των 6Mbps, διπλάσιος σχεδόν από αυτόν που επιτυγχάνεται με συμμετρικές τεχνολογίες μετάδοσης (π.χ. G.SHDSL), όπου ο ρυθμός της downstream ζεύξης είναι της τάξης των 3Mbps.



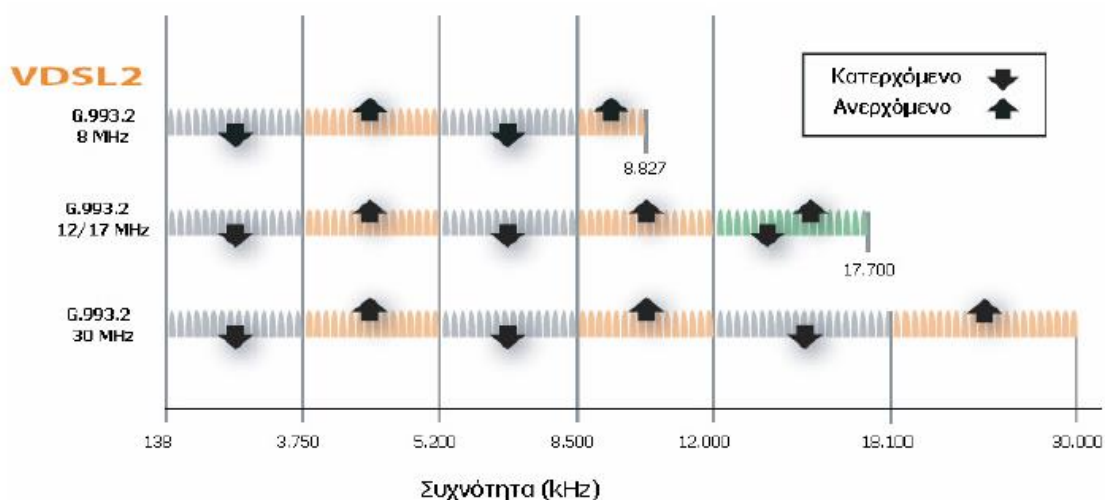
Σχήμα 1.1.7 Συγκριτικό διάγραμμα ρυθμού μετάδοσης - απόστασης για ADSL, ADSL2, ADSL2+

⁷ PSD shaping

Η πλέον πρόσφατη εξέλιξη στον τομέα των ευρυζωνικών συνδέσεων μέσω του δικτύου χαλκού συντελέστηκε με την έλευση των τεχνολογιών VDSL και VDSL2, με την εισαγωγή των προτύπων G.993.1 και G.993.2, αντίστοιχα. Πλέον, μέσω των διαφόρων κατατομών του VDSL2 αξιοποιούνται οι συχνότητες μέχρι και τα 30MHz, ενώ οι ταχύτητες μετάδοσης φθάνουν τα 100Mbps για τη downstream ζεύξη και τα 50Mbps για την upstream ζεύξη. Η ύπαρξη πολλαπλών κατατομών λειτουργίας σε συνδυασμό με τη δυνατότητα ελέγχου της φασματικής πυκνότητας ισχύος⁸ επιτρέπει την κατάλληλη επιλογή χαρακτηριστικών του σήματος με κριτήριο το σημείο έγχυσης του σήματος στο δίκτυο (Αστικό Κέντρο, Υπαίθρια Καμπίνα, Κτίριο Συνδρομητή). Κατ' αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η ελαχιστοποίηση της παρεμβολής του σήματος VDSL2 στα σήματα των άλλων υπηρεσιών. Επιπλέον, σημαντικό χαρακτηριστικό του VDSL2 είναι η υποστήριξη συμμετρικής λειτουργίας που προσφέρει. Στον Πίν.1.1.1 (3) παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά όλων των κατατομών του VDSL2 ενώ στο Σχ.1.1.8 παρέχεται η απεικόνισή τους στο πεδίο της συχνότητας. Πρέπει να σημειωθεί ότι στις τεχνολογίες VDSL, λόγω του αυξημένου αριθμού ζωνών ανερχόμενης και κατερχόμενης ζεύξης, πλην των συχνοτήτων χρησιμοποιείται και αρίθμηση των ζωνών αυτών (US0, US1, DS1, DS2, DS3) με σκοπό τον ευκολότερο προσδιορισμό τους.

Πίνακας 1.1.1 Χαρακτηριστικά κατατομών VDSL2

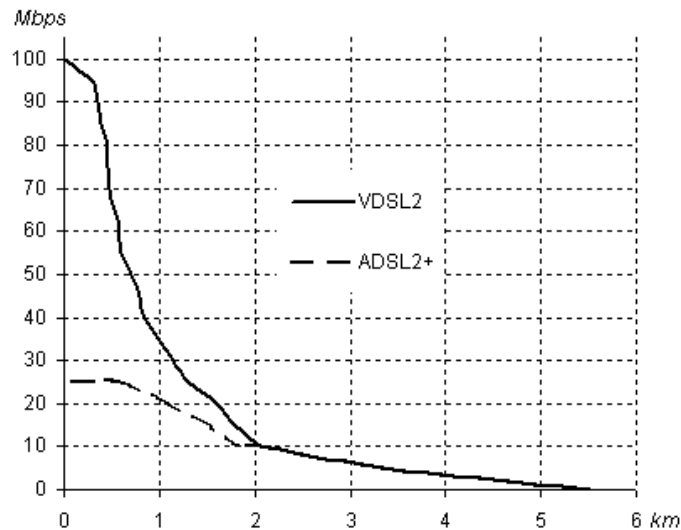
Κατατομή	Downstream ζεύξη		Upstream ζεύξη		Σημείο έγχυσης
	Μέγιστη συχνότητα (MHz)	Μέγιστη Ισχύς (dBm)	Μέγιστη συχνότητα (MHz)	Μέγιστη Ισχύς (dBm)	
8a	8.5	17.5	5.2	14.5	Αστικό Κέντρο
8b	8.5	20.5	5.2	14.5	Αστικό Κέντρο
8c	8.5	11.5	5.2	14.5	Αστικό Κέντρο
8d	8.5	14.5	5.2	14.5	Αστικό Κέντρο
12a	8.5	14.5	12	14.5	Αστικό Κέντρο/Υπαίθρια Καμπίνα
12b	8.5	14.5	12	14.5	Αστικό Κέντρο/Υπαίθρια Καμπίνα
17a	15.5	14.5	17.7	14.5	Υπαίθρια Καμπίνα
30a	18.1	14.5	30	14.5	Κτίριο συνδρομητή



Σχήμα 1.1.8 Κατανομή των κατατομών του VDSL2 στο πεδίο της συχνότητας

⁸ UPBO για την άνω ζεύξη και DPBO για την κάτω ζεύξη

Τέλος, στο Σχ.1.1.9 απεικονίζεται η σύγκριση των επιδόσεων συναρτήσει της απόστασης για τις τεχνολογίες VDSL2 και ADSL2+:



Σχήμα 1.1.9 Συγκριτικό διάγραμμα ρυθμού μετάδοσης - απόστασης για τις τεχνολογίες ADSL και VDSL2

1.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΧΑΛΚΟΥ

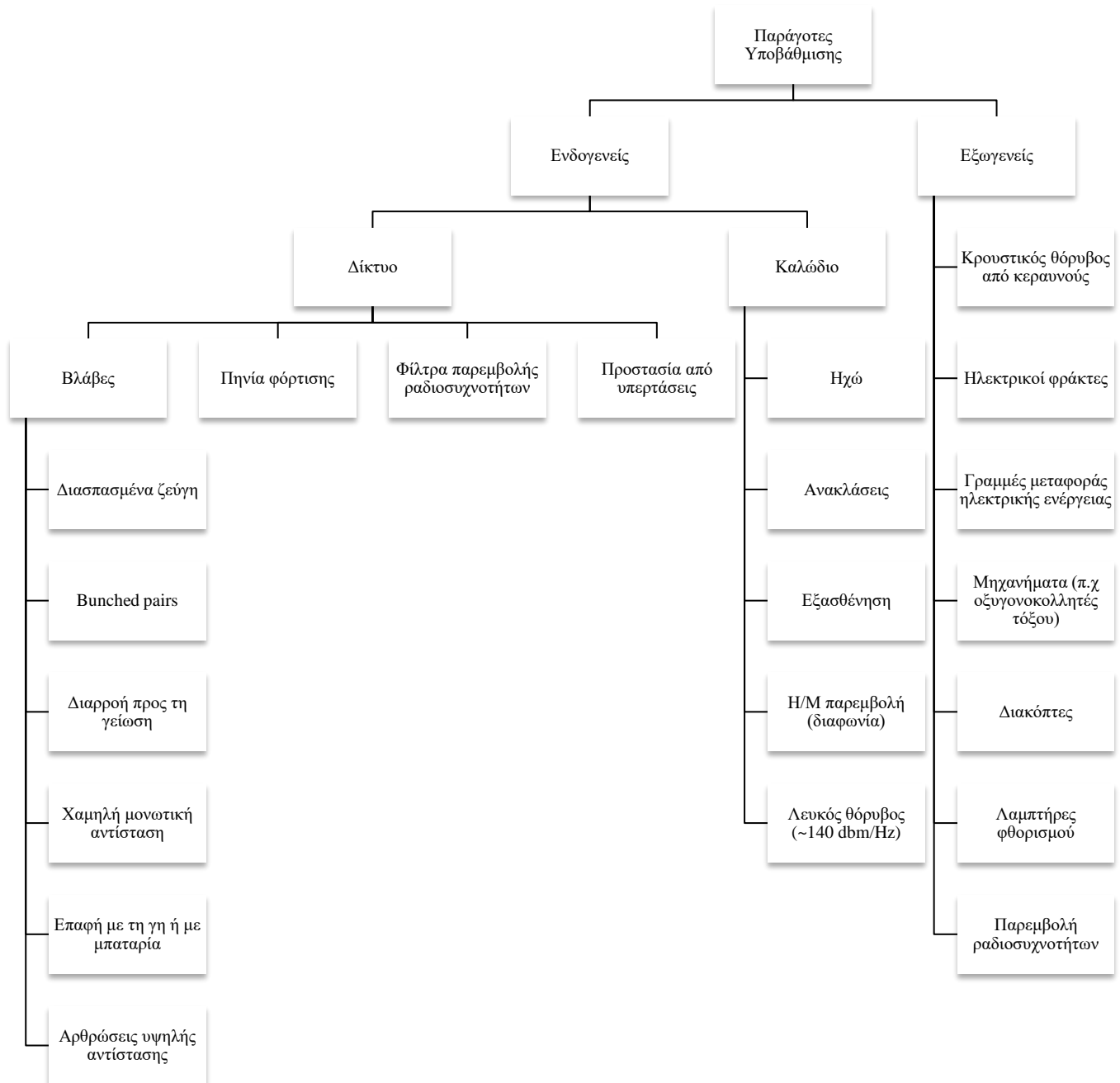
1.2.1 Κατηγοριοποίηση Παραγόντων

Η επίδοση των τεχνολογιών xDSL επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Μια πρώτη κατηγοριοποίηση διαχωρίζει τους παράγοντες αυτούς σε εξωγενείς και ενδογενείς (4). Τα ενδογενή αίτια υποβάθμισης οφείλονται εξ ολοκλήρου στο περιβάλλον διάδοσης, δηλαδή το καλώδιο ως μέσο μετάδοσης αλλά και το σύνολο της τοπολογίας του δικτύου (φίλτρα, μονώσεις κτλ). Από την άλλη πλευρά, φαινόμενα που οφείλονται στο περιβάλλον μέσα στο οποίο εγκαθίσταται και λειτουργεί το δίκτυο χαλκού προκαλούν τους εξωγενείς παράγοντες υποβάθμισης. Βάσει των ανωτέρω, προκύπτει το Σχ.1.2.1.

Εναλλακτικά, τα αίτια υποβάθμισης μπορούν να διαχωρισθούν σε αίτια περιορισμού ικανότητας και σε αίτια περιορισμού επίδοσης⁹. Τα αίτια περιορισμού ικανότητας μεταβάλλονται αργά με το χρόνο ενώ η επίδρασή τους είναι, έως ένα βαθμό, προβλέψιμη. Ωστόσο, η επίδραση των παραγόντων περιορισμού της επίδοσης δεν μπορεί να προβλεφθεί, διότι οι παράγοντες αυτοί μεταβάλλονται τοπικά κατά τυχαίο τρόπο. Ο μόνος τρόπος εξασφάλισης αποδεκτής επίδοσης είναι η θέσπιση ορίων ασφαλείας μέσω κατάλληλων κανόνων.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες περιορισμού της ικανότητας των xDSL τεχνολογιών είναι η *εξασθένηση* και η *παρεμβολή*. Οι παράγοντες αυτοί είναι ενδογενείς και οφείλονται αποκλειστικά στον τρόπο μετάδοσης των xDSL σημάτων μέσω των διαφόρων καλωδίων.

⁹ Capacity limiting και performance limiting αντίστοιχα



Σχήμα 1.2.1 Κατηγοριοποίηση παραγόντων υποβάθμισης σήματος στο δίκτυο χαλκού

1.2.2 Εξασθένηση

Οι παράγοντες που καθορίζουν την *εξασθένηση*¹⁰ είναι η συχνότητα λειτουργίας, η διατομή και το μήκος του αγωγού. Συγκεκριμένα, η εξασθένηση στα χάλκινα ζεύγη του τηλεφωνικού δικτύου οφείλεται σε δύο φαινόμενα, το επιδερμικό φαινόμενο και την απώλεια διηλεκτρικού υλικού (3). Σύμφωνα με το επιδερμικό φαινόμενο, αύξηση της συχνότητας λειτουργίας προκαλεί ανομοιογενή κατανομή της πυκνότητας του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου επί της διατομής του αγωγού, εξαιτίας της οποίας η ενεργός διατομή του αγωγού μειώνεται στις υψηλές συχνότητες και αυξάνονται οι απώλειες. Η απορρόφηση μέρους της ισχύος του σήματος από το μονωτικό υλικό που περιβάλλει τον αγωγό προκαλεί την απώλεια διηλεκτρικού. Το μέγεθος της απώλειας αυτής εξαρτάται από το είδος και την ποιότητα του διηλεκτρικού και από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Η αποδοτικότερη σχεδίαση του δικτύου προϋποθέτει τη διατύπωση μοντέλων για τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα που υπεισέρχονται προκειμένου να καταστεί εφικτός ο υπολογισμός σημαντικών μεγεθών που αφορούν τη μετάδοση του σήματος μέσω του ενσύρματου μέσου.

¹⁰ Transmission loss; attenuation

Κάθε ζεύγος συνεστραμμένων αγωγών θεωρείται γραμμή μεταφοράς και χαρακτηρίζεται από τις εξής βασικές παραμέτρους ανά μονάδα μήκους: αντίσταση R , χωρητικότητα C , επαγωγή L και αγωγιμότητα G ¹¹. Σύμφωνα με το πρότυπο ANSI T1.413, η αγωγιμότητα θεωρείται μηδενική και η χωρητικότητα παραμένει σταθερή για κάθε συχνότητα για συγκεκριμένη διατομή χάλκινου αγωγού. Οι τιμές της αντίστασης και της επαγωγής (ανά km) για συγκεκριμένη συχνότητα f σε Hz δίνονται από τις εξισώσεις (5)

$$L = \frac{I_0 + I_\infty \times \left(\frac{f}{f_m}\right)^b}{1 + \left(\frac{f}{f_m}\right)^b} \quad (\text{H/km}) \quad (1.2.1)$$

$$R = \sqrt[4]{\text{roc}^4 + \text{ac} \times f^2} \quad (\Omega/\text{km}) \quad (1.2.2)$$

Στις ανωτέρω σχέσεις, roc είναι η ωμική αντίσταση του χαλκού ανά 1000 m, ac σταθερά που χαρακτηρίζει την αύξηση της αντίστασης λόγω του επιδερμικού φαινομένου που προκαλείται από την αύξηση της συχνότητας, I_0 και I_∞ η επαγωγή στις χαμηλές και στις υψηλές συχνότητες, αντίστοιχα, και b σταθερά (χαρακτηριστική για κάθε διατομή αγωγού) που χαρακτηρίζει τη μετάβαση από χαμηλές σε υψηλές συχνότητες. Τέλος, το μέγεθος f_m είναι και αυτό σε Hz. Στον Πίν.1.2.1 καταγράφονται οι τιμές των ανωτέρω παραμέτρων για διάφορες διατομές αγωγών.

Πίνακας 1.2.1: Παράμετροι εξισώσεων αντίστασης και επαγωγής για διάφορους τύπους καλωδίων

Wire Type	roc	ac	I_0	I_∞	f_m	b	C(F/km)
0.32mm	$0.4090 \cdot 10^3$	0.3822	$0.6075 \cdot 10^{-3}$	$0.5000 \cdot 10^{-3}$	$0.6090 \cdot 10^6$	5.2690	$40 \cdot 10^{-9}$
0.4mm	$0.2800 \cdot 10^3$	0.0969	$0.5873 \cdot 10^{-3}$	$0.4260 \cdot 10^{-3}$	$0.7459 \cdot 10^6$	1.3850	$49 \cdot 10^{-9}$
0.5mm	$0.1792 \cdot 10^3$	0.0561	$0.6746 \cdot 10^{-3}$	$0.5327 \cdot 10^{-3}$	$0.6647 \cdot 10^6$	1.1950	$50 \cdot 10^{-9}$
0.63mm	$0.1130 \cdot 10^3$	0.0257	$0.6994 \cdot 10^{-3}$	$0.4772 \cdot 10^{-3}$	$0.2658 \cdot 10^6$	1.0956	$45 \cdot 10^{-9}$
0.9mm	$0.0551 \cdot 10^3$	0.0090	$0.7509 \cdot 10^{-3}$	$0.5205 \cdot 10^{-3}$	$0.1238 \cdot 10^6$	0.9604	$40 \cdot 10^{-9}$
Dropwire 10"	$0.1809 \cdot 10^3$	0.0497	$0.7289 \cdot 10^{-3}$	$0.5434 \cdot 10^{-3}$	$0.7189 \cdot 10^6$	0.7558	$51 \cdot 10^{-9}$
Flat pair	$0.0412 \cdot 10^3$	0.0001	$1.0000 \cdot 10^{-3}$	$0.9110 \cdot 10^{-3}$	$0.1742 \cdot 10^6$	1.1950	$22.68 \cdot 10^{-9}$
UTP Cat.5	$0.1766 \cdot 10^3$	0.0500	$1.0908 \cdot 10^{-3}$	$0.5045 \cdot 10^{-3}$	$0.0326 \cdot 10^6$	0.7050	$48.55 \cdot 10^{-9}$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega \times L) \times (G + j\omega \times C)} \quad (1.2.3)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega \times L}{G + j\omega \times C}} \quad (1.2.4)$$

Επιπλέον, κάθε ζεύγος συνεστραμμένων αγωγών (γραμμή μεταφοράς) χαρακτηρίζεται και από δύο εμμέσως προσδιοριζόμενες παραμέτρους: τη χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση και τη μυαδική σταθερά διάδοσης που προσδιορίζονται από τις Εξ. (1.2.3) και (1.2.4), στις οποίες $\omega = 2\pi \times f$.

Η γραμμή ενός συνδρομητή, που αποτελεί το μέσο διάδοσης των xDSL σημάτων, σπανίως αποτελείται από ενιαίο ζεύγος συνεστραμμένων αγωγών. Αντ' αυτού, χρησιμοποιούνται ενοποιημένα τμήματα διαφορετικών μηκών και ίσως διατομών. Προκειμένου να εξαχθεί η εξίσωση που περιγράφει τη συνολική από-άκρο-σε-άκρο συμπεριφορά της γραμμής, χρησιμοποιείται η θεωρία των δίθυρων στοιχείων. Βάσει αυτής, κάθε τμήμα χαρακτηρίζεται από τέσσερις παραμέτρους, τις A,B,C,D οι οποίες σχετίζονται με τη χαρακτηριστική αντίσταση και τη σταθερά διάδοσης του τμήματος και υπολογίζονται από τις Εξ.(1.2.5), (1.2.6) και (1.2.7).

$$B = Z_0 \times \sinh(\gamma \times d) \quad (1.2.5)$$

$$C = \frac{1}{Z_0} \times \sinh(\gamma \times d) \quad (1.2.6)$$

$$A = D = \cosh(\gamma \times d) \quad (1.2.7)$$

Στις ανωτέρω σχέσεις, d είναι το μήκος (σε km) κάθε τμήματος της γραμμής. Οι ανωτέρω παράμετροι συνθέτουν τον πίνακα $[A \ B \ C \ D]$ κάθε τμήματος της γραμμής. Πολλαπλασιάζοντας τους πίνακες όλων των τμημάτων που συνθέτουν μία σύνδεση προκύπτουν οι παράμετροι A',B',C',D' για τη συνολική από-άκρο-σε-άκρο σύνδεση. Από αυτές προκύπτει η από-άκρο-σε-άκρο συνάρτηση μεταφοράς μιας γραμμής συνεστραμμένων αγωγών και δίνεται από την Εξ.(1.2.8).

¹¹ Όπως προκύπτει από το αντίστοιχο ισοδύναμο κύκλωμα

$$H(f) = \frac{Z_s + Z_t}{A \times Z_t + B + C \times Z_s \times Z_t + D \times Z_s} \quad (1.2.8)$$

Τελικά, η εξασθένηση του σήματος σε dB εκφράζεται μέσω της Εξ.(1.2.9).

$$L_{dB} = 10 \times \log_{10} |H(f)|^2 \quad (1.2.9)$$

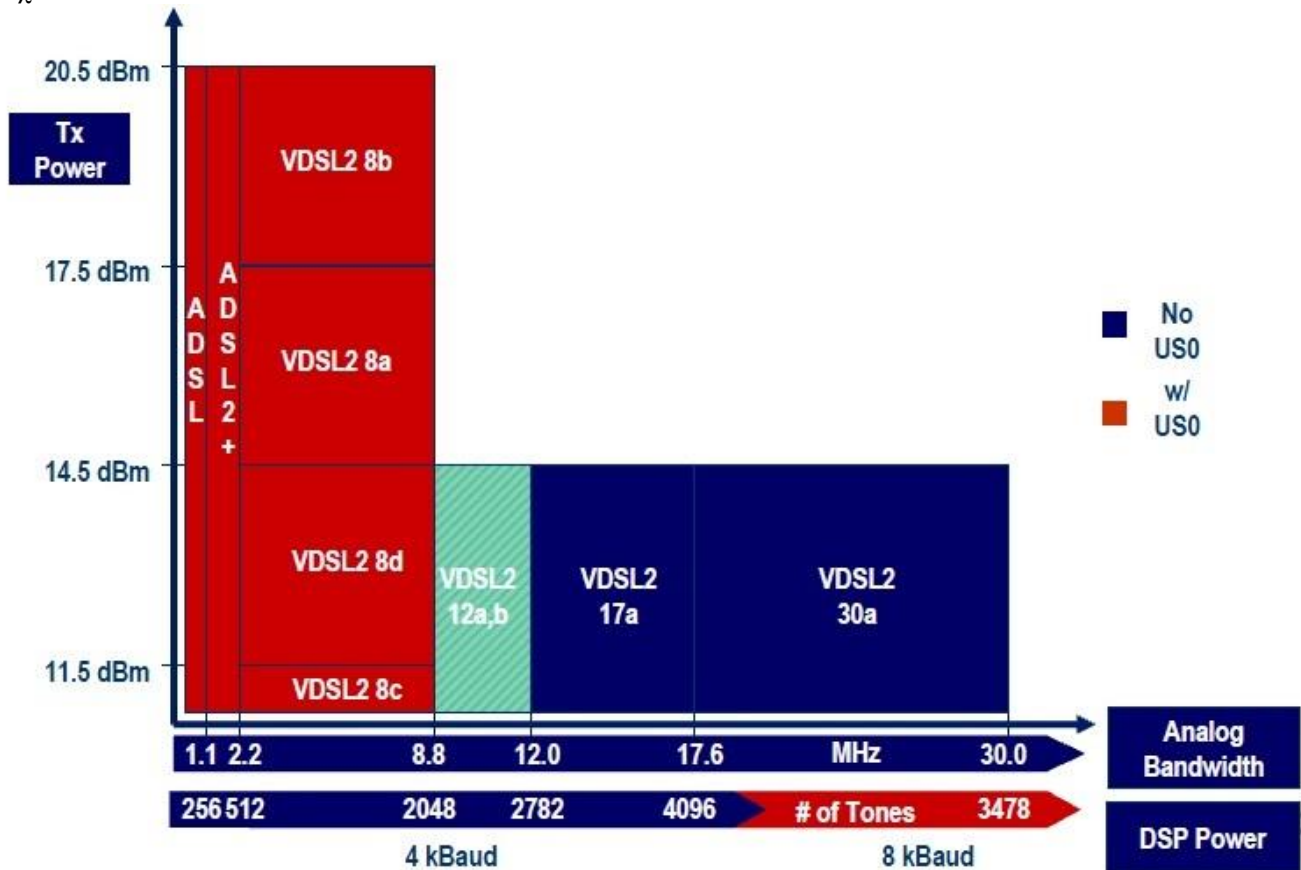
Στην εν λόγω μελέτη χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση υπολογισμού της εξασθένησης, ο τρόπος εξαγωγής της οποίας περιγράφεται αναλυτικά στην Παρ.3.4.2.

$$H(f, L) = (a + b \times \sqrt{f} + c \times f) \times L \quad (1.2.10)$$

1.2.3 Παρεμβολή

Η παρεμβολή αναφέρεται στην ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή μεταξύ υψίσυχων σημάτων που μεταδίδονται σε γειτονικά ζεύγη (3). Οφείλεται στη σύζευξη των πεδίων που προκαλούνται περί τα αντίστοιχα ζεύγη συνεστραμμένων αγωγών και εξαρτάται από το μήκος κατά το οποίο μεταδίδονται μαζί τα αμοιβαία παρεμβάλλοντα σήματα και τη συχνότητα.

Ο μηχανισμός της παρεμβολής γίνεται άμεσα αντιληπτός παρατηρώντας την κατανομή της φασματικής πυκνότητας ισχύος (PSD) του σήματος το οποίο κάθε τεχνολογία εγγχεί στο μέσο διάδοσης¹², όπως αυτή αποτυπώνεται στο Σχ.1.2.2.

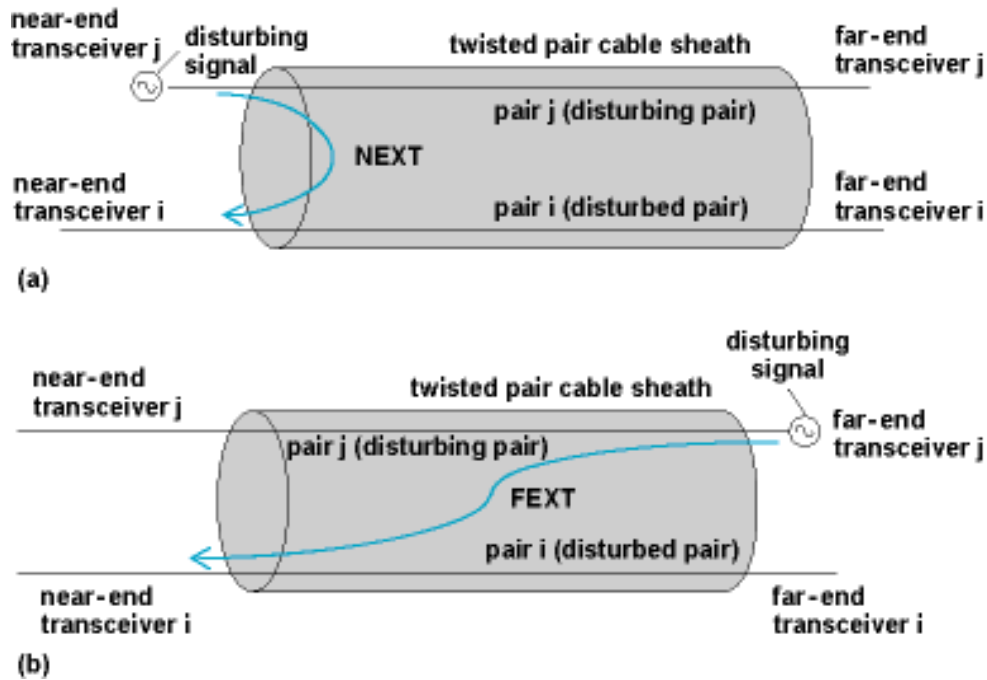


Σχήμα 1.2.2 Διάγραμμα ισχύος εκπομπής-συχνότητας τεχνολογιών xDSL

Είναι φανερό ότι τεχνολογίες με επικαλυπτόμενες φασματικές περιοχές παρεμβάλλουν μεταξύ τους. Ειδικότερα, τεχνολογίες με υψηλότερη ισχύ εκπομπής παρεμβάλλουν εντονότερα τεχνολογίες με χαμηλή ισχύ εκπομπής που μοιράζονται την ίδια φασματική ζώνη.

Όταν η παρεμβολή προκαλείται στο αντίθετο άκρο της γραμμής μετάδοσης από αυτό όπου εγγέεται το σήμα, η παρεμβολή ονομάζεται μακρόθεν παρεμβολή (FEXT) (Σχ.1.2.3-b). Η περίπτωση όπου σημείο έγχυσης και σημείο εντοπισμού της παρεμβολής ταυτίζονται ονομάζεται εγγύς παρεμβολή (NEXT) (Σχ.1.2.3-a).

¹² Συνεστραμμένο ζεύγος αγωγών



Σχήμα 1.2.3 Σχηματική αναπαράσταση FEXT και NEXT

Η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή μπορεί να προκαλείται είτε μεταξύ ομοίων τεχνολογιών (self-NEXT) είτε μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών (alien-NEXT). Σημαντικό χαρακτηριστικό των παρεμβολών είναι ότι δρουν αθροιστικά. Συνεπώς, το μέγεθος της συνολικής παρεμβολής εξαρτάται από το ποσοστό πλήρωσης του καλωδίου. Κυρίαρχη είναι η παρεμβολή μεταξύ αγωγών του ίδιου καλωδίου, η οποία εξαρτάται και από τη σχετική θέση των ζευγών συνεστραμμένων αγωγών που παρεμβάλλονται αμοιβαία εντός του καλωδίου. Αποδεικνύεται ότι η παρεμβολή είναι αρκετά ισχυρότερη μεταξύ σημάτων των οποίων τα συνεστραμμένα ζεύγη ανήκουν στην ίδια *αστεροτετράδα*. Τα συμμετρικά συστήματα (π.χ. SHDSL) θεωρείται ότι δεν υποφέρουν από μακρόθεν παρεμβολή¹³ (FEXT). Επίσης, η εξασθένηση στην οποία υπόκειται το σήμα παρεμβολής λόγω της διάδοσής του στο χάλκινο μέσο καθιστά, για μεγάλα μήκη βρόχου, τη μακρόθεν παρεμβολή (FEXT) λιγότερο επιβλαβή από την εγγύς παρεμβολή (NEXT). Ωστόσο, για μικρά μήκη βρόχου τα δύο είδη παρεμβολής θεωρούνται εξίσου ισχυρά (6) και επιβαρυντικά.

Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τον ακριβή προσδιορισμό της επίπτωσης της παρεμβολής περιγράφουν τη σχέση μεταξύ παρεμβάλλοντος και παρεμβαλλόμενου μέσω αντίστοιχης *συνάρτησης μεταφοράς*. Αν η φασματική πυκνότητα ισχύος του σήματος παρεμβολής είναι $S_d(f)$, η παρεμβολή που προκαλεί δίνεται από την Εξ.(1.2.11).

$$S_{x\text{-talk}}(f) = S_d(f) \times |H_{x\text{-talk}}(f)|^2 \quad (1.2.11)$$

όπου $|H_{x\text{-talk}}(f)|^2$ η συνάρτηση μεταφοράς της ισχύος της παρεμβολής. Ωστόσο, η παρεμβολή που δέχεται ένα σήμα μεταβάλλεται από ζεύγος σε ζεύγος και από καλώδιο σε καλώδιο δυσχεραίνοντας τον κατά περίπτωση υπολογισμό αυτής.

Προκειμένου να εξαχθεί ένα αντιπροσωπευτικό συμπέρασμα για την παρεμβολή που δέχεται ένα σήμα και να αντιμετωπισθεί η μεταβλητότητα και η μη προβλεψιμότητα αυτής, χρησιμοποιείται η *χειρότερη δυνατή συνάρτηση μεταφοράς της ισχύος παρεμβολής* (7) (ΧΔΠ), τόσο για την εγγύς παρεμβολή όσο και για τη μακρόθεν παρεμβολή. Οι συναρτήσεις μεταφοράς αυτές προκύπτουν από καλωδιακές μετρήσεις και προσομοιώσεις μέσω υπολογιστή. Η διαδικασία προσδιορισμού τους είναι τέτοια που οδηγεί τις πραγματικές εξισώσεις μεταφοράς ισχύος παρεμβολής να είναι περισσότερο ελαστικές από την προσέγγιση της χειρότερης δυνατής περίπτωσης. Συνήθως, χρησιμοποιείται η «1% ΧΔΠ», η οποία προσδιορίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε το πολύ 1% των συναρτήσεων μεταφοράς ισχύος παρεμβολής να αποδίδει χειρότερα αποτελέσματα σε σχέση με τα δικά της. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μια αρκετά καλή προσέγγιση της παρεμβολής που θα δεχθεί ένα σήμα χωρίς να πρέπει να μελετηθεί το εκάστοτε περιβάλλον και ο αντίστοιχος μηχανισμός παρεμβολής. Καίτοι φαίνεται υπερβολικά αυστηρό το ότι λαμβάνεται υπόψη η χειρότερη δυνατή περίπτωση, επιτρέπει την αντιστάθμιση άλλων δυσμενών αλλά δύσκολα προβλέψιμων παραγόντων που συμβάλλουν στην ενίσχυση της ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη λειτουργία της υπηρεσίας. Για τον προσδιορισμό της «1% ΧΔΠ» έχουν προταθεί τρία μοντέλα (2).

¹³ Θεωρείται ότι παρεμβολές μεταξύ των ζωνών του ίδιου σήματος (upstream-downstream) εξαλείφονται μέσω echo cancellation ή FDD

(i) Το μοντέλο NEXT του Unger που περιλαμβάνεται στο πρότυπο [ANSI T1.413 – 2001] και καθορίζει συγκεκριμένα εύρη διακύμανσης εντός των οποίων κινείται η ισχύς της παρεμβολής.

(ii) Το «απλοποιημένο μοντέλο NEXT» που αποτελεί απλοποιημένη εκδοχή του μοντέλου του Unger και περιγράφεται από την εξίσωση

$$|H_{\text{NEXT}}(f, N)|^2 = N^{0.6} \times 0.8536 \times 10^{-14} \times (f/(1\text{Hz}))^{1.5} \quad (1.2.12)$$

όπου N το πλήθος των γραμμών που παρεμβάλλουν στη γραμμή-θύμα και f η συχνότητα.

(iii) Το τρίτο μοντέλο ορίζεται στα πρότυπα [ETSI TS 101 388]¹⁴ και [ETSI TS 101 524] και αποτελεί μια περισσότερο αναλυτική εκδοχή του μοντέλου Unger. Σύμφωνα με αυτό, η συνάρτηση μεταφοράς της ισχύος παρεμβολής όταν όλοι οι παρεμβολείς είναι της ίδιας τεχνολογίας περιγράφεται από την Εξ.(1.2.13) για την εγγύς παρεμβολή και από την Εξ.(1.2.14) για τη μακρόθεν παρεμβολή.

$$|H_{\text{NEXT}}(f, L, N)|^2 = N^{0.6} \times 10^{-5} \times (f / 1\text{MHz})^{1.5} \times (1 - |H_{\text{channel}}(f, L)|^4) \quad (1.2.13)$$

$$|H_{\text{FEXT}}(f, L, N)|^2 = N^{0.6} \times K_{\text{FEXT}} \times f^2 \times L \times |H_{\text{channel}}(f, L)|^2 \quad (1.2.14)$$

Περαιτέρω στατιστικές αναλύσεις οδηγούν στις Εξ.(1.2.15) και (1.2.16) που προτείνονται στη βιβλιογραφία ως οι περισσότερο αξιόπιστες μοντελοποιήσεις της παραδιαφωνίας μεταξύ πολλαπλών γραμμών.

$$S_{\text{NEXT}}(f, L, N) = K_{\text{NEXT}} \times (f / (100\text{kHz}))^{1.5} \times (N/49)^{0.6} \times (1 - |H_{\text{channel}}(f, L)|^4) \times S_d(f) \quad (1.2.15)$$

$$S_{\text{FEXT}}(f, L, N) = K_{\text{FEXT}} \times (f / 100\text{kHz})^2 \times (L / (1\text{km})) \times (N/49)^{0.6} \times (1 - |H_{\text{channel}}(f, L)|^4) \times S_d(f) \quad (1.2.16)$$

Οι παράμετροι που καθορίζουν την ισχύ της παρεμβολής και υπεισέρχονται στις ανωτέρω σχέσεις είναι:

- N : το πλήθος των γραμμών που παρεμβάλλουν στη γραμμή επί της οποίας υπολογίζεται η παρεμβολή. Η εξισώσεις (1.2.15) και (1.2.16) προέκυψαν από προσομοιώσεις σε καλώδιο 50 ζευγών, οπότε ο παράγοντας $N/49$ αποδίδει την πληρότητα φόρτισης του καλωδίου
- f : η συχνότητα στην οποία υπολογίζεται η παρεμβολή
- L : το μήκος της γραμμής που δέχεται την παρεμβολή
- $K_{\text{FEXT}}, K_{\text{NEXT}}$: παράμετροι που εξαρτώνται από τη γεωγραφική περιοχή εφαρμογής του μοντέλου·

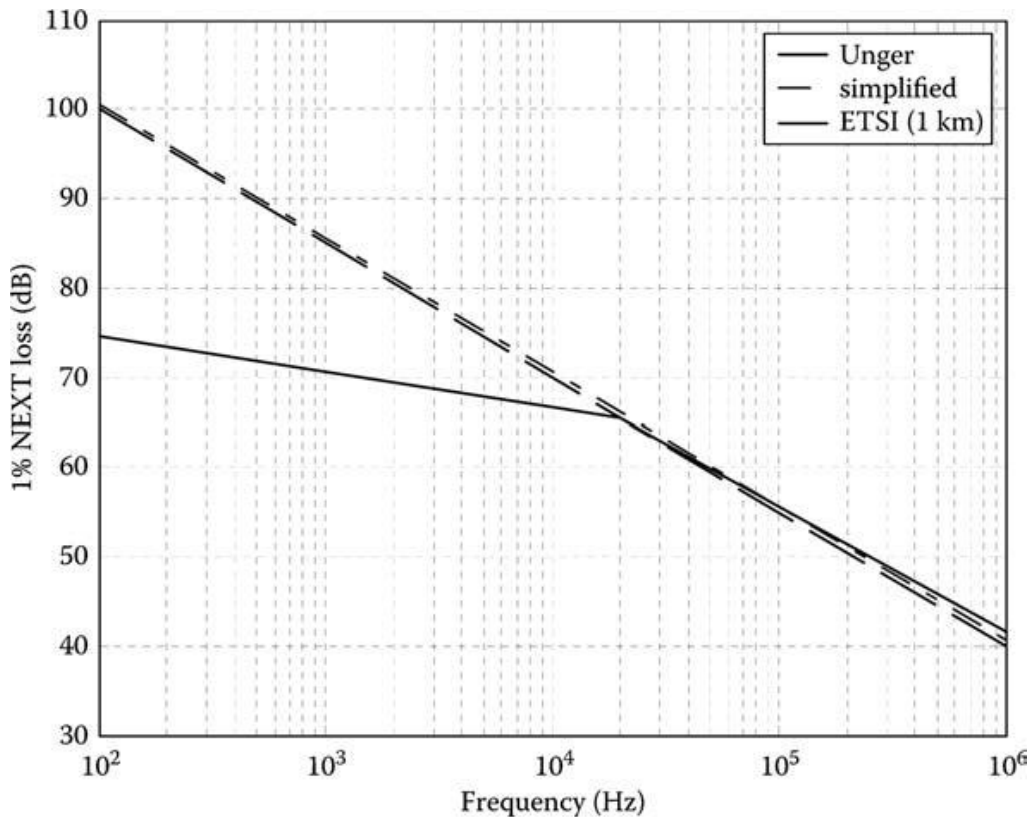
Αμερική: $K_{\text{FEXT}} = 8.264 \times 10^{-6}$, $K_{\text{NEXT}} = 2.789 \times 10^{-6}$

Ευρώπη: $K_{\text{FEXT}} = K_{\text{NEXT}} = 3.266 \times 10^{-6}$

- $H_{\text{channel}}(f, L)$: η συνάρτηση μεταφοράς της γραμμής που δέχεται την παρεμβολή
- $S_d(f)$: η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας ισχύος των γραμμών που προκαλούν την παρεμβολή
- Για την γεωγραφική περιοχή της Αμερικής αντικαθίσταται η απόσταση 1km με 1kft

Η γραφική παράσταση του Σχ.1.2.4, απεικονίζει τις διαφορές των τριών ανωτέρω μοντέλων.

¹⁴ Το πρότυπο αυτό περιλαμβάνει τροποποιήσεις του προτύπου G.992.1 της ITU.



Σχήμα 1.2.4 Συγκριτική απεικόνιση των 3 μοντέλων υπολογισμού ισχύος H/M παρεμβολής

Στις περιπτώσεις όπου οι γραμμές-παρεμβολείς δεν είναι της ίδιας τεχνολογίας ισχύουν οι εξισώσεις¹⁵

$$S_{\text{FEXT}}(f) = |H_{\text{FEXT}}(f,1)|^2 \times \left(\sum_k N_k \times (S_k(f) \times |H(f,L_k)|^2)^{1/0.6} \right)^{0.6} \quad (1.2.17)$$

$$S_{\text{NEXT}}(f) = |H_{\text{NEXT}}(f,1)|^2 \times \left(\sum_k N_k \times S_k^{1/0.6}(f) \right)^{0.6} \quad (1.2.18)$$

Στη βιβλιογραφία συναντάται ο ορισμός του «χειρότερου δυνατού μήκους για σύζευξη μακρόθεν παρεμβολής» (2). Το μήκος αυτό αναφέρεται στην παράμετρο L των ανωτέρω σχέσεων και αποτελεί το μήκος της γραμμής που δέχεται την παρεμβολή για το οποίο – για συγκεκριμένη συχνότητα – η μακρόθεν παρεμβολή μεγιστοποιείται. Για μήκος μικρότερο από το χειρότερο δυνατό η αλληλεπίδραση μεταξύ της γραμμής που δέχεται την παρεμβολή και των γραμμών που την προκαλούν δεν είναι έντονη. Επιπλέον, για μήκος μεγαλύτερο από το χειρότερο δυνατό το σήμα παρεμβολής εξασθενεί ιδιαίτερα. Επομένως, τα αποτελέσματα της παρεμβολής θα είναι μειωμένα και στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις. Για τον υπολογισμό του χειρότερου δυνατού μήκους θεωρείται η σύζευξη μακρόθεν παρεμβολής ως $\text{FEXT}(f,L)$ και αναζητείται η τιμή του μήκους L για την οποία η παράγωγος $\partial \text{FEXT}(f,L)/\partial L$ μηδενίζεται. Επίσης το μέγεθος $|H(f)|^2$ ($|H(f)|$ η συνάρτηση μεταφοράς της γραμμής θύματος) εκφράζεται συναρτήσει των παραμέτρων της μιγαδικής σταθεράς διάδοσης $\gamma = \alpha + j\beta$, οπότε προκύπτει $|H(f)|^2 = e^{-2\alpha \times L}$. Στην τελευταία εξίσωση, η παράμετρος α είναι συνάρτηση της συχνότητας και επειδή στις συχνότητες των xDSL σημάτων το α επηρεάζεται κυρίως από το επιδερμικό φαινόμενο (skin effect) θεωρείται $\alpha = k \times \sqrt{f}$, όπου k σταθερά, εξαρτώμενη από τον τύπο του καλωδίου. Βάσει των προηγούμενων, προκύπτει $|H(f)|^2 = e^{-2 \times L \times k \times \sqrt{f}}$ και τελικώς για τη σύζευξη μακρόθεν παρεμβολής προκύπτει η εξίσωση

$$\text{FEXT}(f,L,N) = K_{\text{FEXT}} \times (N/49)^{0.6} \times (f/f_0) \times (L/L_0) \times e^{-2 \times L \times k \times \sqrt{f}} \quad (1.2.19)$$

Παραγωγίζοντας την Εξ.(1.2.19) και θέτοντας την παράγωγο ίση με μηδέν προκύπτει το χειρότερο δυνατό μήκος σύζευξης ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής

¹⁵ Τύποι FSN

$$L_{\max} = \frac{1}{2 \times k \times \sqrt{f}} \quad (1.2.20)$$

Η συνήθης πρακτική για τον υπολογισμό της ισχύος της παρεμβολής είναι η πραγματοποίηση μιας σειράς προσομοιώσεων ή/και μετρήσεων και, στη συνέχεια, η διατύπωση κατάλληλης συνάρτησης που περιγράφει με μεγάλη ακρίβεια τα φαινόμενα που υπεισήλθαν στο προηγούμενο στάδιο. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στη βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές διαφορετικές εκδοχές των συναρτήσεων παρεμβολής. Συνήθως, μελετάται η συμπεριφορά των προαναφερθεισών γενικών εξισώσεων σε ειδικές περιπτώσεις δικτύων ή επιδιώκεται η εξαγωγή περισσότερο απλοποιημένων εκφράσεων. Αποτελέσματα της προαναφερθείσας μεθοδολογίας αποτελούν οι εξισώσεις

$$FEXT = K_{FEXT} \times f^2 \times |H(L)|^2 \times T_X \text{PSD} \times \left(\sum_{i=1}^N \min(L, L_i)^{1/0.6} \right)^{0.6} \leq K_{FEXT} \times f^2 \times |H(L)|^2 \times T_X \text{PSD} \times L \times N^{0.6} \quad (1.2.21)$$

$$FEXT = K_{FEXT} \times f^2 \times \left(\sum_{i=1}^N \min(L, L_i)^{1/0.6} \times R_X \text{PSD}_i^{1/0.6} \right)^{0.6} \quad (1.2.22)$$

Η Εξ.(1.2.21) αναφέρεται στη τηλεδιαφωνία που προκαλείται στη downstream ζεύξη από πολλές γραμμές παρεμβολής με κοινή PSD εκπομπής ($T_X \text{PSD}$), ενώ η Εξ.(1.2.22) περιγράφει την αντίστοιχη παρεμβολή στην upstream ζεύξη, λαμβάνοντας ως πηγή παρεμβολής τη διαφορετική PSD που λαμβάνεται από κάθε παρεμβολέα ($R_X \text{PSD}_i$). Οι εξισώσεις αυτές αναδεικνύουν το πρόβλημα «near-far» το οποίο υποβαθμίζει ιδιαίτερα την upstream ζεύξη. Καιτοι η θεώρηση παρεμβάλλοντων γραμμών και γραμμής που δέχεται την παρεμβολή ίσου μήκους αποδίδει αξιόπιστη προσέγγιση για τη μακρόθεν παρεμβολή στη downstream ζεύξη, όπως υποδηλώνει το \leq στην Εξ.(1.2.21), αυτό δεν ισχύει για την upstream ζεύξη. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει οπωσδήποτε να χρησιμοποιηθεί τύπος που θα προσμετρά τη διαφορά μηκών των γραμμών¹⁶. Ο λόγος είναι ότι, στη downstream ζεύξη, το σημείο έγχυσης είναι κοινό¹⁷ ενώ, αντίθετα, στην upstream ζεύξη, οι συνδρομητές που αποτελούν στην περίπτωση αυτή τα σημεία έγχυσης των σημάτων παρεμβολής, δεν ισαπέχουν από το κοινό για όλους σημείο λήψης.

Απλοποιημένες εκφράσεις για την ισχύ παρεμβολής από μία παρεμβάλλουσα γραμμή είναι οι εξισώσεις όπου

$$NEX(f) = S(f) \times X_N \times f^{1.5} \quad (1.2.23)$$

$$FEXT(f) = S(f) \times X_F \times f^2 \times L \times |H(f)|^2 \quad (1.2.24)$$

όπου X_N , X_F σταθερές προσδιορισμένες μέσω μετρήσεων.

Στην περίπτωση n γραμμών-παρεμβολής, οι ανωτέρω εξισώσεις γράφονται

$$NEX[f, n] = S(f) \times X_N \times f^{1.5} \times n^{0.6} \quad (1.2.25)$$

Και

$$FEXT[f, n, L] = S(f) \times X_F \times f^2 \times L \times |H(f)|^2 \times n^{0.6} \quad (1.2.26)$$

Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι η επιλογή του εκθέτη 0.6 στον αριθμό των παρεμβάλλοντων γραμμών έγινε βάσει μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε καλώδια στην Αμερική, χωρίς να υπάρχει τεκμηρίωση για την επιλογή του. Για την Ευρώπη, κατόπιν μετρήσεων (8) προτείνεται η τιμή εκθέτη 0.8 ή 0.7. Επιπλέον, μετά από αρκετή συζήτηση ως προς τη μέθοδο άθροισης της παρεμβολής που οφείλεται σε διαφορετικές τεχνολογίες προέκυψαν οι μέθοδοι που περιγράφονται στον Πίν.1.2.2, πέραν αυτών που παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

¹⁶ Σε αυτή τη διαφορά άλλωστε οφείλονται οι διαφορές στα $R_X \text{PSDs}$ που προέρχονται από διαφορετικούς παρεμβολείς.

¹⁷ Σε τοπολογίες όπου η παροχή υπηρεσίας γίνεται ολοκληρωτικά από το Αστικό Κέντρο ή από Καμπίνα. Η περίπτωση των μικτών τοπολογιών θα μελετηθεί σε άλλο κεφάλαιο.

Πίνακας 1.2.2 Εναλλακτικές μέθοδοι άθροισης παρεμβολής προκαλούμενης από διαφορετικές τεχνολογίες

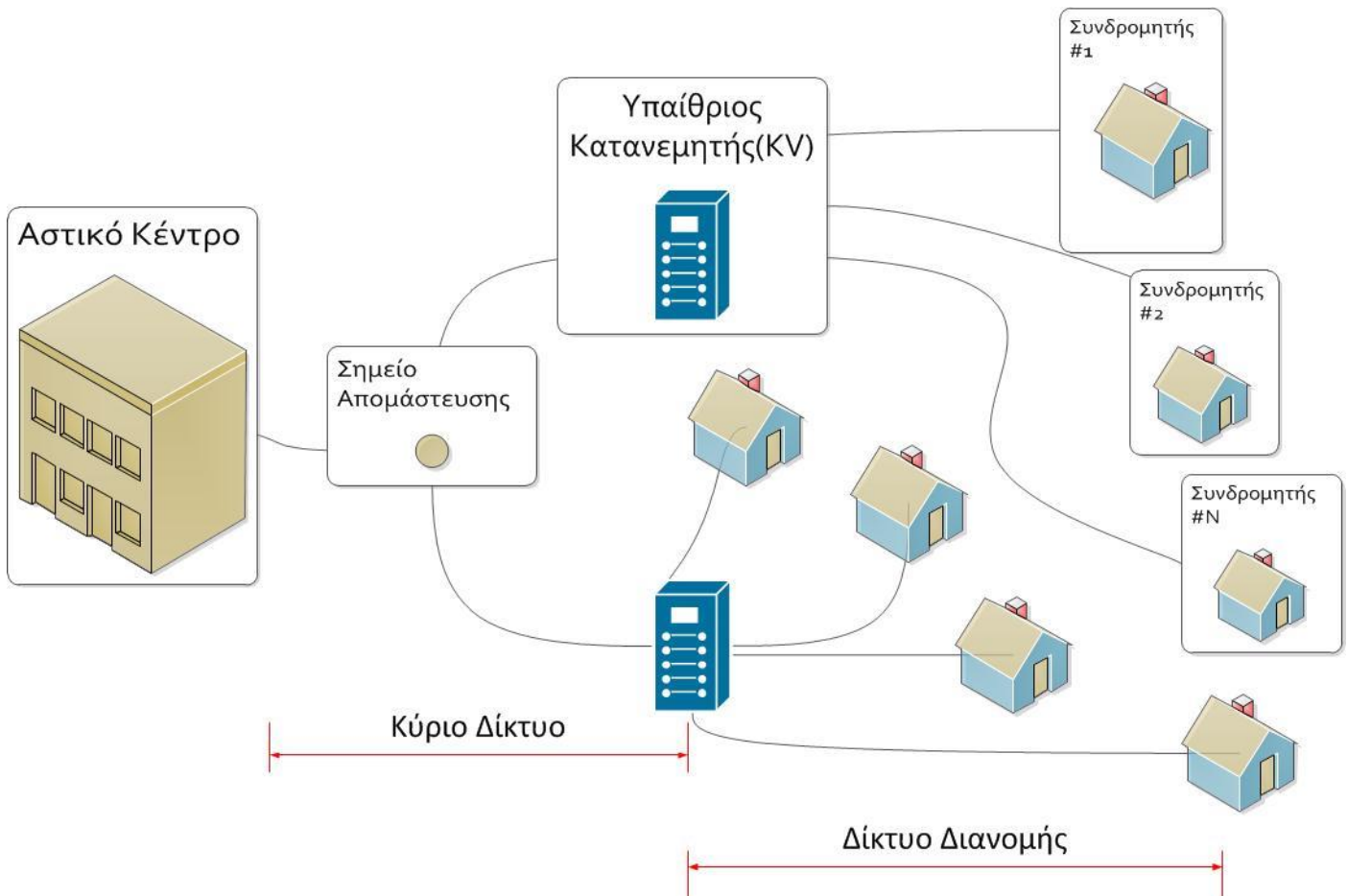
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ	ΣΧΕΣΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
The Annulus Summation Method	$\text{Next}_{\text{Annulus}} [f, n_1, n_2] = S_1(f) \times X_N \times f^{1.5} \times n_1^{0.6} + S_2(f) \times X_N \times f^{1.5} \times ((n_1 + n_2)^{0.6} - n_1^{0.6})$ (Εξίσωση για δύο παρεμβολείς)	<ul style="list-style-type: none"> • Η προτεραιότητα που δίνεται αυθαίρετα στους παρεμβολείς επηρεάζει το επίπεδο της παρεμβολής που υπολογίζεται.
The Mean PSD Crosstalk Summation Method	$\text{Next}_{\text{MeanPSD}} [f, n_1, \dots, n_K] = \left[\sum_{i=1}^K S_i(f) \times \frac{n_i}{\sum_{j=1}^K n_j} \right] \times \left(\sum_{j=1}^K n_j \right)^{0.6} \times X_N \times f^{1.5}$ (Εξίσωση για K παρεμβολείς)	<ul style="list-style-type: none"> • Η μέθοδος αυτή εμφανίζει κατά μέσο όρο μικρότερο λάθος στην πρόβλεψη της παρεμβολής. • Παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλό μέγιστο σφάλμα, χαρακτηριστικό ιδιαίτερα επικίνδυνο διότι μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά προβλήματα στο πεδίο.
The Geometric Mean PSD Method	$\text{Next}_{\text{G-MeanPSD}} [f, n_1, n_2] = \bar{S}^{(G)}(f) \times X_N \times f^{1.5} \times (n_1 + n_2)^{0.6} = \left([S_1(f)]^{n_1} \times [S_2(f)]^{n_2} \right)^{1/(n_1 + n_2)} \times X_N \times f^{1.5} \times (n_1 + n_2)^{0.6}$ (Εξίσωση για δύο είδη παρεμβολέων)	<ul style="list-style-type: none"> • Ενδέχεται να προβλέψει μηδενική παρεμβολή εάν έστω και η φασματική πυκνότητα ισχύος (PSD) ενός μόνο παρεμβολέα είναι μηδενική.
The Hölder-Bound Method	$\text{Next}_{\text{Hölder}} [f, \lambda n_1, \dots, \lambda n_K] = K^{-(1-\lambda)/\lambda} \times \left[\sum_{i=1}^K [S_i(f) \times n_i^{0.6}]^\lambda \right]^{1/\lambda} \times X_N \times f^{1.5}$ (Εξίσωση για K διαφορετικούς παρεμβολείς)	<p>Δεν είναι περισσότερο απαισιόδοξη από την «1% ΧΔΠ».</p> <p>Βασίζεται σε μία παράμετρο (λ), αλλαγή της οποίας μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερο αισιόδοξες ή περισσότερο απαισιόδοξες προβλέψεις.</p>

Η κρισιμότητα της ορθής εκτίμησης της παρεμβολής σε συνδυασμό με την όχι καθολική εφαρμογή των διαθέσιμων μοντέλων καθιστά αναγκαίο τον κατά περίπτωση, σε κάθε δίκτυο που μελετάται, υπολογισμό της παρεμβολής. Μολονότι οι ανωτέρω εξισώσεις μπορούν να αποδώσουν μια αίσθηση της επίδρασης της παρεμβολής, δεν αρκούν για τον πλήρη προσδιορισμό αντιμέτρων προς εξασφάλιση της επιθυμητής λειτουργίας. Σε επόμενο κεφάλαιο, προκειμένου να εξαχθεί μια ρεαλιστική εικόνα του ελληνικού δικτύου παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών θα παρουσιαστούν αναλυτικά τόσο η διαδικασία μετρήσεων που ακολουθήθηκε όσο και τα αποτελέσματα αυτής.

1.3 ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΡΟΧΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

1.3.1 Το Δίκτυο Πρόσβασης

Η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών xDSL αξιοποιεί την υπάρχουσα υποδομή του δικτύου POTS. Το δίκτυο αυτό, που είναι γνωστό ως *δίκτυο πρόσβασης*, είναι ένα εκτεταμένο και πολύπλοκο δίκτυο χάλκινων καλωδίων, εφοδιασμένο με τον απαραίτητο εξοπλισμό για την παροχή υπηρεσιών. Αποτελείται από το *κύριο δίκτυο* και το *δίκτυο διανομής* (απερχόμενο δίκτυο). Τα βασικά τμήματά του απεικονίζονται στο διάγραμμα του Σχ.1.3.1.



Σχήμα 1.3.1 Διάρθρωση δικτύου πρόσβασης

Οι διάφορες γεωγραφικές περιοχές λειτουργίας χωρίζονται σε υποπεριοχές, εκάστη οποίων εξυπηρετείται από ένα *Αστικό Κέντρο* (AK). Το AK περιλαμβάνει τον *κύριο κατανεμητή* (MDF), από τον οποίο εκκινούν μεγάλα καλώδια που περιλαμβάνουν έως και 2400 χάλκινα, αθωράκιστα συνδρομητικά ζεύγη¹⁸ αγωγών. Στη συνέχεια, τα μεγάλα καλώδια απομαστεύονται σε μικρότερα καλώδια χωρητικότητας μέχρι και 400 ζευγών και αναπτύσσονται σε δενδροειδή τοπολογία περί το AK. Έκαστο¹⁹ των καλωδίων αυτών τερματίζεται σε ένα *υπαίθριο κατανεμητή* (ΥΚ-KV), ο οποίος θεωρείται η διεπαφή μεταξύ των καλωδίων του κύριου και του απερχόμενου δικτύου. Εκεί διαχωρίζεται εκ νέου σε ομάδες δέκα έως εκατό ζευγών που με τη σειρά τους διακλαδώνονται σε ακόμη μικρότερες ομάδες και καταλήγουν, αναπτυσσόμενα σε τοπολογία αστερά γύρω από τον ΥΚ, στο χώρο κάθε συνδρομητή, όπου μέσω του *εσωτερικού κατανεμητή*²⁰ συνδέονται με την υπάρχουσα καλωδίωση του χώρου του συνδρομητή. Η δομή των καλωδίων περιγράφεται αναλυτικότερα στο αντίστοιχο παράρτημα, αλλά παραθέτονται παρακάτω ορισμένες βασικές πληροφορίες.

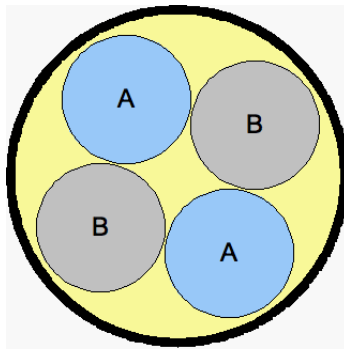
Για την τοποθέτηση των ζευγών μέσα σε ένα καλώδιο χρησιμοποιείται είτε η συστροφή των αγωγών του ζεύγους μεταξύ τους (καλώδιο UTP²¹) είτε η διάταξη των ζευγών σε αστεροειδείς τετράδες. Η συστροφή τεσσάρων αγωγών σε αστερο-τετραδική διάταξη πραγματοποιείται έτσι ώστε οι αγωγοί που βρίσκονται διαγώνια να αποτελούν ζεύγος, όπως φαίνεται στο Σχ.1.3.2.

¹⁸ Σε κάθε συνδρομητή (τηλεφωνική γραμμή) αντιστοιχεί ένα ζεύγος αγωγών.

¹⁹ Πιθανώς σε ορισμένους ΥΚ να τερματίζονται περισσότερα του ενός (συνήθως 2) καλώδια κύριου δικτύου, λόγω ενίσχυσης του δικτύου.

²⁰ εσκαλίτ

²¹ Unshielded Twisted Pair



Σχήμα 1.3.2 Δομή αστεροειδούς τετράδας

Η τεχνική της αστεροειδούς τετράδας (αστεροτετράδας) χρησιμοποιήθηκε και από τον ΟΤΕ²² για την κατασκευή του ελληνικού δικτύου πρόσβασης. Σε καλώδια που περιλαμβάνουν μέχρι 10 ζεύγη οι τετράδες (1,2,3,4,5) συστρέφονται απλώς μεταξύ τους. Όμως, σε καλώδια άνω των 10 ζευγών οι ήδη συνεστραμμένες τετράδες συστρέφονται ανά πέντε μεταξύ τους, αποσκοπώντας στη μικρότερη δυνατή ηλεκτρομαγνητική σύζευξη²³.

Εκτός της διαφορετικής χωρητικότητας τα καλώδια κύριου και απερχόμενου δικτύου διαφοροποιούνται ως προς το υλικό μόνωσης. Συνήθως, τα καλώδια του κύριου δικτύου είναι στεγνά, βρίσκονται υπό πίεση από σύστημα Ξηρού Πεπιεσμένου Αέρα και στην πλειονότητά τους τοποθετούνται σε στεγανή σωλήνωση (3). Τα καλώδια του δικτύου διανομής πληρώνονται από γέλη²⁴ (ειδικό υλικό) προκειμένου να εμποδιστεί η εισροή υγρασίας στο εσωτερικό του καλωδίου. Επίσης, τα καλώδια του δικτύου διανομής είναι άμεσης εκταφής, αν και σε ημιαστικές περιοχές ενδέχεται να είναι και εναέρια.

Η διατομή των αγωγών ενός καλωδίου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της ηλεκτρικής συμπεριφοράς του. Στο ελληνικό δίκτυο χρησιμοποιούνται καλώδια αγωγών διαμέτρου 0.4, 0.6, 0.8 και 0.9mm. Το αντίστοιχο μέγιστο καλωδιακό μήκος για έκαστη των ανωτέρω διατομών είναι 3.5, 6, 8 και 9km. Σε αστικά δίκτυα προτιμώνται καλώδια ενιαίας διατομής αγωγών διαμέτρου 0.4 ή 0.6mm. Το είδος και τα χαρακτηριστικά των καλωδίων που χρησιμοποιεί ο Ο.Τ.Ε σε αστικά δίκτυα παρατίθενται στον Πίν.1.3.1.

Πίνακας 1.3.1 Είδη και χωρητικότητες καλωδίων αστικού δικτύου ΟΤΕ

ΖΕΥΓΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	JELLY Οπλισμένα ή όχι			ΣΤΕΓΝΑ Οπλισμένα ή όχι			ΑΥΤΟΣΤΗΡΙΚΤΑ		
	0.4	0.6	0.8	0.4	0.6	0.8	0.4	0.6	0.8
2								X	
4								X	
6								X	X
10	X						X	X	X
20	X						X	X	X
30	X						X	X	X
50	X						X	X	
100	X						X		
150			X			X			
200	X	X	X		X	X			
250						X			
300	X	X	X	X	X	X			
350						X			
400	X	X	X	X	X	X			
500	X	X	X	X	X	X			
600	X	X	X	X	X	X			
750						X			
800	X	X		X	X				
1000	X	X		X	X				
1200	X			X	X				
1400	X			X					
1800				X					
2000				X					
2400				X					

²² Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος

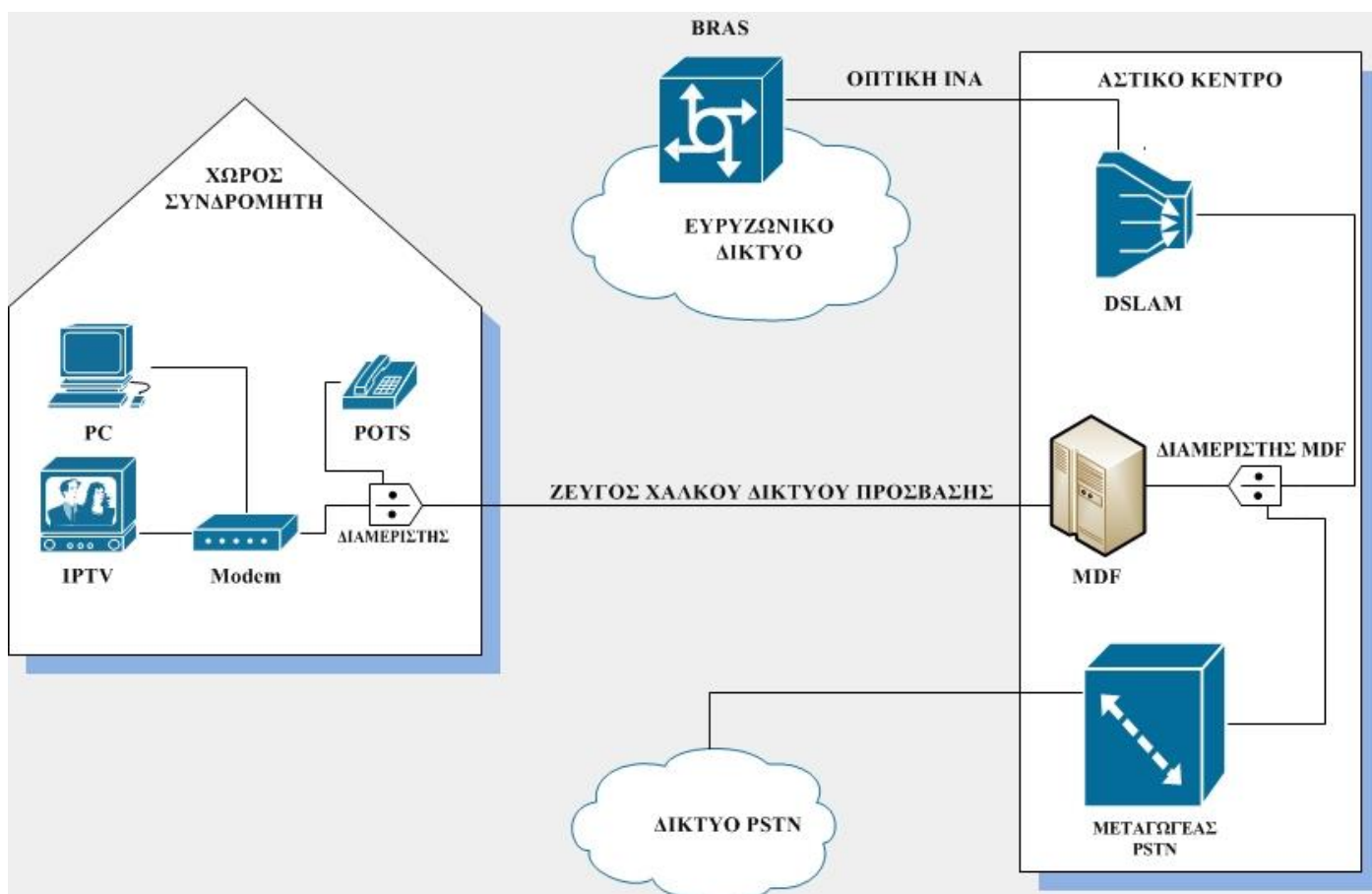
²³ Πηγή: ΟΤΕ

²⁴ jelly

Σε περιαστικά περιβάλλοντα χρησιμοποιείται συνδυασμός διατομών διαφορετικής διαμέτρου (0.4 και 0.6mm) με στόχο να αυξηθεί η εμβέλεια, χωρίς προσαρμογή της σύνθετης αντίστασης στο σημείο της σύνδεσης. Καλώδια με διατομή αγωγών διαμέτρου 0.8 και 0.9mm χρησιμοποιούνται μόνο για παροχή τηλεφωνικών υπηρεσιών σε απομακρυσμένους από τα ΑΚ οικισμούς. Η μόνωση των αγωγών του καλωδίου είναι χάρτου ή πολυαιθυλενίου. Μέχρι το 1994 γινόταν χρήση μόνο μεταλλικών καλωδίων μόνωσης χάρτου. Τότε, άρχισε η χρήση καλωδίων με μόνωση πολυαιθυλενίου PE (συμπαγές για αγωγούς διαμέτρου 0.4mm, πορώδες για αγωγούς διαμέτρου 0.6 και 0.8mm). Πλέον, υπολογίζεται ότι το 70% των μεταλλικών καλωδίων του δικτύου πρόσβασης του ΟΤΕ φέρουν μόνωση χάρτου. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών εντοπίζεται στο κύριο δίκτυο²³.

1.3.2 Παροχή Ευρυζωνικών Υπηρεσιών

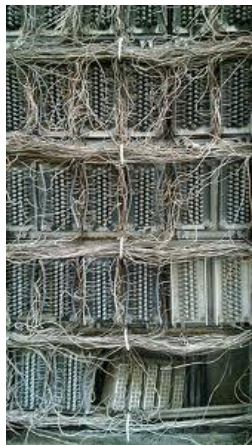
Η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών xDSL μέσω του δικτύου χαλκού απαιτεί την ύπαρξη του κατάλληλου εξοπλισμού στο ΑΚ και στο χώρο του συνδρομητή. Στο ΑΚ υπάρχει ο «πολυπλέκτης ψηφιακών συνδρομητικών γραμμών πρόσβασης» (DSLAM) που αναλαμβάνει την πολύπλεξη ενός αριθμού συνδρομητικών DSL γραμμών και την προώθηση αυτών μέσω οπτικής ίνας, ως ενιαίου καναλιού δεδομένων στον «ευρυζωνικό εξυπηρετητή απομακρυσμένης πρόσβασης» (BRAS) όπου ταυτοποιείται η ταυτότητα του συνδρομητή και δρομολογείται η κίνηση προς το δίκτυο κορμού του παρόχου. Λόγω της σύνδεσης μεταξύ DSLAM (εγκατεστημένου στο ΑΚ) και BRAS μέσω οπτικής ίνας, η τοπολογία αυτή ονομάζεται FTTE_x (Fiber To The Exchange). Το σήμα της παραδοσιακής τηλεφωνίας προέρχεται από τον μεταγωγέα PSTN ή ISDN. Στον κύριο κατανεμητή, μέσω ενός διαχωριστή (splitter), το τηλεφωνικό σήμα και το σήμα xDSL καταλαμβάνουν το αντίστοιχο συχνοτικό περιεχόμενο της γραμμής του συνδρομητή. Στην περίπτωση τηλεφωνίας PSTN τα πρώτα 4kHz μεταφέρουν το τηλεφωνικό σήμα και οι συχνότητες άνω των 138kHz διατίθενται για την παροχή xDSL υπηρεσιών. Στην περίπτωση τηλεφωνίας ISDN η τηλεφωνική υπηρεσία καταλαμβάνει τα πρώτα 80kHz. Κατ' αυτόν τον τρόπο, υλοποιείται η παροχή τηλεφωνίας και ευρυζωνικών υπηρεσιών μέσω ενός μόνο ζεύγους χάλκινων αγωγών όπως φαίνεται και από το Σχ.1.3.3.



Σχήμα 1.3.3 Παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών μέσω δικτύου χαλκού

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το επίπεδο της υπηρεσίας που παρέχεται στο συνδρομητή, είτε πρόκειται για απλή τηλεφωνία είτε για ευρυζωνικές υπηρεσίες σε μεγάλο βαθμό καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του μέσου διάδοσης. Η ποιότητα υπηρεσίας στις ευρυζωνικές συνδέσεις καθορίζεται βάσει του ρυθμού μετάδοσης, του ποσοστού λανθασμένων ψηφίων, της καθυστέρησης μετάδοσης, του λόγου σήματος προς θόρυβο και άλλων παραμέτρων. Πρακτικές ενδείξεις της ποιότητας μιας σύνδεσης είναι το ποσοστό αποσυνδέσεων και η έλλειψη συγχρονισμού. Η

πολυπλοκότητα του δικτύου χαλκού καθώς και η έλλειψη επαρκούς πληροφορίας για την ακριβή κατάσταση και το μήκος των καλωδιώσεων καθιστούν αρκετά δύσκολη την πρόβλεψη της επίδοσής του. Για παράδειγμα, η παροχή υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεν είναι κατά προβλέψιμο τρόπο δυνατή σε μια γραμμή που περιέχει αγωγούς διατομών διαφορετικής διαμέτρου και παλαιότητας. Η διάμετρος του αγωγού καθορίζει την εξασθένηση στην οποία υπόκειται το σήμα. Επομένως, αν θεωρηθεί ότι, ενδεχομένως μετά από βλάβη, τμήμα της γραμμής αντικαταστάθηκε με αγωγό ακατάλληλης για το μήκος λειτουργίας της γραμμής διάμετρο, είναι πιθανό η εξασθένηση να υποβαθμίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των συνδιαλέξεων ή συνδέσεων. Επίσης, φθορές και απώλεια της στεγανότητας του καλωδίου που εντοπίζονται σε παλαιούς αγωγούς υποβαθμίζουν την ποιότητα της υπηρεσίας. Σημαντικός για την ποιότητα μιας σύνδεσης είναι και ο τρόπος τερματισμού των καλωδίων στον ΥΚ. Μέχρι πρότινος χρησιμοποιούνταν τερματισμός βιδωτού τύπου με τεστίνες (Σχ.1.3.4),



Σχήμα 1.3.3 Καλώδια τερματισμένα σε τεστίνες

προκαλώντας έτσι αρκετά προβλήματα στη γραμμή λόγω οξείδωσης και δυσκολίας στη σύνδεση. Πλέον, στο μεγαλύτερο μέρος των πυκνά αστικών περιοχών ο ΟΤΕ έχει εγκαταστήσει ΥΚ νέου τύπου, με τερματισμό σφηνωτού τύπου μέσω οριολωρίδων (Σχ.1.3.5).



Σχήμα 1.3.4 Οριολωρίδα τερματισμού 10 ζευγών

Φθορά σε ένα σημείο του δικτύου μπορεί να προκαλέσει ακόμα και διακοπή μιας σύνδεσης, χωρίς να είναι εφικτός ο εντοπισμός του ακριβούς σημείου της βλάβης. Επιπλέον, οι επιβαρυντικές ιδιότητες του χάλκινου καλωδίου ως μέσον διάδοσης²⁵ περιορίζουν την εμβέλεια τεχνολογιών που μπορούν να προσφέρουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.

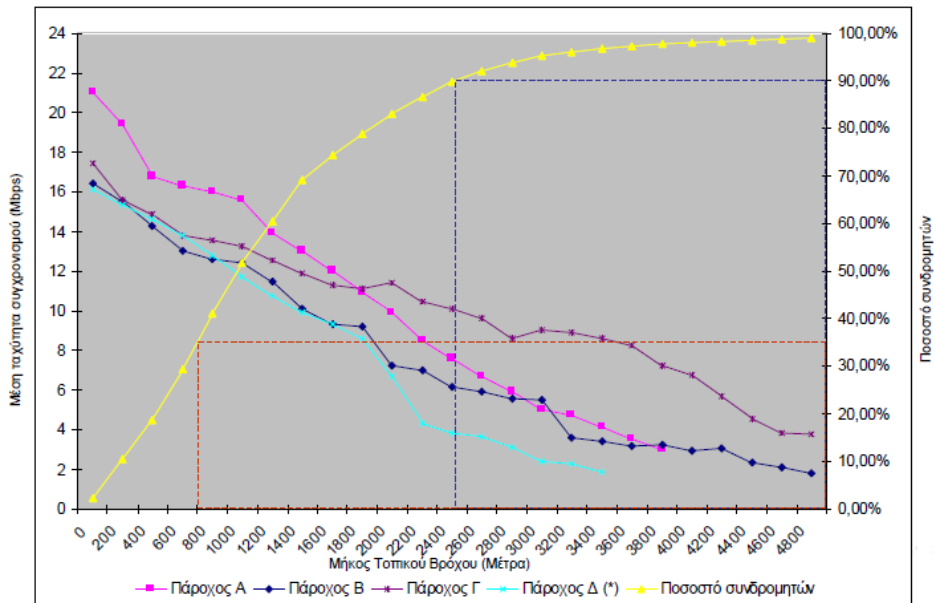
1.3.3 Δίκτυα FTTx

Η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για υπηρεσίες που απαιτούν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (π.χ. IP HDTV) έχει πλέον αποκαλύψει ότι οι δυνατότητες του δικτύου χαλκού δεν επαρκούν, διότι οι υπάρχουσες τεχνολογίες σε συνδυασμό με τη μεγάλη απόσταση από τον συνδρομητή δεν μπορούν να προσφέρουν επαρκή ρυθμαπόδοση.

Από το Σχ.1.3.5²⁶ γίνεται εμφανές ότι λόγω της μεγάλης απόστασης μεταξύ του συνδρομητή και σημείου έγχυσης ισχύος (DSLAM) δεν είναι δυνατή η επίτευξη των ονομαστικών επιδόσεων των τεχνολογιών που παρέχονται, ακόμη και για μικρό ποσοστό συνδρομητών.

²⁵ Όπως αυτές περιγράφονται στο Σχ.1.2.1

²⁶ EETT, στοιχεία παρόχων ελληνικής αγοράς 2011

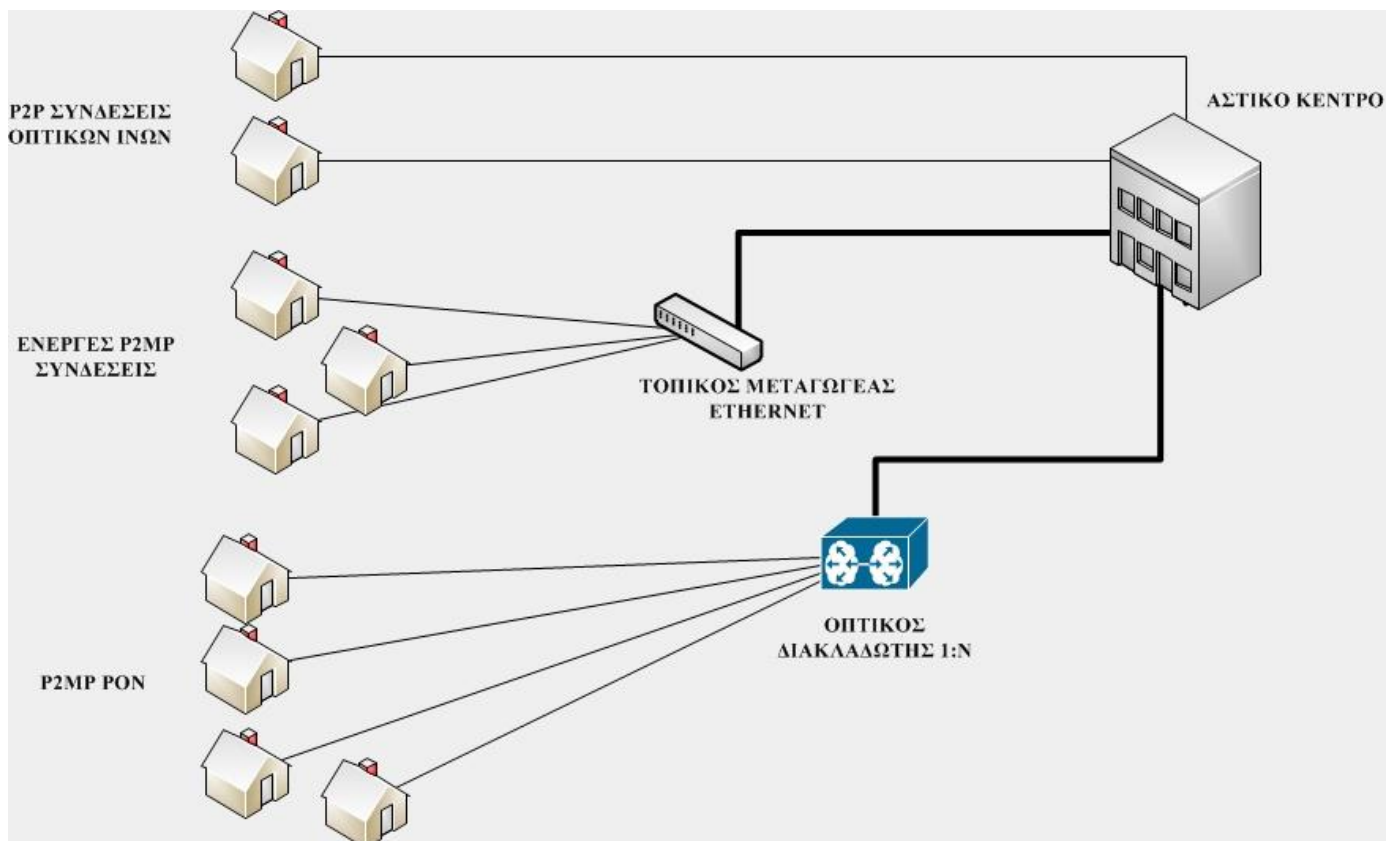


Σχήμα 1.3.5 Κατανομή μέσης ταχύτητας συγχρονισμού και ποσοστού συνδρομητών συναρτήσει της απόστασης από το ΑΚ

Η λύση είναι η δημιουργία ενός δικτύου NGA, μέσω του οποίου οι οπτικές ίνες διεισδύουν βαθύτερα στο δίκτυο πρόσβασης, φθάνοντας σε τελικό στάδιο μέχρι και το χώρο του συνδρομητή. Η άμεση αντικατάσταση του υπάρχοντος δικτύου χαλκού με ένα δίκτυο οπτικών ινών κρίνεται, στην παρούσα τουλάχιστον φάση, μη ρεαλιστική οδηγώντας σε σταδιακή μετάβαση στο δίκτυο οπτικών ινών μέσω των διαφόρων FTTx σταδίων.

Το πρώτο βήμα είναι αυτό που έχει ήδη υλοποιηθεί, γνωστό ως FTTEch και αξιοποιεί την τεχνολογία EFM. Η έγχυση του ευρυζωνικού σήματος πραγματοποιείται στο ΑΚ και η σύνδεση των συνδρομητών με το ΑΚ υλοποιείται εξ ολοκλήρου μέσω του δικτύου χαλκού. Όμως, μέσω αυτής της τοπολογίας περιορίζεται σημαντικά η εμβέλεια παροχής υπηρεσιών υψηλών ρυθμών. Η επίτευξη σημαντικά υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης γίνεται μέσω του FTTC (Fiber To The Cabinet).

Για την υλοποίηση ενός τέτοιου δικτύου NGA υπάρχουν τρεις επιλογές όπως φαίνεται στο Σχ.1.3.7.



Σχήμα 1.3.6 Εναλλακτικές υλοποιήσεις NGA δικτύων

Η πρώτη καλείται «σημείο-προς-σημείο» (P2P) και προϋποθέτει τη μέσω οπτικής ίνας απευθείας σύνδεση κάθε συνδρομητή με το ΑΚ.

Η δεύτερη επιλογή είναι η ενεργή «σημείο-προς-πολλαπλά-σημεία» (P2MP) σύνδεση. Σε αυτή την περίπτωση, κάθε ομάδα ΥΚ συνδέεται με το Αστικό Κέντρο μέσω ενός τοπικού μεταγωγέα, η σύνδεση του οποίου με το ΑΚ πραγματοποιείται μέσω οπτικής ίνας. Οι δύο ανωτέρω συνδέσεις αξιοποιούν την τεχνολογία EFM, όπου όλη η επικοινωνία γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου Ethernet, μειώνοντας την πολυπλοκότητα που επιφέρει η εναλλαγή πρωτοκόλλων.

Η τρίτη επιλογή είναι η δημιουργία μιας P2MP τοπολογίας, όπως προηγουμένως, αλλά, στην περίπτωση αυτή, ο τοπικός μεταγωγέας αντικαθίσταται από ένα παθητικό οπτικό διακλαδωτή. Η επιλογή αυτή ανήκει στην οικογένεια παθητικών οπτικών δικτύων (xPON), όπως αυτές παρουσιάζονται στον Πίν.1.3.2.

Πίνακας 1.3.2 Πρότυπα xPON

	BPON	GPON	EPON
Πρότυπο	ITU-T G.983	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah
Μέγιστος ρυθμός upstream ζεύξης	622 Mbit/s	2488 Mbit/s	1244 Mbit/s
Μέγιστος ρυθμός downstream ζεύξης	1244 Mbit/s	2488 Mbit/s	1244 Mbit/s
Μέγιστη απόσταση λειτουργίας (km)	20	20	20
Μήκος κύματος upstream ζεύξης (nm)	1310	1310	1310
Μήκος κύματος downstream ζεύξης (nm)	1490/1550	1490/1550	1490/1550
Απόδοση upstream ζεύξης	87%	92%	65%
Απόδοση downstream ζεύξης (ωφέλιμο payload πακέτου)	87%	92%	72%
Τρόπος Μετάδοσης	ATM	Ethernet και/ή ATM μέσω GEM	Ethernet
Υποστήριξη φωνής	TDM μέσω ATM (VoATM), TDM μέσω IP (VoIP)	Εγγενής TDM, TDM μέσω ATM (VoATM), TDM μέσω IP (VoIP)	TDM μέσω IP (VoIP)
Υποστήριξη Video	RF overlay (στα 1550nm), IPTV	RF overlay (στα 1550nm), IPTV	IPTV
Ασφάλεια (encryption)	AES	AES	Δεν καθορίζεται από το πρότυπο

Η τεχνολογία GPON υπερτερεί της EPON τόσο λόγω της καλύτερης απόδοσης της downstream ζεύξης όσο και λόγω της εγγενούς δυνατότητας TDM, δηλαδή συμβατικής τηλεφωνίας και όχι υποχρεωτικά VoIP. Επίσης, μέσω της τεχνολογίας GPON είναι δυνατή η μετάδοση Video μέσω RF overlay ή IPTV, ενώ μέσω EPON μόνο μέσω IPTV. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι κατά τη μετάδοση IPTV χρησιμοποιείται μέρος των δύο μηκών κύματος που χρησιμεύουν για την αποστολή δεδομένων, αφού τα το Video ψηφιοποιείται και ενθυλακώνεται σε πλαίσια δεδομένων. Αντιθέτως, για τη μετάδοση Video μέσω RF overlay, εγγέεται και τρίτο μήκος κύματος (1550nm), οπότε τα δύο μήκη κύματος που προορίζονται για αποστολή δεδομένων αφιερώνονται εξ ολοκλήρου για το σκοπό αυτό. Η ιδιαιτερότητα της αποστολής Video μέσω RF overlay έγκειται στο ότι γίνεται broadcasting του αναλογικού σήματος, οπότε είναι ακατάλληλο για συνδρομητικές υπηρεσίες.

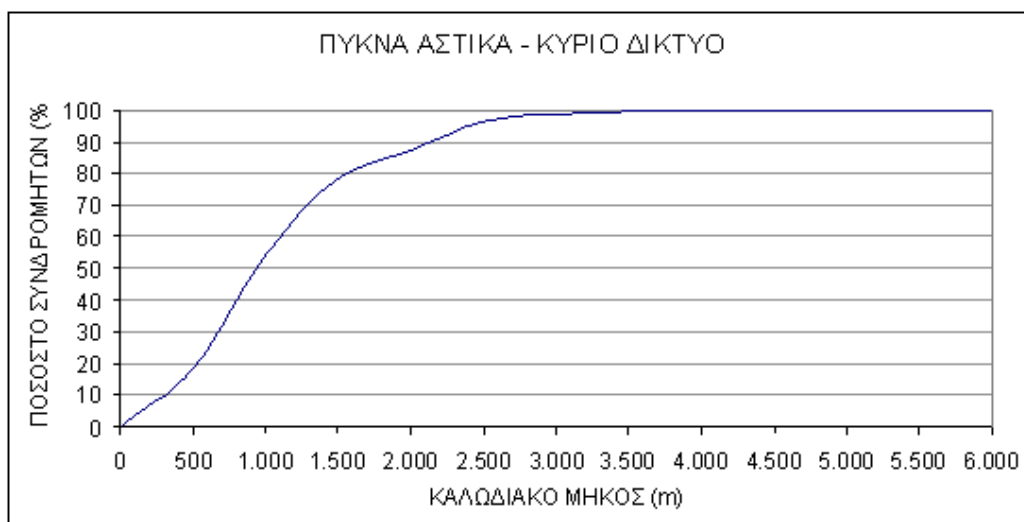
Αρχικά προβλέπεται από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους η αξιοποίηση της ενεργού P2MP σύνδεσης μέσω EFM και χάλκινων καλωδίων για τη ζεύξη του ΑΚ και του ΥΚ. Ωστόσο, στο μέλλον θα υλοποιηθούν δίκτυα GPON λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν έναντι της υλοποίησης μέσω EFM. Στον Πίν.1.3.3 πραγματοποιείται συνοπτική σύγκριση των δύο αυτών τύπων NGA.

Πίνακας 1.3.3: Συνοπτική σύγκριση GPON και EFM

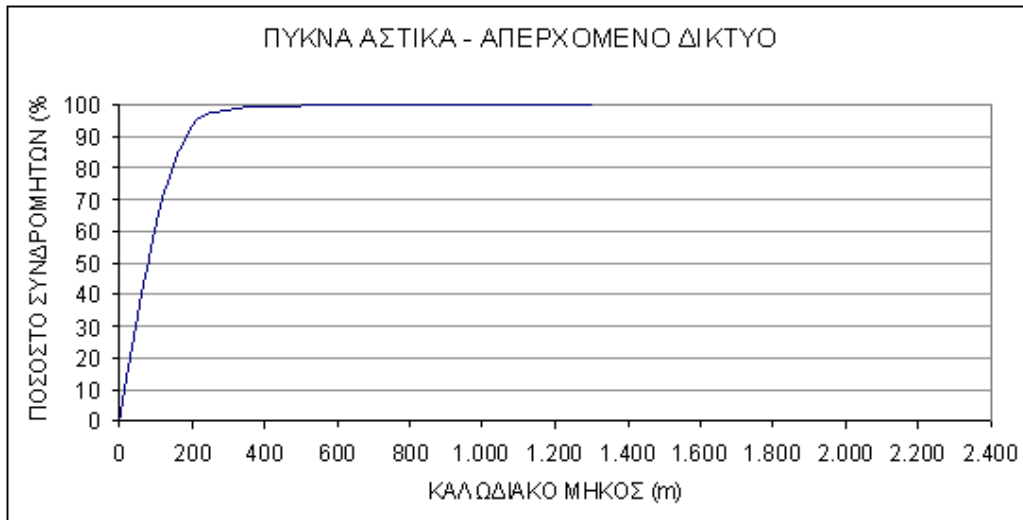
	EFM	GPON
Πλήθος ινών ανά ΥΚ	2	1 (χρήση WDM)
Μήκος κύματος upstream ζεύξης(nm)	1310	1310
Μήκος κύματος downstream ζεύξης(nm)	1310	1490

Λόγω της χρήσης δύο ινών ανά καμπίνα ενεργού εξοπλισμού, οι ρυθμοί μετάδοσης της EFM υπερβαίνουν αυτούς της GPON. Ωστόσο, η χρήση μικρότερου αριθμού ινών συνεπάγεται μικρότερο κόστος και σαφώς λιγότερη πολυπλοκότητα στο χώρο τερματισμού αυτών στο Αστικό Κέντρο.

Στη δικτυακή τοπολογία FTTC η χρήση οπτικής ίνας επεκτείνεται μέχρι τον ΥΚ, όπου εγκαθίσταται ενεργός εξοπλισμός έγχυσης xDSL σημάτων (R-DSLAM). Κατ' αυτόν τον τρόπο, η έγχυση του σήματος γίνεται πλησιέστερα προς το συνδρομητή, οπότε αυξάνεται το γεωγραφικό εύρος παροχής υπηρεσίας. Με χρήση οπτικής ίνας μέχρι τον ΥΚ αποφεύγεται η εξασθένηση του σήματος κατά τη μετάδοσή του από το ΑΚ μέχρι το σημείο έγχυσης. Ο συνδυασμός τοπολογίας FTTC και τεχνολογίας VDSL2 αναμένεται να είναι το αμέσως επόμενο στάδιο στην πορεία προς το πλήρως οπτικό δίκτυο. Ωστόσο, πριν το στάδιο αυτό εφαρμοσθεί σε καθολική κλίμακα, θα υπάρχουν συνδρομητές οι οποίοι θα συνεχίσουν να εξυπηρετούνται μέσω της υφιστάμενης (FTTEx) τοπολογίας δημιουργώντας έτσι ένα υβριδικό δίκτυο. Η κατάσταση αυτή εισάγει τεχνικο-οικονομικές και στρατηγικές προκλήσεις από πλευράς τόσο των παρόχων όσο και της Ρυθμιστικής Αρχής. Οι προκλήσεις αυτές προκύπτουν από τη διαφορά στο σημείο έγχυσης δύο σημάτων των οποίων τα ζεύγη αγωγών συνυπάρχουν στο ίδιο καλώδιο. Σήμα το οποίο εγχέεται στο ΑΚ μεταδίδεται επί αρκετή απόσταση μέσω του χάλκινου καλωδίου, εξασθενεί, και, στη συνέχεια, δέχεται την ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή ενός ισχυρού σήματος το οποίο εγχέεται στον ΥΚ. Συνεπώς, εγείρονται δύο θεμελιώδη ερωτήματα: (i) πώς αλληλεπιδρούν τα δύο σήματα και (ii) πώς προστατεύεται το σήμα που προέρχεται από το ΑΚ. Βασικές παράμετροι για την κατανόηση της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο σημάτων είναι τα μήκη του κύριου και του απερχόμενου δικτύου, δηλαδή τα μήκη κατά τα οποία μεταδίδονται τα δύο σήματα και το μήκος κατά το οποίο τα δύο σήματα συνυπάρχουν. Ενδεικτικά, βάσει στοιχείων του ΟΤΕ, για πυκνά αστικά δίκτυα στον ελληνικό χώρο, τα μήκη κυρίου και απερχόμενου δικτύου ακολουθούν τις κατανομές που απεικονίζονται στα Σχ.1.3.8 και 1.3.9.



Σχήμα 1.3.8 Κατανομή συνδρομητών συναρτήσει του καλωδιακού μήκους του κύριου δικτύου σε πυκνά αστικά δίκτυα



Σχήμα 1.3.9 Κατανομή συνδρομητών συναρτήσει του καλωδιακού μήκους του απερχόμενου δικτύου σε πυκνά αστικά δίκτυα

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια διεξοδική μελέτη όλων των πιθανών περιπτώσεων συνύπαρξης ίδιων και διαφορετικών τεχνολογιών. Στα επόμενα απαντώνται - ανάμεσα σε άλλα - και τα δύο προαναφερθέντα θεμελιώδη ερωτήματα.

Το τρίτο στάδιο υλοποίησης του δικτύου Νέας Γενιάς είναι το FTTB (Fiber To The Building), μέσω του οποίου η οπτική ίνα φθάνει ακόμα πλησιέστερα στο συνδρομητή, τερματίζοντας στην εγκατάσταση του κτιρίου του. Από εκεί, ένα μικρό DSLAM (mini-DSLAM) εγγείει σήμα VDSL2²⁷ στο δίκτυο εσωτερικής καλωδίωσης του κτιρίου.

Τελικό στάδιο του NGA αποτελεί η τοπολογία FTTH (Fiber To The Home) σύμφωνα με την οποία η εσωτερική καλωδίωση αντικαθίσταται ή προβλέπεται να αποτελείται από οπτικές ίνες, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα για υπηρεσίες πρακτικά απεριόριστου εύρους ζώνης. Αρκετές φορές, προτιμάται ο συνδυασμός δικτύων FTTB και FTTC, ο οποίος προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στον πάροχο ώστε να προσαρμόζεται σε ιδιαίτερες συνθήκες κόστους (π.χ. δαπάνη αντικατάστασης εσωτερικής καλωδίωσης) και άλλες ιδιαιτερότητες (π.χ. αδυναμία όδευσης ινών, συνεννόηση ενοίκων, κ.λπ.).

²⁷ Οι διάφορες κατατομές του VDSL2 έχουν σχεδιαστεί για συγκεκριμένες εφαρμογές του FTTx

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Στην προσπάθεια κατάστροφησης ενός εθνικού πλαισίου διαχείρισης φάσματος και έγχυσης ισχύος για το ελληνικό δίκτυο πρόσβασης μελετήθηκε η διεθνής πρακτική, προκειμένου να εντοπισθούν κοινές πρακτικές και μεθοδολογίες μεταξύ των διαφόρων κρατών και τεχνικά δεδομένα που θα διευκόλυναν την όσο το δυνατόν κατάλληλη εκλογή των πειραματικών μετρήσεων. Επίσης, η μελέτη αντίστοιχων σχεδίων επιτρέπει την αναγνώριση των τεχνικών δυνατοτήτων του εξοπλισμού ούτως ώστε να γίνει πλήρως κατανοητή η λειτουργία του και να υπάρχουν στοιχειοθετημένες προσεγγίσεις των αναμενόμενων αποτελεσμάτων.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται συγκεντρωμένες οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν από Ευρωπαϊκές χώρες. Σημειώνεται ότι αναζητήθηκαν πρακτικές μόνο ευρωπαϊκών κρατών δεδομένου ότι σε άλλες περιοχές του κόσμου (Αμερική, Ασία) ισχύουν διαφορετικά τεχνολογικά πρότυπα που διέπουν την έγχυση ισχύος για τις xDSL τεχνολογίες.

2.1 Ηνωμένο Βασίλειο

Το εθνικό σχέδιο διαχείρισης φάσματος υλοποιήθηκε σε βάθος 5 ετών (1999) υπό την αιγίδα της Ofcom με γνώμονα τις εξής τρεις αρχές:

- υψηλή διείσδυση
- τεχνολογική ουδετερότητα
- ελαχιστοποίηση της διαχειριστικής διαδικασίας

Η εκπόνηση του κανονισμού βασίστηκε στην αξιολόγηση των διαθέσιμων καλωδίων και των σχετικών τοπολογιών. Αρχικά υλοποιήθηκαν υπολογιστικά μοντέλα και εν συνεχεία τα αποτελέσματα αυτών επιβεβαιώθηκαν πειραματικά. Σημειώνεται ότι το διευρυμένο χρονικό εύρος εκπόνησης του έργου επέτρεψε την πραγματοποίηση εργαστηριακών μετρήσεων αλλά και μετρήσεων πεδίου.

Τις κυριότερες προκλήσεις αποτέλεσαν:

- Η εισαγωγή ή όχι μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας SDSL (2.3 Mbps συμμετρική υπηρεσία) η οποία τελικά δεν επιτράπηκε.
- Ο βαθμός φασματικού περιορισμού της τεχνολογίας VDSL από το KV σε σχέση με την προστασία των τεχνολογιών του AK. Αποφασίστηκε να δοθεί προτεραιότητα στην προστασία των ήδη παρεχόμενων υπηρεσιών από το AK εις βάρος της νέας και καλύτερης υπηρεσίας του VDSL η οποία παρέχεται μόνο από το KV. Η εν λόγω απόφαση επανεξετάζεται.

Το σχέδιο διαχείρισης φάσματος αποτελεί μέρος του πλαισίου για αδεσμοποίητης πρόσβασης οπότε και αποτελεί ευθύνη του παρόχου δικτύου πρόσβασης να το εφαρμόσει και να το επιβλέπει.

2.2 Γαλλία

(υπό εξέταση)

Στη Γαλλία εξαιτίας της απουσίας τεχνολογιών VDSL2 δεν έχει υιοθετηθεί κάποιος σχετικός κανονισμός προς το παρόν. Μελλοντική εισαγωγή των τεχνολογιών αυτών θα απαιτήσει αντίστοιχο πλαίσιο διαχείρισης φάσματος. Η αρμοδιότητα αυτή εμπίπτει στην «επιτροπή εμπειρογνομόνων χαλκού» που είναι υπεύθυνη για την έγκριση και εισαγωγή τεχνολογιών DSL στη Γαλλία. Η επιτροπή αποτελείται από την FranceTelecom που είναι ο ιδιοκτήτης του δικτύου πρόσβασης, τους παρόχους που χρησιμοποιούν το δίκτυο και κατασκευαστές εξοπλισμού και γνωμοδοτεί υπό την σκέπη της Ρυθμιστικής Αρχής (ARCEP) αλλά παραμένει ανεξάρτητη από αυτήν.

Σε κάθε περίπτωση τα βήματα που ακολουθούνται για την εισαγωγή μιας νέας τεχνολογίας έχουν προδιαγραφεί και είναι τα ακόλουθα:

- Θεωρητική μελέτη με συμμετοχή όλων των παροχών που συμμετέχουν
- Δοκιμές με μετρήσεις στο εργαστήριο από τους παρόχους (συνήθως ο πάροχος που ξεκίνησε τη διαδικασία με αίτημά του, είναι υπεύθυνος να οργανώσει και να επωμισθεί και το κόστος) και ανάλυση των αποτελεσμάτων
- Δοκιμές με μετρήσεις σε πραγματικό δίκτυο εάν ζητηθεί από κάποιους παρόχους και ανάλυση των αποτελεσμάτων
- Η επιτροπή εισηγείται την έγκριση ή όχι της τεχνολογίας υπό μελέτη προς την ARCEP αιτιολογώντας την άποψη της οπότε η τεχνολογία υιοθετείται και συμπεριλαμβάνεται στην προσφορά της France Telecom ή όχι

2.3 Ισπανία

Στην Ισπανία το σχέδιο διαχείρισης φάσματος αποτελεί ενότητα του πλαισίου αδεσμοποίητης πρόσβασης (RUO). Καθορίζει τους κανόνες υπό τους οποίους να αναπτύσσονται και διατίθενται οι υπηρεσίες στο δίκτυο πρόσβασης, βάσει των υφιστάμενων τεχνολογιών με σκοπό την ελαχιστοποίηση παρεμβολών λόγω διαφωνίας. Οι κανόνες αυτοί καθορίζουν τους συνδυασμούς των σημάτων που μπορούν να εγχέονται σε κάθε σημείο του δικτύου, τις μάσκες φασματικής πυκνότητας ισχύος, την μέγιστη ισχύ και τους μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης. Στόχος του πλάνου είναι να μπορεί κάθε πάροχος να προσφέρει υπηρεσίες με και αξιόπιστο τρόπο εκμεταλλευόμενος τις διαθέσιμες τεχνολογίες και υποδομές.

Η εκπόνηση του πλάνου διαχείρισης περιελάμβανε ελέγχους και μετρήσεις από τους παρόχους βασισμένες σε σενάρια που περιέχουν πολλαπλά ζεύγη καλωδίων και ακολούθησε η πρόταση του κυρίαρχου παρόχου κατά τη διαδικασία έγκρισης του RUO το 2002. Το πλάνο από τότε έχει επικαιροποιηθεί το 2005 και το 2009 μετά από κάποια συγκεκριμένα αιτήματα της αγοράς και την εισαγωγή νέων τεχνολογιών στο δίκτυο πρόσβασης (ADSL2+, VDSL2).

Ειδικά για την εισαγωγή της τεχνολογίας VDSL2 έγιναν αρχικά κάποιες εργαστηριακές δοκιμές και ακολούθησαν δοκιμές σε επιλεγμένα κέντρα με κάποιες απομακρυσμένες καμπίνες. Ο σκοπός αυτών ήταν να επιβεβαιωθεί η παραμετροποίηση του DPBO στις καμπίνες και η προστασία των σημάτων του ΑΚ. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν από τον κυρίαρχο πάροχο με πρότερη ειδοποίηση των εναλλακτικών παροχών ώστε να έχουν τη δυνατότητα να προβούν και σε δικές τους μετρήσεις πριν και μετά την εισαγωγή της τεχνολογίας VDSL. Η εισαγωγή VDSL στο δίκτυο πρόσβασης πραγματοποιείται από το ΑΚ και όχι μόνο από το ΚV, ενώ χρησιμοποιείται το πλάνο συχνοτήτων 998.

2.4 Πορτογαλία

Το πλάνο διαχείρισης φάσματος περιέχεται στο ρυθμιστικό πλαίσιο αδεσμοποίησης πρόσβασης (RUO). Το πλάνο δημιουργήθηκε το 2000 μέσα από συναντήσεις με την βιομηχανία που διεξήγαγε η Ρυθμιστική Αρχή (ANACOM) και τροποποιήθηκε βάσει των νεότερων τεχνολογιών και με συμμετοχή των εναλλακτικών παροχών.

Ειδικότερα στην τελευταία της σχετική απόφαση η ANACOM αναφέρει ότι η PTC πρέπει να προβλέπει τη δυνατότητα χρήσης οποιοσδήποτε τεχνολογίας που είναι συμβατή με τα διεθνή πρότυπα εκτός εάν δημιουργείται τεχνικό πρόβλημα που θα εξεταστεί ανά περίπτωση, θα είναι επαρκώς αιτιολογημένο και θα κοινοποιείται στην ANACOM εντός 20 ημερών. Η PTC θα πρέπει να φροντίσει μέσα σε 60 ημέρες να φτάσει σε συμφωνία σχετικά με το εφαρμοστέο πλάνο διαχείρισης συχνοτήτων για τις τεχνολογίες όπου δημιουργείται πρόβλημα. Το πλάνο θα έχει σκοπό την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών με απευθείας συνεργασία μεταξύ των παρόχων. Εάν αυτή δεν είναι εφικτή παρεμβαίνει η ANACOM.

2.5 Κροατία

Το πρώτο πλάνο διαχείρισης φάσματος περιελάμβανε τις τεχνολογίες ISDN BRA, HDSL, SHDSL, ADSL1, ADSL2/2+ και VDSL2 από το ΑΚ. Η πλέον πρόσφατη έκδοση δεν περιλαμβάνει τη ρύθμιση του VDSL2 από ΚV και αυτό αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση για το πλάνο διαχείρισης. Η βασική αρχή για το πλάνο διαχείρισης ήταν η αποφυγή της υποβάθμισης της υπηρεσίας των νέων τεχνολογιών λόγω των φασματικών χαρακτηριστικών των παλαιότερων τεχνολογιών. Κατά τις δοκιμές μετρήθηκε η υποβάθμιση της υπηρεσίας στο συνδρομητή για διαφορετικά σενάρια χρησιμοποίησης του καλωδίου. Οι δοκιμές περιλάμβαναν όλες τις σχετικές τεχνολογίες και έγιναν στο πεδίο. Οι κυριότερες αρχές του πλάνου αφορούν:

- Τον χρόνο διατήρησης παλαιότερων τεχνολογιών όταν δεν είναι συμβατές με την ADSL2+
- Την επιλογή ή μη συμμετρικών υπηρεσιών μέσω ADSL2+ με την υλοποίηση των Annexes M και J
- Την χρήση των Annexes A και B στα δίκτυα πρόσβασης ή η προσαρμογή του φάσματος του Annex A με το φάσμα του Annex B

Το τρέχον πλάνο διαχείρισης πρόκειται σύντομα να τροποποιηθεί ώστε να περιλαμβάνει τη χρήση VDSL2 σε απομακρυσμένες καμπίνες.

2.6 Ελβετία

Η ρυθμιστική αρχή της Ελβετίας ανέθεσε το πλάνο Διαχείρισης Φάσματος στον κυρίαρχο εθνικό πάροχο, τη Swisscom, η οποία εκπόνησε το σχετικό πλάνο διαχείρισης φάσματος. Το πλάνο διαχείρισης τέθηκε σε ισχύ ταυτόχρονα με το ρυθμιστικό πλαίσιο αδεσμοποίησης πρόσβασης.

2.7 Τουρκία

Το σχετικό πλάνο διαχείρισης βρίσκεται σε διαδικασία έγκρισης από την αρμόδια Αρχή.

2.8 Λιθουανία

Στη Λιθουανία οι πάροχοι δραστηριοποιούνται στα δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών οπότε δεν χρειάζεται σχετικό πλάνο διαχείρισης για καλώδια χαλκού.

2.9 Λετονία

Δεν υφίσταται πλάνο διαχείρισης φάσματος.

2.10 Φινλανδία

Βασική αρχή του πλάνου διαχείρισης στη Φινλανδία αποτελεί ότι το VDSL πρέπει να χρησιμοποιεί συχνότητες και μάσκες φασματικής πυκνότητας ισχύος προσαρμοσμένες στις υφιστάμενες συνδέσεις ADSL. Κατ' αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι οι παρεμβολές του VDSL πάνω στο ADSL είναι σε λογικά επίπεδα χωρίς η ταχύτητα του VDSL να

επηρεάζεται σημαντικά. Το πλάνο διαχείρισης δημιουργήθηκε βασισμένο στις γνώσεις ειδικών και σε κάποιες εργαστηριακές μετρήσεις.

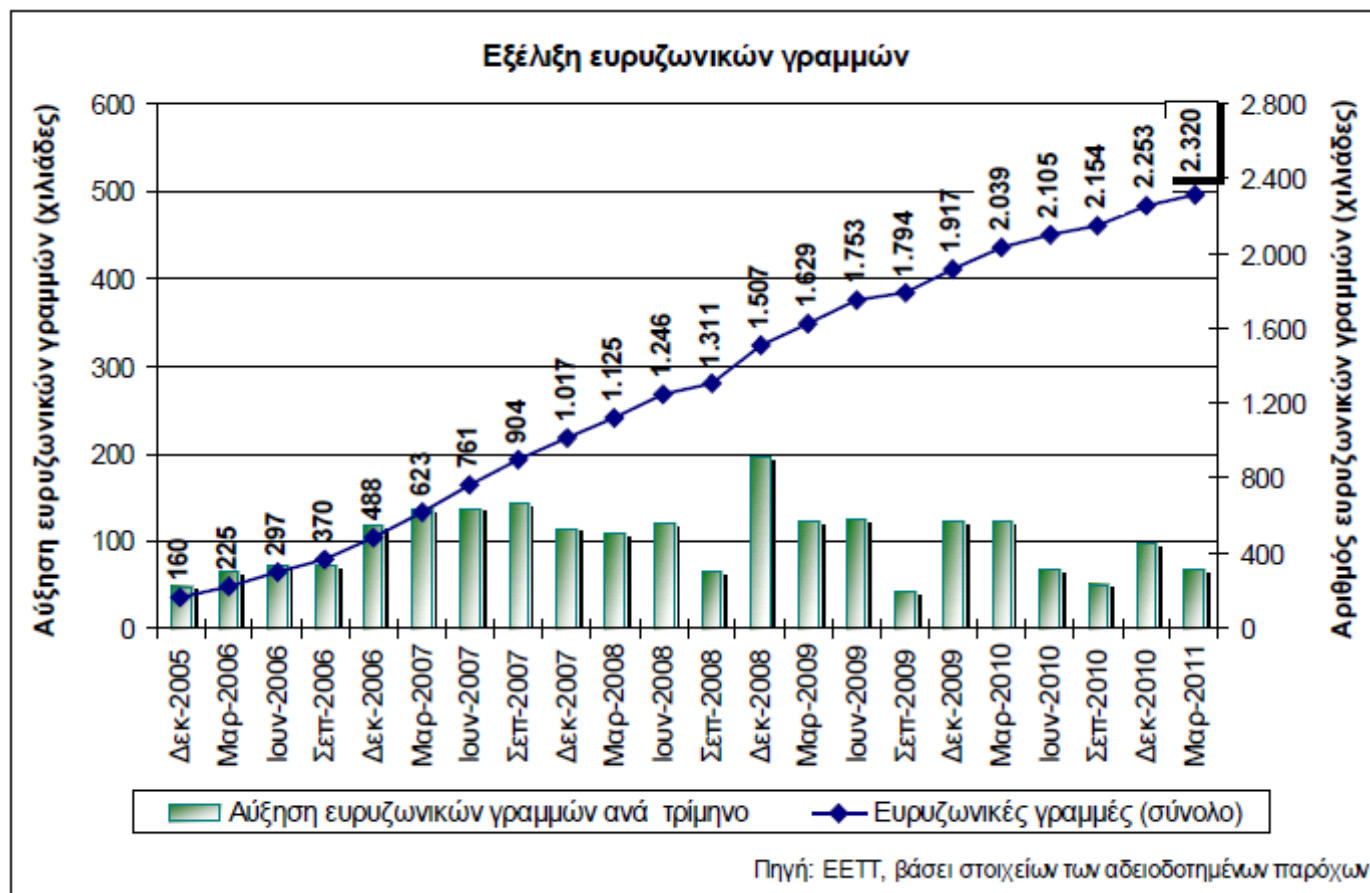
2.11 Ουγγαρία

Η Ουγγαρία δεν έχει υιοθετήσει πλάνο διαχείρισης φάσματος στον υποβρόχο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

3.1 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το διάστημα 2000-2001, ο ΟΤΕ «ως τηλεπικοινωνιακός Οργανισμός με Σημαντική Θέση στην αγορά» υποχρεώθηκε (9) να παρέχει πλήρη αδεσμοποίητη πρόσβαση στον τοπικό βρόχο. Άμεσο επακόλουθο ήταν η φυσική συνεγκατάσταση του εξοπλισμού εναλλακτικών παρόχων στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις των ΑΚ του ΟΤΕ. Η αγορά των ευρυζωνικών υπηρεσιών απελευθερώθηκε και μέσω του ανταγωνισμού σε υπηρεσίες και τιμές η διείσδυση των ευρυζωνικών συνδέσεων αναπτύχθηκε με υψηλούς ρυθμούς τα τελευταία έξι χρόνια, όπως φαίνεται από το Σχ. 3.1.1 (10).



Σχήμα 3.1.1: Εξέλιξη ευρυζωνικών γραμμών στην Ελλάδα

Δυστυχώς, ποτέ μέχρι τώρα, δεν εξετάστηκαν ενδελεχώς οι επιπτώσεις της φυσικής συνεγκατάστασης στην ποιότητα της σύνδεσης. Ως εκ τούτου δεν υπήρξε θεσμοθέτηση κανόνων για την ταυτόχρονη έγχυση πολλαπλών σημάτων από το ΑΚ υπό τη μορφή Κανονισμού Διαχείρισης Φάσματος (Κ.Δ.Φ – ή Σχέδιο Διαχείρισης Φάσματος Σ.Δ.Φ).

Στην Παρ.1.2.3 πραγματοποιήθηκε μαθηματική ανάλυση της ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής που δέχεται μια γραμμή λόγω της μετάδοσης xDSL σημάτων σε γειτονικές της γραμμές και περιγράφηκε η *αθροιστική* της φύση. Χαρακτηριστική της δυσμενούς επίπτωσης της παρεμβολής είναι η μέση τιμή για της Up to 24 Mbps συνδέσεις στην Ελλάδα η οποία κυμαίνεται από 7 – 12.5 Mbps²⁸. Ωστόσο, δεν υπάρχει πειραματική μελέτη που να ποσοτικοποιεί την επίπτωση αυτή για το ελληνικό δίκτυο πρόσβασης. Στο πλαίσιο της Διπλωματικής πραγματοποιήθηκαν εκτενείς μετρήσεις για να προσεγγιστεί στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό η δομή του ελληνικού δικτύου πρόσβασης. Μέσω της μελέτης αυτής εξάγεται πλήθος συμπερασμάτων που βοηθούν στη θεσμοθέτηση κανόνων με στόχο τη διαχείριση του φάσματος και της έγχυσης ισχύος στον τοπικό βρόχο, ώστε να εξασφαλιστεί το καλύτερο δυνατό περιβάλλον διάδοσης.

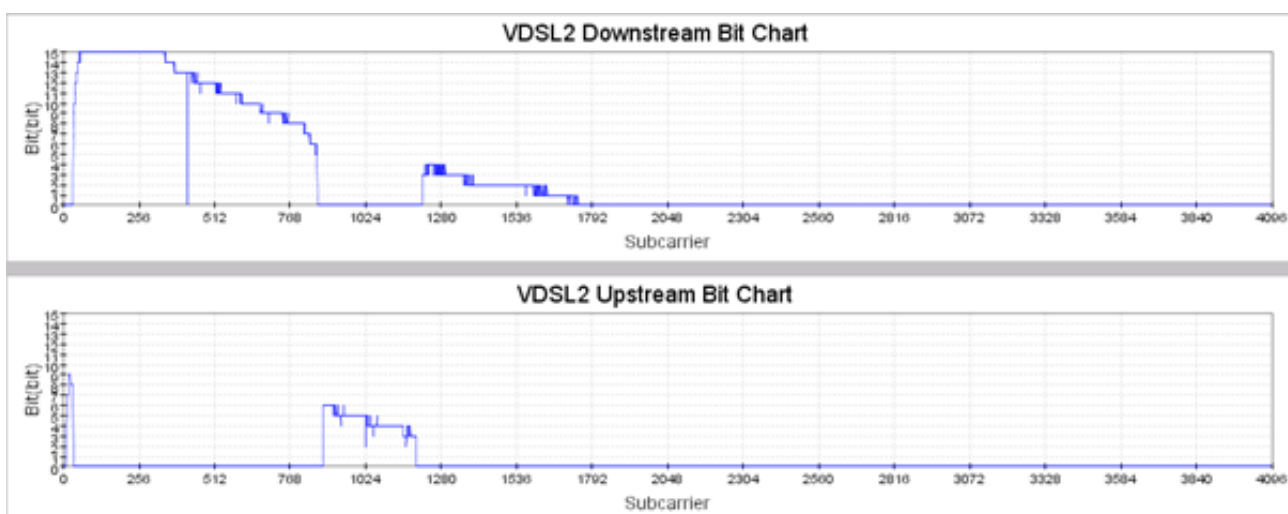
Αφορμή για την εκπόνηση της μελέτης υπήρξε η ανάπτυξη NGA FTTC δικτύου από τον ΟΤΕ. Η εισαγωγή σημείου έγχυσης ευρυζωνικών σημάτων σε μεγάλη απόσταση από το ΑΚ αποτελεί ιδιαίτερη επιστημονική και τεχνική πρόκληση. Η ισχύουσα κατάσταση περιλαμβάνει έγχυση των σημάτων όλων των εμπορικά διαθέσιμων τεχνολογιών από το ΑΚ, οπότε μπορεί προσεγγιστικά να θεωρηθεί ότι όλες οι γραμμές επιβαρύνονται εξίσου. Αντιθέτως, η ύπαρξη απομακρυσμένου σημείου έγχυσης (R-DSLAM) περιπλέκει την κατάσταση, εισάγοντας το «near-far» πρόβλημα. Ο

²⁸ Πηγή: EETT

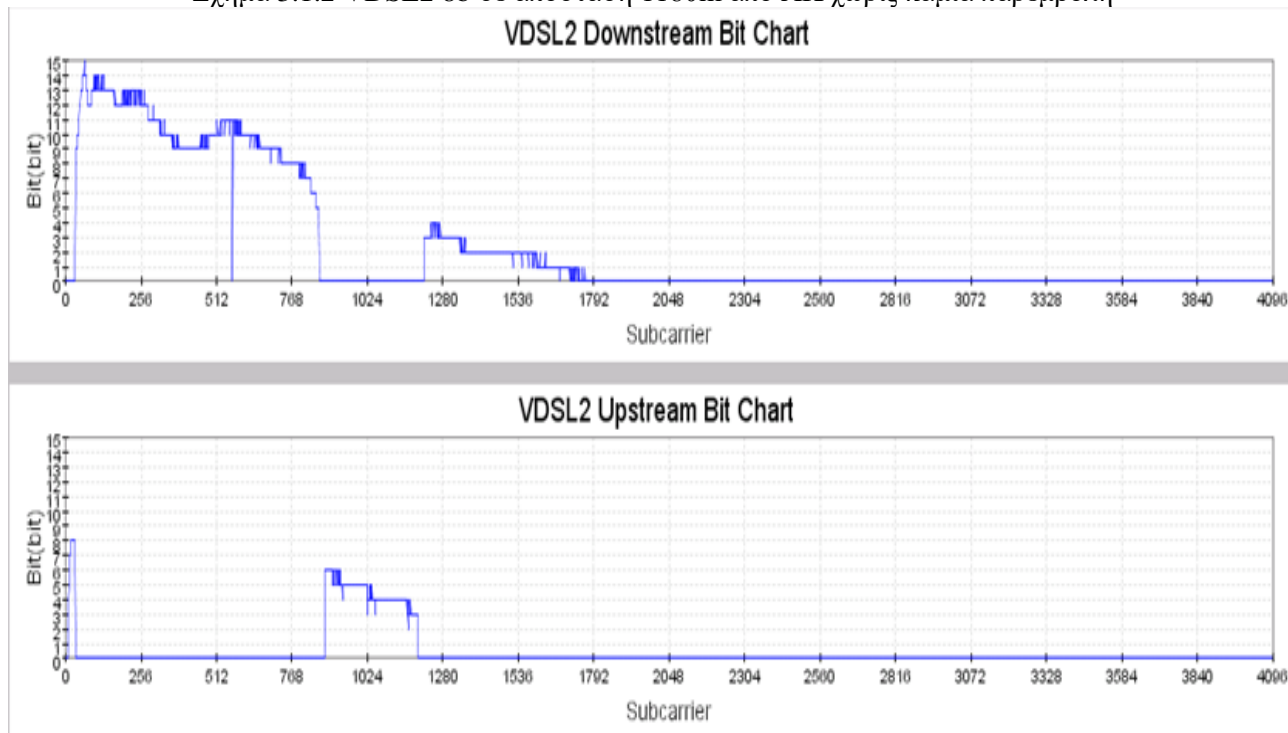
λόγος είναι ότι σήμα που εγχέεται στο ΑΚ δέχεται την παρεμβολή ενός ισχυρού σήματος που έχει υποστεί μηδενική εξασθένηση, έχοντας ήδη εξασθενήσει σημαντικά λόγω μετάδοσής του από το ΑΚ μέχρι το απομακρυσμένο σημείο έγχυσης.

Οι επιπτώσεις της Η/Μ παρεμβολής φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν και αφορούν τοπολογία συνολικού μήκους 1180m (μήκος κυρίου δικτύου 780m και μήκος απερχόμενου 400m). Αρχικά (Σχ.3.1.2), φαίνεται η επίδοση²⁹ του VDSL2 8b εγχόμενου στο το ΑΚ χωρίς καμία παρεμβολή. Στο Σχ.3.1.3 φαίνεται το ίδιο σήμα, δεχόμενο όμως παρεμβολή μόνο από το ΑΚ. Παρατηρείται η έντονη εξασθένηση των υψηλών συχνοτήτων της ζώνης DS1³⁰, λόγω της μεγάλης απόστασης μετάδοσης. Στο Σχ.3.1.4 παρατηρείται η επίδοση του VDSL2 (17a, Annex A-998ADE17-M2x-A) με US0, εγχόμενου από τον ΥΚ δεχόμενο παρεμβολή τόσο από το ΑΚ όσο και από τον ΥΚ. Το σήμα αυτό έχει μεταδοθεί μόνο για 400m, με αποτέλεσμα ακόμα και οι υψηλότερες συχνότητες του φάσματός του να έχουν υποστεί ελάχιστη εξασθένηση.

Τέλος, στο Σχ.3.1.5 φαίνεται το αποτέλεσμα που έχει η εισαγωγή ΥΚ στο ήδη αποδυναμωμένο σήμα του ΑΚ. Πλέον, η ζώνη της downstream ζεύξης DS1 έχει χαθεί εντελώς, ενώ και η αναλογία bits/tonne της ζώνης DS0 έχει μειωθεί σημαντικά. Η επίδραση αυτή σε όρους ρυθμών μετάδοσης ισοδυναμεί σε μείωση κατά 51.4% (ο ρυθμός μετάδοσης της downstream ζεύξης έπεσε από τα 34.127Mbps στα 16.583Mbps).



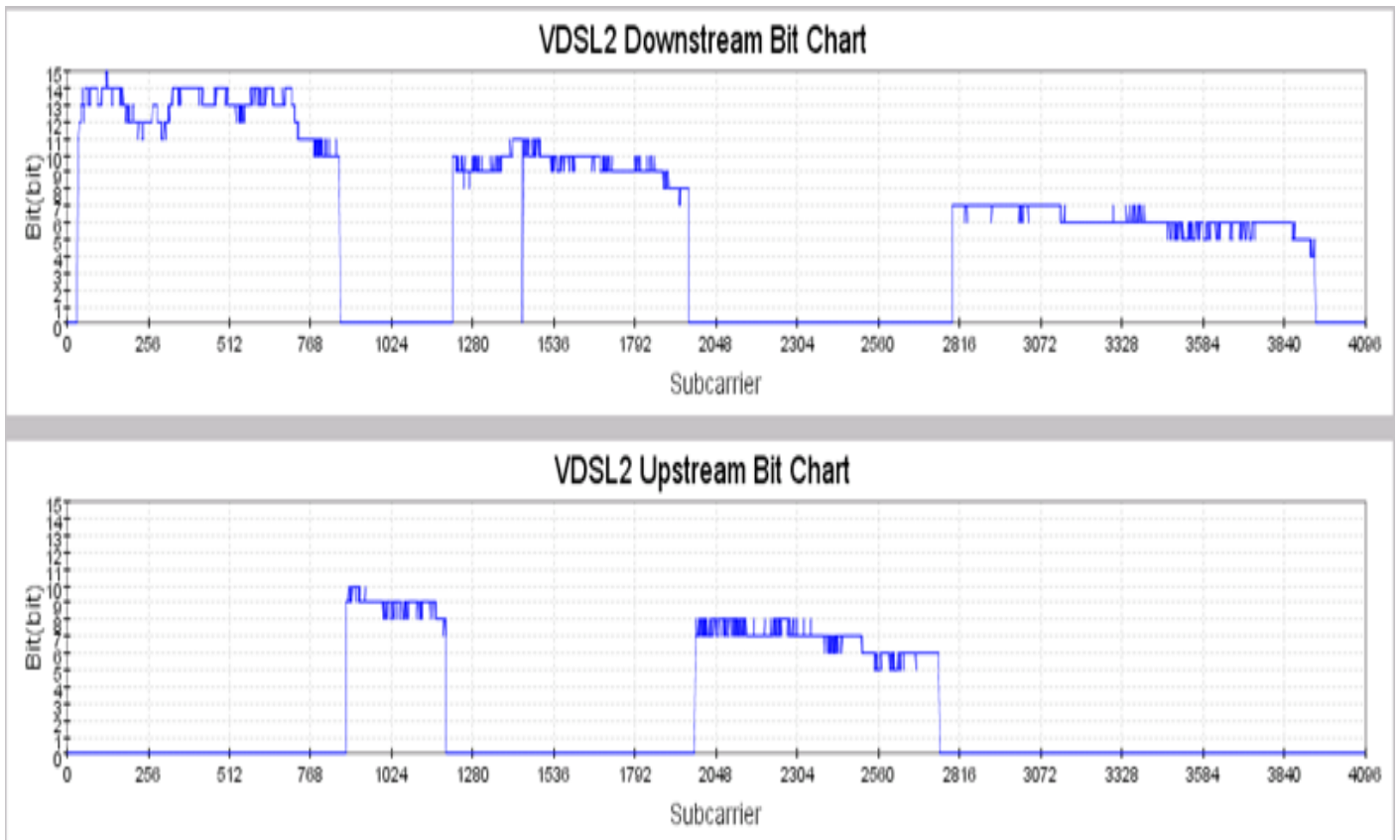
Σχήμα 3.1.2 VDSL2 8b σε απόσταση 1180m από ΑΚ χωρίς καμία παρεμβολή



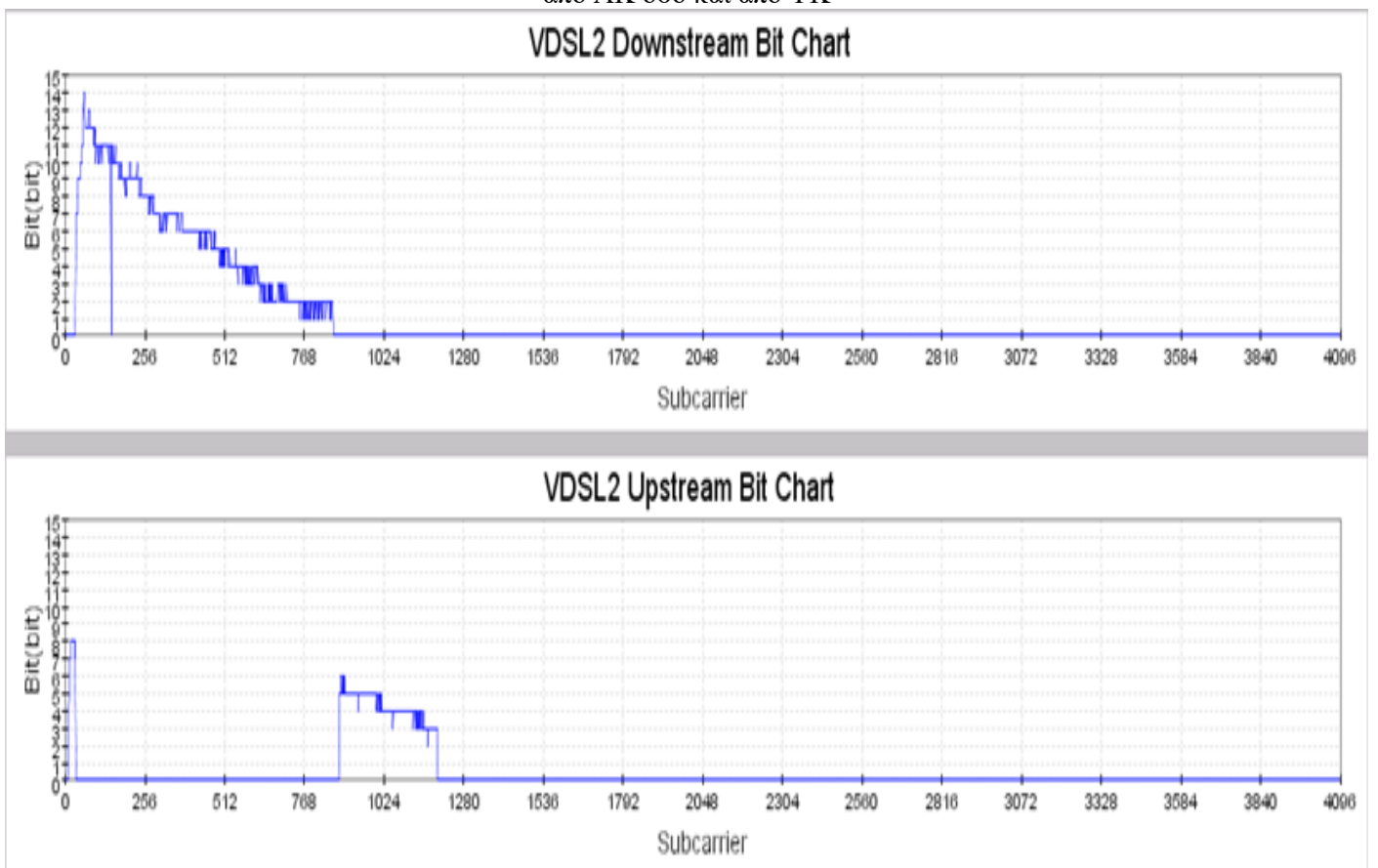
Σχήμα 3.1.3 VDSL2 8b σε απόσταση 1180m από ΑΚ με παρεμβολείς μόνο από ΑΚ

²⁹ Τα γραφήματα αναφέρονται σε bits/tonne

³⁰ Για τον καθορισμό των συχνοτικών ζωνών βλ. Παρ.1.1



Σχήμα 3.1.4 VDSL2 (17a, Annex A-998ADE17-M2x-A) με US0 σε απόσταση 400m από ΥΚ με παρεμβολές τόσο από ΑΚ όσο και από ΥΚ



Σχήμα 3.1.5 VDSL2 8b σε απόσταση 1180m από ΑΚ με παρεμβολές τόσο στο ΑΚ όσο και στον ΥΚ

Βάσει των ανωτέρω κρίνεται πλέον επιτακτική η ανάγκη για θεσμοθετημένη ρύθμιση της έγχυσης ευρυζωνικών σημάτων στο ελληνικό δίκτυο πρόσβασης. Ο στόχος είναι η προστασία του σήματος όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο για

τη διασφάλιση ποιοτικής υπηρεσίας χωρίς, ωστόσο, η προστασία αυτή να λειτουργεί ανασταλτικά για νέες επενδύσεις σε NGA δίκτυα.

Εύλογο ερώτημα ως προς τη χρησιμότητα της παρούσας μελέτης είναι το κατά πόσο η διεθνής εμπειρία μπορεί να παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και ενδεχομένως λύση στο πρόβλημα. Στο Κεφ.2 πραγματοποιήθηκε εκτενής αναφορά στα Σ.Δ.Φ άλλων χωρών που περιλαμβάνουν συγκεκριμένες μεθόδους και προτάσεις. Όμως, πρέπει να καταστεί σαφές ότι κοινά σημεία μεταξύ των δικτύων πρόσβασης διαφορετικών χωρών μπορούν να εντοπιστούν μόνο στο είδος των τεχνολογιών που υιοθετούνται και στον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Σε όλα τα υπόλοιπα σημεία τα δίκτυα πρόσβασης διαφέρουν σημαντικά, καθιστώντας την υιοθέτηση ενός ΣΔΦ που έχει βασισθεί σε διαφορετικό δίκτυο χωρίς νόημα.

Προκειμένου να προσδιορισθούν με ακρίβεια οι συνέπειες της παρεμβολής για το ελληνικό δίκτυο πρόσβασης και να προβλεφθούν κατάλληλα και αποτελεσματικά αντίμετρα, είναι σημαντικό να αποσαφηνισθούν οι κατωτέρω βασικές παράμετροι του περιβάλλοντος διάδοσης.

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων αυτών πραγματοποιείται από την ΕΕΤΤ με τη συμμετοχή των παρόχων ευρυζωνικών υπηρεσιών του ελληνικού δικτύου.

Αρχικά προσδιορίζονται από τους οι τεχνολογίες xDSL που θα εγχέονται στο δίκτυο καθώς και τα σημεία έγχυσής τους (AK ή YK). Κατά τη μελέτη θα πραγματοποιηθούν σενάρια μετρήσεων τα οποία οφείλουν να προσεγγίζουν κατά το δυνατό τις πραγματικές συνθήκες πεδίου. Επομένως, η πληροφορία ως προς τα σημεία έγχυσης των διαφόρων τεχνολογιών είναι καταλυτική για τη δημιουργία σεναρίων που θα περιγράφουν όλους τους πιθανούς συνδυασμούς που ενδέχεται να προκύψουν στο πραγματικό δίκτυο.

Δεύτερον, καθορίζεται το ποσοστό φόρτισης και το μήκος των καλωδίων στα οποία θα εφαρμόζεται απομακρυσμένη έγχυση σημάτων. Αναμένεται οι εργαστηριακές μετρήσεις να υποδείξουν από πόση απόσταση απερχόμενου δικτύου και μετά η συνδυασμένη έγχυση υποβαθμίζει σε μη αποδεκτό επίπεδο το προς προστασία σήμα. Προκειμένου, όμως, να εξαχθεί αυτή η πληροφορία, πρέπει η πειραματική διάταξη να προσομοιώνει κατά τον πλέον ακριβή τρόπο το ποσοστό φόρτισης των καλωδίων, καθώς και τις φυσικές ιδιότητες του καλωδίου ως μέσου μετάδοσης. Το καλώδιο της πειραματικής διάταξης πρέπει να προσεγγίζει τα χαρακτηριστικά των καλωδίων του πεδίου ως προς τη διάμετρο και το είδος μόνωσης των αγωγών και να μετρηθεί η επίδραση της παρεμβολής για μήκη βρόχου που συναντώνται στο ελληνικό δίκτυο πρόσβασης. Όσον αφορά το ποσοστό φόρτισης, δεν πρέπει αυτό να είναι το τρέχον αλλά ένα αντιπροσωπευτικό ποσοστό που θα ισχύσει στο μέλλον. Ο λόγος είναι ότι τα όποια αντίμετρα προκύψουν πρέπει να εξασφαλίζουν την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου σε βάθος χρόνου.

Τρίτον, εξετάζονται και αξιολογούνται όλες οι εναλλακτικές μέθοδοι που υλοποιούν τη φασματική διαχείριση της εγχεόμενης ισχύος. Υπάρχουν τρεις εναλλακτικές μέθοδοι που υλοποιούν τη διαχείριση φάσματος της εγχεόμενης ισχύος στο δίκτυο. Αυτές είναι η δυναμική διαχείριση φάσματος³¹, η επιλεκτική αποκοπή συγκεκριμένων ζωνών συχνοτήτων³² και η διαμόρφωση του φάσματος³³. Έκαστη εξ αυτών δίνει διαφορετικούς βαθμούς ελευθερίας και πρέπει να επιλεγεί η περισσότερο αποδοτική.

Τέταρτον, ορίζεται το κατώφλι αξιόπιστης υπηρεσίας. Το κατώφλι εκφραζόμενο σε ρυθμό μετάδοσης (Mbps) αποτελεί την πλέον αντιπροσωπευτική ένδειξη της ποιότητας της σύνδεσης. Εξασφαλίζοντας ένα κάτω όριο για το ρυθμό μετάδοσης καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός των γραμμών που χρήζουν προστασίας. Ο ρυθμός που θα οριστεί είτε ως καθαρός αριθμός είτε ως ποσοστό επί του ονομαστικού ρυθμού μετάδοσης πρέπει να ανταποκρίνεται στα δεδομένα της ελληνικής αγοράς αλλά, ταυτόχρονα, πρέπει να προάγει την αναβάθμιση των παρεχόμενων υπηρεσιών. Συνεπώς, η θέσπιση ενός χαμηλού ορίου δεν προωθεί την ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας στην Ελλάδα και καθιστά ανέφικτη την επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Ψηφιακής Ατζέντας για το 2012 και το 2020.

Τα ερωτήματα τα οποία πρέπει να απαντηθούν είναι και αυτά αρκετά σαφή:

- Για ποιές τεχνολογίες είναι εφαρμόσιμη η συνδυασμένη έγχυση;
- Σε τι καλωδιακά μήκη απερχόμενου δικτύου είναι ρεαλιστικά αποδοτική η συνδυασμένη έγχυση σημάτων;
- Με ποια κριτήρια και πώς θα παραμετροποιείται η φασματική διαχείριση της εγχεόμενης ισχύος;

Το ενδιαφέρον της παρούσας εργασίας δεν έγκειται μόνο στις απαντήσεις που δόθηκαν στα ανωτέρω θεμελιώδη για τη συνδυασμένη έγχυση σημάτων ερωτήματα, αλλά και στο μεγάλο όγκο πληροφοριών που προέκυψαν κατά τη διαδικασία αναζήτησης των απαντήσεων αυτών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διερεύνηση της γενικότερης λειτουργίας του ενεργού εξοπλισμού και ειδικότερα των δυνατοτήτων φασματικής διαχείρισης ισχύος που προσφέρει.

3.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ xDSL ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΕΓΧΥΣΗΣ ΑΥΤΩΝ

Όπως φαίνεται στον Πίν.3.2.1²⁸ η συντριπτική πλειονότητα των συνδρομητών λαμβάνει υπηρεσίες ADSL/ADSL2/ADSL2+ Annex A. Αποτελεί κοινή πρακτική των παρόχων η πλειονότητα των ανωτέρω συνδέσεων να παρέχεται με παραμετροποίηση όμοια με αυτή της τεχνολογίας ADSL2+ και να ενσωματώνεται η δυνατότητα

³¹ DSM

³² PSD masking

³³ PSD shaping

συγχρονισμού στην περισσότερο αποδοτική κατατομή³⁴ (ADSL2, Annex L, κλπ.). Η βασική διαφορά είναι ο επιτρεπτός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, ο οποίος καθορίζει το προς εμπορική διάθεση πακέτο (2 Mbps, Up to 24 Mbps κλπ.). Άρα είναι σαφές ότι η τεχνολογία που αντιπροσωπεύει με καλύτερη προσέγγιση την τρέχουσα κατάσταση είναι γραμμή με εγχέομενο ADSL2+ σήμα με δυνατότητα υποστήριξης όλων των ADSL/ADSL2 /ADSL2+ κατατομών και Annexes. Επίσης, η διάθεση νέων γραμμών ISDN σταδιακά θα διακοπεί, οπότε το ποσοστό των συνδρομητών ADSL2/ADSL2+ Annex B θα παραμείνει το ίδιο ή, πιθανότατα, θα μειωθεί. Τέλος, οι γραμμές HDSL και SHDSL τείνουν να εκλείψουν. Εντούτοις, οι συνδέσεις αυτές, όπως και οι ADSL2/ADSL2+ Annex B, αποτελούν πηγή ισχυρής παρεμβολής και πρέπει οπωσδήποτε να συμπεριληφθούν στο *περιβάλλον παρεμβολής των προσομοιώσεων*.

Πίνακας 3.2.1: Ποσοστά συνδρομητών των διαφόρων τεχνολογιών ευρυζωνικής πρόσβασης στην Ελλάδα.

Τεχνολογία	Ποσοστό Συνδρομητών
ADSL/ADSL2/ADSL2+	87.5%
ADSL2/ADSL2+ Annex B	11.3%
ADSL2+ Annex L	0.04%
ADSL2+ Annex M	0.2%
SHDSL	0.4%
HDSL	0.6%

Το NGA FTTC δίκτυο του ΟΤΕ αξιοποιεί τις κατατομές 8b, 12a και 17a³⁵ του VDSL2³⁶. Η αλληλεπίδραση αυτών με τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες θα αναδειχθεί από μια σειρά σεναρίων προσομοίωσης βασισμένων στους συνδυασμούς του Πίν.3.2.2.

Πίνακας 3.2.2: Συνδυασμοί τεχνολογιών και σημείων έγχυσης αυτών

Σημείο Έγχυσης	AK	YK
Τεχνολογία	ADSL2+	VDSL2 (17a, Annex A-998ADE17-M2x-A)
	ADSL2+	VDSL2 (17a, Annex A-998ADE17-M2x-B)
	ADSL2+	ADSL2+
	VDSL2 (8b)	ADSL2+
	VDSL2 (12a)	ADSL2+
	VDSL2 (8b)	VDSL2 (17a, Annex A-998ADE17-M2x-A)
	VDSL2 (12a)	VDSL2 (17a, Annex A-998ADE17-M2x-A)
	VDSL2 (8b)	VDSL2 (17a, Annex A-998ADE17-M2x-B)
	VDSL2 (12a)	VDSL2 (17a, Annex A-998ADE17-M2x-B)

Ενδεικτικά, οι ονομαστικές τιμές³⁷ ισχύος εκπομπής των ανωτέρω τεχνολογιών και παρατίθενται στον Πίν.3.2.3³⁸. Τα αντίστοιχα φασματικά εύρη βρίσκονται στο Σχ.3.2.1³⁸.

Πίνακας 3.2.3: Ισχύς εκπομπής τεχνολογιών VDSL2 και ADSL2+

Τεχνολογία	Κατατομή	Συνολικά Εκπεμπόμενη Ισχύς (dBm)
VDSL2	8b	20.5
	12a	14.5
	17a (17a, Annex A-998ADE17-M2x-A)	14.5
	17a (17a, Annex A-998ADE17-M2x-B)	14.5
ADSL2+	ADSL2+	20.5

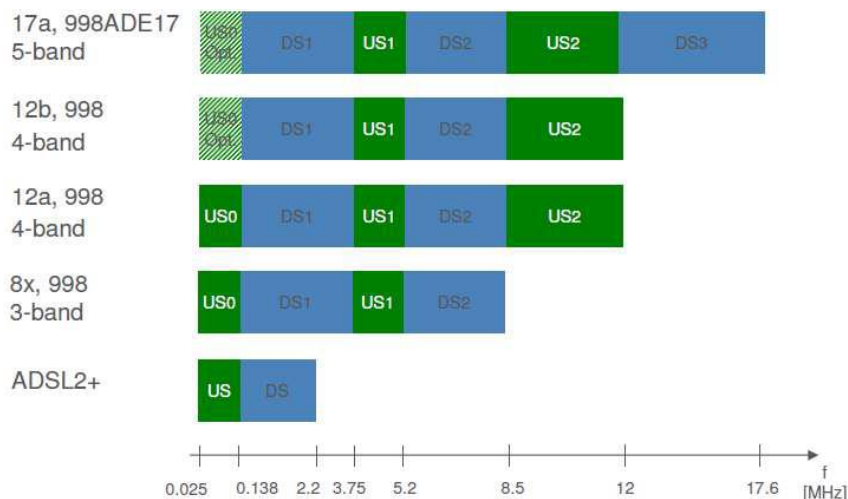
³⁴ Προφίλ

³⁵ Για τη συγκεκριμένη κατατομή θα εξεταστούν οι εκδοχές Annex A-998ADE17-M2x-A και Annex A-998ADE17-M2x-B

³⁶ Τα βασικά χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίν.1.1.1

³⁷ Καθορισμένα μέσω προτύπων άνω όρια

³⁸ Πηγή: ΟΤΕ



Σχήμα 3.2.1 Φασματικά εύρη τεχνολογιών VDSL2 και ADSL2+

Οι παράμετροι όλων των μεγθών των κατατομών των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στα σενάρια μετρήσεων, όπως αυτές εισάγονται στο περιβάλλον διαχείρισης του DSLAM που χρησιμοποιήθηκε, βρίσκονται στο σχετικό παράρτημα.

Τέλος, οι πειραματικές μετρήσεις προσφέρουν μια πρώτη τάξης ευκαιρία να διαπιστωθεί στην πράξη ο τρόπος με τον οποίο συμπεριφέρεται ο εξοπλισμός παροχής ευρυζωνικών υπηρεσιών (DSLAMs) και οι δυνατότητές του. Όπως έχει διαπιστωθεί σε πολλές άλλες περιπτώσεις τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών, οι κατασκευαστές εξοπλισμού υλοποιούν με διαφορετικούς τρόπους τις οδηγίες των προτύπων. Η παράμετρος αυτή δεν λαμβάνεται υπόψη σε θεωρητικές αναλύσεις, αποτελεί όμως ακρογωνιαίο λίθο για τη διατύπωση στοχευμένων και υλοποιήσιμων μεθόδων της διαχείρισης φάσματος και έγχυσης ισχύος στον τοπικό βρόχο.

3.3 ΕΙΔΟΣ, ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΣΤΟ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Το ποσοστό φόρτισης του καλωδίου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα του περιβάλλοντος διάδοσης διότι προσδιορίζει το μέγεθος της παρεμβολής. Το πλήθος και το είδος των εγγεόμενων σημάτων (πηγές παρεμβολής) σε γειτονικά ζεύγη του ίδιου καλωδίου πρέπει να καθορισθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει πληροφορίες που μπορούν να οδηγήσουν σε εφαρμόσιμα αντίμετρα για την παρεμβολή με μεγάλη διάρκεια ζωής. Δηλαδή τα συμπεράσματα που θα προκύψουν πρέπει να καλύπτουν και την προβλεπόμενη περαιτέρω διεύρυνση των ευρυζωνικών γραμμών στο ελληνικό δίκτυο. Κομβικό σημείο της κατανόησης του μηχανισμού της παρεμβολής σε ρεαλιστικές συνθήκες, όπως αυτές που θα προσομοιωθούν στο εργαστηριακό περιβάλλον, είναι η αναγνώριση της αθροιστικής φύσης της παρεμβολής. Αυξάνοντας σταδιακά τον αριθμό των πηγών παρεμβολής αναδεικνύονται τα όρια αξιοπιστίας λειτουργίας του δικτύου. Βάσει στοιχείων του ΟΤΕ η φόρτιση του καλωδίου υπερβαίνει το 50% σε αρκετές αστικές περιοχές.

Η εισαγωγή δεύτερου σημείου έγχυσης ισχύος (ΥΚ) στο δίκτυο θέτει μία επιπλέον παράμετρο για το ποσοστό φόρτισης. Πέραν του πλήθους και της τεχνολογίας των παρεμβολέων υπεισέρχεται και ο τρόπος της *κατανομής* τους. Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ποσοτικοποιείται (υπό μορφή ρυθμών μετάδοσης) η επίδραση των διαφορετικών κατανομών πηγών παρεμβολής στη γραμμή-θύμα, διατηρώντας ταυτόχρονα σταθερή τη συνολική φόρτιση του καλωδίου.

Το *είδος του καλωδίου* χαρακτηρίζεται από τα εξής χαρακτηριστικά: τύπος μόνωσης, διατομή, πλήθος ζευγών. Όπως περιγράφηκε στην Παρ.1.3.1, το 70% των μεταλλικών καλωδίων του δικτύου πρόσβασης του ΟΤΕ φέρουν μόνωση χάρτου με την πλειονότητά τους να εντοπίζεται στο κύριο δίκτυο. Στο δίκτυο διανομής χρησιμοποιούνται και καλώδια μόνωσης πολυαιθυλενίου PE. Όσον αφορά τις διατομές των καλωδίων, σε αστικά περιβάλλοντα χρησιμοποιούνται διατομές 0.4 και 0.6mm, ενώ για την παροχή υπηρεσιών σε οικισμούς απομακρυσμένους από το ΑΚ χρησιμοποιούνται διατομές 0.8 και 0.9mm. Τέλος, το δίκτυο πρόσβασης αποτελείται από καλώδια 10 έως 2400 ζευγών, με βασικό δομικό στοιχείο τα 10 ζεύγη. Συγκεκριμένα, το δίκτυο διανομής αποτελείται από καλώδια 10 έως 100 ζευγών.

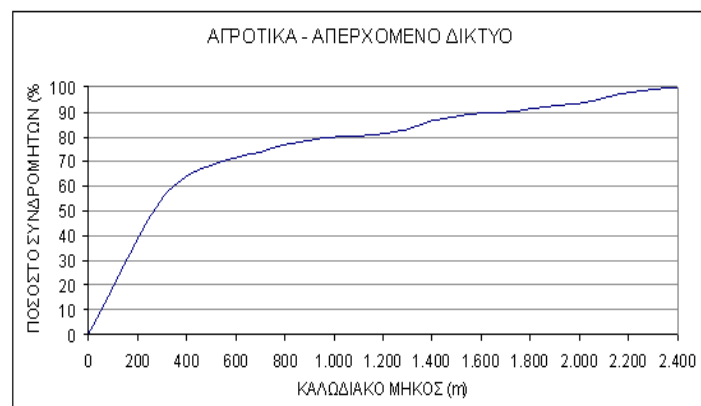
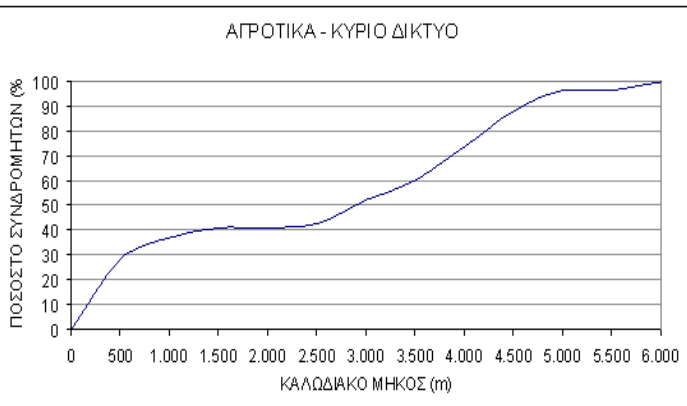
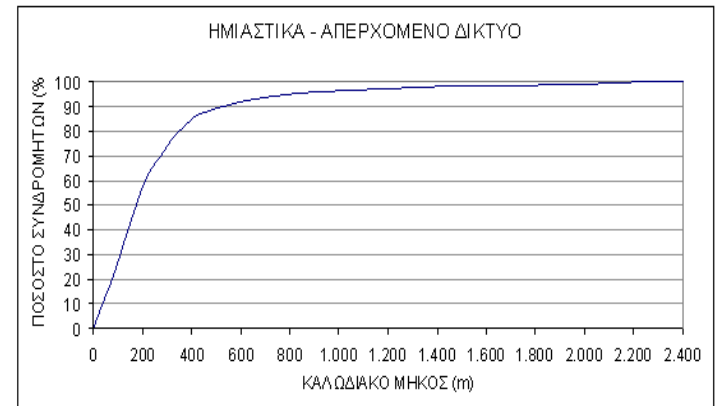
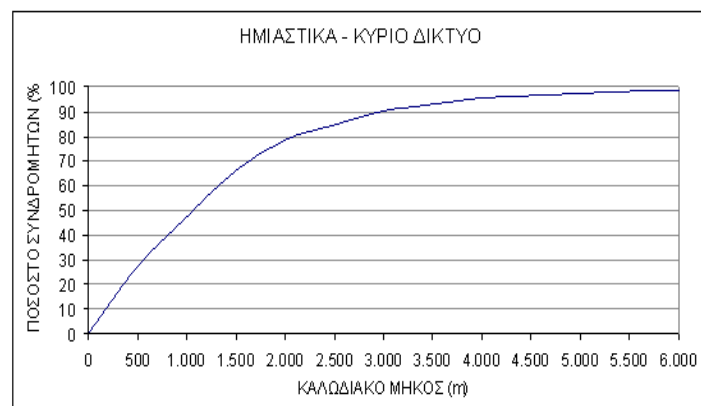
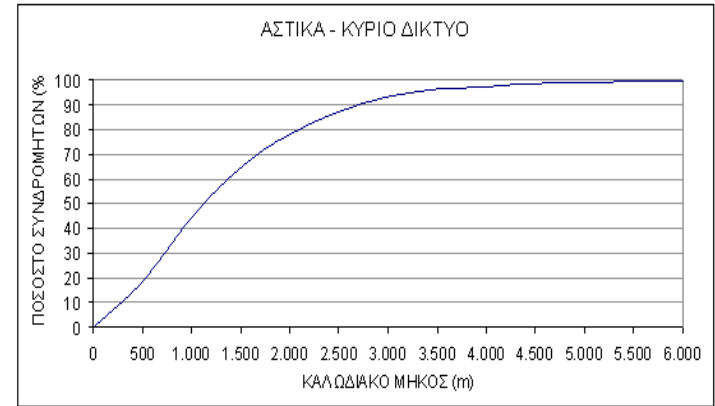
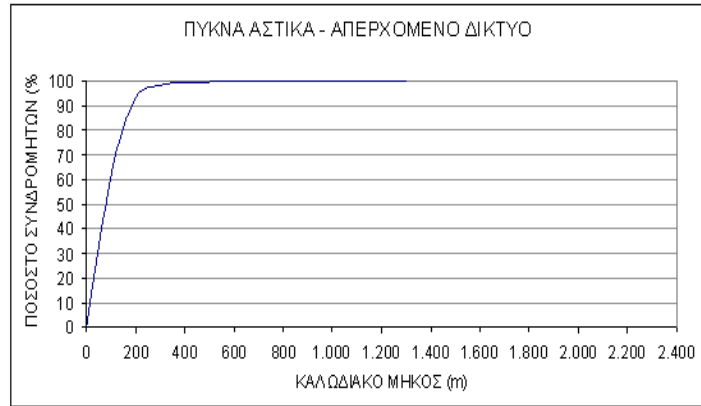
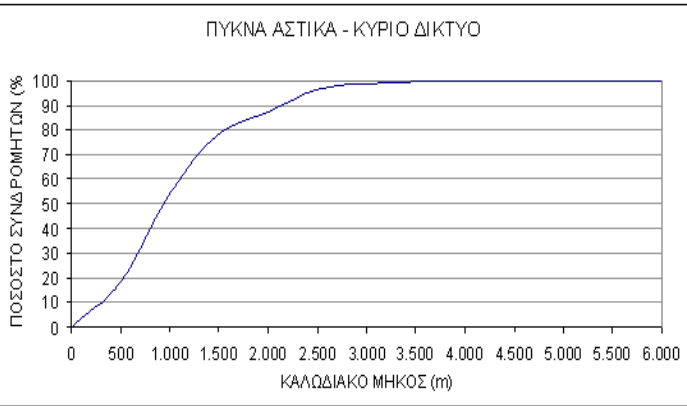
Η κατανομή μηκών στο ελληνικό δίκτυο πρόσβασης για τις διάφορες κατηγορίες πληθυσμιακής πυκνότητας και τις διαθέσιμες διατομές καλωδίων^{39 40 41} δίνεται στα κατωτέρω σχήματα.

³⁹ Στην κατανομή μηκών των αστικών δικτύων αναφέρεται σε διατομή 0.4mm.

⁴⁰ Στην κατανομή μηκών των ημιαστικών δικτύων λαμβάνονται υπόψη διατομές 0.4 και 0.6mm.

⁴¹ Στην κατανομή μηκών των αγροτικών δικτύων λαμβάνονται υπόψη διατομές 0.6 και 0.8mm.

Σχήμα 3.3.1: Κατανομή μηκών κύριου και απερχόμενου δικτύου ανά πληθυσμιακή πυκνότητα



Τα ανωτέρω στοιχεία καθορίζουν τις επιλογές καλωδίων και τοπολογίας. Η επιλογή των μηκών των σεναρίων προήλθε τόσο από τη μελέτη των ανωτέρω κατανομών όσο και από όρια λειτουργίας των προς μελέτη τεχνολογιών. Καίτοι σε αγροτικές περιοχές το μήκος κύριου δικτύου μπορεί να φθάσει τα 5km, ο τεχνολογικός περιορισμός οποιασδήποτε xDSL τεχνολογίας καθιστά αδύνατη την παροχή⁴² αξιοποιήσιμης και αξιόπιστης υπηρεσίας σε τόσο μεγάλα μήκη⁴³. Επομένως, όταν εφαρμοστεί απομακρυσμένη έγχυση σημάτων σε ΥΚ με μήκος κύριου δικτύου άνω των 4km, δεν θα υπάρξει ανάγκη προστασίας των σημάτων που εγχέονται από το ΑΚ. Στο Σενάριο 1 χρησιμοποιούνται οι συνδυασμοί μηκών του Πίν.3.3.1.

Πίνακας 3.3.1: Μήκη κύριου και απερχόμενου δικτύου του Σεναρίου 1

Κύριο (m)	Απερχόμενο (m)
400	200
630	200
630	400
780	400

Στο Σενάριο 2 το μήκος του κύριου δικτύου ξεκινά από τα 300m και φθάνει στα 4350m με βήμα 150m. Το μήκος του απερχόμενου δικτύου παραμένει σταθερό στα 200m. Στο Σενάριο 3 το μήκος κύριου δικτύου λαμβάνει τιμές από 150m έως 4350m με βήμα 150m, διατηρώντας το απερχόμενο δίκτυο σταθερό στα 400m.

Η επιλογή του είδους (τύπου) των καλωδίων είναι κρίσιμη, διότι τα εγγενή χαρακτηριστικά του κάθε τύπου (πολυαιθυλενίου, χάρτου κ.λπ.) καθορίζουν σε σημαντικό ποσοστό το περιβάλλον διάδοσης των σημάτων. Επίσης, η επιλογή που πραγματοποιείται πρέπει να ακολουθεί τις επιλογές που έχουν γίνει στο πραγματικό δίκτυο, ώστε τα συμπεράσματα των μετρήσεων να είναι ρεαλιστικά και επομένως χρήσιμα. Στο Σενάριο 1 λόγω του περιορισμένου πλήθους μηκών ήταν δυνατή η χρήση στροφείων καλωδίων PE διαμέτρου 0.4mm. Τα μήκη των διαθέσιμων στροφείων του εργαστηρίου είναι 150m, 200m, 300m, 330m και 400m. Η δημιουργία των απαραίτητων για τις μετρητικές διατάξεις μηκών πραγματοποιείται μέσω σύνδεσης των στροφείων με τη χρήση οριολωρίδων. Στα Σενάρια 2&3, η πληθώρα χρησιμοποιούμενων μηκών καθώς και η ύπαρξη ιδιαίτερα μεγάλων μηκών (3 - 4km) δεν επιτρέπουν τη χρήση πραγματικών καλωδίων για το τμήμα του κύριου δικτύου. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται ο προσομοιωτής γραμμής (Line Emulator) 458-LM-HDE της Telebyte. Η συσκευή αυτή προσομοιώνει το εικονικό καλώδιο PE04, όπως αυτό περιγράφεται στο πρότυπο ETSI TS 101 388. Μέσω διακοπών μεταβάλλεται το κύκλωμα που προσομοιώνει τη γραμμή κατ' αντιστοιχία με το μήκος γραμμής που επιλέγεται ώστε να εισάγεται κάθε φορά η κατάλληλη εξασθένηση στο σήμα. Βασικό μειονέκτημα του προσομοιωτή γραμμής είναι ότι λόγω των κατασκευαστικών του χαρακτηριστικών επιτρέπει τη διέλευση συχνοτήτων μέχρι τα 2.2MHz. Ως εκ τούτου, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τεχνολογίες VDSL2, περιορίζοντας τα σενάρια δοκιμών όπως εξηγείται σε επόμενη παράγραφο.

Αποφασίστηκε από την EETT ποσοστό φόρτισης καλωδίου 80%. Σε κάθε μετρητική διάταξη κατασκευάζονται 10 γραμμές (10 ζεύγη) και εγχέεται ισχύς σε 8 από αυτά. Το ποσοστό αυτό επιλέχθηκε διότι σε πολλές πυκνοκατοικημένες περιοχές το ποσοστό φόρτισης ήδη προσεγγίζει το 70%. Η δημιουργία ενός ΣΔΦ πρέπει να ακολουθεί διαδικασίες που επιτρέπουν την εξαγωγή συμπερασμάτων όχι μόνο για την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου αλλά και για την μελλοντική ανάπτυξή του. Επίσης, η κατάρτιση μέτρων προστασίας βασισμένων σε μετρήσεις με υψηλότερη φόρτιση καλωδίου από αυτή στην οποία θα εφαρμοσθούν εξασφαλίζει την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου σε μελλοντικό στάδιο όπου η φόρτιση θα έχει αυξηθεί. Επιπλέον, η επιλογή του συγκεκριμένου υψηλού ποσοστού φόρτισης επιτρέπει την αντιστάθμιση των ιδανικών συνθηκών του εργαστηριακού περιβάλλοντος. Στο εργαστηριακό περιβάλλον όλοι οι παράγοντες υποβάθμισης του σήματος της παραγράφου 1.2 εντοπίζονται ευκολότερα και διορθώνονται άμεσα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο περιορισμός των ρυθμών μετάδοσης λόγω προβληματικών συνδέσεων των αγωγών, τόσο στον κατανεμητή όσο και στη διασύνδεση των στροφείων των καλωδίων. Στο εργαστήριο ο εντοπισμός της προβληματικής σύνδεσης γίνεται άμεσα, σε αντίθεση με το πεδίο όπου μια τέτοια βλάβη ενδεχομένως να μη γίνει ποτέ αντιληπτή. Επομένως, η χειρότερηση των συνθηκών διάδοσης λόγω αύξησης της φόρτισης του καλωδίου επιτρέπει την εξαγωγή περισσότερο ρεαλιστικών συμπερασμάτων. Ωστόσο, ακόμα και μέσω αυτής της χειρότερησης, είναι λογικό τα εργαστηριακά αποτελέσματα να είναι καλύτερα από αυτά του πεδίου λόγω των πολυάριθμων αστάθμητων παραγόντων. Κατά την ανάλυση των μετρήσεων, αναδεικνύεται και η σημασία των διαφορετικών τρόπων κατανομής των πηγών έγχυσης ισχύος, διατηρώντας σταθερό το συνολικό ποσοστό φόρτισης του καλωδίου.

⁴² Σε συνθήκες πεδίου

⁴³ Υπό συνθήκες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν προφίλ ADSL2+ ReADSL και Annex, όμως σε πολύ μεγάλα μήκη ακόμα και αυτά δε θα καθιστούσαν δυνατή την παροχή αξιόπιστης υπηρεσίας.

3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

3.4.1 PSD Masking

Η πρώτη μέθοδος ελέγχου της εγγεόμενης ισχύος είναι το PSD Masking. Μέσω αυτής δίνεται η δυνατότητα αποκοπής συγκεκριμένων τόνων⁴⁴ του σήματος. Η πρακτική αυτή παρά, μολονότι εξαλείφει πλήρως οποιαδήποτε παρεμβολή, οδηγεί σε ανεκμετάλλευτο φασματικό περιεχόμενο.

Για κάθε πιθανό συνδυασμό εγγεόμενων τεχνολογιών πρέπει να εξετάζεται η φασματική επικάλυψη των σημάτων και να επιλέγεται η αποκοπή των αντίστοιχων τόνων. Εντούτοις, αυτός ο τρόπος ελέγχου φασματικής ισχύος μπορεί υπό συγκεκριμένες συνθήκες να είναι ιδιαίτερος αναποτελεσματικός. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση αποκοπής των άνω ακραίων τόνων του σήματος που προκαλεί την παρεμβολή, όταν αυτό εγχέεται σε μεγάλες αποστάσεις από το ΑΚ. Οι υψηλές συχνότητες του σήματος που εγχέεται στο ΑΚ έχουν ήδη εξασθενήσει λόγω μετάδοσης σε χάλκινο αγωγό μεγάλου μήκους και δεν είναι πλέον ικανές να μεταφέρουν bits πληροφορίας. Άρα, έχουν αποκοπεί ωφέλιμες συχνότητες του ενός σήματος, ώστε να προστατευθούν μη αξιοποιήσιμες συχνότητες του άλλου.

Αν και η τεχνολογία ADSL2+ χρησιμοποιεί για τη downstream ζεύξη τους τόνους 32 έως 512 ενώ η τεχνολογία VDSL2 8b τους τόνους 32 έως 869, με κοινή συνολική ισχύ έγχυσης ίση με 20.5dBm, η εφαρμογή PSD Masking είναι μη αποδοτική στην περίπτωση μεγάλου μήκους κύριου δικτύου. Αυτό διότι οι υψηλοί τόνοι του ADSL2+ θα είχαν ήδη χαθεί εξαιτίας της εξασθένησης που προκαλείται λόγω μετάδοσης. Επομένως, η αποκοπή όλων των τόνων επικάλυψης (32 – 512) του VDSL2 8b, θα προκαλούσε ελάχιστη βελτίωση του ρυθμού μετάδοσης του ADSL2+. Επιπλέον, θα στερούσε από το VDSL2 8b μεγάλο μέρος της DS1 ζώνης του, οδηγώντας έτσι στη μείωση σχεδόν κατά 50% του ρυθμού μετάδοσης της downstream ζεύξης. Επομένως, η τεχνική PSD Masking δεν διαθέτει την απαραίτητη ευελιξία για την πλήρως αποδοτική αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.

3.4.2 PSD Shaping

Η αξιοποίηση της τεχνικής του PSD Shaping (διαμόρφωση φασματικής πυκνότητας ισχύος) παρέχει τη δυνατότητα διαμόρφωσης της φασματικής πυκνότητας ισχύος κατά τρόπο που επιτυγχάνει τη βέλτιστη σχέση (trade-off) μεταξύ της αύξησης του ρυθμού μετάδοσης της γραμμής που υφίσταται την παρεμβολή και της μείωσης του ρυθμού μετάδοσης της γραμμής που προκαλεί την παρεμβολή. Μέσω του PSD Shaping μπορεί να ελεγχθεί τόσο η ισχύς της downstream ζεύξης όσο και αυτής της upstream ζεύξης. Οι αντίστοιχοι μηχανισμοί ονομάζονται DPBO και Upstream Power Back-Off UPBO.

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου DPBO περιγράφεται στο Παράρτημα 2 του προτύπου G.997.1 της ITU. Πρόκειται για έγχυση του σήματος από τον ενεργό εξοπλισμό του ΥΚ⁴⁵ με ισχύ ίση με αυτή που θα είχε το σήμα αν είχε εγχυθεί στο ΑΚ και είχε μεταδοθεί μέσω του υπάρχοντος μεταλλικού ζεύγους αγωγών, σε καλωδιακή απόσταση ίση με αυτή μεταξύ του ΑΚ και του ΥΚ. Αντισταθμίζεται δηλαδή, η εξασθένηση την οποία θα υφίστατο το σήμα λόγω διάδοσης σε συγκεκριμένη γραμμή καλωδιακής απόστασης ίσης με το μήκος του κύριου δικτύου. Η μέθοδος αυτή περιορίζει κατά δυναμικό τρόπο την ισχύ του συχνοτικού εύρους παρεμβολής, εξαιρώντας όμως τις υψηλές συχνότητες του απομακρυσμένου εγγεόμενου σήματος, τις οποίες δεν μπορεί να αξιοποιήσει το προερχόμενο από το ΑΚ σήμα⁴⁶, λόγω εξασθένησής τους από το μέσο μετάδοσης.

Προκειμένου να λειτουργήσει αποδοτικά ο μηχανισμός του DPBO, πρέπει να καθοριστούν οι τιμές ορισμένων παραμέτρων που καθορίζουν τη συνάρτηση ελέγχου της ισχύος που υλοποιείται μέσω του μηχανισμού. Η συνάρτηση αυτή προσαρμόζει την, καθοριζόμενη στο πρότυπο της εκάστοτε τεχνολογίας, μάσκα φασματικής πυκνότητας ισχύος (PSD μάσκα) της downstream ζεύξης (PSDMASKds) σε κατάλληλα επίπεδα ισχύος, ώστε να προστατεύεται το σήμα που προέρχεται από το ΑΚ από Η/Μ παρεμβολή. Έτσι προκύπτει τροποποιημένη PSD μάσκα της downstream ζεύξης RESULTMASKds.

Η παράμετρος DPBOESEL ονομάζεται ηλεκτρικό μήκος και εκφράζει σε dB (0 – 255.5, με βήμα 0.5) την εξασθένηση που εισάγεται λόγω διάδοσης σε συγκεκριμένη συχνότητα. Στην παρούσα μελέτη, κατόπιν συμφωνίας όλων των εμπλεκόμενων μελών, επιλέχθηκε η συχνότητα των 1.1MHz. Ο λόγος που επιλέχθηκε ο υπολογισμός της ηλεκτρικής απόστασης σε αυτή τη συχνότητα, είναι το ότι βρίσκεται περίπου στο μέσο του φάσματος που χρησιμοποιεί η τεχνολογία ADSL2+. Έτσι μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα αντιπροσωπευτικά της συμπεριφοράς όλου του φάσματος. Η επιλογή υψηλότερης συχνότητας δεν θα επέτρεπε τη μελέτη του σήματος σε μεγάλες αποστάσεις λόγω μεγάλης εξασθένησης. Αντίστοιχα, η επιλογή χαμηλότερης συχνότητας ενδεχομένως οδηγούσε σε υπεραισιόδοξα συμπεράσματα. Στόχο των μετρήσεων αποτελεί η αποδοτική αντιστοίχιση αποστάσεων (m) ΥΚ από το ΑΚ με κατάλληλο χαρακτηριστικό DPBOESEL (dB), μέσω του οποίου αποτιμάται ο βαθμός μείωσης της ισχύος σήματος που εγχέεται από τον ΥΚ.

⁴⁴ 1 τόνος: 4.3125kHz

⁴⁵ Η απομακρυσμένη έγχυση σημάτων δύναται να πραγματοποιείται και από ενδιάμεσο καταναμητή κύριου δικτύου. Η εφαρμογή του DPBO ακολουθεί ακριβώς τις ίδιες αρχές και σε αυτή την περίπτωση.

⁴⁶ Υπενθυμίζεται ότι οι υψηλές συχνότητες είναι πολύ περισσότερο ευάλωτες στην εξασθένηση λόγω διάδοσης σε σχέση με τις χαμηλές συχνότητες (βλ. Παρ.1.2.2).

Το μέγεθος DPBOESCM (dB) περιγράφει την εξαρτώμενη από τη συχνότητα f (MHz) εξασθένηση που δέχεται σήμα μεταδιδόμενο μέσω καλωδίου χαρακτηριζόμενου από τις βαθμωτές παραμέτρους DPBOESCMA, DPBOESCMB, DPBOESCMC (a , b , c αντίστοιχα) και καλωδιακό μήκος αντιστοιχιζόμενο σε ηλεκτρική απόσταση DPBOESEL. Ισχύει η κατωτέρω Εξ.3.4.1.

$$ESCM(f)=(DPBOESCMA+DPBOESCMB\times\sqrt{f}+DPBOESCMC\times f)\times DPBOESEL \quad (3.4.1)$$

Οι παράμετροι a (DPBOESCMA), b (DPBOESCMB) και c (DPBOESCMC) είναι χαρακτηριστικές για κάθε τύπο καλωδίου. Η σωστή επιλογή των τιμών τους είναι κρίσιμη για την αξιοπιστία των μετρήσεων. Όπως αναφέρθηκε στην Παρ.3.3, στις εργαστηριακές μετρητικές διατάξεις χρησιμοποιούνται πραγματικά καλώδια PE διατομής 0.4mm και ο προσομοιωτής του καλωδιακού μοντέλου PE04 της Telebyte. Ωστόσο, η χρήση των παραμέτρων των ανωτέρω καλωδίων θα οδηγούσε στην εξαγωγή συμπερασμάτων ακατάλληλων για χρήση σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, όπου, σε επίπεδο κύριου δικτύου κυριαρχούν καλώδια μόνωσης χάρτου. Για το λόγο αυτό μετρήθηκε η εξασθένηση που εισάγουν τα καλώδια μόνωσης χάρτου σε ΑΚ αντιπροσωπευτικής πυκνά αστικής περιοχής. Η επιλογή της περιοχής έγινε με κριτήριο τη χειρότερη δυνατή περίπτωση περιβάλλοντος διάδοσης. Σε πολλούς από τους ΥΚ του συγκεκριμένου ΑΚ χρησιμοποιούνται ακόμη τεςτίνες και όχι οριολωρίδες με τις αντίστοιχες επιπτώσεις. (βλ. Παρ.1.3.2). Επίσης, τα καλώδια κύριου δικτύου έχουν επιβαρυνθεί αρκετά λόγω παλαιότητας και πραγματοποίησης αρκετών εργασιών συντήρησης και επιδιόρθωσης βλαβών με αντικατάσταση τμημάτων του καλωδίου. Η επιβάρυνση αυτή συμβάλλει στην εισαγωγή πρόσθετης εξασθένησης λόγω αστοχιών στην κόλληση και ανομοιογένειας του μέσου μετάδοσης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εύρος συχνοτήτων 32kHz έως 4MHz και σε καλωδιακά μήκη κύριου δικτύου 180m έως 4.7km με το όργανο HST-3000 της JDSU (Εικ.3.1.1). Για μετρήσεις τέτοιου τύπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συσκευή FED (Far End Device) (Εικ.3.1.2) στην πλευρά του ΥΚ και η συσκευή HST-3000 στην πλευρά του ΑΚ. Εναλλακτικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο συσκευές HST-3000, μία σε κάθε άκρο της γραμμής⁴⁷.



Εικόνα 3.4.1: Όργανο μέτρησης χαρακτηριστικών του μέσου διάδοσης JDSU HST-3000



Εικόνα 3.4.2 Η συσκευή FED

Βασική προϋπόθεση για την εκτέλεση των μετρήσεων είναι να αφαιρεθεί οποιοσδήποτε ενεργός εξοπλισμός έγχυσης σημάτων από τη γραμμή. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η εισαγωγή των παραμέτρων των μετρήσεων⁴⁸, που παρατίθενται στον Πίν.3.4.1.

⁴⁷ Η διάταξη αυτή δίνει τη δυνατότητα για έλεγχο σε επιλεγμένο εύρος συχνοτήτων (ή συγκεκριμένη συχνότητα), σε αντίθεση με την προκαθορισμένη μετρητική διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια.

⁴⁸ Οι συγκεκριμένες παράμετροι είναι αυτές που χρησιμοποιούνται από τους τεχνικούς του ΟΤΕ για τη μέτρηση της εισαγόμενης από καλώδιο εξασθένησης.

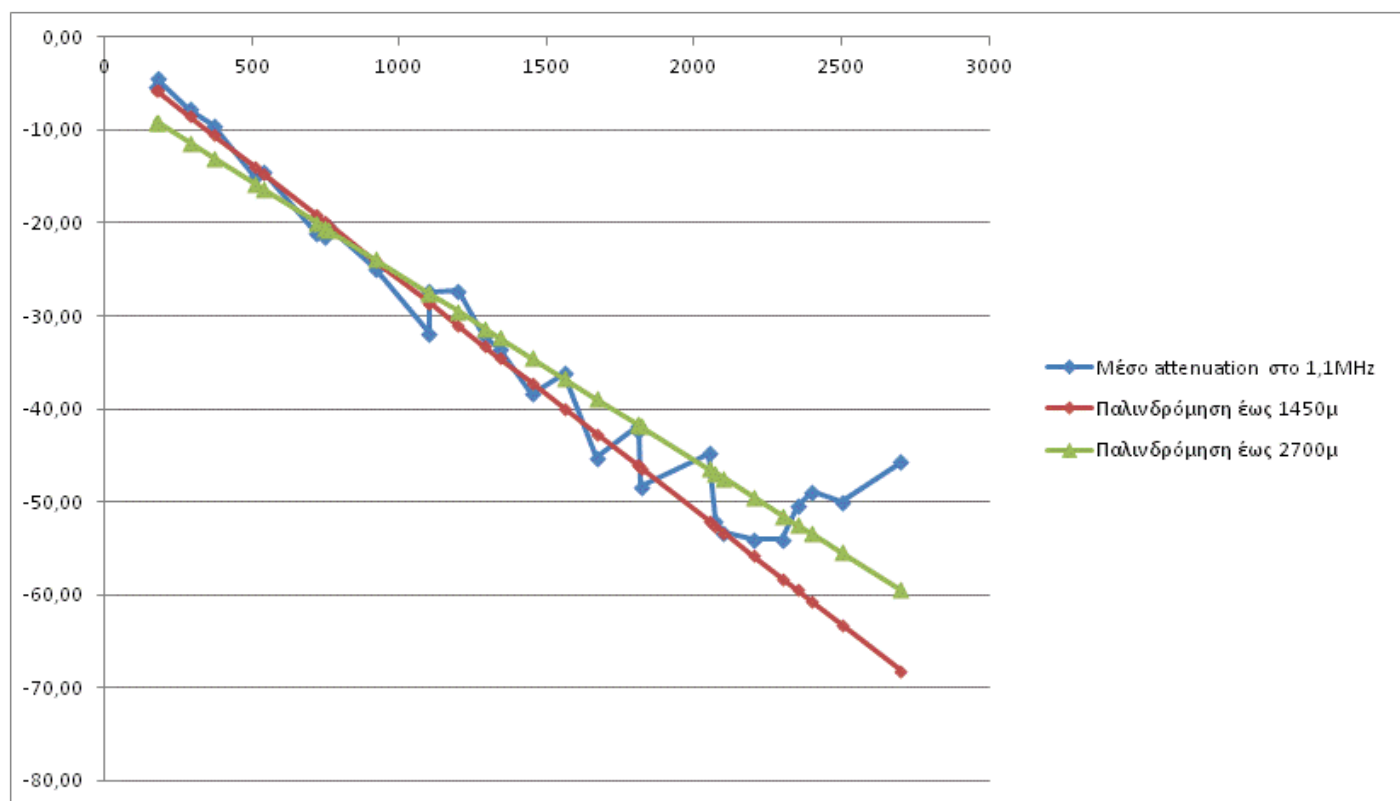
Πίνακας 3.4.1: Παραμετροποίηση του ελέγχου εξασθένησης Autotest

Είδος μέτρησης	Wideband attenuation test requiring Far End Device
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΟΡΓΑΝΟΥ	
Πεδίο	Τιμή
FED Type	JDSU Auto Pair
Set Technology	ADSL2+
Set Cable Type	Custom (Custom Capacitance Mutual = 0.45, Custom Ground = 0.45)
Set Cable Gauge	26
Voltage Termination	1M-Ohm
Tests	WB Loss

Οι ανωτέρω παράμετροι χρησιμοποιούνται και στις μετρήσεις των ιδιοτήτων των καλωδίων του εργαστηρίου ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Η διαδικασία εξαγωγής των παραμέτρων a , b , c του καλωδίου από τις ανωτέρω μετρήσεις είναι η ακόλουθη.

Αρχικά, υπολογίζονται οι σταθερές a , β της εξίσωσης $y=a+\beta \times x$ που περιγράφει την εξασθένηση (y) συναρτήσει του μήκους (x) του καλωδίου για συγκεκριμένη συχνότητα⁴⁹. Για την εξαγωγή των παραμέτρων αυτών αξιοποιούνται τα δεδομένα που αφορούν σε μετρήσεις καλωδίων μήκους έως 1450m. Η επιλογή αυτή πραγματοποιείται διότι σε μεγαλύτερα μήκη οι μετρήσεις επηρεάζονται από την ευαισθησία του οργάνου, εμφανίζοντας παράταιρα αποτελέσματα, όπως τη μείωση της εξασθένησης με την αύξηση του μήκους στις υψηλές συχνότητες. Δεδομένου ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διάφορα ζεύγη ενός καλωδίου για πολλούς ΥΚ στο ανωτέρω εύρος συχνοτήτων υπάρχει μια πληθώρα τιμών για την εξασθένηση (dB), στα 1.1MHz. Για κάθε μήκος εξάγεται ο μέσος όρος της εξασθένησης στη συχνότητα των 1.1MHz από τις μετρήσεις αυτής στα ζεύγη του καλωδίου. Μέσω γραμμικής παλινδρόμησης⁵⁰ (linear regression), υπολογίζεται η ζητούμενη ευθεία και οι συντελεστές a , β , όπως φαίνεται στο Σχ.3.4.2.



Σχήμα 3.4.1 Εξασθένηση (dB) συναρτήσει του μήκους (m) στη συχνότητα 1.1MHz

Μέσω της ανωτέρω μεθόδου, εξάγεται η Εξ.3.4.2. Οι τιμές των συντελεστών a , β είναι -1.3385 και -0.02475 αντίστοιχα.

⁴⁹ Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, η συχνότητα αυτή είναι η συχνότητα υπολογισμού της ηλεκτρικής απόστασης και επιλέχθηκε ίση με 1.1MHz.

⁵⁰ Η σχέση εξασθένησης – μήκους για συγκεκριμένη συχνότητα είναι γραμμική.

$$y=-1.3385-0.02475 \times x \quad (3.4.2)$$

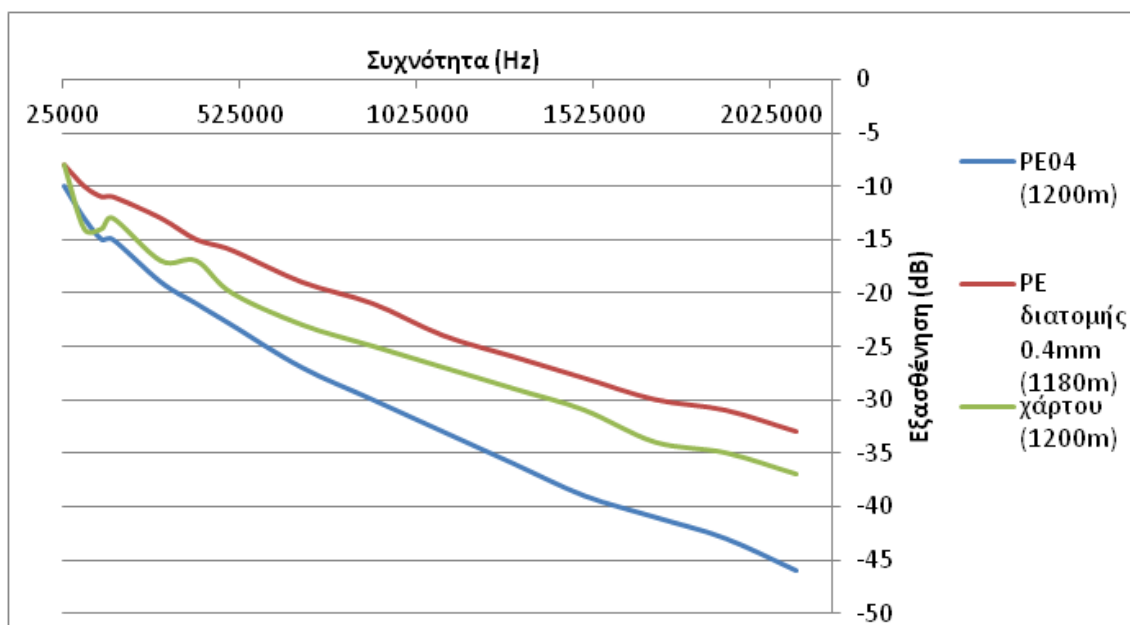
Η Εξ.3.4.2, είναι αυτή που αντιστοιχίζει το καλωδιακό μήκος (m) με μια τιμή ηλεκτρικής απόστασης DPBOESEL (dB), για τον συγκεκριμένο τύπο καλωδίου.

Πλέον, δύναται ο υπολογισμός των παραμέτρων DPBOESCMA, DPBOESCMB και DPBOESCMC. Αυτές είναι οι αριθμοί που ελαχιστοποιούν το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (Mean Square Error – MSQE) μεταξύ της μετρούμενης εξασθένησης και της εξασθένησης που υπολογίζεται από την Εξ.3.4.1. Η τιμή της παραμέτρου DPBOESEL καθορίζεται όπως ήδη αναφέρθηκε από την Εξ.3.4.2. Οι αρχικές τιμές των παραμέτρων εκλέγονται τυχαία και κατόπιν, με κατάλληλη μεταβολή τους υπολογίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Σημειώνεται ότι σύμφωνα με το πρότυπο G.997.1, οι τιμές των ανωτέρω παραμέτρων κυμαίνονται από -1 έως 1.5 με βήμα 2^{-8} . Οι κατάλληλες τιμές των DPBOESCMA, DPBOESCMB και DPBOESCMC, οι αντίστοιχες κβαντισμένες τιμές τους⁵¹ και οι τιμές των παραμέτρων που εισάγονται στο περιβάλλον εργασίας (GUI) του DSLAM (0 – 640) για τον καθορισμό της μεθόδου DPBO, δίνονται στον Πίν.3.4.2.

Πίνακας 3.4.2: Χαρακτηριστικές παράμετροι καλωδίου χάρτου

ΚΑΛΩΔΙΟ ΧΑΡΤΟΥ			
Παράμετρος	Υπολογισμένη τιμή	Κβαντισμένη τιμή βάσει προτύπου	Τιμή καταχώρησης στο GUI του DSLAM
DPBOESCMA	0.158210580	0.15625	296
DPBOESCMB	0.547725389	0.546875	396
DPBOESCMC	0.218278252	0.218750	312

Οι τιμές του Πίν.3.4.2 χρησιμοποιήθηκαν στα σενάρια μετρήσεων όπου η πειραματική διάταξη κατασκευαζόταν αμιγώς με τα πραγματικά καλώδια PE που περιγράφηκαν προηγουμένως. Τα καλώδια αυτά έχουν περισσότερο ευνοϊκά χαρακτηριστικά διάδοσης από τα καλώδια χάρτου που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των ανωτέρω παραμέτρων. Για το λόγο αυτό ήταν δυνατή η χρήση των ίδιων τιμών DPBOESCMA, DPBOESCMB και DPBOESCMC. Ωστόσο, για τα σενάρια που περιελάμβαναν χρήση του προσομοιωτή καλωδίου η χρήση των τιμών αυτών, χωρίς καμία προσαρμογή, θα οδηγούσε σε λανθασμένες εκτιμήσεις, λόγω του γεγονότος ότι ο προσομοιωτής εισάγει περισσότερη εξασθένηση στο μεταδιδόμενο σήμα από αυτή που εισάγουν τα καλώδια χάρτου. Στο Σχ.3.4.2 πραγματοποιείται σύγκριση της εξασθένησης που εισάγουν οι τρεις ανωτέρω τύποι καλωδίου σε όλο το φάσμα των μετρούμενων συχνοτήτων για καλωδιακό μήκος ~1200m.



Σχήμα 3.4.2 Σύγκριση εξασθένησης των τριών τύπων καλωδίου που χρησιμοποιούνται, για καλωδιακό μήκος ~1200m

⁵¹ Λόγος κβάντισης: $2^{-8} = 1/256$ (καθορισμένο βήμα τιμών των παραμέτρων στο πρότυπο)

Ακολουθήθηκε διαδικασία ανάλογη με αυτή του προσδιορισμού των παραμέτρων του καλωδίου χάρτου με χρήση του ίδιου οργάνου και παραμέτρων αυτού για την εξαγωγή των παραμέτρων του εικονικού καλωδίου PE04. Παρά το ότι πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για μήκη από 300m έως 4.8km, για την εξαγωγή των σταθερών α και β της συνάρτησης εξασθένησης συναρτήσει του καλωδιακού μήκους χρησιμοποιούνται μόνο τα μήκη 300m έως 2400m, διότι στα υπόλοιπα η συχνότητα 1.1MHz εξασθενεί κάτω από τα όρια ευαισθησίας του οργάνου. Οι τιμές των παραμέτρων α , β προκύπτουν -0.64286 και -0.0273 αντίστοιχα. Η εξασθένηση συναρτήσει του καλωδιακού μήκους δίνεται από την εξίσωση

$$y = -0.64286 - 0.0273 \times x \quad (3.4.3)$$

Για την εύρεση των παραμέτρων DPBOESCMA, DPBOESCMB και DPBOESCMC χρησιμοποιείται και σε αυτή την περίπτωση η Εξ.3.4.1, με DPBOESEL καθοριζόμενο από την Εξ.3.4.3. Οι τιμές των παραμέτρων, και οι κβαντισμένες τιμές τους για το καλωδιακό μοντέλο PE04 δίνονται στον Πίν.3.4.3.

Πίνακας 3.4.3: Χαρακτηριστικές παράμετροι καλωδίου PE04

ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΛΩΔΙΟΥ PE04		
Παράμετρος	Υπολογισμένη τιμή	Κβαντισμένη τιμή βάσει προτύπου
DPBOESCMA	0.2025969	0.2031250
DPBOESCMB	0.5627155	0.5625000
DPBOESCMC	0.1744455	0.17578125

Εκ πρώτης όψεως, οι τιμές του Πίν.3.4.3 έπρεπε απλώς να αντιστοιχισθούν σε κατάλληλες τιμές καταχώρησης του GUI του DSLAM και να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις με εφαρμογή της μεθόδου DPBO.

Αυτή η μεθοδολογία ωστόσο, δεν θα παρείχε σωστή πληροφορία. Αν χρησιμοποιούνταν οι ανωτέρω τιμές DPBOESCMA, DPBOESCMB και DPBOESCMC, ο αλγόριθμος του DPBO θα υπολόγιζε την εξασθένηση του σήματος για το μοντελοποιημένο καλώδιο PE04 του προσομοιωτή καλωδίου. Ο στόχος, όμως των μετρήσεων είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για εφαρμογή διαχείρισης φασματικής ισχύος σε περιβάλλον διάδοσης με καλώδια τύπου χάρτου. Επομένως, η εκτίμηση της εξασθένησης που πραγματοποιεί ο αλγόριθμος DPBO πρέπει να πραγματοποιείται για τις καλωδιακές παραμέτρους καλωδίου τύπου χάρτου του Πίν.3.1.6, χρησιμοποιώντας μήκη του μοντέλου καλωδίου PE04.

Ο συνδυασμός αυτών των δύο παραμέτρων υλοποιείται μέσω κατάλληλης αντιστοίχισης των ηλεκτρικών αποστάσεων (dB) του μοντελοποιημένου καλωδίου με μήκη καλωδίου τύπου χάρτου. Για συγκεκριμένο μήκος (m) και ισodύναμα γνωστό DPBOESEL του μοντελοποιημένου καλωδίου, ελαχιστοποιείται η διαφορά μεταξύ των καμπυλών εξασθένησης (Εξ.3.4.1) των δύο τύπων καλωδίων δοκιμάζοντας διάφορες τιμές για το DPBOESEL του καλωδίου τύπου χάρτου. Η ελαχιστοποίηση του σφάλματος πραγματοποιείται μέχρι τη MUF, άνω όριο της οποίας τίθενται τα 2.208MHz, λόγω των συχνοτικών περιορισμών του προσομοιωτή καλωδίου (βλ. Παρ.3.3). Η κατάλληλη τιμή αυτού του μεγέθους, που ελαχιστοποιεί την ανωτέρω διαφορά συσχετίζεται μέσω της Εξ.3.4.2 με ένα μήκος του πραγματικού καλωδίου τύπου χάρτου, διαφορετικό του μήκους του μοντελοποιημένου, εικονικού καλωδίου που χρησιμοποιείται. Έτσι επιτυγχάνεται η εξαγωγή συμπερασμάτων για διάδοση μέσω καλωδίων τύπου χάρτου χρησιμοποιώντας το μοντελοποιημένο καλώδιο PE04. Η αντιστοίχιση των μηκών των δύο τύπων καλωδίου δίνεται στον Πίν.3.4.4.

Πίνακας 3.4.4: Αντιστοίχιση μηκών μοντελοποιημένου καλωδίου PE04 σε μήκη καλωδίου τύπου χάρτου

Μήκος καλωδίου PE04 (m)	DPBOESEL PE04 (dB)	DPBOESEL καλωδίου χάρτου (dB)	Μήκος καλωδίου χάρτου (m)
150	4.74	4.5	138
300	8.83	9	303
450	12.93	13	469
600	17.02	17	635
750	21.12	21	800
900	25.21	25.5	966
1050	29.31	29.5	1132
1200	33.40	33.5	1297
1350	37.50	38	1463
1500	41.60	42.5	1629
1650	45.69	47.5	1794
1800	49.79	51	1960
1950	52.88	55.5	2126
2100	57.98	60	2292
2250	62.07	64.5	2457
2400	66.17	69	2623
2550	70.26	74	2789
2700	74.36	78.5	2954
2850	78.45	83.5	3120
3000	82.55	87.5	3286
3150	86.64	92.5	3451
3300	90.74	97	3617
3450	94.83	102	3783
3600	98.93	106.5	3948
3750	103.02	112	4114
3900	107.12	116.5	4280
4050	111.21	121	4445
4200	115.31	127	4611
4350	119.40	131	4777

Η παράμετρος DPBOMUS (dBm/Hz) είναι η εκτιμώμενη ελάχιστη χρησιμοποιήσιμη ισχύς του σήματος που εγχέεται στο ΑΚ. Οι τιμές της κυμαίνονται μεταξύ 0 και -127.5dBm/Hz, με βήμα 0.5dB. Χρησιμοποιείται για την τροποποίηση της παραμέτρου DPBOFMAX που παρουσιάζεται στη συνέχεια. Για μετρήσεις επιλέχθηκε η τιμή των -96dBm/Hz.

Πρέπει να υπογραμμισθεί ότι η οποιαδήποτε PSD μάσκα είναι πάντα 3.5dB υψηλότερη από τη φασματική πυκνότητα ισχύος του σήματος. Η διαφορά αυτή λειτουργεί ως άνω όριο της εγγεόμενης ισχύος και αποκλείει την έγχυση σημάτων με υπερβολικά υψηλή ισχύ στην οποία θα μπορούσε να οδηγηθεί το σήμα λόγω λανθασμένης παραμετροποίησης της κατατομής του.

Τα φασματικά όρια της εφαρμογής του DPBO καθορίζονται μέσω των παραμέτρων DPBOFMIN και DPBOFMAX. Τα πεδία τιμών τους είναι 0kHz έως 8832kHz και 138kHz έως 29997.75kHz, αντίστοιχα.

Από την ονομαστική PSD μάσκα της downstream ζεύξης του σήματος που εγχέεται στον ΥΚ καθορίζεται μια ακόμη σειρά παραμέτρων.

Η DPBOPSDMASKds συνήθως τίθεται ίση με την PSDMASKds. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου, σύμφωνα με το πρότυπο G.997.1, οι τιμές τους διαφέρουν. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας θεωρήθηκε ότι τα δύο μεγέθη είναι ίσα.

Η παράμετρος DPBOLFO (DPBO low frequency override) καθορίζει τη μάσκα PSD που υπερισχύει της επιβαλλόμενης από το DPBO μάσκας στις χαμηλές συχνότητες. Εφόσον θεωρήθηκε DBPOPSDMASKds = PSDMASKds, βάσει του προτύπου G.997.1 πρέπει, σε όλα τα σημεία εφαρμογής DPBO, η DPBOLFO να λάβει τιμή -91.5dBm/Hz ή χαμηλότερη. Για τη διενέργεια των εργαστηριακών μετρήσεων θεωρήθηκε η τιμή -91.5dBm/Hz.

Συνοπτικά, όλες οι απαραίτητες παράμετροι για την εφαρμογή της μεθόδου DBPO ώστε να επιτευχθεί βέλτιστος έλεγχος της εγγεόμενης στο δίκτυο ισχύος μέσω PSD Shaping, παρατίθενται στον Πίν.3.4.5.

Πίνακας 3.4.5: Παράμετροι DPBO

Παράμετρος	Περιγραφή
DPBOEPSD	Η εκτιμώμενη φασματική πυκνότητα ισχύος του σήματος που εγγέεται στο ΑΚ.
DPBOPSDMASKds	Το ανώτατο όριο της φασματικής πυκνότητας ισχύος της downstream ζεύξης του απομακρυσμένα εγγεόμενου σήματος, μετά την εφαρμογή DPBO.
DPBOESEL	Η ηλεκτρική απόσταση μεταξύ ΑΚ και απομακρυσμένου σημείου έγχυσης.
DPBOESCMA	Παράμετρος Α του μοντέλου καλωδίου
DPBOESCMB	Παράμετρος Β του μοντέλου καλωδίου
DPBOESCMC	Παράμετρος C του μοντέλου καλωδίου
DPBOMUS	Η εκτιμώμενη ελάχιστη χρήσιμη ισχύς σήματος εγγεόμενου στο ΑΚ.
DPBOFMIN	Η μικρότερη συχνότητα για την οποία εφαρμόζεται ο μηχανισμός ελέγχου.
DPBOFMAX	Η μέγιστη συχνότητα για την οποία εφαρμόζεται ο μηχανισμός ελέγχου.
DPBOLFO	Όριο φασματικής πυκνότητας ισχύος που παραβιάζει την προβλεπόμενη ισχύ σε χαμηλές συχνότητες

Αξιοποιώντας τις ανωτέρω παραμέτρους, εξάγεται η τροποποιημένη PSD μάσκα της downstream ζεύξης του σήματος, για απομακρυσμένο σημείο έγχυσης. Η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

1. Προσεγγίζεται η εξασθενημένη PSD μάσκα (Predicted Attenuated Exchange PSD Mask - PEPSED) που θα λαμβανόταν σε απόσταση DPBOESEL από το Α/Κ, αν το σήμα εγγεόταν στο ΑΚ, μέσω της εξίσωσης

$$PEPSED(f) = DPBOEPSD(f) - (DPBOESCMA + DPBOESCMB \times \sqrt{f} + DPBOESCMC \times f) \times DPBOESEL \quad (3.4.4)$$

2. Ορίζεται η μέγιστη αξιοποιήσιμη συχνότητα (Maximum Usable Frequency – MUF), ως η υψηλότερη συχνότητα για την οποία ισχύει $PEPSED(f) > DPBOMUS$. Ουσιαστικά η MUF αποτελεί το άνω όριο της φασματικής περιοχής στην οποία εφαρμόζεται η μέθοδος DPBO.
3. Ορίζεται το μέγεθος της ελάχιστης PSD μάσκας (Minimum PSD mask – DPBOMPSD(f)), μεταξύ των συχνοτήτων DPBOFMIN και $F_1 = \min(DPBOFMAX, MUF)$ μέσω της εξίσωσης

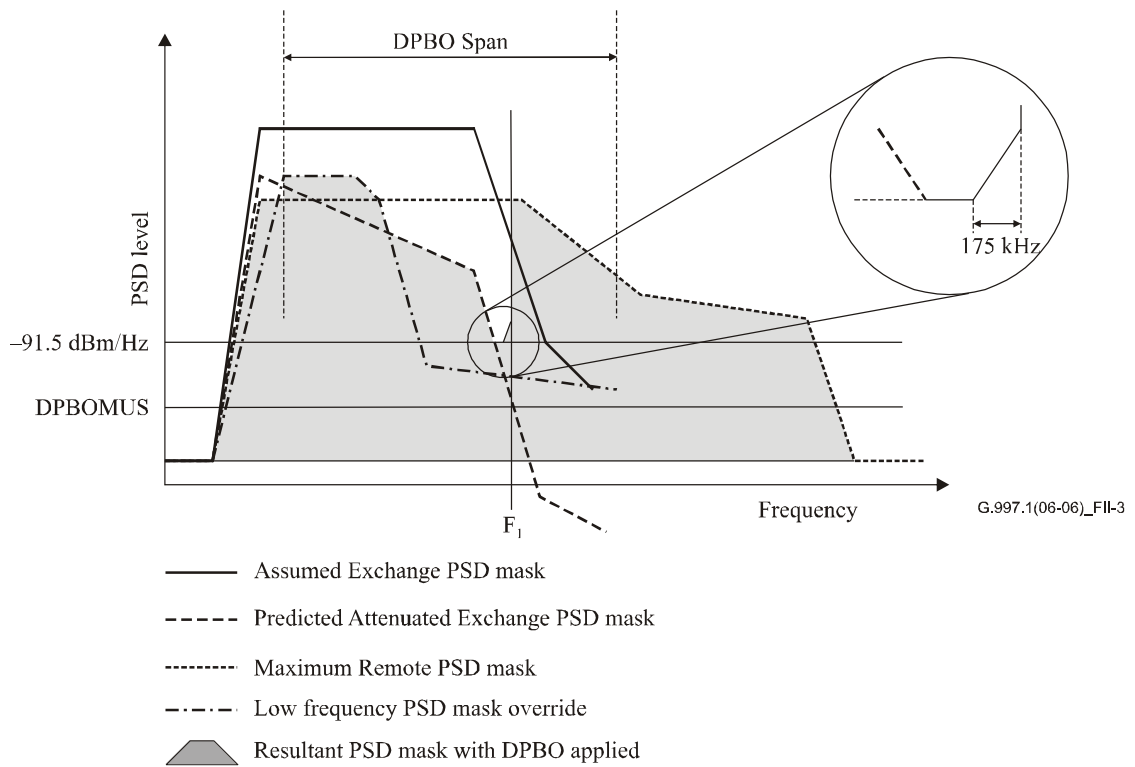
$$DPBOMPSD(f) = \begin{cases} \max [DPBOLFO(f), -91.5] \text{ dBm/Hz} & \text{για } f \leq F_1 - 175 \text{ kHz} \\ \max [DPBOLFO(f), (11.5/175) \times (f - F_1) - 80] \text{ dBm/Hz} & \text{για } F_1 - 175 \text{ kHz} < f < F_1 \end{cases} \quad (3.4.5)$$

όπου η συχνότητα εκφράζεται σε kHz.

4. Ο αλγόριθμος του DPBO μειώνει την ισχύ του σήματος κατά τρόπο ώστε σε κάθε συχνότητα η ισχύς να είναι ίση με RESULTMASKds(f), όπου

$$RESULTMASKds(f) = \begin{cases} \max [\min (DPBOMASKds(f), PEPSED(f)), DPBOMPSD(f)] & \text{για } DPBOFMIN \leq f \leq F_1 \\ DPBOPSDMASKds(f) & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (3.4.6)$$

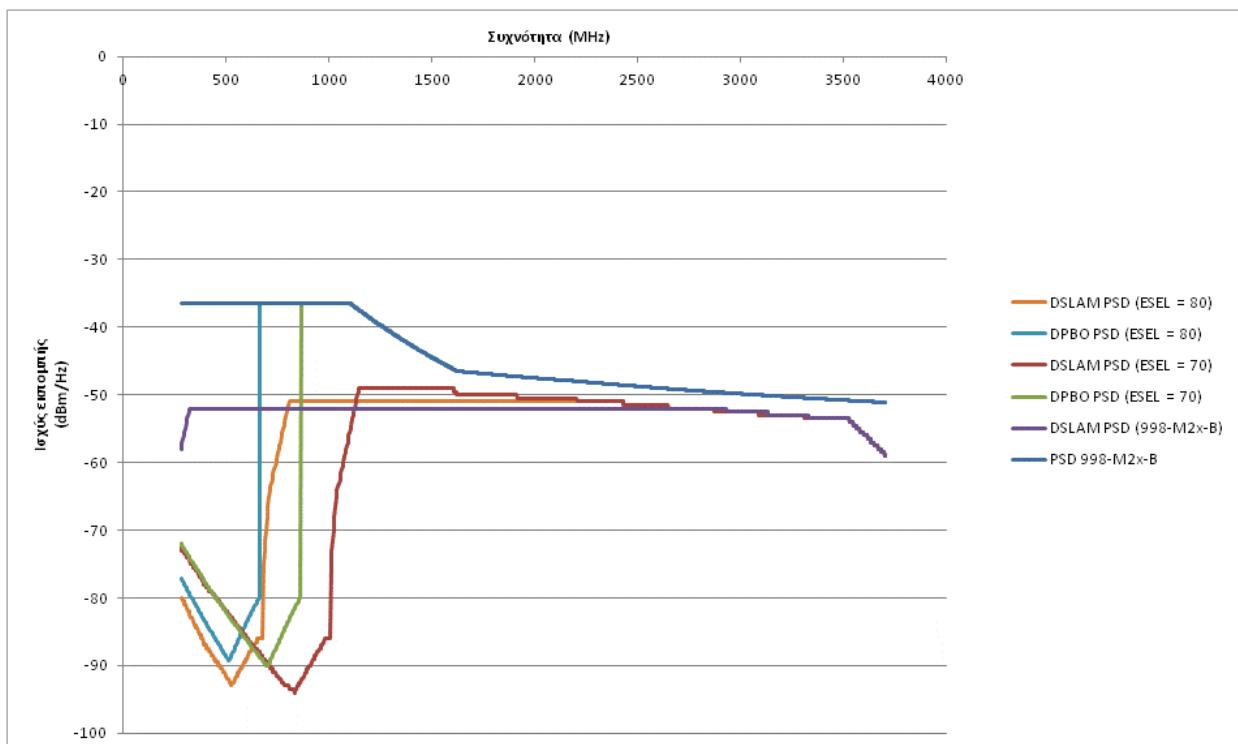
5. Η σύγκριση όλων των ανωτέρω μασκών φασματικής πυκνότητας ισχύος που περιγράφηκαν πραγματοποιείται στο Σχ.3.4.3.



Σχήμα 3.4.3 Απεικόνιση όλων των масκών φασματικής πυκνότητας ισχύος για τη downstream ζεύξη

Η τελική PSD μάσκα που θα εφαρμοσθεί κατά την έγχυση του σήματος πρέπει να είναι οπωσδήποτε χαμηλότερη της RESULTMASKds, κάτι το οποίο επιβεβαιώθηκε μέσω μετρήσεων. Υπολογίστηκαν οι θεωρητικές τιμές του RESULTPSDMASKds για τα διάφορα DPBOESEL των πειραματικών διατάξεων και συγκρίθηκαν με τη φασματική πυκνότητα ισχύος που έγχυε το DSLAM.

Πραγματοποιήθηκαν ενδεικτικές μετρήσεις της εγχεόμενης ισχύος από τον εξοπλισμό που ήταν εγκατεστημένος στο εργαστήριο τόσο χωρίς να εφαρμόζεται ο μηχανισμός ελέγχου όσο και με ενεργοποιημένο το μηχανισμό για τιμές DPBOESEL 70 και 80dB. Σε όλες τις περιπτώσεις διαπιστώθηκε ότι η ισχύς που εγχέει ο εξοπλισμός στο χάλκινο καλώδιο είναι αρκετά κάτω από το όριο που τίθεται είτε από την αντίστοιχη προδιαγραφή (ITU-T G.993.2 στην προκειμένη περίπτωση, 998ADE17-M2x-B) είτε από αυτό που προκύπτει ύστερα από την εφαρμογή του μηχανισμού ελέγχου (βλ. Σχ.3.4.4).



Σχήμα 3.4.4 Σύγκριση θεωρητικών масκών με πραγματική εκπεμπόμενη φασματική πυκνότητα ισχύος

3.4.2.1 Dynamic Spectrum Management

Η δυναμική διαχείριση φάσματος αποτελεί μια ακόμη μέθοδο περιορισμού των επιπτώσεων της διαφωνίας (H/M παρεμβολής) στην επίδοση των xDSL τεχνολογιών. Πρόκειται για τη εφαρμογή αλγορίθμων καθορισμού του φάσματος μέσω αυτοματοποιημένων μηχανισμών ελέγχου, με χρήση λογισμικού εποπτείας του δικτύου. Η κύρια διαφορά της με τις υπόλοιπες μεθόδους είναι ότι δεν έχει στατική φύση, αλλά η όποια ρύθμιση βασίζεται σε μετρήσεις που πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο στο δίκτυο στο οποίο εφαρμόζεται.

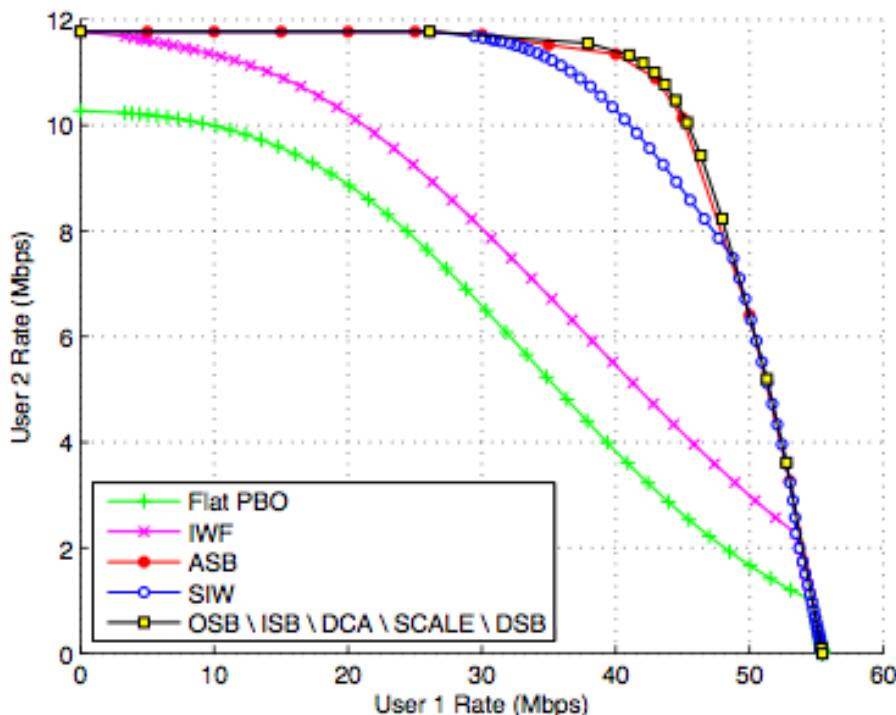
Το DSM μπορεί να χωριστεί σε 4 επίπεδα, ανάλογα με το ποια πληροφορία του δικτύου είναι διαθέσιμη (11):

- ❖ Επίπεδο 0: Στατική και όχι δυναμική διαχείριση φάσματος (π.χ. PSD Shaping, Masking, κ.λπ.).
- ❖ Επίπεδο 1: Λαμβάνονται υπόψη και ελέγχονται ο ρυθμός μετάδοσης και ενδεχομένως η ισχύς και το περιθώριο ισχύος εκπομπής.
- ❖ Επίπεδο 2: Λαμβάνονται υπόψη το φάσμα του σήματος λήψης και του θορύβου και ελέγχεται το φάσμα του σήματος εκπομπής.
- ❖ Επίπεδο 3: Λαμβάνονται υπόψη τόσο τα σήματα όσο και ο θόρυβος εκπομπής και λήψης και ελέγχεται το σήμα εκπομπής (π.χ. Vectoring).

Οι διάφορες τεχνικές υλοποίησης DSM βασίζονται στους εξής επικρατέστερους αλγορίθμους (12):

- Optimal Spectrum Balancing (OSB)
- Iterative Spectrum Balancing (ISB)
- Autonomous Spectrum Balancing (ASB)
- Iterative Water-Filling (IWF),
- Selective Iterative Water-filling (SIW)
- Successive Convex Approximation for Low complexity (SCALE)
- The Difference of Convex functions Algorithm (DCA)
- Distributed Spectrum Balancing (DSB)

Οι αλγόριθμοι αυτοί διαφέρουν τόσο στην επίδοση, όσο και στην πολυπλοκότητα υλοποίησής τους. Έχει αποδειχθεί ότι σε περιβάλλοντα διάδοσης με συμμετρική κατανομή συχνοτήτων για την upstream και downstream ζεύξη, οι αλγόριθμοι DSM επιτυγχάνουν σχεδόν ιδανικά αποτελέσματα. Όμως, η συνήθης περίπτωση ενός δικτύου διανομής χαρακτηρίζεται από ασυμμετρία συχνοτήτων και διαφορετικές ισχύεις έγχυσης. Στο Σχ.3.4.5 πραγματοποιείται σύγκριση των ανωτέρω αλγορίθμων σε περιβάλλον δύο χρηστών. Η προσομοίωση αυτή πραγματοποιήθηκε χωρίς alien-FEXT οπότε οι ρυθμοί μετάδοσης είναι περισσότερο αισιόδοξοι απ'ότι σε ένα πραγματικό δίκτυο. Παρόλα αυτά παρέχεται μια αντιπροσωπευτική σύγκριση της επίδοσης των αλγορίθμων για τεχνολογία VDSL.



Σχήμα 3.4.5 Σύγκριση επίδοσης αλγορίθμων DSM

Η αξιοποίηση του DSM δεν έχει υπάρξει ιδιαίτερα δημοφιλής μεταξύ των παρόχων της ελληνικής αγοράς μέχρι στιγμής. Παρά το ότι υπάρχουν διαθέσιμα συστήματα από διάφορες εταιρείες (π.χ. ASSIA), η ανάγκη των παρόχων δεν δικαιολογούσαν μια τέτοια επένδυση⁵². Επίσης, στατικές μέθοδοι διαχείρισης του φάσματος και της έγχυσης ισχύος όπως το PSD shaping υποστηρίζονται από τους κατασκευαστές εξοπλισμού και αποτελούν ιδιαίτερα αξιόπιστες λύσεις για τον περιορισμό της διαφωνίας για τις υπάρχουσες τεχνολογίες του δικτύου διανομής.

Ωστόσο, η έλευση του VDSL2 συνοδεύτηκε με τον προβληματισμό για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων ρυθμαπόδοσής του. Οι προηγούμενες τεχνολογίες ακόμη και χωρίς καμία διαχείριση φάσματος απέδιδαν στο μέγιστο. Όμως η φασματική φύση του VDSL2 πέραν της παρεμβολής που δημιουργεί στις υπόλοιπες τεχνολογίες, επιφέρει και έντονο περιορισμό γειτονικών σημάτων όμοιας τεχνολογίας. Η συνύπαρξη δηλαδή VDSL2 γραμμών στο ίδιο καλώδιο μειώνει δραματικά την επίδοσή τους.

Η εξέλιξη αυτή είναι που καθιστά απαραίτητη τη χρήση μιας περισσότερο εξελιγμένης τεχνικής διαχείρισης φάσματος. Αυτή την ανάγκη έρχεται να καλύψει ο αλγόριθμος του Vectoring που αποτελεί τεχνική DSM level 3. Μέσω αυτού επιτυγχάνεται σχεδόν πλήρης περιορισμός των επιπτώσεων της διαφωνίας και οι ρυθμοί μετάδοσης φθάνουν τους ονομαστικούς.

3.4.2.2 Χρήση Breakpoints

Η χρήση των Breakpoints συνιστά την πιο απλή μέθοδο καθορισμού της μάσκας εκπομπής. Μέσω του λογισμικού διαχείρισης του DSLAM καθορίζεται το εύρος συχνοτήτων και η ισχύς έγχυσης σε κάθε συχνότητα.

Η απλότητα της υλοποίησής του είναι αυτή που ευθύνεται για τη μειωμένη του απόδοση σε σχέση με το DPBO. Για τις ανάγκες του Σχεδίου Διαχείρισης Φάσματος θα ήταν υπερβολικά ανακριβές να καθορισθεί μια μάσκα εκπομπής για κάθε ηλεκτρικό μήκος, διότι δεν υπάρχει κάποιος καθορισμένος αλγόριθμος εξαγωγής της όπως στην περίπτωση του DPBO.

Η αξιοποίηση της μεθόδου είναι δόκιμη μόνο σε μεμονωμένες περιπτώσεις επίλυσης προβλημάτων και όχι σαν τεχνική συνολικής διαχείρισης της εγχεόμενης ισχύος.

⁵² Η πλειονότητα των παρόχων ενδιαφέρεται περισσότερο για συστήματα παραμετροποίησης των γραμμών μέσω DLM

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

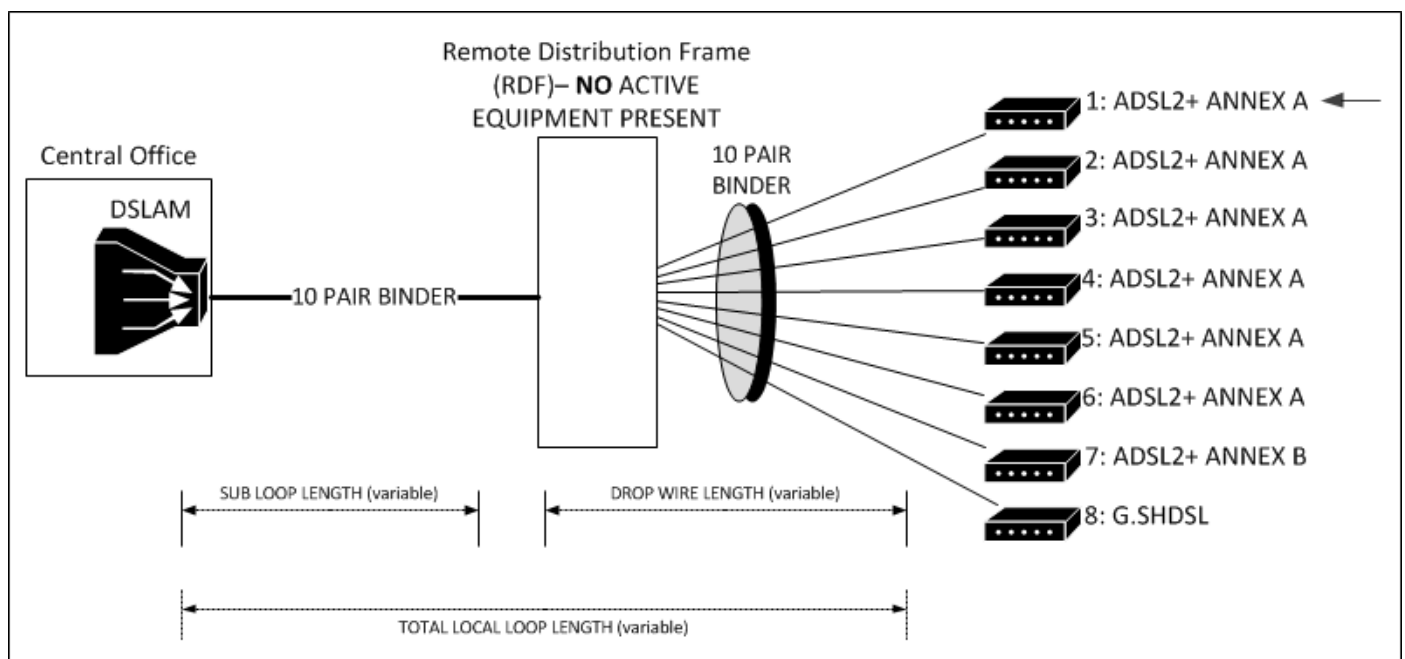
4.1 Σενάριο 1: Έγχυση σημάτων VDSL2 στο ΑΚ και το ΚV

Μέσω της λεπτομερούς διαστασιολόγησης του προβλήματος της παραγράφου 3.1 καθορίστηκαν οι παράμετροι του Σεναρίου 1 των πειραματικών (εργαστηριακών) δοκιμών. Το μεγάλο πλήθος των υπό μελέτη παραμέτρων και συνδυασμών αυτών ανέδειξε πολλές διαφοροποιημένες παραλλαγές των περιπτώσεων που πρέπει να μελετηθούν.

Ως εκ τούτου προέκυψε ένα σύνολο υποσεναρίων που, όλα μαζί, συνθέτουν το Σενάριο 1. Βασικός στόχος τους είναι να διερευνηθεί πλήρως η επιρροή της διαφωνίας στην επίδοση των ADSL2+ και VDSL2 τεχνολογιών που μοιράζονται το περιβάλλον διάδοσης του δικτύου διανομής. Τα διάφορα υποσενάρια δημιουργήθηκαν βάσει του ποσοστού διείσδυσης της τεχνολογίας VDSL2, του σημείου έγχυσης αυτής και τέλους του βαθμού προστασίας που χρησιμοποιείται.

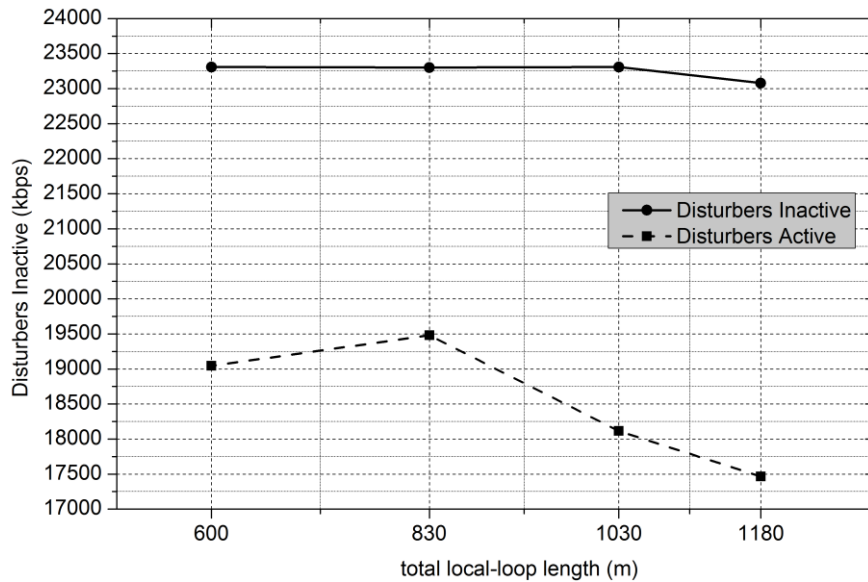
4.1.1 Τρέχουσα κατάσταση του δικτύου

Αρχικά, μελετήθηκε η τρέχουσα κατάσταση του τοπικού βρόχου. Όλες οι τεχνολογίες είχαν ως κοινό σημείο έγχυσης το ΑΚ, χωρίς την ύπαρξη γραμμών VDSL2. Ο σκοπός του Σεναρίου ήταν να μελετηθεί η επίδραση της διαφωνίας σε μια γραμμή ADSL2+, υπό την παρουσία τεχνολογιών που μοιράζονται το ίδιο φασματικό περιεχόμενο. Η αρχιτεκτονική της πειραματικής διάταξης δίνεται στο Σχ.4.1.1.

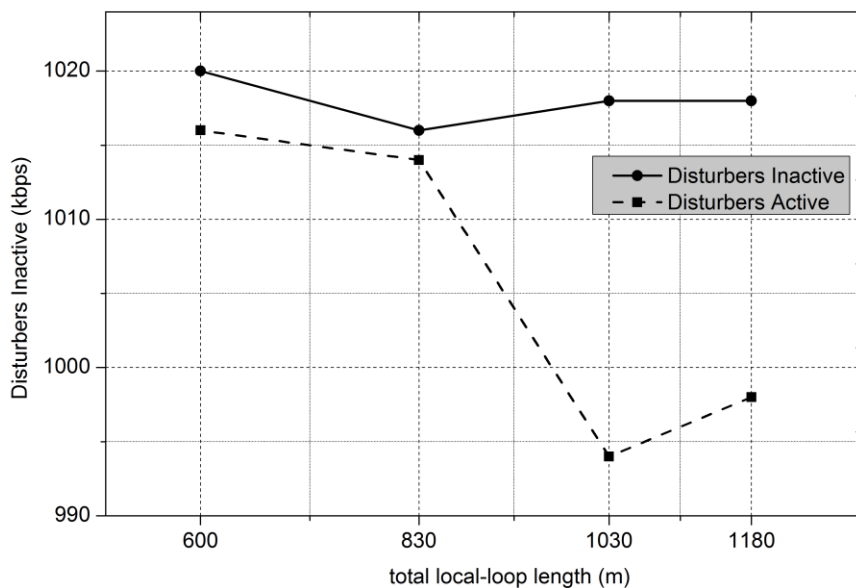


Σχήμα 4.1.1 Αρχιτεκτονική Σεναρίου 1 – Υποσενάριο 1 (Τρέχουσα κατάσταση)

Όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη παράγραφο, μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τέσσερις συνδυασμούς μηκών κύριου και απερχόμενου δικτύου. Οι μετρήσεις των ρυθμών μετάδοσης για την downstream και την upstream ζεύξη της μετρούμενης ADSL2+ γραμμής δίνονται στα Σχ.4.1.2 και 4.1.3 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.1.2 Ρυθμός μετάδοσης downstream ζεύξης



Σχήμα 4.1.3 Ρυθμός μετάδοσης upstream ζεύξης

Από τα ανωτέρω γραφήματα προκύπτει ότι η αύξηση του μήκους από μόνη της δεν επηρεάζει σημαντικά την απόδοση του ADSL2+, για το εύρος μηκών της συγκεκριμένης μέτρησης. Ωστόσο, με την αύξηση των πηγών διαφωνίας παρατηρείται σημαντική μείωση του ρυθμού μετάδοσης. Ιδιαίτερα σε αποστάσεις τοπικού βρόχου άνω του ενός χιλιομέτρου, όπου οι υψηλές συχνότητες εξασθενούν γρηγορότερα η επίδραση της διαφωνίας είναι πολύ υψηλότερη. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η διαφωνία επηρεάζει περισσότερο τη downstream φασματική ζώνη του σήματος, η οποία καταλαμβάνει υψηλότερες συχνότητες.

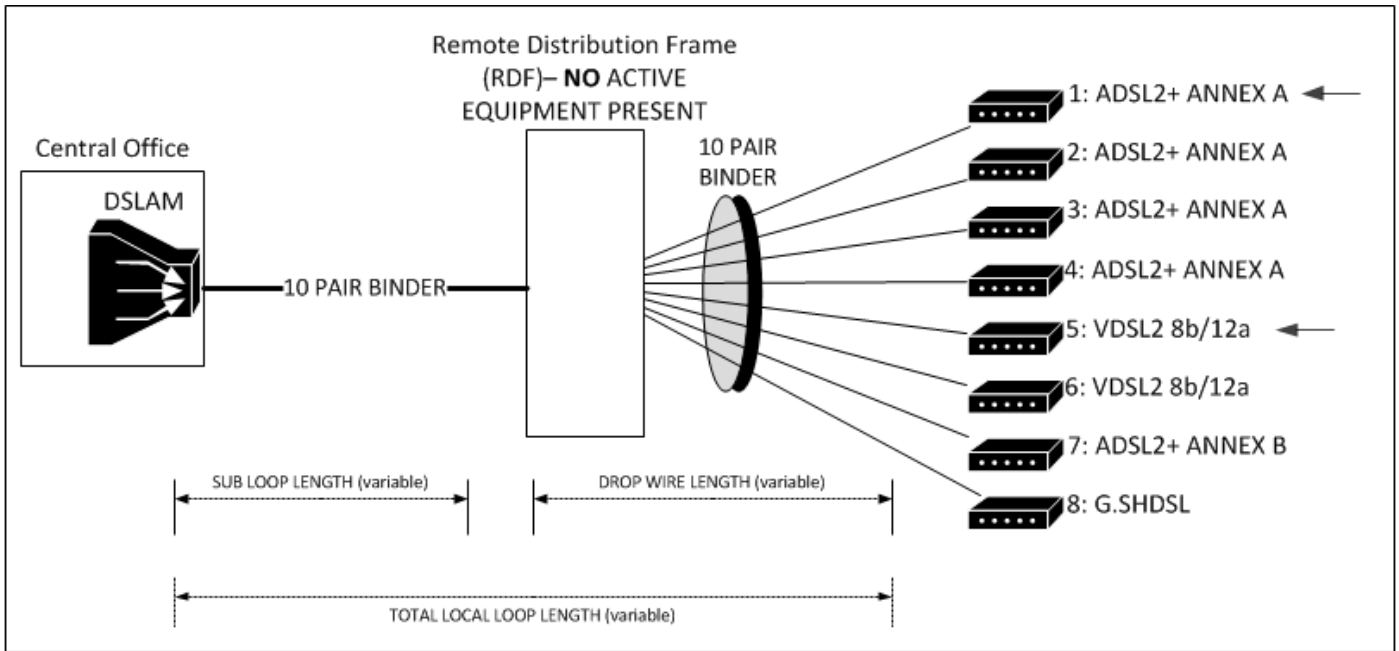
Βάσει των μετρήσεων, η σχετιζόμενη με τη διαφωνία μείωση του ρυθμού μετάδοσης είναι -24.33% για τη downstream ζεύξη και -2.36% για την upstream ζεύξη.

4.1.2 Έγχυση VDSL2 από το ΑΚ

Το υποσενάριο αυτό ακολουθεί μια λογική εκδοχή αναβάθμισης του υπάρχοντος δικτύου, διότι έχει θεωρηθεί ότι περίπου 29% των υπάρχοντων ADSL2+ γραμμών θα αντικατασταθούν από γραμμές VDSL2. Κατ'αναλογία 2 από τις γραμμές ADSL2+ της πειραματικής διάταξης αντικαταστάθηκαν από VDSL2 γραμμές, όπως φαίνεται και στο Σχ.4.1.4 που αποτυπώνει την αρχιτεκτονική του υποσεναρίου. Επίσης, το υποσενάριο αυτό εξυπηρετεί το διαχωρισμό της επίδρασης που επιφέρει η ύπαρξη του VDSL2 αυτή καθαυτή, από αυτή που επιφέρει η έγχυσή της στα διάφορα σημεία του δικτύου. Και σε αυτή την περίπτωση το ποσοστό πλήρωσης του καλωδίου παρέμεινε σταθερό (80%), ενώ για να επιτευχθεί εκτίμηση της χειρότερης δυνατής κατάστασης επιλέχθηκε η έγχυση τεχνολογίας VDSL2 σε γειτονικά καλωδιακά ζεύγη.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σκοπός της μελέτης είναι να διερευνηθεί κάθε πιθανή εναλλακτική ενός NGA δικτύου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις τόσο για γραμμές με κατατομή 8b, όσο και για γραμμές με κατατομή 12a. Για

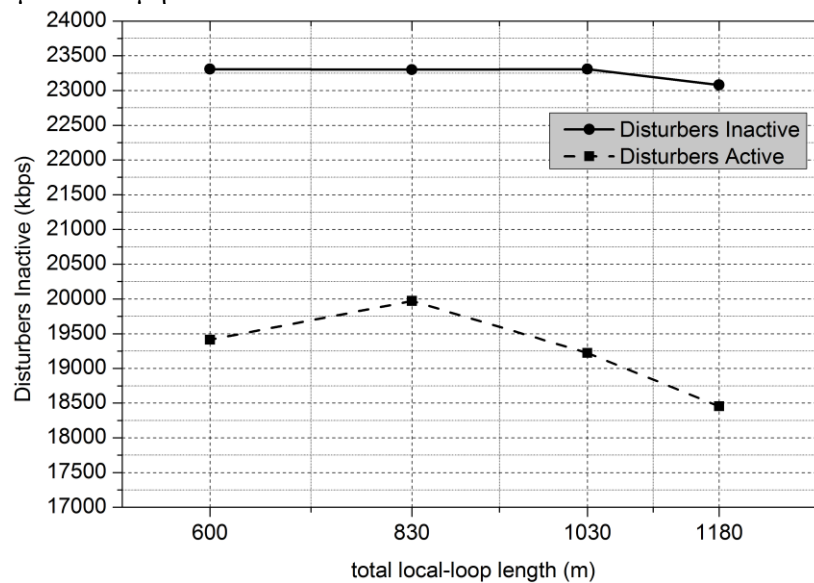
κάθε ομάδα μετρήσεων οι δύο γραμμές VDSL2 παραμετροποιούνται με την ίδια κατατομή ώστε να υπάρξει η χειρότερη δυνατή τηλεδιαφωνία μεταξύ γραμμών κοινής τεχνολογίας.



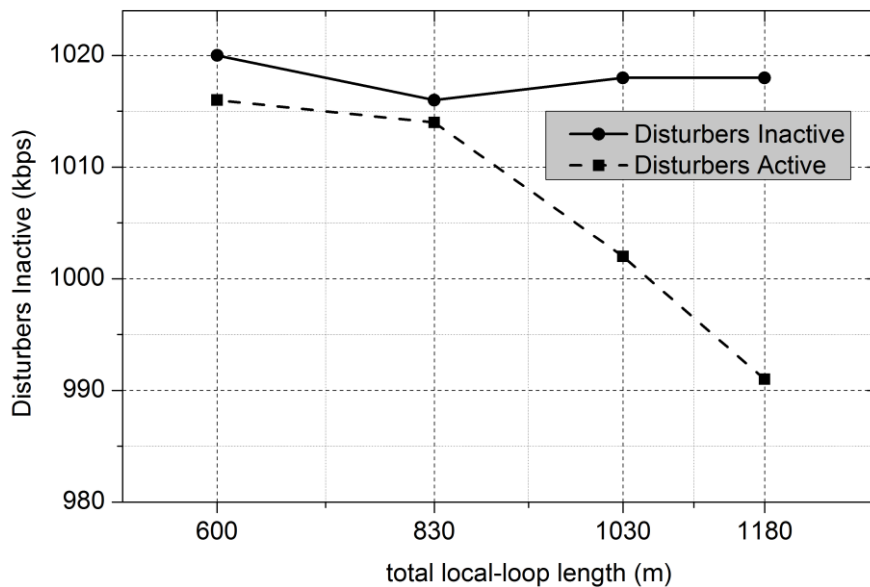
Σχήμα 4.1.4 Αρχιτεκτονική Σεναρίου 1 – Υποσενάριο 2 (VDSL2 στο AK)

Στόχος του υποσεναρίου είναι να αξιολογηθεί τόσο η επίδραση του VDSL2 στο ADSL2+, όσο και το αντίστροφο.

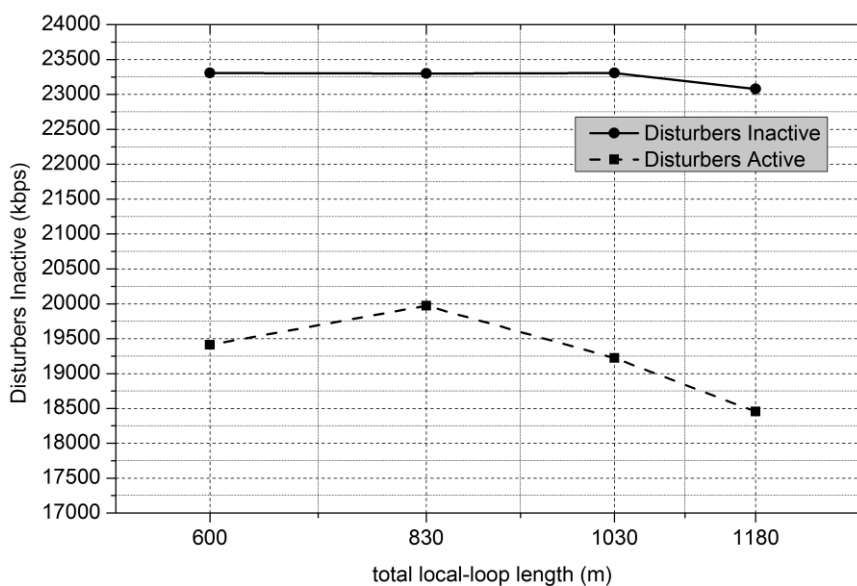
Οι μετρήσεις της επίδοσης του ADSL2+ για γραμμές VDSL2 με κατατομή 8b δίνονται στα Σχ.4.1.5 και 4.1.6 για τη downstream και την upstream ζεύξη αντίστοιχα. Στα Σχ.4.1.7 και 4.1.8 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες μετρήσεις για παρεμβολείς VDSL2 με κατατομή 12a.



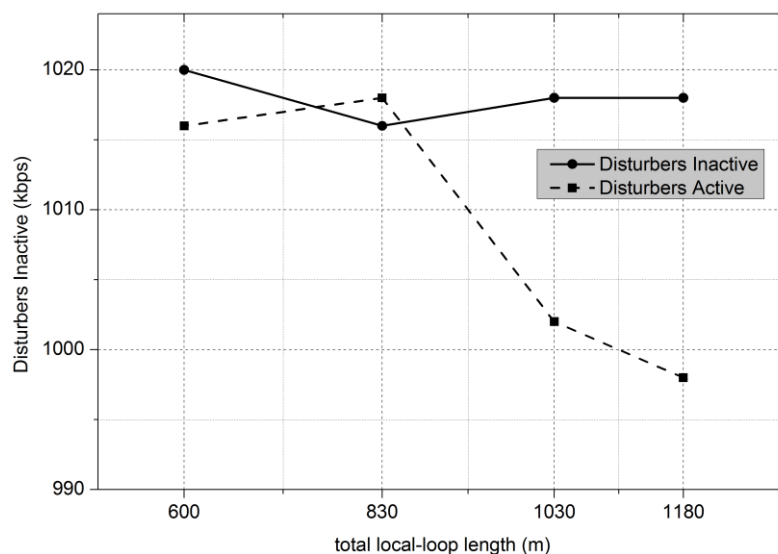
Σχήμα 4.1.5 Ρυθμός μετάδοσης downstream ζεύξης ADSL2+ - Παρεμβολείς VDSL2 8b



Σχήμα 4.1.6 Ρυθμός μετάδοσης upstream ζεύξης ADSL2+ - Παρεμβολείς VDSL2 8b



Σχήμα 4.1.7 Ρυθμός μετάδοσης downstream ζεύξης ADSL2+ - Παρεμβολείς VDSL2 12a

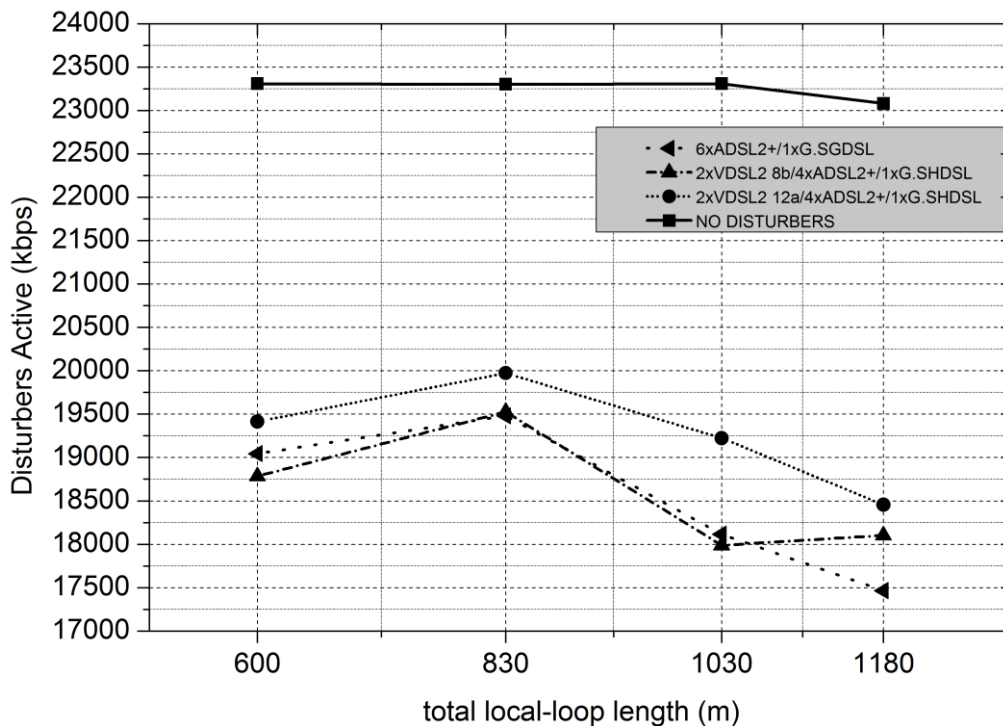


Σχήμα 4.1.8 Ρυθμός μετάδοσης upstream ζεύξης ADSL2+ - Παρεμβολείς VDSL2 12a

Η κατατομή 8b της τεχνολογίας VDSL2 αξιοποιεί περίπου τετραπλάσιο συχνοτικό εύρος σε σχέση με το ADSL2+ για τη downstream ζεύξη, εκπέμποντας με την ίδια ισχύ. Επομένως, η ίδια ισχύς κατανέμεται σε μεγαλύτερο

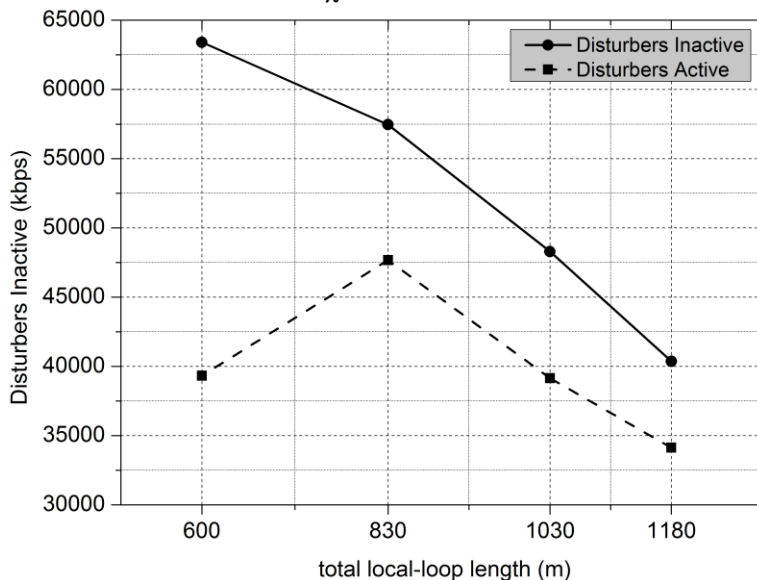
εύρος ζώνης. Η κατατομή 12a χρησιμοποιεί και αυτό το ίδιο συχνοτικό εύρος, αλλά η ισχύς εκπομπής του είναι χαμηλότερη κατά 5.5dBm, φθάνοντας στα 14.5dBm.

Ως αποτέλεσμα, όπως φαίνεται στο Σχ.4.1.9, η αντικατάσταση δύο γραμμών ADSL2+ από δύο γραμμές VDSL2 δεν επιφέρει επιπλέον υποβάθμιση του σήματος ADSL2+ λόγω παραδιαφωνίας. Αντιθέτως, σε μεγαλύτερα μήκη παρατηρείται βελτίωση των επιτεύξιμων ρυθμών μετάδοσης διότι η συνολική ισχύς του VDSL2 μειώνεται λόγω της εξασθένησης των υψηλών συχνοτήτων. Ειδικότερα, η ύπαρξη παρεμβάλλοντων γραμμών με κατατομή 12a οδηγεί σε συνολική βελτίωση των ρυθμών μετάδοσης της downstream ζεύξης⁵³ κατά 4.06% κατά μέσο όρο για όλα τα μήκη, σε σχέση με την ύπαρξη γραμμών ADSL2+.



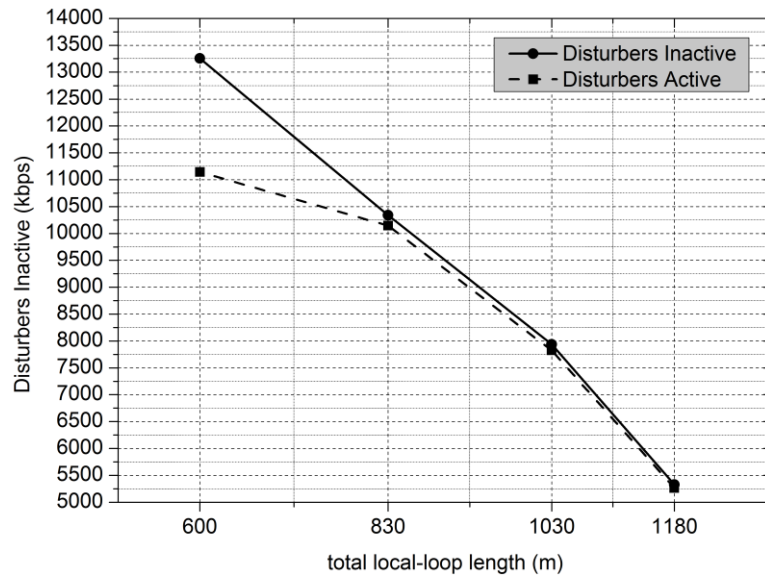
Σχήμα 4.1.9 Σύγκριση των ρυθμών μετάδοσης της downstream ζεύξης του ADSL2+ για διαφοροποιημένους πληθυσμούς παρεμβολέων

Οι ρυθμοί μετάδοσης για το VDSL2 8b δίνονται στα Σχ.4.1.10 και 4.1.11 και του VDSL2 12a στα Σχ. 4.1.12 και 4.1.13.

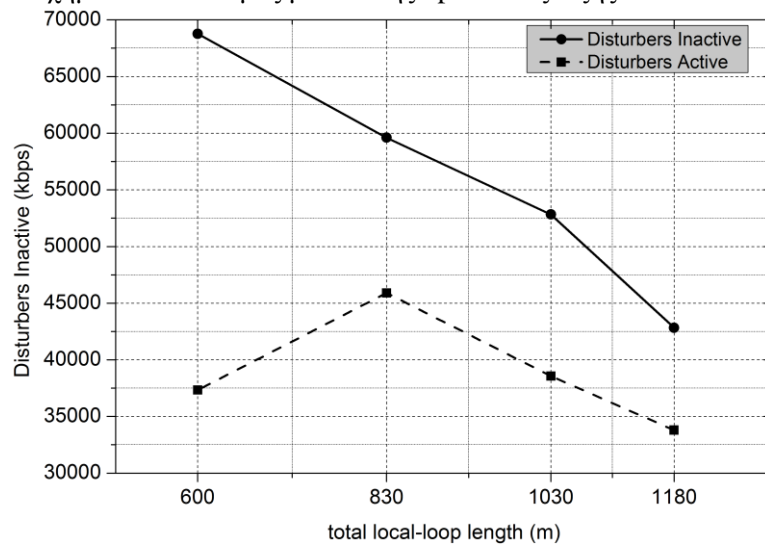


Σχήμα 4.1.10 Ρυθμός μετάδοσης downstream ζεύξης VDSL2 8b

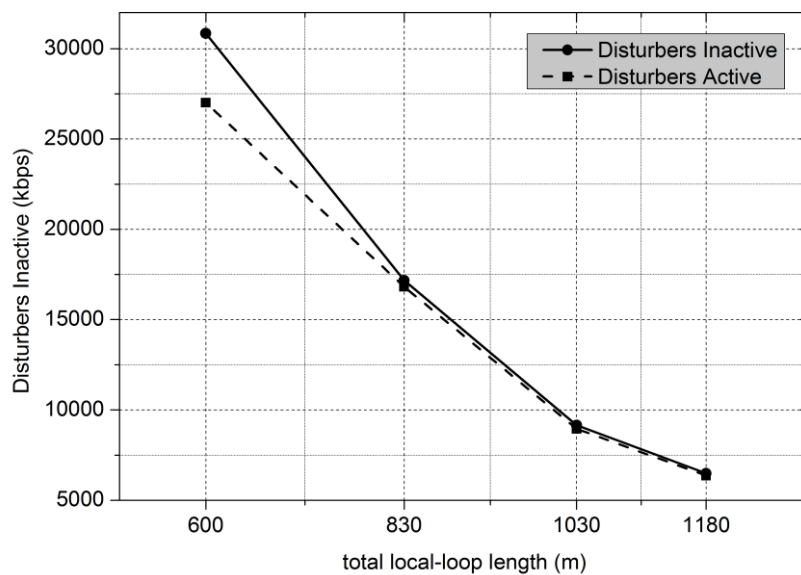
⁵³ Οι επιδόσεις της upstream ζεύξης του ADSL2+ είναι πανομοιότυπες με το προηγούμενο υποσενάριο και για αυτό το λόγο δεν παρουσιάζονται ξανά.



Σχήμα 4.1.11 Ρυθμός μετάδοσης upstream ζεύξης VDSL2 8b



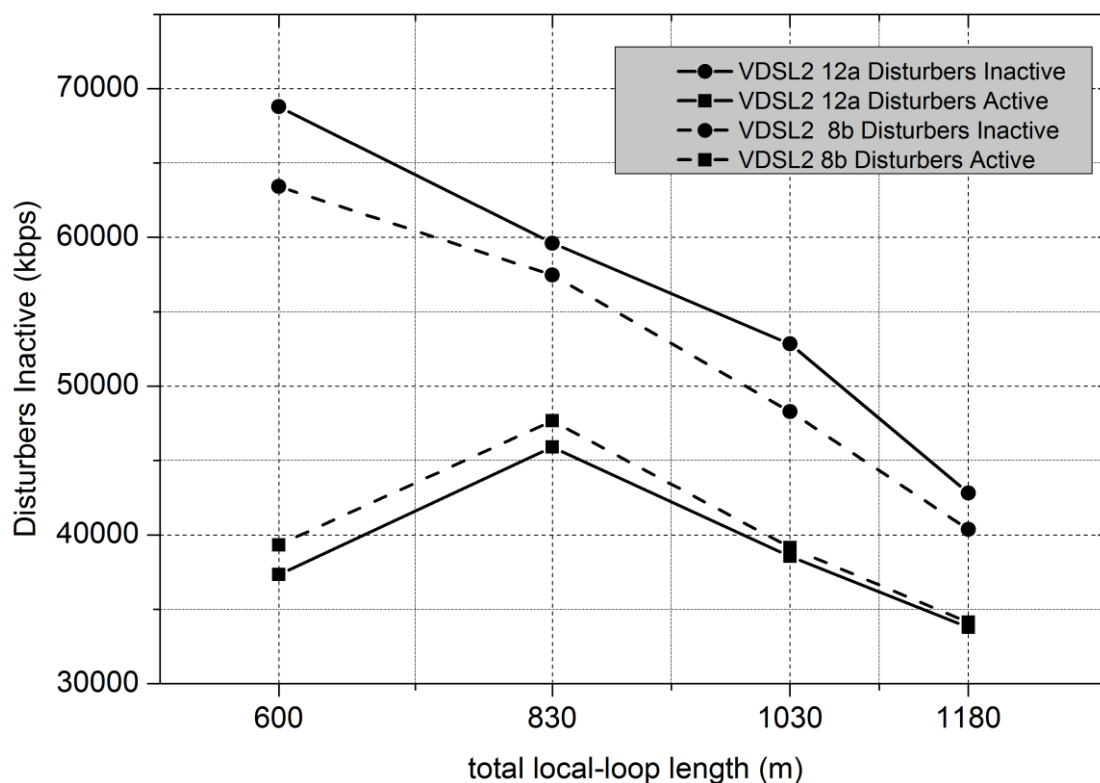
Σχήμα 4.1.12 Ρυθμός μετάδοσης downstream ζεύξης VDSL2 12a



Σχήμα 4.1.13 Ρυθμός μετάδοσης upstream ζεύξης VDSL2 12a

Στο Σχ.4.1.14 πραγματοποιείται σύγκριση των ρυθμών μετάδοσης της downstream ζεύξης για τις δύο κατατομές του VDSL2 που μελετώνται. Η σύγκριση αυτή, παρά το ότι φαίνεται αρχικά περιττή σε σχέση με το αντικείμενο της μελέτης, είναι πολύ ουσιαστική καθώς δίνει απαντά στο σύνηθες δίλημμα που αντιμετωπίζουν οι πάροχοι της κατάλληλης επιλογής VDSL2 κατατομής για παροχή υπηρεσίας από το ΑΚ. Οι βασικές παράμετροι που

καθορίζουν την επιλογή είναι η επίτευξη ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και η μέγιστη γεωγραφική κάλυψη (effective reach). Είναι αναμενόμενο η upstream ζεύξη του 12a να χαρακτηρίζεται από καλύτερη επίδοση σε σχέση με αυτή του 8b, διότι αξιοποιεί διπλάσιο αριθμό συχνοτήτων. Αυτό που χρήζει διερεύνησης είναι η επίδοση της downstream ζεύξης υπό συνθήκες παρεμβολής δεδομένου του διαφορετικού φάσματος των δύο κατατομών στη ζώνη αυτή.



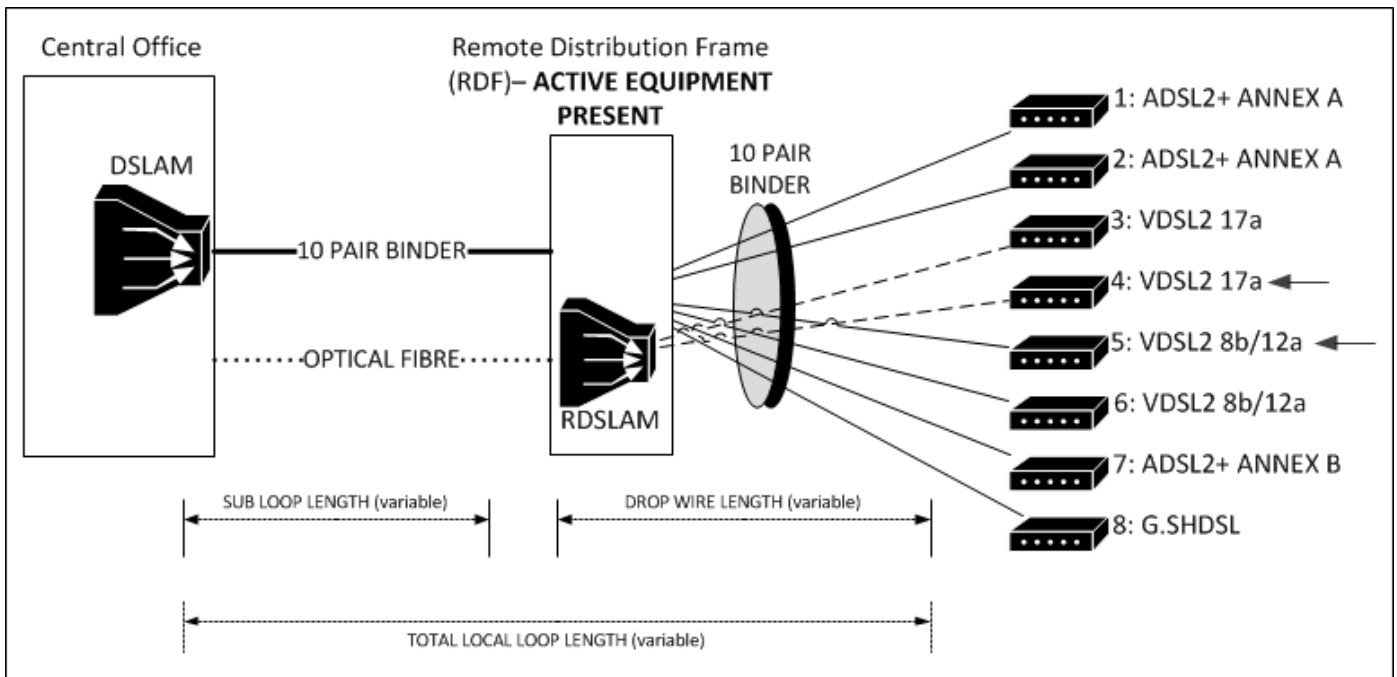
Σχήμα 4.1.14 Σύγκριση ρυθμών μετάδοσης downstream ζεύξης για κατατομή VDSL2 8b και 12a με και χωρίς παρεμβολή

Στην περίπτωση του ADSL2+ απεδείχθη ότι η αξιοποίηση μεγαλύτερου εύρους συχνοτήτων οδηγεί σε μικρότερη διαφωνία μεταξύ γραμμών διαφορετικών τεχνολογιών και επομένως καλύτερη ρυθμαπόδοση. Από το Σχ.3.25 αποδεικνύεται ότι ισχύουν ακριβώς τα ίδια και για την παραδιαφωνία μεταξύ γραμμών ίδιας τεχνολογίας. Επομένως, κρίνοντας με γνώμονα την επίτευξη ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, η παροχή VDSL2 από το ΑΚ πρέπει να πραγματοποιείται με χρήση της κατατομής 12a. Έτσι εξασφαλίζεται η λιγότερη δυνατή διαφωνία τόσο προς τις υπόλοιπες γραμμές VDSL2, όσο και προς τις γραμμές ADSL2+. Αξιολογώντας την μέγιστη γεωγραφική κάλυψη που προσφέρουν τις δύο κατατομές παρατηρούμε ότι ακολουθούν την ίδια ακριβώς συμπεριφορά σε σχέση με την αύξηση του καλωδιακού μήκους του τοπικού βρόχου. Οπότε, εφόσον το 12a προσφέρει καλύτερη ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα χωρίς ταυτόχρονα να θυσιάζει τη μέγιστη γεωγραφική κάλυψη φαίνεται ότι αποτελεί την πλέον κατάλληλη επιλογή για έγχυση VDSL2 από το ΑΚ.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι, βάσει των φασματικών του χαρακτηριστικών της κατατομής 17a δύναται να προσφέρει ακόμη υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης για μικρά μήκη βρόχου, καθώς και σαφέστατα μικρότερη παραδιαφωνία στις γειτονικές γραμμές. Ωστόσο, το γεγονός ότι αξιοποιεί ακόμη υψηλότερες συχνότητες από τα 8b και 12a το καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτο σε φαινόμενα εξασθένησης λόγω διάδοσης. Τελικώς, άπτεται στην κρίση κάθε παρόχου να αξιολογήσει το trade-off μεταξύ γεωγραφικής κάλυψης, ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και ρυθμών μετάδοσης που προσφέρει κάθε κατατομή του VDSL2 και να επιλέξει την περισσότερο κατάλληλη βάσει του πλάνου που υιοθετεί για την ανάπτυξη του δικτύου του.

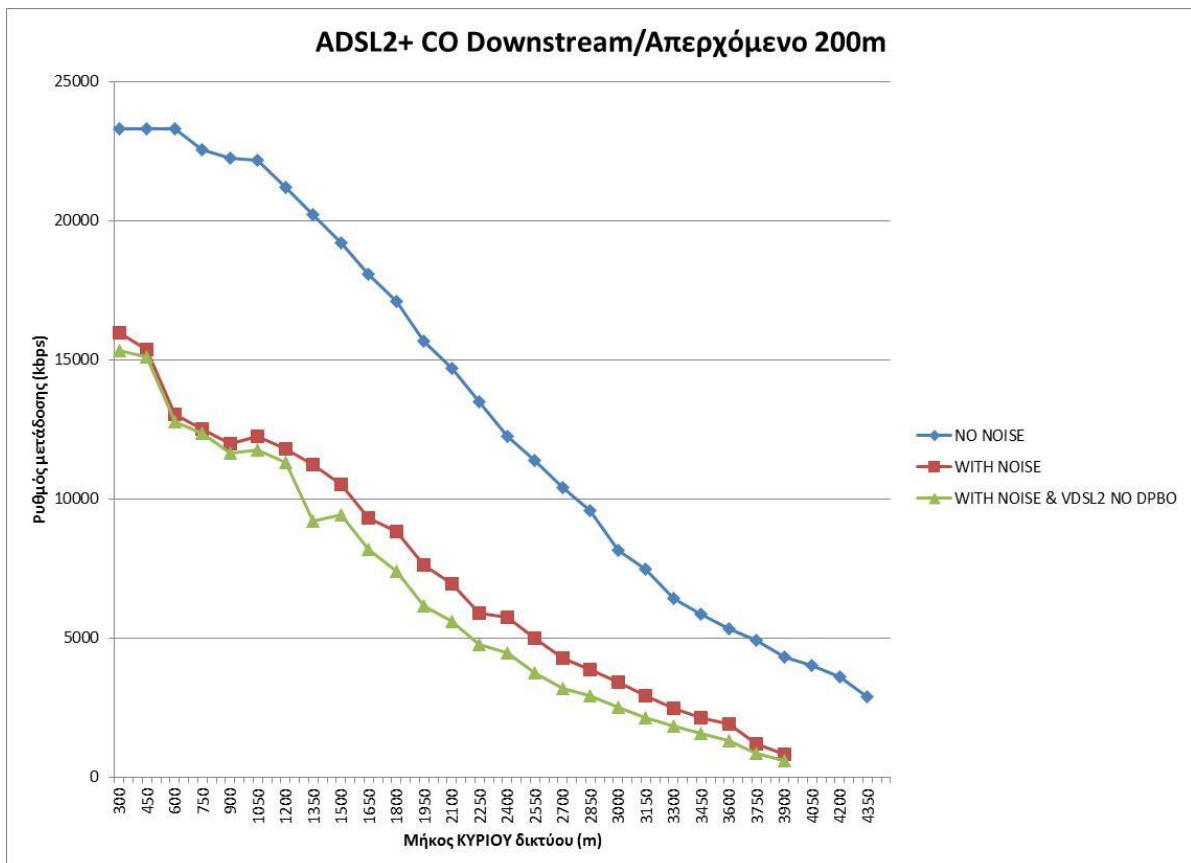
4.1.3 Έγχυση VDSL2 από ΑΚ και από ΚV

Ο σκοπός αυτής της σειράς μετρήσεων είναι να προσδιορισθούν επακριβώς οι επιπτώσεις της έγχυσης VDSL2 από το ΑΚ σε συνδυασμό με την έγχυση VDSL2 από το ΚV στις γραμμές VDSL2. Η αρχιτεκτονική που περιγράφεται αποτελεί μια πολύ πιθανή εξέλιξη της κατάστασης στο δίκτυο πρόσβασης. Ήδη, πάροχοι της ελληνικής αγοράς παρέχουν υπηρεσία VDSL2 από το ΑΚ, ενώ σύντομα θα υπάρξει και έγχυση VDSL2 από το ΚV. Ταυτόχρονα δε, μελετώνται σενάρια μεταφοράς πελατών από το ΑΚ στο ΚV έτσι ώστε να αποσυμφορηθεί ένα μέρος του δικτύου. Η αρχιτεκτονική του υποσεναρίου δίνεται στο Σχ.4.1.15.

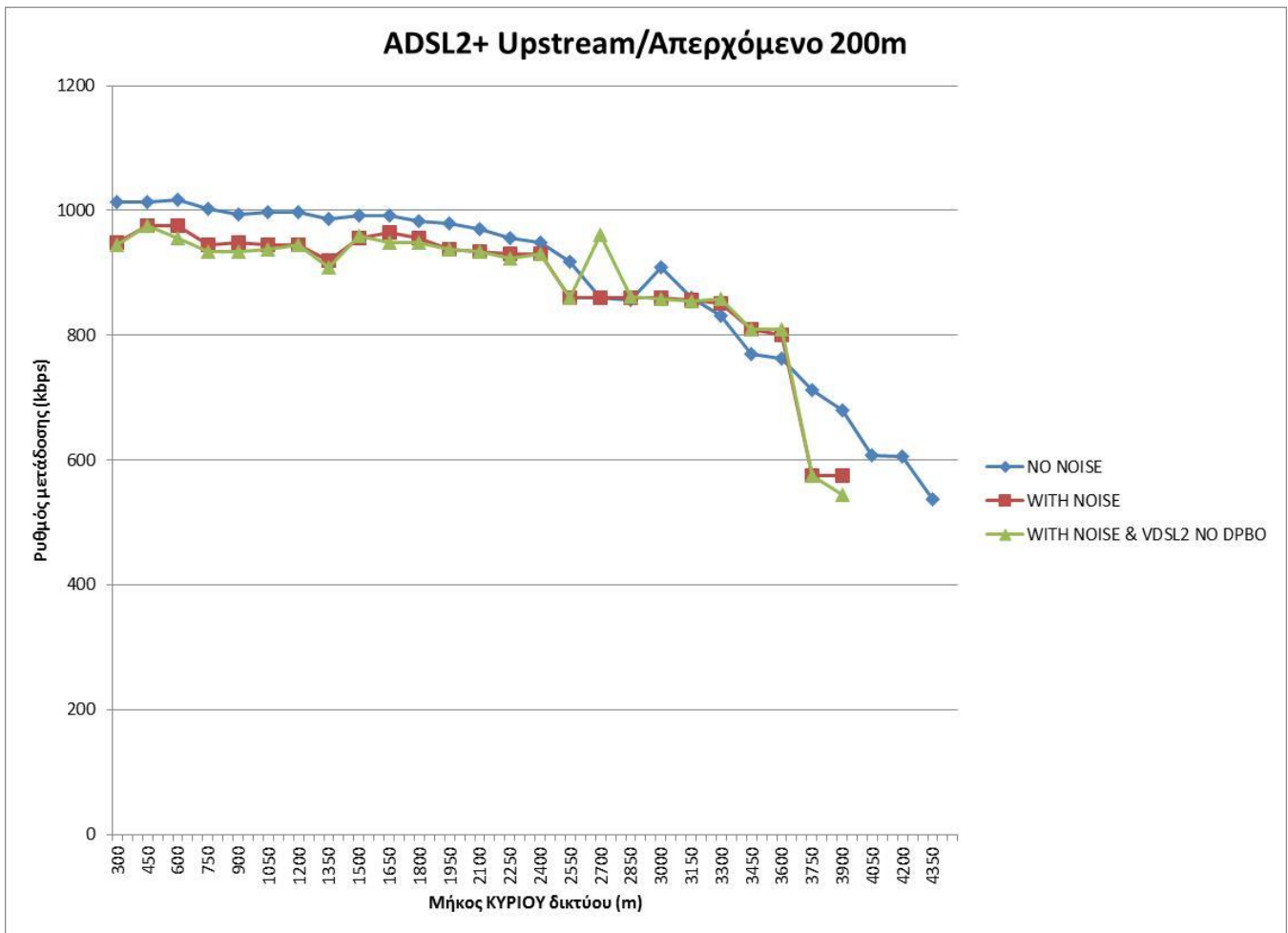


Σχήμα 4.1.15 Αρχιτεκτονική Σεναρίου 1 – Υποσενάριο 3 (VDSL2 από AK και από KV)

Η αναλυτική παρουσίαση των μετρήσεων της επίδοσης του ADSL2+ κρίθηκε περιττή λόγω του συνδυασμού των φασματικών χαρακτηριστικών του VDSL2 17a και το υπό μελέτη μήκων τοπικού βρόχου. Η κατατομή 17a του VDSL2 αξιοποιεί πολύ μεγαλύτερο φάσμα από αυτό του ADSL2+ με πολύ χαμηλότερη συνολική ισχύ εκπομπής. Λαμβάνοντας υπόψη συμπεριφορά του ADSL2+ στα συγκεκριμένα μήκη βρόχου εξάγεται το συμπέρασμα ότι στο σημείο όπου το ADSL2+ συναντά το VDSL2 17a δεν θα έχει εξασθενήσει αρκετά έτσι ώστε να υποστεί περαιτέρω υποβάθμιση της επίδοσής του. Οι ανωτέρω εκτιμήσεις επιβεβαιώνονται από τα Σχ.4.1.16 & 4.1.17 που ακολουθούν, όπου είναι εμφανές ότι η εισαγωγή σημάτων VDSL2 στο KV ακόμα και χωρίς DPBO έχει αμελητέα επίδραση στο ADSL2+ του AK. Επιπλέον, οι μετρήσεις αποδεικνύουν ότι ακόμα και με την εφαρμογή DPBO η βελτίωση του ADSL2+ του AK είναι πάρα πολύ μικρή.



Σχήμα 4.1.16 Επίδραση έγχυσης σημάτων VDSL2 στο KV στην κατερχόμενη ζεύξη του ADSL2+ του AK



Σχήμα 4.1.17 Επίδραση έγχυσης σημάτων VDSL2 στο KV στην ανερχόμενη ζεύξη του ADSL2+ του AK

Αντιθέτως, οι κατατομές 8b και 12a του VDSL2 λόγω του ότι το φάσμα τους περιέχει ιδιαίτερα υψηλές συχνότητες εξασθενούν αρκετά στα συγκεκριμένα μήκη (βλ. Παρ.4.1.2) και έτσι καθίσταται ευάλωτες σε παραδιαφωνία προκαλούμενη από τεχνολογίες με παρόμοιο φάσμα. Όπως αποδείχθηκε άλλωστε προηγουμένως η βασική αιτία περιορισμού της επίδοσης του ADSL2+ δεν είναι η εξασθένηση λόγω διάδοσης αλλά λόγω της παραδιαφωνίας λόγω των υπολοίπων γραμμών (όμοιας ή διαφορετικής τεχνολογίας).

Οι συνδυασμοί εγγεόμενων τεχνολογιών που μετρήθηκαν δίνονται στον Πίν.4.1.1.

Πίνακας 4.1.1: Συνδυασμοί εγγεόμενων κατατομών VDSL2

Κατατομές VDSL2 στο AK	Κατατομές VDSL2 στο KV
8b	17a 998ADE-M2x-A with US0
8b	17a 998ADE-M2x-A without US0
12a	17a 998ADE-M2x-A with US0
12a	17a 998ADE-M2x-A without US0
8b	17a 998ADE-M2x-B with US0
8b	17a 998ADE-M2x-B without US0
12a	17a 998ADE-M2x-B with US0
12a	17a 998ADE-M2x-B without US0

Το τρέχον υποσενάριο αποτελείται από τρία μέρη, ανάλογα με τη διαχείριση φάσματος και εγγεόμενης ισχύος (DPBO) που πραγματοποιείται και περιλαμβάνει περισσότερες από 140 διαφορετικές μετρήσεις. Αρχικά, θα μελετηθούν οι επιδόσεις των τεχνολογιών χωρίς τη χρήση DPBO. Μέσω αυτών των μετρήσεων προσδιορίζεται η επίδραση της διαφωνίας και τίθεται το σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση της επίδοσης του DPBO. Έπειτα θα επαναληφθούν οι μετρήσεις χρησιμοποιώντας DPBO στις γραμμές με απομακρυσμένη έγχυση μέχρι τα 2.2MHz (ADSL2+ protection). Το τελευταίο μέρος των μετρήσεων αφορά εφαρμογή DPBO στις γραμμές του KV μέχρι τα 3.75MHz (VDSL2 DS1 protection). Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο τελευταίων μερών θα αναδειξεί το trade-

off μεταξύ προστασίας και περιορισμού ρυθμού μετάδοσης. Η αιτία διερεύνησης DPBO μέχρι τα 2.2MHz είναι ότι σε αυτή την περίπτωση το εγγεόμενο από το KV σήμα υπόκειται στο μικρότερο δυνατό περιορισμό ισχύος, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζεται πλήρης φασματική συμβατότητα με το ADSL2+ του AK. Έτσι είναι αρκετά ενδιαφέρον να εξετασθεί κατά πόσον αυτή η παραμετροποίηση οδηγεί σε αποδεκτή προστασία των σημάτων VDSL2 του AK.

Στις μετρήσεις που συνθέτουν το υποσενάριο αυτό η περισσότερο κρίσιμη παράμετρος είναι η μεταβλητότητα του μήκους του δικτύου διανομής. Η μεταβολή του μήκους του κύριου δικτύου, για απερχόμενο δίκτυο σταθερού μήκους, είναι αυτό που καθορίζει την εξασθένηση των γραμμών του AK και επομένως την δριμύτητα της διαφωνίας που προκαλούν οι απομακρυσμένα εγγεόμενες τεχνολογίες. Από την άλλη, η μεταβολή του μήκους του απερχόμενου δικτύου για κύριο δίκτυο σταθερού μήκους προσφέρει την επίδραση που έχει η εφαρμογή του DPBO στη γεωγραφική κάλυψη των τεχνολογιών που εγγέονται από το KV. Επίσης, η διαφορά αυτή συνεπάγεται και διαφοροποίηση του κοινού μήκους διάδοσης για τα σήματα AK και KV, οδηγώντας σε διαφορετική αλληλεπίδραση των δύο σημάτων.

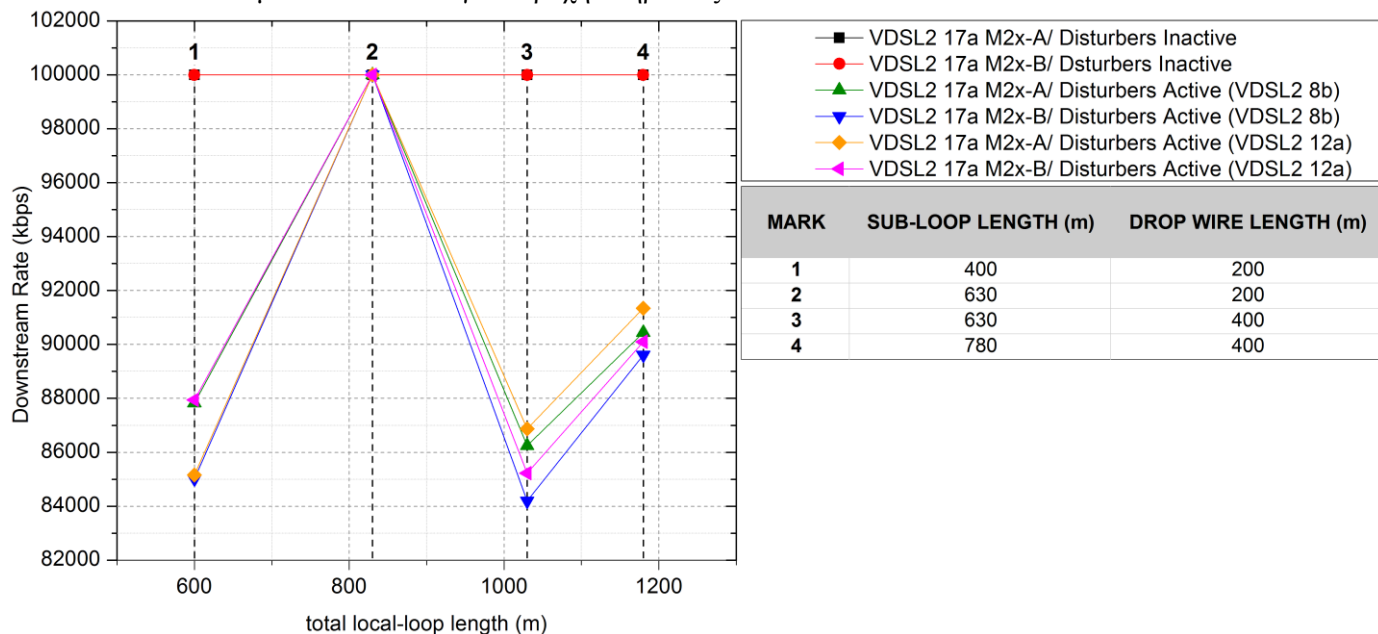
Η ανωτέρω ανάλυση παρέχει μια αξιόπιστη εκτίμηση της απόδοσης του DPBO προσφέροντας όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την ενδελεχή κατάρτιση ενός πλήρους Σ.Δ.Φ μέσω διεξοδικών μετρήσεων που περιγράφονται στο Σενάριο 2.

4.1.3.1 Απουσία DPBO

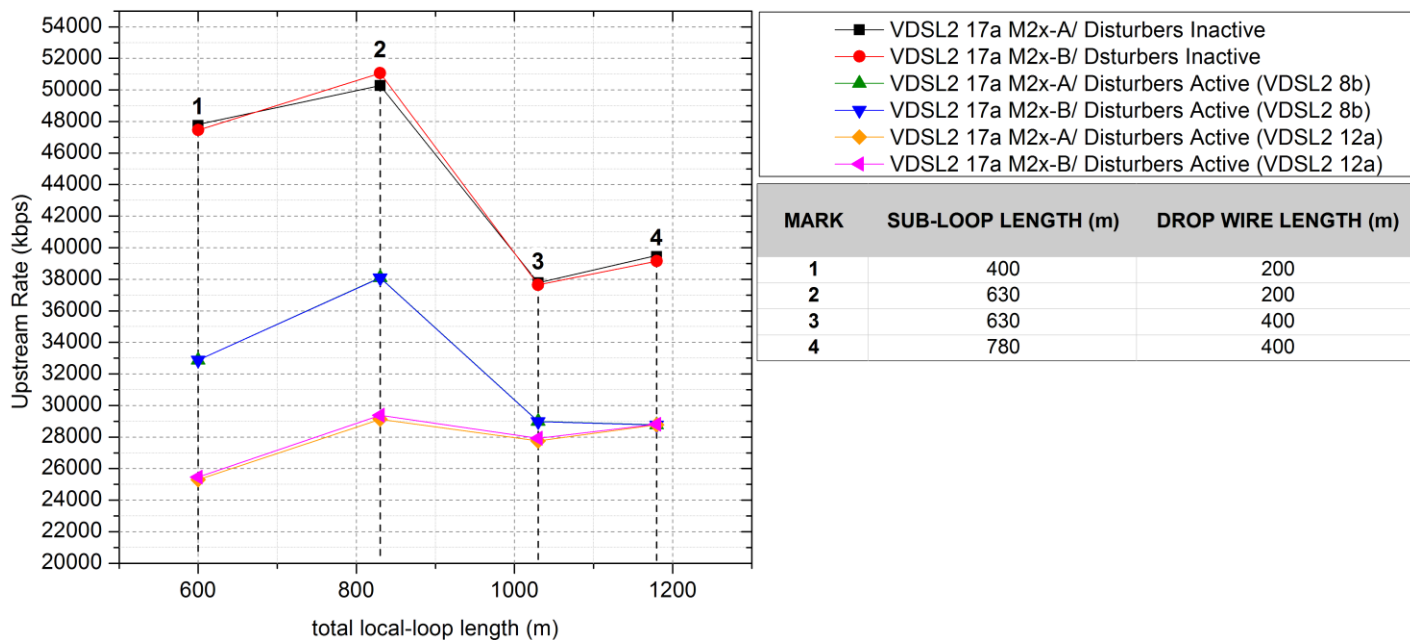
Σε αυτή την περίπτωση δεν επιδιώκεται ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα και ως εκ τούτου δεν εφαρμόζεται η τεχνική διαχείρισης της εγγεόμενης ισχύος downstream ζεύξης DPBO. Ουσιαστικά εξετάζεται η επιρροή της αμφίδρομης διαφωνίας μεταξύ VDSL2 στο AK και VDSL2 στο KV.

Ακολουθώντας τις προδιαγραφές προηγούμενης παραγράφου, στο KV εγγέεται VDSL2 με κατατομή 17a. Η ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης κατατομής είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα χρήσης μιας επιπλέον προαιρετικής upstream ζώνης, της US0. Δεδομένου ότι η ύπαρξη αυτής της επιπλέον ζώνης μεταβάλλει τα φασματικά χαρακτηριστικά και επομένως τη διαφωνία από και προς τις γειτονικές γραμμές, έπρεπε να μελετηθούν και οι δύο διαθέσιμες επιλογές. Ωστόσο, μέσω από μια σειρά μετρήσεων αποδείχθη ότι η US0, αν και ενεργοποιημένη, δεν αξιοποιείται από το DSLAM στα μήκη του Σεναρίου 1. Έτσι, δεν υπήρχε καμία διαφορά μεταξύ της επίδοσης των δύο εναλλακτικών παραμετροποιήσεων του VDSL2 17a. Για το λόγο αυτό, όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με ενεργοποιημένη τη US0, με αρχική πρόβλεψη την επανάληψη της μέτρησης εάν αυτή εμφανιζόταν, κάτι όμως που δε συνέβη.

Στα Σχ.4.1.18 και 4.1.19 δίνονται οι ρυθμοί μετάδοσης για την downstream και upstream ζεύξη αντίστοιχα των εναλλακτικών κατατομών του VDSL2 για παροχή υπηρεσίας από το KV.



Σχήμα 4.1.18: Ρυθμός μετάδοσης downstream ζεύξης των VDSL2 17a M2x-A & M2x-B



Σχήμα 4.1.19: Ρυθμός μετάδοσης upstream ζεύξης των VDSL2 17a M2x-A & M2x-B

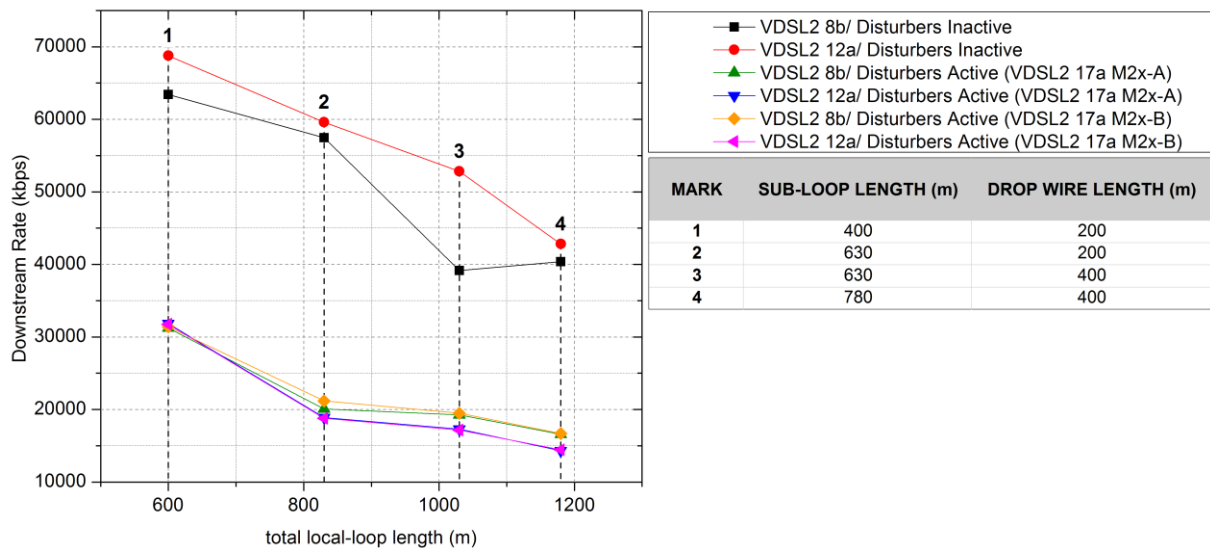
Το VDSL2 17a M2x-A παρουσιάζει εμφανώς καλύτερη επίδοση στη downstream ζεύξη σε σχέση με το VDSL2 17a M2x-B, ασχέτως του τύπου των παρεμβάλλοντων γραμμών του ΑΚ. Για την upstream ζεύξη και οι δύο κατατομές εμφανίζουν κοινή συμπεριφορά. Επίσης, μια πρώτη εκτίμηση είναι ότι οι γραμμές του KV επηρεάζονται πάρα πολύ από διαφωνία προερχόμενη από τις γραμμές του ΑΚ.

Ιδιαίτερη μείωση στους ρυθμούς μετάδοσης και των δύο ζεύξεων παρατηρείται στην περίπτωση 3, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης για την downstream ζεύξη αυξάνεται για μήκος δικτύου διανομής ίσο με 1180m. Η συμπεριφορά αυτή αποτελεί σαφή ένδειξη των φασματικών ιδιοτήτων της τεχνολογίας VDSL2 καθώς και της επίδρασης των φαινομένων διάδοσης.

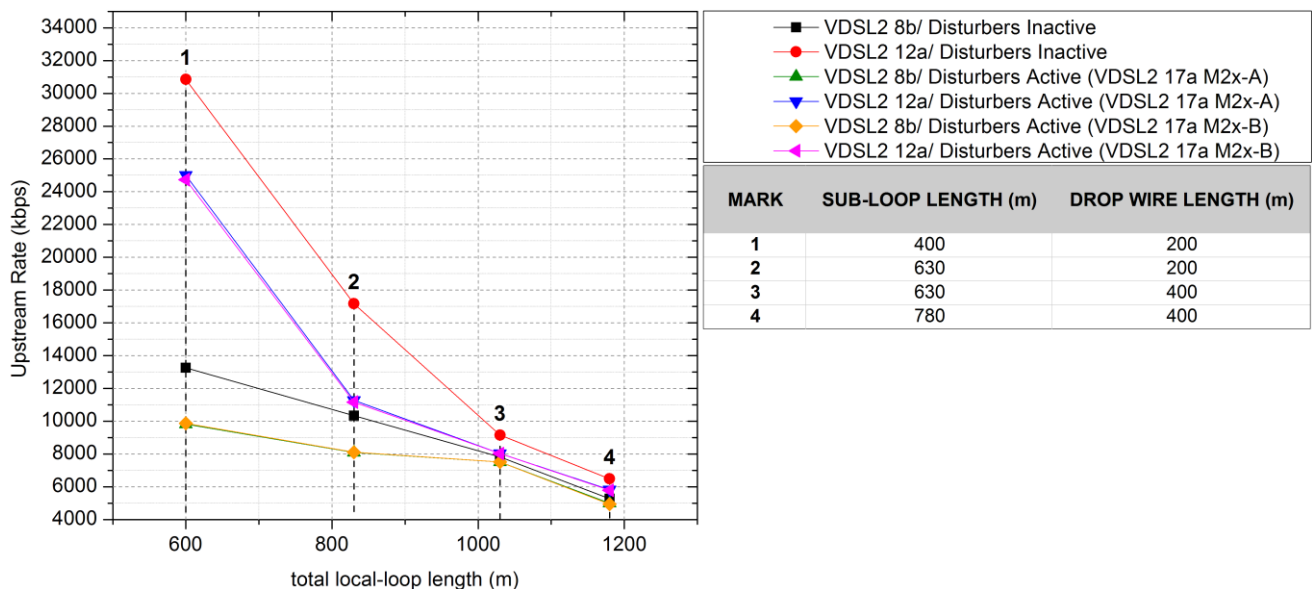
Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, σημαντικός παράγοντας καθορισμού της δριμύτητας της διαφωνίας είναι το κοινό μήκος διάδοσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι συνδυασμοί μηκών 2 & 3, όπου το μήκος του κύριου δικτύου παραμένει σταθερό ενώ το μήκος του απερχόμενου δικτύου διπλασιάζεται. Διπλασιασμός του μήκους σημαίνει μεγαλύτερη εξασθένηση και για τα δύο σήματα (ΑΚ και KV), η οποία όμως επηρεάζει περισσότερο το προερχόμενο από το ΑΚ σήμα, διότι αυτό έχει ήδη υποστεί σημαντική εξασθένηση λόγω της διάδοσής του στα 630m του κύριου δικτύου. Πλέον, το σήμα του KV δέχεται μικρότερη διαφωνία από το σήμα του ΑΚ, ενώ αντίθετα το ίδιο προκαλεί περισσότερη.

Ενδιαφέρουσα είναι η συμπεριφορά της upstream ζεύξης στις ανωτέρω δύο περιπτώσεις. Το γεγονός ότι η US2 ζώνη του VDSL2 17a αξιοποιεί υψηλότερες συχνότητες από την DS1 ζώνη, την καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτη στην εξασθένηση λόγω διάδοσης και έτσι δεν μπορεί να εκμεταλλευθεί στο έπακρο τη λιγότερη διαφωνία που δέχεται από το VDSL2 του ΑΚ.

Στα Σχ.4.1.20 και 4.1.21 παραθέτονται οι ρυθμοί μετάδοσης της downstream και της upstream ζεύξης αντίστοιχα για τις γραμμές VDSL2 του ΑΚ.



Σχήμα 4.1.20: Ρυθμός μετάδοσης downstream ζεύξης των VDSL2 8b & 12a



Σχήμα 4.1.21: Ρυθμός μετάδοσης upstream ζεύξης των VDSL2 8b & 12a

Τα ανωτέρω σχήματα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι είναι προτιμότερη η εφαρμογή VDSL2 17a M2x-A στο KV. Φυσικά, είναι πιθανό ορισμένοι πάροχοι να επιλέξουν την κατατομή VDSL2 17a M2x-B, προκειμένου να διασφαλίσουν συμβατότητα με υπηρεσίες ISDN. Επίσης, χωρίς την εφαρμογή DPBO, το VDSL2 12a προσφέρει καλύτερη ρυθμαπόδοση στην ανερχόμενη ζεύξη έναντι του 8b, ενώ ισχύει το αντίστροφο για την κατερχόμενη ζεύξη. Επίσης, σημαντική ένδειξη αποτελεί το ότι η παροχή υπηρεσίας VDSL2 από το AK χάνει το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα της υψηλής ρυθμαπόδοσης έναντι του ADSL2+ σε μήκη δικτύου διανομής άνω των 700m.

Το σημαντικότερο ωστόσο συμπέρασμα που προκύπτει μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων των Παρ.4.1.2 και 4.1.3 είναι η ιδιαίτερως σημαντική επιδείνωση του VDSL2 του AK, όταν εγχέονται σήματα VDSL2 από το KV.

4.1.3.2 Εφαρμογή DPBO μέχρι τα 2.2MHz & μέχρι τα 3.75MHz

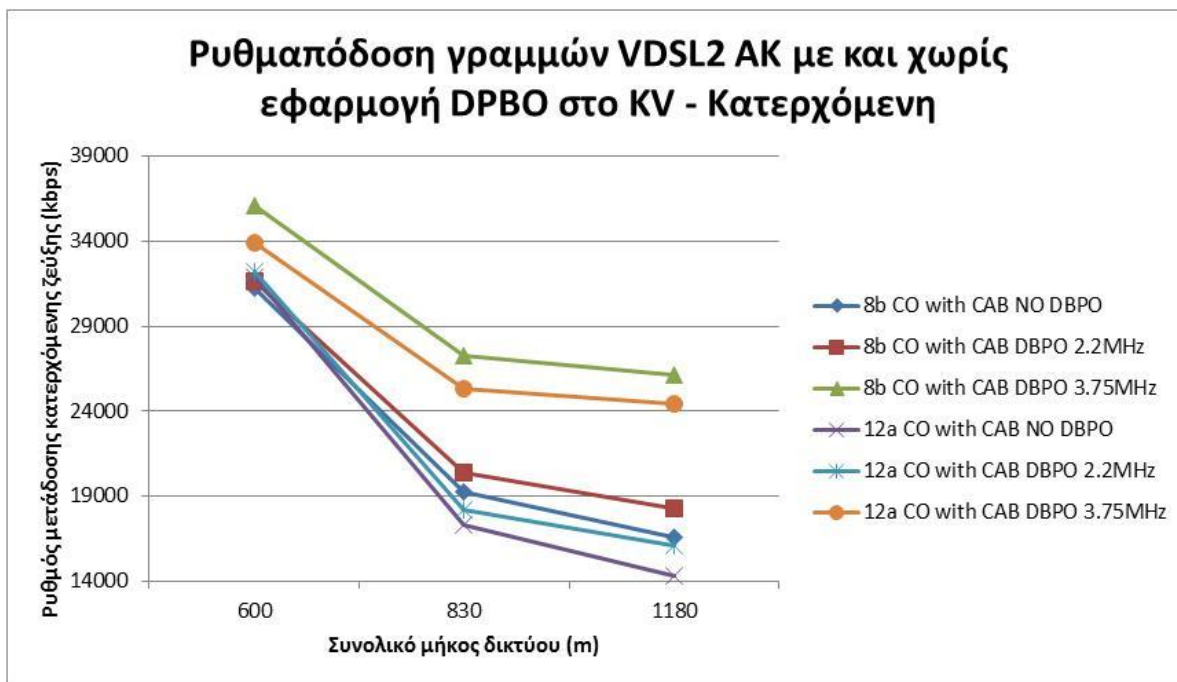
Στο υποσενάριο αυτό μελετήθηκε η επίδραση της εφαρμογής DPBO με δύο διαφορετικές τιμές της παραμέτρου DPBOFMAX όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Δεδομένων των προηγούμενων αποτελεσμάτων, όπου φαίνεται ότι η κατατομή 17a 998ADE-M2x-A/B with US0 προσφέρει την καλύτερη δυνατή ρυθμαπόδοση επιλέγεται η συγκεκριμένη ως τεχνολογία στο KV. Επιπλέον, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερως σημαντικές διαφορές μεταξύ των κατατομών 17a 998ADE-M2x-A και 17a 998ADE-M2x-B, οπότε επιλέχθηκαν οι συνδυασμοί τεχνολογιών του Πίν.4.1.2.

Πίνακας 4.1.2

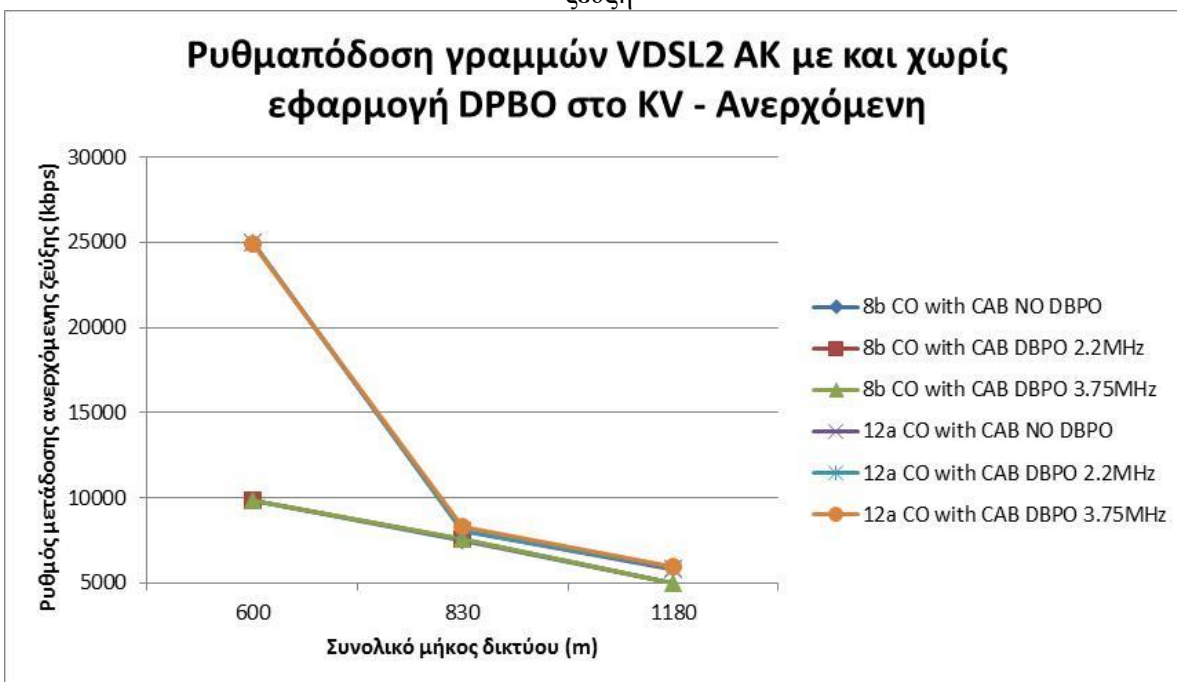
Κατατομές VDSL2 στο ΑΚ	Κατατομές VDSL2 στο ΚV
8b	17a 998ADE-M2x-A with US0
12a	17a 998ADE-M2x-A with US0

Στα σχήματα που ακολουθούν αποτυπώνεται η σύγκριση της επίδοσης των τεχνολογιών VDSL2 ΑΚ και ΚV με DPBO και για τις δύο διαθέσιμες παραμετροποιήσεις σε συνθήκες πλήρους θορύβου.

Αρχικά, διερευνάται η επίδραση του DPBO στη ρυθμαπόδοση των γραμμών VDSL2 του ΑΚ. Στο Σχ.4.12.22 φαίνονται οι ρυθμοί της κατερχόμενης ζεύξης και στο Σχ.4.1.23 της ανερχόμενης ζεύξης.



Σχήμα 4.1.22 Σύγκριση ρυθμαπόδοσης γραμμών VDSL2 ΑΚ με και χωρίς εφαρμογή DPBO στο ΚV – Κατερχόμενη ζεύξη

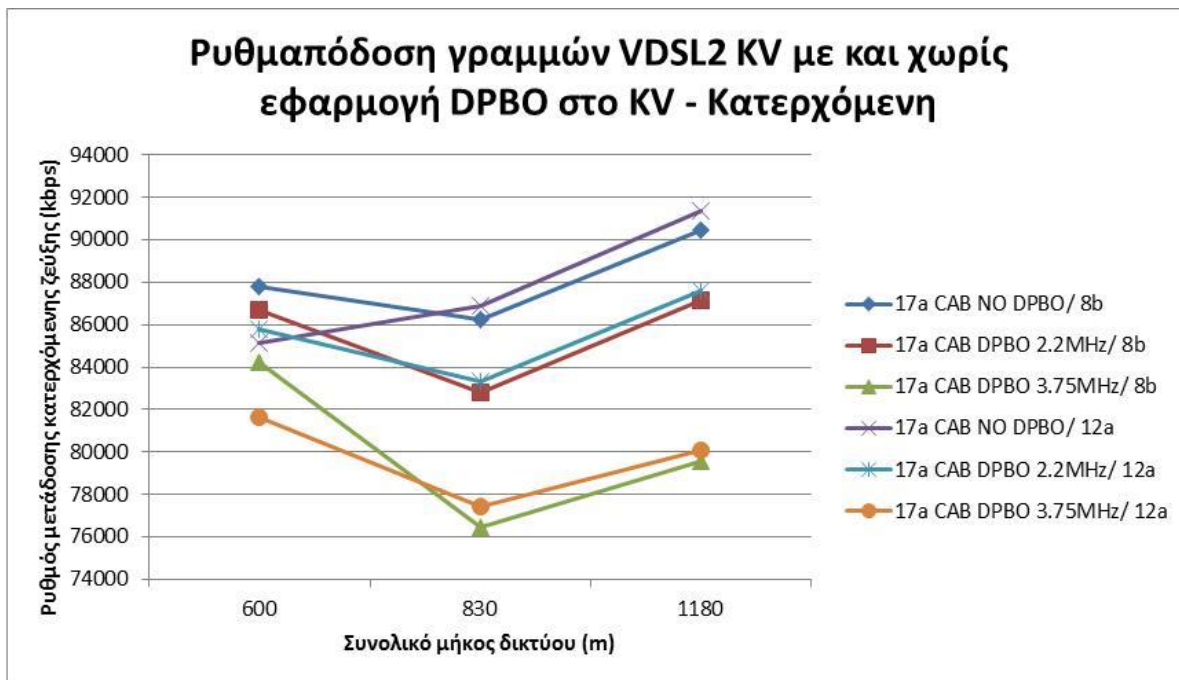


Σχήμα 4.1.23 Σύγκριση ρυθμαπόδοσης γραμμών VDSL2 ΑΚ με και χωρίς εφαρμογή DPBO στο ΚV – Ανερχόμενη ζεύξη

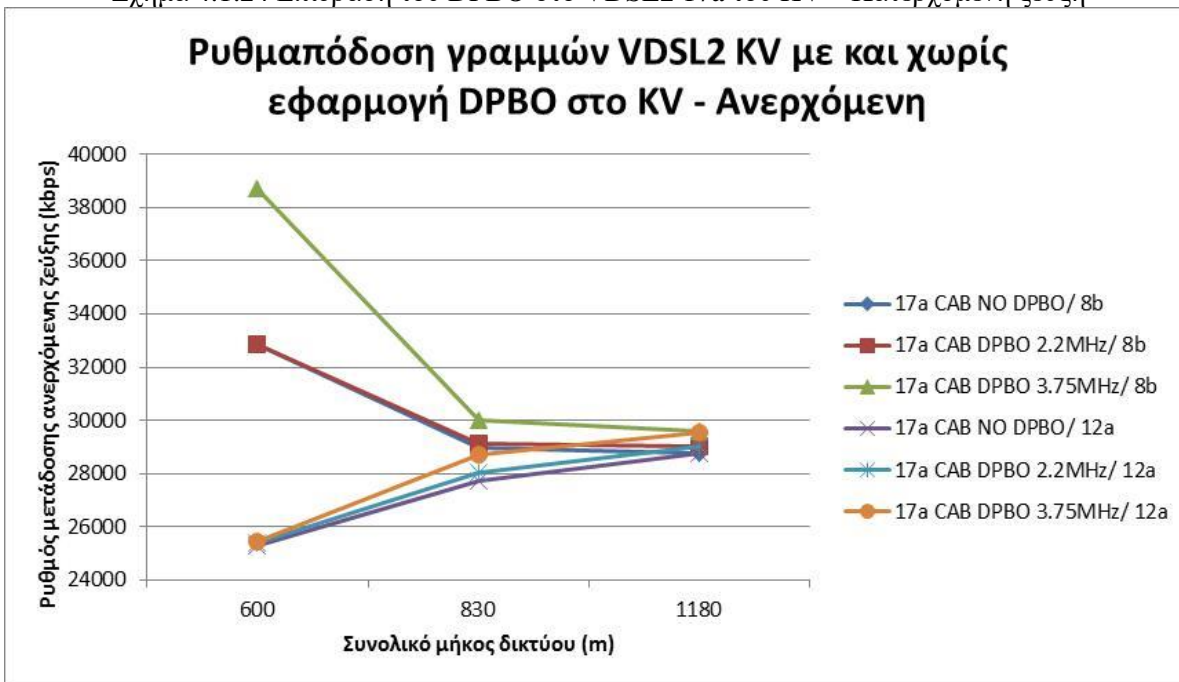
Τα ανωτέρω σχήματα καθιστούν σαφή την αναγκαιότητα αλλά και την αποδοτικότητα του DPBO προκειμένου να προστατευτούν επαρκώς οι τεχνολογίες VDSL2 του ΑΚ. Συγκεκριμένα, συστήνεται η παραμετροποίηση του

μηχανισμού DPBO με DPBOFMAX τα 3.75MHz διότι η τιμή των 2.2MHz δεν οδηγεί σε επαρκή προστασία με αποτέλεσμα πολύ χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης στην κατερχόμενη ζεύξη.

Η παρατηρούμενη βελτίωση έχει όμως κόστος στη ρυθμαπόδοση των γραμμών του KV. Τα Σχ.4.1.24 και 4.1.25 αποτυπώνουν την επίδραση αυτή και συμπληρώνουν το σύνολο των δεδομένων που είναι απαραίτητα για την πλέον αποδοτική χρήση του DPBO, ώστε να εξασφαλίζεται το βέλτιστο trade-off μεταξύ προστασίας και ρυθμαπόδοσης σε όλα τα σημεία έγχυσης ισχύος του δικτύου.



Σχήμα 4.1.24 Επίδραση του DPBO στο VDSL2 17a του KV – Κατερχόμενη ζεύξη



Σχήμα 4.1.25 Επίδραση του DPBO στο VDSL2 17a του KV – Ανερχόμενη ζεύξη

Όπως αναμενόταν η επίδραση του DPBO στην κατερχόμενη ζεύξη είναι πάρα πολύ έντονη, επιτρέποντας ωστόσο ρυθμούς μετάδοσης 76Mbps κατ' ελάχιστο. Ενδιαφέροντα είναι τα αποτελέσματα της ανερχόμενης ζεύξης, όπου παρατηρείται ότι η φασματική απομόνωση που προσφέρει το DPBO μέχρι τα 3.75MHz οδηγεί σε βελτιωμένους ρυθμούς μετάδοσης. Επίσης παρατηρείται ότι η κατατομή 8b προσφέρει καλύτερους ρυθμούς στην ανερχόμενη ζεύξη έναντι της 12a (σε αντίθεση με την περίπτωση χωρίς DPBO), ενώ υπερτερεί και στην κατερχόμενη, όπου σε μικρά μήκη είναι εμφανώς καλύτερη και σε μεγαλύτερες αποστάσεις είναι παρόμοια της 12a.

4.2 Σενάριο 2: Ταυτόχρονη έγχυση σημάτων ADSL2+ από ΑΚ και ΚV

Η τρέχουσα κατάσταση του δικτύου που περιλαμβάνει την έγχυση σημάτων ADSL2+ από το ΑΚ έχει ήδη περιγραφεί παραπάνω, οπότε στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται το Σενάριο εισαγωγής σημάτων ADSL2+ και στο ΚV. Το ενδεχόμενο αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι πλέον εξετάζεται η έγχυση πανομοιότυπων σημάτων από δύο διαφορετικά σημεία. Επίσης, η υλοποίηση αυτή είναι ιδιαίτερος ελκυστική προς τους παρόχους επειδή το κόστος του τερματικού εξοπλισμού ADSL2+ είναι, προς το παρόν, αρκετά φθηνότερο έναντι του αντίστοιχου VDSL2. Επομένως, δίνεται η δυνατότητα αναβάθμισης του δικτύου με ΚV ικανά για την παροχή ADSL2+/VDSL2 τεχνολογιών, αλλά με περιορισμένο κόστος, επιτρέποντας υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και μεγαλύτερη σταθερότητα συγχρονισμών⁵⁴.

Για την πραγματοποίηση των δοκιμών της ενότητας αυτής μεταβάλλεται εκ νέου η τοπολογία του εργαστηρίου και χρησιμοποιείται ο ADSL2+ Line Emulator της Παρ.4.1.1. Το μήκος του Κύριου Δικτύου κυμαίνεται από 150m έως 4350m, με βήμα 150m. Το απερχόμενο δίκτυο έχει σταθερό μήκος 400m και εξομοιώνεται με πραγματικό καλώδιο 10 ζευγών. Λόγω των περιορισμένων πορτών του, η εξομοίωση των παρεμβάλλοντων από το ΑΚ γραμμών πραγματοποιείται με τη χρήση Γεννήτριας Θορύβου.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να υπογραμμισθεί ότι η εν λόγω εργασία δεν αποτελεί μόνο επιστημονική διερεύνηση των βέλτιστων συνθηκών φασματικής συμβατότητας των διαφόρων xDSL τεχνολογιών. Στοχεύει στην στοιχειοθέτηση ενός ρεαλιστικά υλοποιήσιμου σχεδίου κανόνων λειτουργίας για το ελληνικό δίκτυο πρόσβασης το οποίο θα μπορέσει να εφαρμοστεί από τους παρόχους χωρίς να προσθέτει μεγάλη πολυπλοκότητα στην υλοποίηση και διαχείριση του δικτύου. Ως εκ τούτου, και έχοντας ήδη αποδείξει την ορθή, αναγκαία και αποδοτική λειτουργία του DPBO στις μετρήσεις που παρουσιάζονται παρακάτω εισάγεται η έννοια της διακριτότητας (granularity) των μασκών φασματικού περιορισμού ισχύος. Δηλαδή, επιχειρείται η θέσπιση ενός συγκεκριμένου συνόλου αποδεκτών τιμών της παραμέτρου DPBOESEL που θα επιτρέπει την αντιστοίχιση μίας τιμής DPBOESEL σε ένα εύρος τιμών χωρίς αυτό να οδηγεί σε υπέρμετρη ή ελλιπή προστασία αντίστοιχα. Οποιαδήποτε άλλη προσέγγιση θα δημιουργούσε πρακτικά ζητήματα στην υλοποίηση του μηχανισμού προστασίας μιας και θα έπρεπε να ορίζεται ένας αριθμός DPBOESEL για κάθε ΚV στο οποίο θα εγκαθίσταντο ενεργός εξοπλισμός έγχυσης σημάτων. Η λύση αυτή θα οδηγούσε σε πληθώρα επιμέρους κατατομών, η οποία με τη σειρά της θα δυσχέραινε τις διαδικασίες βλαβοληψίας, επιτήρησης και συντήρησης του δικτύου για τους παρόχους.

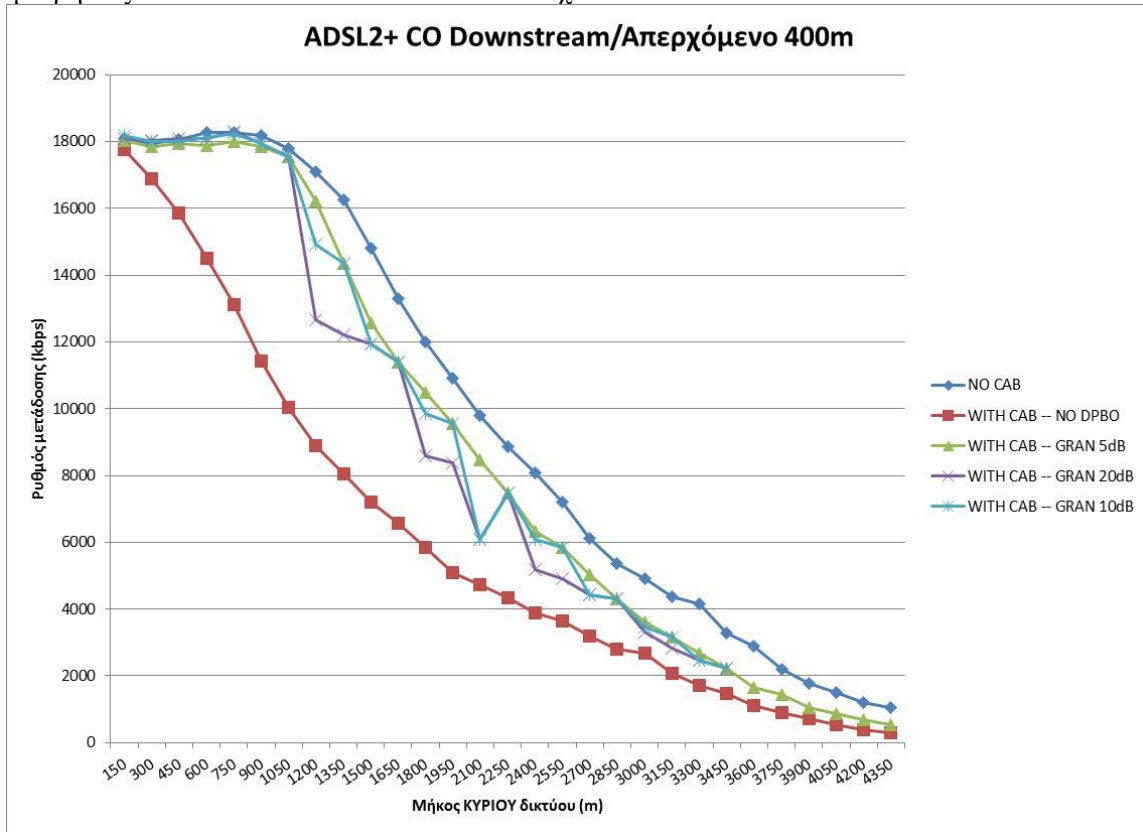
Λόγω των ανωτέρω το Σενάριο 2 υλοποιήθηκε με τρεις διαφορετικές τιμές της παραμέτρου DPBOESEL για κάθε μήκος. Η μία τιμή προσεγγίζει το DPBOESEL (ηλεκτρική απόσταση) της εκάστοτε απόστασης κατά 5dB, η δεύτερη κατά 10dB και η τρίτη κατά 20dB. Βάσει αυτών των προσεγγίσεων λαμβάνονται οι τιμές του Πίν.4.2.1 που ακολουθεί. Σε όποια μήκη η πραγματική ηλεκτρική απόσταση συμπίπτει με κάποια από τις κλίμακες, λαμβάνεται μόνο αυτή.

⁵⁴ Τόσο η βιβλιογραφία, όσο και η πρακτική εφαρμογή καταδεικνύουν ότι αποσυμφόρηση του ΑΚ που με τη σειρά της οδηγεί σε ηπιότερο θορυβικό περιβάλλον προσδίδει μεγαλύτερη σταθερότητα στις γραμμές xDSL

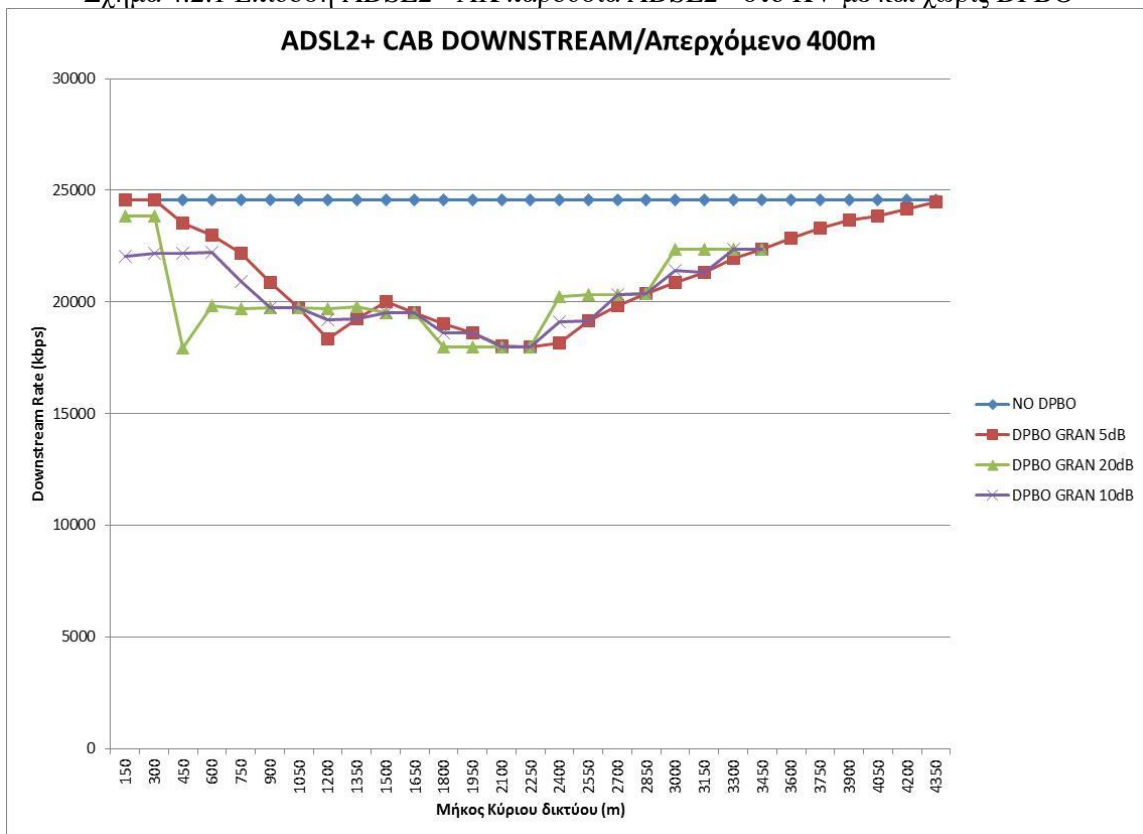
Πίνακας 4.2.1 Μετρήσεις επίδοσης ταυτόχρονης έγχυσης ADSL2+ σε AK και KV και VDSL2 σε KV

		NO DPBO								WITH DPBO							
ΚΥΡΙΟ ΔΙΚΤΥΟ (m)	ΑΠΕΡΧΟΜΕΝΟ ΔΙΚΤΥΟ (m)	ADSL2+ CO NO CAB		ADSL2+ CAB		VDSL2 CAB		ADSL2+ CO WITH CAB		ESEL	ADSL2+ CAB		VDSL2 CAB		ADSL2+ CO WITH CAB		
		Downstream	Upstream	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream		Downstream	Upstream	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream	
150	400	18101	1022	24574	1022	99996	50310	17756	1022	4.5	24574	1022	99996	49798	18038	1022	
										13	23860	1022	99996	50990	18101	1022	
										21	22064	1022	99996	52730	18166	1022	
										9	24574	1022	99996	48696	17848	1022	
300	400	17944	1022	24574	1022	99996	50381	16872	1022	13	23852	1022	99996	50994	18038	1022	
										21	22164	1022	99992	50381	18006	1022	
										13	23524	1022	99996	50279	17944	1022	
450	400	18059	1022	24574	1022	99996	50279	15865	1022	29.5	17958	1022	99996	52687	18101	1022	
										21	22199	1022	99992	52542	18006	1022	
										17	23010	1022	99996	51803	17881	1022	
600	400	18260	1022	24572	1022	99996	50345	14512	1022	29.5	19829	1022	99996	52679	18101	1022	
										21	22207	1022	99992	52499	18132	1022	
										21	22195	1022	99992	52550	18006	1022	
750	400	18260	1022	24574	1022	99996	50322	13124	1022	29.5	19704	1022	99996	52659	18292	1022	
										25.5	20936	1022	99996	52323	18229	1022	
										25.5	20893	1022	99996	50212	17848	1022	
900	400	18166	1022	24557	1022	99996	49176	11424	1022	29.5	19735	1022	99996	50564	17944	1022	
										29.5	19735	1022	99996	50564	17944	1022	
1050	400	17785	1022	24565	1022	99996	48832	10039	1022	29.5	19724	1022	99996	50556	17533	1022	
										33.5	18355	1022	99996	49376	16213	1022	
1200	400	17092	1022	24572	1022	99996	47953	8905	1022	47.5	19708	1022	99996	48473	12652	1022	
										38	19225	1022	99996	48922	14921	1022	
										38	19256	1022	99996	49044	14353	1022	
1350	400	16244	1022	24568	1022	99996	47976	8055	1022	47.5	19775	1022	99996	48496	12213	1022	
										42.5	20024	1022	99996	49020	12557	1022	
1500	400	14793	1022	24572	1022	99996	47965	7203	1022	47.5	19533	1022	99996	48496	11928	1022	
										47.5	19513	1022	99996	48543	11393	1022	
1650	400	13281	1022	24574	1022	99996	47976	6574	1022	51	19006	1022	99996	48696	10480	1022	
										64.5	17969	1022	99996	48109	8590	1022	
1800	400	11991	1022	24572	1022	99996	48109	5846	1022	55.5	18613	1022	99996	48113	9849	1022	
										55.5	18617	1022	99996	48336	9565	1022	
1950	400	10921	1022	24572	1022	99996	48117	5092	1022	64.5	18001	1022	99996	48532	8370	1022	
										60	18044	1022	99996	48063	8464	1022	
2100	400	9786	1022	24574	1022	99996	48539	4715	1016	64.5	17969	1022	99996	48496	6071	1014	
										64.5	18005	1022	99996	48469	7486	973	
2250	400	8873	996	24572	1022	99996	48203	4338	943	69	18157	1022	99996	48180	6322	996	
										83.5	20238	1022	99996	48149	5186	921	
2400	400	8086	977	24572	1022	99996	47976	3895	917	74	19127	1022	99996	48066	6071	936	
										74	19151	1022	99996	48195	5846	879	
2550	400	7203	932	24572	1022	99996	48266	3639	871	83.5	20351	1022	99996	48227	4903	875	
										78.5	19837	1022	99996	50267	5029	849	
2700	400	6102	888	24572	1022	99996	50291	3200	831	83.5	20351	1022	99996	50357	4432	845	
										83.5	20367	1022	99996	50255	4306	787	
2850	400	5375	824	24568	1022	99996	50334	2792	801	87.5	20850	1022	99996	48141	3607	790	
										102	22351	1022	99996	48129	3325	533	
3000	400	4903	809	24572	1022	99996	48125	2666	530	92.5	21435	1022	99996	48176	3450	787	
										92.5	21333	1022	99996	50314	3168	734	
3150	400	4369	743	24574	1022	99996	50283	2070	734	102	22339	1022	99996	50279	2823	734	
										97	21977	1022	99996	50193	2666	675	
3300	400	4149	682	24572	1022	99996	50361	1719	678	102	22378	1022	99996	50216	2478	675	
										102	22378	1022	99996	50216	2478	675	
3450	400	3254	618	24572	1022	99996	48535	1468	618	102	22359	1022	99996	48321	2227	618	
3600	400	2885	592	24572	1022	99996	48156	1124	592	106.5	22862	1022	99996	50302	1655	592	
3750	400	2196	528	24574	1022	99996	50326	903	531	112	23298	1022	99996	50330	1450	535	
										116.5	23661	1022	99996	50275	1062	502	
3900	400	1783	498	24572	1022	99996	50388	712	498	121	23868	1022	99996	50314	871	422	
4050	400	1499	422	24574	1022	99996	50334	526	422	127	24172	1022	99996	50396	681	408	
4200	400	1187	404	24565	1022	99996	50376	399	408	131	24503	1022	99996	50337	526	335	
4350	400	1062	328	24572	1022	99996	50357	303	335								

Οι μετρήσεις του Πίν.4.2.1 αποτυπώνονται στα Σχ.4.2.1 & 4.2.2 που ακολουθούν.



Σχήμα 4.2.1 Επίδοση ADSL2+ AK παρουσία ADSL2+ στο KV με και χωρίς DPBO

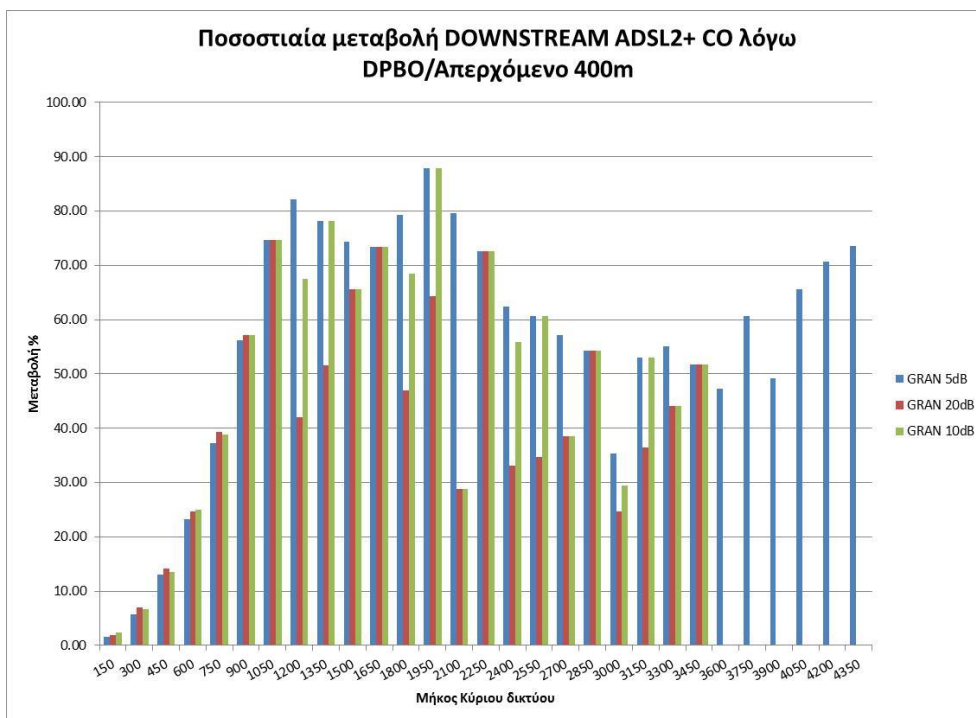


Σχήμα 4.2.2 Επίδοση ADSL2+ KV με και χωρίς DPBO παρουσία θορύβου σε AK και KV

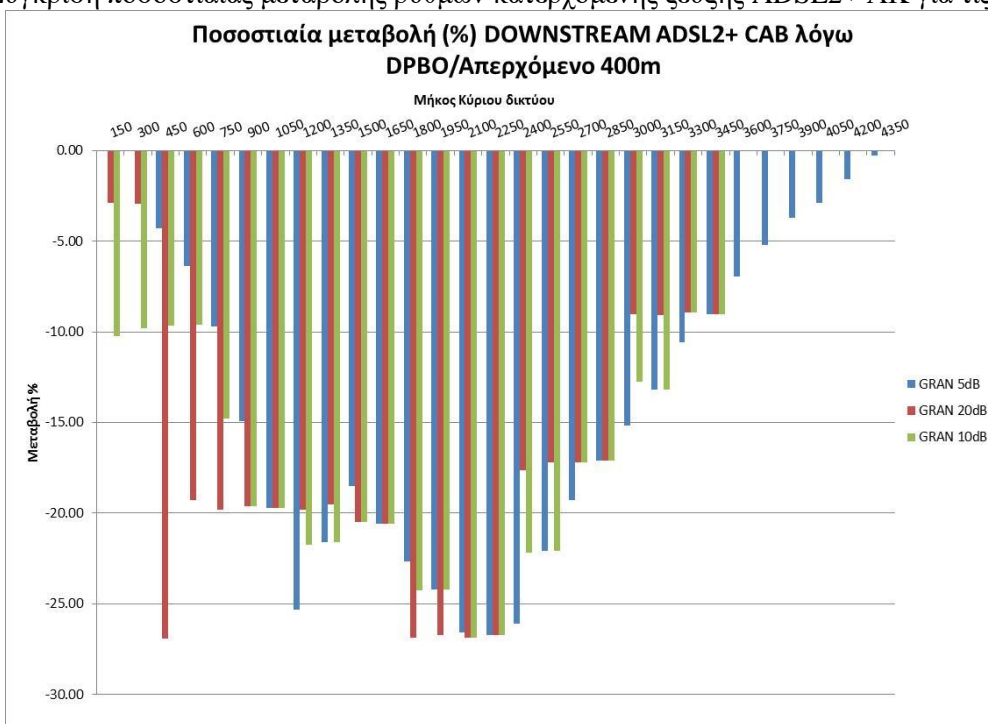
Το πρώτο συμπέρασμα που εξάγεται άμεσα είναι ότι η παρουσία του ADSL2+ στο KV επηρεάζει δυσμενέστερα το ADSL2+ απ' ότι το VDSL2 του KV. Επίσης, είναι εμφανής η σημαντική βελτίωση που επιφέρει ο μηχανισμός ελέγχου της εγχεόμενης ισχύος στο ADSL2+ του AK. Περαιτέρω, η ρυθμοί που δύναται να προσφερθούν από το ADSL2+ υπό την εφαρμογή του DPBO είναι το λιγότερο 18Mbps, γεγονός που καθιστά την εν λόγω τοπολογία

ιδιαιτέρως ελκυστική εμπορικά. Επιπλέον, η διαφαινόμενη μη επιρροή των προσφερόμενων ρυθμών από το VDSL2 του KV από το DPBO, αποτελεί έναν ακόμη παράγοντα που ενισχύει την εφαρμογή αυτής της αρχιτεκτονικής.

Αναφορικά με τη διακριτότητα των μασκών, παρατηρείται ότι η βέλτιστη απόδοση επιτυγχάνεται με την κλίμακα των 5dB, όμως η κλίμακα των 10dB παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με το μισό, όμως, πλήθος μασκών. Αντιθέτως, η κλίμακα των 20dB δεν προσφέρει αξιοπιστία. Επιπλέον, η εκλογή της κατάλληλης κλίμακας μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμη περισσότερο στοχευμένα, παρατηρώντας τα παραπάνω σχήματα. Μέχρι και τα 900m (ηλεκτρική απόσταση = 25.5dB) φαίνεται ότι η κλίμακα των 10dB προστατεύει υπερβολικά το ΑΚ οδηγώντας το ADSL2+ του KV σε ανώφελα χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Από την απόσταση αυτή και έπειτα οι κλίμακες των 10dB και των 5dB ταυτίζονται, αναφορικά με την απόδοση του ADSL2+ του KV. Επομένως, η βέλτιστη λύση είναι η υιοθέτηση μιας κλίμακας των 5dB μέχρι την ηλεκτρική απόσταση των 20dB, και κλίμακας 10dB για τις μεγαλύτερες αποστάσεις. Ο βέλτιστος χαρακτήρας της επιλογής αυτής ενισχύεται και από τα σχήματα που ακολουθούν όπου παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές των ρυθμών μετάδοσης, συναρτήσει των τριών κλιμάκων της παραμέτρου DPBOESEL για τις γραμμές ADSL2+ ΑΚ και KV αντιστοίχως.



Σχήμα 4.2.3 Σύγκριση ποσοστιαίας μεταβολής ρυθμών κατερχόμενης ζεύξης ADSL2+ ΑΚ για τις τρεις κλίμακες



Σχήμα 4.2.4 Σύγκριση ποσοστιαίας μεταβολής ρυθμών κατερχόμενης ζεύξης ADSL2+ KV για τις τρεις κλίμακες

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

5.1 Ενδεικτική παραμετροποίηση ενεργού εξοπλισμού δοκιμών

5.1.1 Κατατομή ADSL2+ με DPBO

Transmission mode:

G.992.1(Annex A/B/C) G.992.2(Annex A/C)
G.992.3(Annex A/B/I/J/L/M) G.992.4(Annex A/I)
G.992.5(Annex A/B/I/J/M)

Bit swap downstream : Enable
Bit swap upstream : Enable
Form of transmit rate adaptation downstream : AdaptAtStartup
Form of transmit rate adaptation upstream : AdaptAtStartup
Target SNR margin downstream(0.1dB) : 90
Minimum SNR margin downstream(0.1dB) : 0
Maximum SNR margin downstream(0.1dB) : 310
Target SNR margin upstream(0.1dB) : 90
Minimum SNR margin upstream(0.1dB) : 0
Maximum SNR margin upstream(0.1dB) : 310
DPBO E-side electrical length(0.5dB) : 120
DPBO minimum E-side electrical length(0.5dB) : 120
DPBO assumed exchange PSD mask : 7 points

Number	Tone Index	Frequency (KHz)	PSD Value (-0.5dBm/Hz)
--------	------------	-----------------	------------------------

1	32	138.0	73
2	256	1104.0	73
3	376	1621.5	93
4	512	2208.0	96
5	870	3751.8	102
6	1206	5200.8	105
7	1971	8499.9	109

DPBO E-side cable model scalar A : 296
DPBO E-side cable model scalar B : 396
DPBO E-side cable model scalar C : 312
DPBO minimum usable signal(-0.5dBm/Hz) : 192
DPBO span minimum frequency(4.3125KHz) : 32
DPBO span maximum frequency(4.3125KHz) : 869
UPBO US1 band reference PSD parameters[a, b] : 1650,1020
UPBO US2 band reference PSD parameters[a, b] : 1650,615
UPBO US3 band reference PSD parameters[a, b] : 0,0
UPBO US4 band reference PSD parameters[a, b] : 0,0
UPBO Boost Mode : Enable
UPBO US1 band reference electrical length : 0
UPBO US2 band reference electrical length : 0
UPBO US3 band reference electrical length : 0
UPBO US4 band reference electrical length : 0
UPBO use of electrical length to compute UPBO : Auto
K10 selection : max(k10_CO,k10_CPE)
UPBO electrical length estimation mode : ELE_M0
UPBO electrical length threshold percentile : 10
Allow transition to idle : not allowed
Allow transition to low power : not allowed
L0 time(second) : 255
L2 time(second) : 255
L3 time(second) : 0
Maximum aggregate transmit power reduction(dB) : 10
Total maximum aggregate transmit power reduction (dB) : 31
<defmode>

G.993.2 profile : Profile12a
VDSL2 PSD class mask : AnnexB998-M2x-B(B8-6)
VDSL2 link use of U0 : Used
Maximum nominal aggregate transmit power
downstream(0.1dBm) : 145
Maximum nominal aggregate transmit power
upstream(0.1dBm) : 145
Upstream PSD mask selection : ADLU-32/EU-32
Virtual noise mode downstream : Disable
Virtual noise mode upstream : Disable
Network timing reference clock mode : FreeRun
INM inter arrival time offset downstream
(DMT symbol) : 3
INM inter arrival time step downstream : 0
INM cluster continuation value downstream
(DMT symbol) : 0
INM equivalent INP mode downstream : 0
INM inter arrival time offset upstream
(DMT symbol) : 3
INM inter arrival time step upstream : 0
INM cluster continuation value upstream
(DMT symbol) : 0
INM equivalent INP mode upstream : 0
SOS time Window downstream(64ms) : 0
Minimum percentage of degraded tones downstream : 0
Minimum number of normalized CRC anomalies
downstream(0.02) : 1
Maximum number of SOS downstream : 0
SNR margin offset of ROC downstream(0.1dB) : 0
Minimum impulse noise protection of ROC
downstream : 0
SOS time Window upstream(64ms) : 0
Minimum percentage of degraded tones upstream : 0
Minimum number of normalized CRC anomalies
upstream(0.02) : 1
Maximum number of SOS upstream : 0
SNR margin offset of ROC upstream(0.1dB) : 0
Minimum impulse noise protection of ROC
upstream : 0
G.998.4 retransmission control in downstream : RTX_FORBIDDEN
G.998.4 retransmission control in upstream : RTX_FORBIDDEN
Force framer setting for inp downstream : False
Force framer setting for inp upstream : False
Data path mode : Both
Minimum impulse noise protection downstream : NoProtection
Minimum impulse noise protection upstream : NoProtection
Maximum interleaving delay downstream(ms) : 0
Maximum interleaving delay upstream(ms) : 0
Minimum transmit rate downstream(Kbps) : 384
Minimum reserved transmit rate downstream(Kbps) : 384
Maximum transmit rate downstream(Kbps) : 24576
Minimum transmit rate upstream(Kbps) : 384
Minimum reserved transmit rate upstream(Kbps) : 384
Maximum transmit rate upstream(Kbps) : 1024
Rate threshold downshift downstream(Kbps) : 0
Rate threshold upshift downstream(Kbps) : 0
Rate threshold downshift upstream(Kbps) : 0
Rate threshold upshift upstream(Kbps) : 0

PHY-R control in downstream : Disable
 PHY-R control in upstream : Disable
 Erasure decoding switch : Disable
 Minimum SOS bit rate downstream(8Kbps) : 0
 Minimum SOS bit rate upstream(8Kbps) : 0
 Minimum expected throughput downstream(Kbps) : 32
 Maximum expected throughput downstream(Kbps) : 32
 Maximum net data rate downstream(Kbps) : 32
 Minimum delay downstream(ms) : 0
 Maximum delay downstream(ms) : 1
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event downstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event transported over DMT
 symbols with a subcarrier spacing of 8.625kHz
 downstream(DMT symbol) : 0
 Single high impulse noise event ratio
 downstream(0.001) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise
 downstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise transported
 over DMT symbols with a subcarrier spacing of
 8.625kHz downstream(DMT symbol) : 0
 Repetitive electrical impulse noise
 inter-arrival time downstream
 0-100Hz 1-120Hz(0~1) : 0
 Minimum expected throughput upstream(Kbps) : 32
 Maximum expected throughput upstream(Kbps) : 32
 Maximum net data rate upstream(Kbps) : 32
 Minimum delay upstream(ms) : 0
 Maximum delay upstream(ms) : 1
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event upstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event transported over DMT
 symbols with a subcarrier spacing of 8.625kHz
 upstream(DMT symbol) : 0
 Single high impulse noise event ratio
 upstream(0.001) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise
 upstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise transported
 over DMT symbols with a subcarrier spacing of
 8.625kHz upstream(DMT symbol) : 0
 Repetitive electrical impulse noise
 inter-arrival time upstream
 0-100Hz 1-120Hz(0~1) : 0
 Channel initialization policy selection : 0

5.1.2 Κατατομή VDSL2 8b

Transmission mode:

T1.413	G.992.1(Annex A/B/C)
G.992.2(Annex A/C)	G.992.3(Annex A/B/I/J/L/M)
G.992.4(Annex A/I)	G.992.5(Annex A/B/I/J/M)
G.993.2(Annex A/B/C)	

```

Bit swap downstream          : Enable
Bit swap upstream            : Enable
Form of transmit rate adaptation downstream : AdaptAtStartup
Form of transmit rate adaptation upstream   : AdaptAtStartup
Target SNR margin downstream(0.1dB)       : 90
Minimum SNR margin downstream(0.1dB)      : 0
Maximum SNR margin downstream(0.1dB)      : 300
Target SNR margin upstream(0.1dB)         : 90
Minimum SNR margin upstream(0.1dB)        : 0
Maximum SNR margin upstream(0.1dB)        : 300
UPBO US1 band reference PSD parameters[a, b] : 1650,1020
UPBO US2 band reference PSD parameters[a, b] : 1650,615
UPBO US3 band reference PSD parameters[a, b] : 0,0
UPBO US4 band reference PSD parameters[a, b] : 0,0
UPBO Boost Mode              : Enable
UPBO US1 band reference electrical length   : 0
UPBO US2 band reference electrical length   : 0
UPBO US3 band reference electrical length   : 0
UPBO US4 band reference electrical length   : 0
UPBO use of electrical length to compute UPBO : Auto
K10 selection                 : max(kl0_CO,kl0_CPE)
UPBO electrical length estimation mode      : ELE_M0
UPBO electrical length threshold percentile : 10
Allow transition to idle        : not allowed
Allow transition to low power    : not allowed
L0 time(second)                : 255
L2 time(second)                : 255
L3 time(second)                : 255
Maximum aggregate transmit power reduction(dB) : 10
Total maximum aggregate transmit power reduction
(dB)                            : 31
<defmode>
G.993.2 profile                : Profile8b
VDSL2 PSD class mask           : AnnexB998-M2x-B(B8-6)
VDSL2 link use of U0           : Used
Maximum nominal aggregate transmit power
downstream(0.1dBm)             : 204
Maximum nominal aggregate transmit power
upstream(0.1dBm)              : 145
Upstream PSD mask selection     : ADLU-32/EU-32
Virtual noise mode downstream   : Disable
Virtual noise mode upstream     : Disable
Network timing reference clock mode : FreeRun
INM inter arrival time offset downstream
(DMT symbol)                   : 3
INM inter arrival time step downstream : 0
INM cluster continuation value downstream
(DMT symbol)                   : 0
INM equivalent INP mode downstream : 0
INM inter arrival time offset upstream
(DMT symbol)                   : 3
INM inter arrival time step upstream : 0
INM cluster continuation value upstream
(DMT symbol)                   : 0
INM equivalent INP mode upstream : 0
SOS time Window downstream(64ms) : 0
Minimum percentage of degraded tones downstream : 0
Minimum number of normalized CRC anomalies

```

```

downstream(0.02) : 65535
Maximum number of SOS downstream : 0
SNR margin offset of ROC downstream(0.1dB) : 0
Minimum impulse noise protection of ROC
downstream : 0
SOS time Window upstream(64ms) : 0
Minimum percentage of degraded tones upstream : 0
Minimum number of normalized CRC anomalies
upstream(0.02) : 65535
Maximum number of SOS upstream : 0
SNR margin offset of ROC upstream(0.1dB) : 0
Minimum impulse noise protection of ROC
upstream : 0
G.998.4 retransmission control in downstream : RTX_FORBIDDEN
G.998.4 retransmission control in upstream : RTX_FORBIDDEN
Force framer setting for inp downstream : False
Force framer setting for inp upstream : False
Data path mode : Both
Minimum impulse noise protection downstream : NoProtection
Minimum impulse noise protection upstream : NoProtection
Maximum interleaving delay downstream(ms) : 10
Maximum interleaving delay upstream(ms) : 10
Minimum transmit rate downstream(Kbps) : 128
Minimum reserved transmit rate downstream(Kbps) : 128
Maximum transmit rate downstream(Kbps) : 200000
Minimum transmit rate upstream(Kbps) : 128
Minimum reserved transmit rate upstream(Kbps) : 128
Maximum transmit rate upstream(Kbps) : 200000
Rate threshold downshift downstream(Kbps) : 0
Rate threshold upshift downstream(Kbps) : 0
Rate threshold downshift upstream(Kbps) : 0
Rate threshold upshift upstream(Kbps) : 0
PHY-R control in downstream : Disable
PHY-R control in upstream : Disable
Erasure decoding switch : Disable
Minimum SOS bit rate downstream(8Kbps) : 8
Minimum SOS bit rate upstream(8Kbps) : 8
Minimum expected throughput downstream(Kbps) : 32
Maximum expected throughput downstream(Kbps) : 32
Maximum net data rate downstream(Kbps) : 32
Minimum delay downstream(ms) : 0
Maximum delay downstream(ms) : 1
Minimum impulse noise protection against single
high impulse noise event downstream(DMT symbol) : 0
Minimum impulse noise protection against single
high impulse noise event transported over DMT
symbols with a subcarrier spacing of 8.625kHz
downstream(DMT symbol) : 0
Single high impulse noise event ratio
downstream(0.001) : 0
Minimum impulse noise protection against
repetitive electrical impulse noise
downstream(DMT symbol) : 0
Minimum impulse noise protection against
repetitive electrical impulse noise transported
over DMT symbols with a subcarrier spacing of
8.625kHz downstream(DMT symbol) : 0
Repetitive electrical impulse noise

```

inter-arrival time downstream
0-100Hz 1-120Hz(0~1) : 0
Minimum expected throughput upstream(Kbps) : 32
Maximum expected throughput upstream(Kbps) : 32
Maximum net data rate upstream(Kbps) : 32
Minimum delay upstream(ms) : 0
Maximum delay upstream(ms) : 1
Minimum impulse noise protection against single
high impulse noise event upstream(DMT symbol) : 0
Minimum impulse noise protection against single
high impulse noise event transported over DMT
symbols with a subcarrier spacing of 8.625kHz
upstream(DMT symbol) : 0
Single high impulse noise event ratio
upstream(0.001) : 0
Minimum impulse noise protection against
repetitive electrical impulse noise
upstream(DMT symbol) : 0
Minimum impulse noise protection against
repetitive electrical impulse noise transported
over DMT symbols with a subcarrier spacing of
8.625kHz upstream(DMT symbol) : 0
Repetitive electrical impulse noise
inter-arrival time upstream
0-100Hz 1-120Hz(0~1) : 0
Channel initialization policy selection : 0

5.1.3 Κατατομή VDSL2 12a

Transmission mode:
G.993.2(Annex A/B/C)
Bit swap downstream : Enable
Bit swap upstream : Enable
Form of transmit rate adaptation downstream : AdaptAtStartup
Form of transmit rate adaptation upstream : AdaptAtStartup
Target SNR margin downstream(0.1dB) : 90
Minimum SNR margin downstream(0.1dB) : 0
Maximum SNR margin downstream(0.1dB) : 300
Target SNR margin upstream(0.1dB) : 90
Minimum SNR margin upstream(0.1dB) : 0
Maximum SNR margin upstream(0.1dB) : 300
UPBO US1 band reference PSD parameters[a, b] : 1650,1020
UPBO US2 band reference PSD parameters[a, b] : 1650,615
UPBO US3 band reference PSD parameters[a, b] : 0,0
UPBO US4 band reference PSD parameters[a, b] : 0,0
UPBO Boost Mode : Enable
UPBO US1 band reference electrical length : 0
UPBO US2 band reference electrical length : 0
UPBO US3 band reference electrical length : 0
UPBO US4 band reference electrical length : 0
UPBO use of electrical length to compute UPBO : Auto
K10 selection : max(k10_CO,k10_CPE)
UPBO electrical length estimation mode : ELE_M0
UPBO electrical length threshold percentile : 10
Allow transition to idle : not allowed
Allow transition to low power : not allowed
L0 time(second) : 255
L2 time(second) : 255
L3 time(second) : 255
Maximum aggregate transmit power reduction(dB) : 10

Total maximum aggregate transmit power reduction (dB) : 31

<defmode>

G.993.2 profile : Profile12a

VDSL2 PSD class mask : AnnexB998-M2x-A(B8-4)

VDSL2 link use of U0 : Used

Maximum nominal aggregate transmit power downstream(0.1dBm) : 145

Maximum nominal aggregate transmit power upstream(0.1dBm) : 145

Upstream PSD mask selection : ADLU-32/EU-32

Virtual noise mode downstream : Disable

Virtual noise mode upstream : Disable

Network timing reference clock mode : FreeRun

INM inter arrival time offset downstream (DMT symbol) : 3

INM inter arrival time step downstream : 0

INM cluster continuation value downstream (DMT symbol) : 0

INM equivalent INP mode downstream : 0

INM inter arrival time offset upstream (DMT symbol) : 3

INM inter arrival time step upstream : 0

INM cluster continuation value upstream (DMT symbol) : 0

INM equivalent INP mode upstream : 0

SOS time Window downstream(64ms) : 0

Minimum percentage of degraded tones downstream : 0

Minimum number of normalized CRC anomalies downstream(0.02) : 65535

Maximum number of SOS downstream : 0

SNR margin offset of ROC downstream(0.1dB) : 0

Minimum impulse noise protection of ROC downstream : 0

SOS time Window upstream(64ms) : 0

Minimum percentage of degraded tones upstream : 0

Minimum number of normalized CRC anomalies upstream(0.02) : 65535

Maximum number of SOS upstream : 0

SNR margin offset of ROC upstream(0.1dB) : 0

Minimum impulse noise protection of ROC upstream : 0

G.998.4 retransmission control in downstream : RTX_FORBIDDEN

G.998.4 retransmission control in upstream : RTX_FORBIDDEN

Force framer setting for inp downstream : False

Force framer setting for inp upstream : False

Data path mode : Both

Minimum impulse noise protection downstream : NoProtection

Minimum impulse noise protection upstream : NoProtection

Maximum interleaving delay downstream(ms) : 10

Maximum interleaving delay upstream(ms) : 10

Minimum transmit rate downstream(Kbps) : 128

Minimum reserved transmit rate downstream(Kbps) : 128

Maximum transmit rate downstream(Kbps) : 200000

Minimum transmit rate upstream(Kbps) : 128

Minimum reserved transmit rate upstream(Kbps) : 128

Maximum transmit rate upstream(Kbps) : 200000

Rate threshold downshift downstream(Kbps) : 0

Rate threshold upshift downstream(Kbps) : 0
 Rate threshold downshift upstream(Kbps) : 0
 Rate threshold upshift upstream(Kbps) : 0
 PHY-R control in downstream : Disable
 PHY-R control in upstream : Disable
 Erasure decoding switch : Disable
 Minimum SOS bit rate downstream(8Kbps) : 8
 Minimum SOS bit rate upstream(8Kbps) : 8
 Minimum expected throughput downstream(Kbps) : 32
 Maximum expected throughput downstream(Kbps) : 32
 Maximum net data rate downstream(Kbps) : 32
 Minimum delay downstream(ms) : 0
 Maximum delay downstream(ms) : 1
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event downstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event transported over DMT
 symbols with a subcarrier spacing of 8.625kHz
 downstream(DMT symbol) : 0
 Single high impulse noise event ratio
 downstream(0.001) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise
 downstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise transported
 over DMT symbols with a subcarrier spacing of
 8.625kHz downstream(DMT symbol) : 0
 Repetitive electrical impulse noise
 inter-arrival time downstream
 0-100Hz 1-120Hz(0~1) : 0
 Minimum expected throughput upstream(Kbps) : 32
 Maximum expected throughput upstream(Kbps) : 32
 Maximum net data rate upstream(Kbps) : 32
 Minimum delay upstream(ms) : 0
 Maximum delay upstream(ms) : 1
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event upstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event transported over DMT
 symbols with a subcarrier spacing of 8.625kHz
 upstream(DMT symbol) : 0
 Single high impulse noise event ratio
 upstream(0.001) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise
 upstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise transported
 over DMT symbols with a subcarrier spacing of
 8.625kHz upstream(DMT symbol) : 0
 Repetitive electrical impulse noise
 inter-arrival time upstream
 0-100Hz 1-120Hz(0~1) : 0
 Channel initialization policy selection : 0

5.1.4 Κατατομή VDSL2 17a με DPBO

Transmission mode:

T1.413

G.992.1(Annex A/B/C)

G.992.2(Annex A/C) G.992.3(Annex A/B/I/J/L/M)
 G.992.4(Annex A/I) G.992.5(Annex A/B/I/J/M)
 G.993.2(Annex A/B/C)

Bit swap downstream : Enable
 Bit swap upstream : Enable
 Form of transmit rate adaptation downstream : AdaptAtStartup
 Form of transmit rate adaptation upstream : AdaptAtStartup
 Target SNR margin downstream(0.1dB) : 90
 Minimum SNR margin downstream(0.1dB) : 0
 Maximum SNR margin downstream(0.1dB) : 300
 Target SNR margin upstream(0.1dB) : 90
 Minimum SNR margin upstream(0.1dB) : 0
 Maximum SNR margin upstream(0.1dB) : 300
 DPBO E-side electrical length(0.5dB) : 40
 DPBO minimum E-side electrical length(0.5dB) : 40
 DPBO assumed exchange PSD mask : 7 points

Number	Tone Index	Frequency (KHz)	PSD Value (-0.5dBm/Hz)
1	32	138.0	73
2	256	1104.0	73
3	376	1621.5	93
4	512	2208.0	96
5	870	3751.8	102
6	1206	5200.8	105
7	1971	8499.9	109

DPBO E-side cable model scalar A : 296
 DPBO E-side cable model scalar B : 396
 DPBO E-side cable model scalar C : 312
 DPBO minimum usable signal(-0.5dBm/Hz) : 192
 DPBO span minimum frequency(4.3125KHz) : 32
 DPBO span maximum frequency(4.3125KHz) : 869
 UPBO US1 band reference PSD parameters[a, b] : 1650,1020
 UPBO US2 band reference PSD parameters[a, b] : 1650,615
 UPBO US3 band reference PSD parameters[a, b] : 0,0
 UPBO US4 band reference PSD parameters[a, b] : 0,0
 UPBO Boost Mode : Enable
 UPBO US1 band reference electrical length : 0
 UPBO US2 band reference electrical length : 0
 UPBO US3 band reference electrical length : 0
 UPBO US4 band reference electrical length : 0
 UPBO use of electrical length to compute UPBO : Auto
 K10 selection : max(k10_CO,k10_CPE)
 UPBO electrical length estimation mode : ELE_M0
 UPBO electrical length threshold percentile : 10
 Allow transition to idle : not allowed
 Allow transition to low power : not allowed
 L0 time(second) : 255
 L2 time(second) : 255
 L3 time(second) : 0
 Maximum aggregate transmit power reduction(dB) : 10
 Total maximum aggregate transmit power reduction
 (dB) : 31
 <defmode>

G.993.2 profile : Profile17a
 VDSL2 PSD class mask : AnnexB998ADE17-M2x-B(B8-12)
 VDSL2 link use of U0 : Used
 Maximum nominal aggregate transmit power
 downstream(0.1dBm) : 145

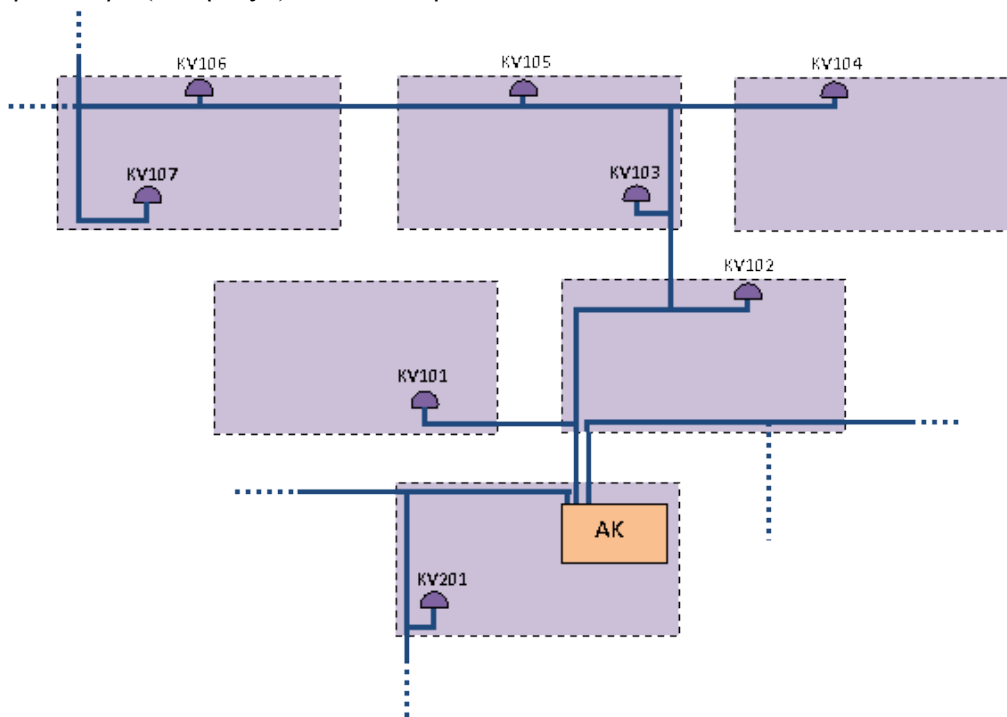
Maximum nominal aggregate transmit power
 upstream(0.1dBm) : 145
 Upstream PSD mask selection : ADLU-32/EU-32
 Virtual noise mode downstream : Disable
 Virtual noise mode upstream : Disable
 Network timing reference clock mode : FreeRun
 INM inter arrival time offset downstream
 (DMT symbol) : 3
 INM inter arrival time step downstream : 0
 INM cluster continuation value downstream
 (DMT symbol) : 0
 INM equivalent INP mode downstream : 0
 INM inter arrival time offset upstream
 (DMT symbol) : 3
 INM inter arrival time step upstream : 0
 INM cluster continuation value upstream
 (DMT symbol) : 0
 INM equivalent INP mode upstream : 0
 SOS time Window downstream(64ms) : 0
 Minimum percentage of degraded tones downstream : 0
 Minimum number of normalized CRC anomalies
 downstream(0.02) : 1
 Maximum number of SOS downstream : 0
 SNR margin offset of ROC downstream(0.1dB) : 0
 Minimum impulse noise protection of ROC
 downstream : 0
 SOS time Window upstream(64ms) : 0
 Minimum percentage of degraded tones upstream : 0
 Minimum number of normalized CRC anomalies
 upstream(0.02) : 1
 Maximum number of SOS upstream : 0
 SNR margin offset of ROC upstream(0.1dB) : 0
 Minimum impulse noise protection of ROC
 upstream : 0
 G.998.4 retransmission control in downstream : RTX_FORBIDDEN
 G.998.4 retransmission control in upstream : RTX_FORBIDDEN
 Force framer setting for inp downstream : False
 Force framer setting for inp upstream : False
 Data path mode : Both
 Minimum impulse noise protection downstream : NoProtection
 Minimum impulse noise protection upstream : NoProtection
 Maximum interleaving delay downstream(ms) : 10
 Maximum interleaving delay upstream(ms) : 10
 Minimum transmit rate downstream(Kbps) : 128
 Minimum reserved transmit rate downstream(Kbps) : 128
 Maximum transmit rate downstream(Kbps) : 200000
 Minimum transmit rate upstream(Kbps) : 128
 Minimum reserved transmit rate upstream(Kbps) : 128
 Maximum transmit rate upstream(Kbps) : 200000
 Rate threshold downshift downstream(Kbps) : 0
 Rate threshold upshift downstream(Kbps) : 0
 Rate threshold downshift upstream(Kbps) : 0
 Rate threshold upshift upstream(Kbps) : 0
 PHY-R control in downstream : Disable
 PHY-R control in upstream : Disable
 Erasure decoding switch : Disable
 Minimum SOS bit rate downstream(8Kbps) : 8
 Minimum SOS bit rate upstream(8Kbps) : 8

Minimum expected throughput downstream(Kbps) : 32
 Maximum expected throughput downstream(Kbps) : 32
 Maximum net data rate downstream(Kbps) : 32
 Minimum delay downstream(ms) : 0
 Maximum delay downstream(ms) : 1
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event downstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event transported over DMT
 symbols with a subcarrier spacing of 8.625kHz
 downstream(DMT symbol) : 0
 Single high impulse noise event ratio
 downstream(0.001) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise
 downstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise transported
 over DMT symbols with a subcarrier spacing of
 8.625kHz downstream(DMT symbol) : 0
 Repetitive electrical impulse noise
 inter-arrival time downstream
 0-100Hz 1-120Hz(0~1) : 0
 Minimum expected throughput upstream(Kbps) : 32
 Maximum expected throughput upstream(Kbps) : 32
 Maximum net data rate upstream(Kbps) : 32
 Minimum delay upstream(ms) : 0
 Maximum delay upstream(ms) : 1
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event upstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against single
 high impulse noise event transported over DMT
 symbols with a subcarrier spacing of 8.625kHz
 upstream(DMT symbol) : 0
 Single high impulse noise event ratio
 upstream(0.001) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise
 upstream(DMT symbol) : 0
 Minimum impulse noise protection against
 repetitive electrical impulse noise transported
 over DMT symbols with a subcarrier spacing of
 8.625kHz upstream(DMT symbol) : 0
 Repetitive electrical impulse noise
 inter-arrival time upstream
 0-100Hz 1-120Hz(0~1) : 0
 Channel initialization policy selection : 0

5.2 Δομή συνδρομητικού τηλεφωνικού καλωδίου χαλκού

Οι παράμετροι του καλωδίου είτε είναι γνωστές αν χρησιμοποιούνται συγκεκριμένοι τύποι καλωδίων για τους οποίους έχουν γίνει μετρήσεις ή πρέπει να υπολογιστούν. Σύμφωνα με τα στοιχεία που έχει υποβάλει ο ΟΤΕ, στο δίκτυο πρόσβασης χρησιμοποιούνται αθωράκιστα καλώδια συνεστραμμένων τετράδων (quads) μονωμένων αγωγών, που ξεκινούν από τον Κύριο Κατανομητή του Α/Κ και τερματίζουν στο σημείο τερματισμού δικτύου, στον χώρο του συνδρομητή. Σε κάθε συνδρομητή αντιστοιχεί ένα ζεύγος αγωγών, που τον συνδέει με το οικείο Α/Κ. Το κύριο δίκτυο, που περιγράφεται στην Εικ.4.2.1 που ακολουθεί, περιλαμβάνει ένα πλήθος καλωδίων μεγάλης χωρητικότητας μέχρι και 2.400 ζευγών, που ξεκινούν από το ΑΚ και αναπτύσσονται σε δενδρική τοπολογία γύρω από αυτό, με περισσότερους κύριους κλάδους, διακλαδώσεις και απομαστεύσεις σε μικρότερα καλώδια μέχρι και 400 ζευγών. Τα καλώδια αυτά τερματίζουν σε υπαίθριους κατανομητές, καλύπτοντας πλήρως τις τηλεπικοινωνιακές ανάγκες μιας

περιοχής. Σπανιότερα, σε περιπτώσεις μεταγενέστερης ενίσχυσης δικτύου σε έναν υπαίθριο καταναμητή μπορεί να τερματίζονται περισσότερα (συνήθως 2) καλώδια κυρίου δικτύου.



Εικόνα 5.2.1 Δομή Κύριου Δικτύου

Τα καλώδια του κυρίου δικτύου είναι συνήθως στεγνά, επιτηρούνται υπό πίεση από σύστημα Ξηρού Πεπιεσμένου Αέρα κι ένα μέρος αυτών, συνήθως εκείνων που βρίσκονται κοντύτερα στο αστικό κέντρο, βρίσκεται τοποθετημένο σε στεγανή σωλήνωση.

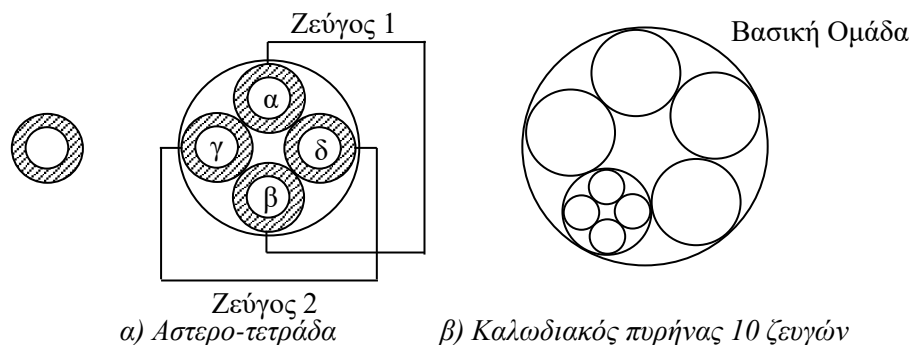
Στο δίκτυο πρόσβασης του ΟΤΕ συναντώνται καλώδια διαφόρων τύπων και ηλικιών, κάποια από τα οποία έχουν δεχθεί εργασίες συντήρησης για την άρση καλωδιακών βλαβών και οι δυνατότητές τους πέραν της φωνόσυγχνης λειτουργίας δεν είναι σε μεγάλο βαθμό δεδομένες.

Οι αγωγοί των καλωδίων είναι χάλκινοι με διάμετρο συνήθως 0,4 mm σε αστικό περιβάλλον και 0,6 mm σε ημιαστικό. Σπανιότερα χρησιμοποιούνται και αγωγοί 0,8 mm κυρίως σε ζευκτικά καλώδια μεταξύ αστικών κέντρων ή για την τηλεφωνοδότηση πολύ απομακρυσμένων οικισμών. Σε ομοίμορφα μήκη καλωδίων, το μέγιστο τυπικό καλωδιακό μήκος για κάθε διάμετρο αγωγού περιορίζεται σε 3,5 έως 4, 6 και 8 km αντίστοιχα.

Αν και σε αστικό περιβάλλον προτιμώνται ομοίμορφα καλωδιακά μήκη με διάμετρο αγωγού 0,4 mm, σε περιπτώσεις περιαστικού περιβάλλοντος, προκειμένου να αυξηθεί η εμβέλεια, γίνεται μικτή χρήση καλωδίων με αγωγούς 0,4 και 0,6 mm, χωρίς προσαρμογή της σύνθετης αντίστασης στο σημείο σύνδεσης.

Η μόνωση των αγωγών του καλωδίου είναι χάρτου ή πολυαιθυλενίου. Μέχρι το 1994 χρησιμοποιούντο αποκλειστικά μεταλλικά καλώδια μόνωσης χάρτου. Τα καλώδια με μόνωση πολυαιθυλενίου PE (συμπαγές για αγωγούς διαμέτρου 0,4 mm και πορώδες για αγωγούς διαμέτρου 0,6 και 0,8 mm) εισήχθηκαν στο δίκτυο του ΟΤΕ μετά το 1994. Σήμερα υπολογίζεται ότι το 70% των μεταλλικών καλωδίων πρόσβασης του ΟΤΕ φέρουν μόνωση χάρτου. Το ποσοστό αυτό αναμένεται να είναι μεγαλύτερο στο κύριο δίκτυο και μικρότερο στο δίκτυο διανομής.

Η δομή των καλωδίων του ΟΤΕ βασίζεται σε τετράδες μονωμένων αγωγών. Κάθε τέσσερις μονωμένοι αγωγοί συστρέφονται ομοίμορφα σε αστεροτετραδική διάταξη σχηματίζοντας συμπαγή τετράδα, έτσι ώστε οι αγωγοί που βρίσκονται διαγώνια να αποτελούν ζεύγος. Σε καλώδια μέχρι και 10 ζευγών οι τετράδες (1, 2, 3 ή 5 αντίστοιχα) συστρέφονται απλώς μεταξύ τους, σχηματίζοντας καλωδιακό πυρήνα.

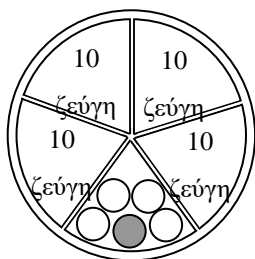


α) Αστερο-τετράδα

β) Καλωδιακός πυρήνας 10 ζευγών

Σε καλώδια άνω των 10 ζευγών ο καλωδιακός πυρήνας απαρτίζεται από ομάδες των πέντε τετράδων. Οι πέντε τετράδες, καθεμία κατάλληλης συστρώφης, συστρέφονται σχηματίζοντας μία βασική ομάδα επιδιώκοντας τη μικρότερη δυνατή ηλεκτρομαγνητική σύζευξη. Η διάταξη και ο χαρακτηρισμός κάθε αγωγού μέσα στην τετράδα του καθώς και ο χαρακτηρισμός της τετράδας μέσα στη βασική της ομάδα διατηρούνται κατά μήκος τού καλωδίου.

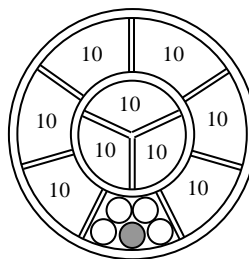
Κύρια Ομάδα



γ) Κύρια ομάδα 50 ζευγών

Διαμόρφωση καλωδιακού

πυρήνα 100 ζευγών



δ) Καλωδιακός πυρήνας 100 ζευγών

Κάθε 5 ή 10 βασικές ομάδες, σχηματίζουν μία κύρια ομάδα 50 ή 100 ζευγών αντίστοιχα. Στην περίπτωση βασικών ομάδων, αυτές είναι διατεταγμένες σε ένα στρώμα, ενώ στην περίπτωση των 10 βασικών ομάδων, αυτές είναι διατεταγμένες σε 2 στρώματα.

Στα καλώδια 10 έως 100 ζευγών, οι βασικές ομάδες που δημιουργούνται με τον ανωτέρω τρόπο, συστρέφονται για να σχηματίσουν ένα συμπαγή κυλινδρικό πυρήνα. Στα καλώδια μεγαλύτερης χωρητικότητας οι κύριες ομάδες 50 ή 100 ζευγών διατάσσονται σε ομόκεντρα στρώματα και συστρέφονται για το σχηματισμό κυλινδρικού καλωδιακού πυρήνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Κωττής, Π. and Αράπογλου, Π.** *Ασύρματες Επικοινωνίες*. s.l. : Εκδόσεις Τζιόλα, 2011.
2. **P. Golden, H. Dedieu, K. Jacobsen.** *Fundamentals of DSL Technology*. s.l. : Auerbach Publications, 2006.
3. **Βασιλόπουλος, Χ., et al., et al.** *ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ*. s.l. : ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, 2010.
4. *The noise and crosstalk environment for ADSL and VDSL systems.* **Cook, J.W., et al., et al.** 5, May 1999, IEEE Communications Magazine, Vol. 37, pp. 73-78.
5. **Van Wyk, J.H.** Determination of ADSL capacity in a generic exchange environment. *M Eng dissertation*. s.l., Pretoria : University of Pretoria, 1999.
6. **P. Golden, H. Dedieu, K. Jacobsen.** *Implementation and Applications of DSL Technology*. s.l. : Auerbach Publications, 2007.
7. *Defining upstream power backoff for VDSL.* **Schelstraete, S.** 5, June 2002, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 20, pp. 1064-1074.
8. *Methods of summing crosstalk from mixed sources. I. Theoretical analysis.* **Galli, S. and Kerpez, K.J.** August 2002, IEEE Transactions on Communications , pp. 453-461.
9. *Νόμος 2867/2000, 19/12/2000 και υπ' αριθ. 217/29 (ΦΕΚ 751/Β/15.06.2001) απόφαση της ΕΕΤΤ βάσει του υπ' αριθ. 2887/2000 Κανονισμού του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.*
10. *Πορεία της ευρυζωνικότητας στην Ελλάδα Α' τρίμηνο 2011.* **ΕΕΤΤ.** 2011.
11. *Advanced DSL Management.* **Kerpez, K.J., et al., et al.** 9, September 2003, IEEE Communications Magazine, Vol. 41, pp. 116-123.
12. *Dynamic Spectrum Management (DSM) Algorithms for Multi-User xDSL.* **Huberman, Sean, Leung, Christopher and Le-Ngoc, Tho.** 1, 2012, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 14, pp. 109-130.