



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Ασύρματη Συσκευή
Ανίχνευσης Σταθμευμένων Οχημάτων**

Διπλωματική Εργασία

Κωνσταντίνος Ι. Κνιθάκης

Επιβλέπων: Ιωάννης Αβαριτσιώτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2007



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Ασύρματη Συσκευή
Ανίχνευσης Σταθμευμένων Οχημάτων**

Διπλωματική Εργασία

Κωνσταντίνος Ι. Κνιθάκης

Επιβλέπων: Ιωάννης Αβαριτσιώτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 10η Μαΐου 2007

.....
Ιωάννης Αβαριτσιώτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ελευθέριος Καγιάφας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Βασίλειος Λούμος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2007

.....
Κωνσταντίνος Ι. Κνιθάκης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κωνσταντίνος Ι. Κνιθάκης, 2007

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

Η εκπόνηση της παρούσης διπλωματικής εργασίας, έχει ως σκοπό την μελέτη και τον σχεδιασμό ενός συστήματος το οποίο θα αποφαινεται για την ύπαρξη ή μη σταθμευμένου οχήματος εντός μιας συγκεκριμένης περιοχής ελέγχου. Η τοποθέτησή του προτείνεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος και συγκεκριμένα στον άξονα μήκους της εν λόγω περιοχής, ενώ το σύστημα αναμένεται να δίνει απάντηση μόνο για οχήματα που σταθμεύουν άνω αυτού.

Η λειτουργία βασίζεται σε έναν μαγνητικό αισθητήρα AMR, που αποκρίνεται με μεταβολές της τάσης εξόδου του στις διακυμάνσεις της έντασης του γήινου μαγνητικού πεδίου λόγω των φερομαγνητικών υλικών των οχημάτων. Τα σήματα που δημιουργούνται επεξεργάζονται μέσω ενός μικροελεγκτή, ο οποίος είναι και το κύριο μέρος του συστήματος και δίνει την τελική απάντηση στο ζητούμενο της στάθμευσης ή μη οχήματος. Σκοπός επίσης του μικροελεγκτή είναι και ο χειρισμός των περιφερειακών συσκευών που άπτονται του αρχικού συστήματος.

Η διασύνδεση της ανωτέρω διάταξης με το εξωτερικό περιβάλλον και η εποπτεία των αποτελεσμάτων, επιτυγχάνεται στην εν λόγω υλοποίηση μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, είτε σταθερά μέσω σειριακής θύρας, είτε ασύρματα ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Σχεδιαστική φιλοσοφία του συστήματος είναι οι μικρές του διαστάσεις, βάσει της οποίας χρησιμοποιείται η τεχνολογία SMT (Surface Mount Technology), καθώς και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για την πολυετή και απρόσκοπτη λειτουργία του τροφοδοτούμενο μέσω μπαταρίας.

Λέξεις – Φράσεις κλειδιά

Τεχνολογίες ανίχνευσης οχημάτων, Μαγνητικοί Αισθητήρες, Μαγνητικός αισθητήρας AMR, Γήινο Μαγνητικό Πεδίο, Όχημα, Στάθμευση, Μικροελεγκτής, Σειριακή Θύρα, Ασύρματη Ζεύξη, Τεχνολογία SMT, Τεχνολογία I2C, Αλγόριθμος.

Abstract

The purpose of this project is to study and design a system, whose primal function would be to decide whether there is or is not a parked vehicle within a specific monitored area. Its setting is advised to be on the surface of the pavement and more exactly on the length-axis of the parking area, while the system is expected to 'sense' only within these particular boundaries.

Its function is based on a magnetic AMR sensor which responds with changes of the output voltage to the fluctuation of the intensity of the Earth's magnetic field, due to the ferromagnetic materials of the vehicles. The signals that are generated are thereafter processed into a microcontroller, which is the basic part of the project and finally gives an answer on the presence of a parked vehicle or not. Its purpose also is the control of the peripheral devices which are connected to the main system.

The link of this prototype with the outer environment as also the receipt of data is achieved through a personal computer either with a serial connection or wireless via RF at regular time intervals.

The design rules of the system are its small dimensions, which is the reason of the use of the SMT technology (Surface Mount Technology), as also its low power consumption for its normal function for several years through a battery.

Keywords

Vehicle detection technologies, Magnetic Sensors, Magnetic AMR Sensor, Earth's Magnetic Field, Vehicle, Parking, Microcontroller, Serial Port, Wireless Connection, SMT, I2C, Algorithm.

Ευχαριστίες

Η συγκεκριμένη εργασία πέρα από το προφανές και υποχρεωτικό τελικό στάδιο ενός κύκλου σπουδών για την απόκτηση του τίτλου του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού, αποτέλεσε για εμένα μια ουσιαστική εισαγωγή στην έννοια εκπόνησης μιας ολοκληρωμένης μελέτης. Για πρώτη φορά βίωσα την σημασία της ιδιότητας ενός μηχανικού, ο οποίος πρέπει βάσει αυστηρών προδιαγραφών να πορευθεί προς την επίτευξη του ανατεθέντος εγχειρήματος, επινοώντας λύσεις για την υπερκέραση των όποιων προβλημάτων και καταλήγοντας στην έννοια που τον χαρακτηρίζει, τη δημιουργία.

Βέβαια άμεσα συνδεδεμένο με τη φύση του μηχανικού είναι ο εργαστηριακός χώρος μέσα στον οποίο δύναται να εφαρμόσει και να ελέγξει τις όποιες ιδέες του, αλλά κυρίως η συνεργασία. Είχα την τύχη να εργασθώ στο εργαστήριο Μικροηλεκτρονικής της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π. μα πιο σημαντικό την ευτυχία να συνεργασθώ με τους υποψήφιους διδάκτορες και φίλους που τον καιρό αυτό την στελέχωναν. Η εργασία μαζί τους αποτελούσε μια καθημερινή εμπειρία αλληλοβοήθειας και αλληλοκατανόησης και είναι σίγουρα μια περίοδος χαραγμένη βαθιά μέσα στη μνήμη μου. Ευχαριστώ λοιπόν θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα Γιάννη Θανασσόπουλο και ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα Γιώργο Μαζαράκη ο οποίος αποδείχτηκε μια αληθινή απόδειξη της έννοιας της ανιδιοτέλειας. Πρώτη φορά για εμένα ένας άγνωστος αρχικά άνθρωπος ξενύχτησε και προσέφερε τόσα πολλά σε εμένα απλά για να με βοηθήσει. Οι γνώσεις του και οι συμβουλές του ήταν το σημαντικότερο μάθημα που παρακολούθησα μέσα στο Πολυτεχνείο.

Παρόμοια θέρμη και ανάγκη για ευχαριστία νιώθω και για τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ι. Αβαριτσιώτη, τον οποίο και επέλεξα για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας κυρίως λόγω του κλίματος συνεργασίας και συμπαράστασης που απέπνεε με μία δόση πάντα χιούμορ. Ειλικρινά ευχαριστώ για την κατανόηση και την υπομονή σας.

Πέρα όμως από τους φίλους του εργαστηρίου, ανάλογη ευχαριστία οφείλω και στους φίλους μου Δημήτριο Βάγια και Σταμάτη Σιβίτο που απλόχερα με βοήθησαν όταν τους το ζήτησα, καθώς και τον Δημήτρη Ηλιάδη που πάντα βρισκόταν δίπλα μου και με ηρεμούσε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Στην όλη πορεία των σπουδών βέβαια το οικογενειακό μου περιβάλλον με στήριξε και μου προσέφερε τα απαραίτητα ψυχικά αποθέματα για να φτάσω μέχρι το τέλος. Μέσα σε αυτούς περικλείω και την κοπέλα μου της οποίας αναγνωρίζω την πρωτοφανή κατανόηση που κατέδειξε. Σας ευχαριστώ.

Τέλος την εργασία μου αυτή αφιερώνω στον πατέρα μου του οποίου την υπομονή και την ποιότητα κληρονόμησα.

Από καρδιάς

Κωνσταντίνος Κνιθάκης

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	8
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1 Γενική εισαγωγή.....	11
1.2 Πρακτικές εφαρμογές	12
1.2.1 Εφαρμογή σε περιοχή στάθμευσης (parking).....	12
1.2.2 Άλλες εφαρμογές	15
2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ	17
2.1 Εισαγωγή	17
2.2 Τεχνολογίες Τοποθέτησης Εντός οδοστρώματος.....	19
2.2.1 Βρόγχος Επαγωγής (Inductive Loop)	19
2.2.2 Μαγνητικοί Ανιχνευτές (Magnetic Sensors)	21
2.2.3 Πνευματικός Σωλήνας (Pneumatic Road Tube).....	22
2.2.4 Πιεζοηλεκτρικό Καλώδιο (Piezoelectric Cables)	23
2.2.5 Weigh-In-Motion Ανιχνευτές (WIM)	25
2.3 Τεχνολογίες Τοποθέτησης Εκτός οδοστρώματος	28
2.3.1 Ενεργοί - Παθητικοί Υπέρυθροι και Λέιζερ Ανιχνευτές (Active - Passive Infrared & Laser Sensors)	28
2.3.2 Ραντάρ Μικροκυμάτων (Microwave Radar)	29
2.3.3 Παθητικοί Ακουστικοί Ανιχνευτές και Ανιχνευτές Υπερήχων (Passive Acoustic Array & Ultrasonic Sensors)	31
2.3.4 Επεξεργασία Εικόνας και Βίντεο (Video – Image Processing).....	32
2.3.5 Συνδυασμός τεχνολογιών	33
2.4 Τεχνολογίες Απομακρυσμένης Ανίχνευσης	34
2.4.1 Γεωγραφικό Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GlobaPositioning System, GPS).....	34
2.4.2 Τεχνολογία Αυτόματης Ταυτοποίησης Οχήματος (Automatic Vehicle Identification, AVI)	35
2.4.3 Τεχνολογία Αυτόματης Εύρεσης Θέσεως Οχήματος (Automatic Vehicle Location, AVL)	36
2.5 Αξιολόγηση και Σύγκριση Τεχνολογιών	38
2.5.1 Κλιματολογικές Επιπτώσεις και Δυνατότητα Ανίχνευσης Σταθμευμένου Οχήματος	38
2.5.2 Επιλογή Τεχνολογίας	41
3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	42
3.1 Εισαγωγή	42
3.2 Μαγνητικοί αισθητήρες Ασθενούς Πεδίου.....	44
3.2.1 Επαγωγικό Πηνίο (Induction or Search Coil).....	44
3.2.2 Αισθητήρας S.Q.U.I.D.	45
3.2.3 Αισθητήρας Εκτροπής Πυρήνα (Nuclear Precession)	47
3.2.4 Αισθητήρας Οπτικής Αντλήσεως	50
3.2.5 Αισθητήρας Οπτικής Ίνας (Fiber Optic)	52
3.3 Μαγνητικοί αισθητήρες Γήινου Μαγνητικού Πεδίου.....	53
3.3.1 Αισθητήρας Fluxgate	53
3.3.2 Αισθητήρας Ανισοτροπικής Μαγνητοαντίστασης (AMR)	55

3.4	<i>Μαγνητικοί αισθητήρες Ισχυρού Πεδίου</i>	62
3.4.1	Αισθητήρας Φαινομένου Hall	62
3.4.2	Αισθητήρας Μαγνητοδιόδου (Magnetodiode)	63
3.4.3	Αισθητήρας Μαγνητοτρανζίστορ (Magnetotransistor)	65
3.4.4	Μαγνητο-οπτικός αισθητήρας (Magneto-optical)	66
3.4.5	Αισθητήρας Γιγάντιας Μαγνητοαντίστασης (GMR)	67
3.5	<i>Επιλογή μαγνητικού αισθητήρα</i>	69
4	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	70
4.1	<i>Εισαγωγή</i>	70
4.2	<i>Διάταξη συστήματος</i>	70
4.3	<i>Προδιαγραφές συστήματος</i>	72
4.3.1	Τεχνολογία SMT	72
4.3.2	Τεχνολογία I2C	74
4.4	<i>Παρουσίαση Υποσυστημάτων</i>	76
4.4.1	Υποσύστημα Μαγνητικού Αισθητήρα AMR	76
4.4.1.1	Μαγνητικός Αισθητήρας AMR (HMC1001)	76
4.4.1.2	Κύκλωμα παλμών SET/RESET	79
4.4.2	Υποσύστημα Ενίσχυσης	81
4.4.2.1	Ενισχυτής οργάνων	82
4.4.2.2	Τάση αναφοράς (VIRTUAL GROUND)	85
4.4.2.3	Ψηφιακό Ποτενσιόμετρο	86
4.4.3	Υποσύστημα Επικοινωνίας	89
4.4.3.1	Σειριακή Επικοινωνία	90
4.4.3.2	Ασύρματη RF Επικοινωνία	91
4.4.4	Υποσύστημα Τροφοδοσίας	93
4.4.4.1	Ρυθμιστής Τάσης	95
4.4.4.2	Αναλογικός Διακόπτης	95
4.4.5	Μικροελεγκτής ATmega32	96
4.4.5.1	Παρουσίαση της δομής του Atmega32	97
4.4.5.2	Ο πυρήνας του Atmega32	98
4.4.5.3	Οι μνήμες του Atmega32	101
4.4.5.4	Το ρολόι του Atmega32	103
4.4.5.5	Θύρες Εισόδου/Εξόδου του Atmega32	105
4.4.5.6	Περιφερειακά του Atmega32	107
4.4.5.6.1	Χρονιστής 16 bit	108
4.4.5.6.2	Περιβάλλον Επικοινωνίας Δυο Συρμάτων (Two-wire Serial Interface)	109
4.4.5.6.3	Προγραμματιζόμενη Σειριακή USART	112
4.4.5.6.4	Οκτακάναλος 10-bit ADC	114
5	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	117
5.1	<i>Εισαγωγή</i>	117
5.2	<i>Ανίχνευση οχημάτων μέσω διάταξης AMR</i>	118
5.3	<i>Προετοιμασία Αλγορίθμου</i>	123
5.4	<i>Επεξήγηση Αλγορίθμου Ανίχνευσης Σταθμευμένων Οχημάτων</i>	127
5.4.1	Συνάρτηση αρχικοποίησης συστήματος SystemInit	129
5.4.2	Ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής από υπερχείλιση του timer1	130
5.5	<i>Επαλήθευση Αλγορίθμου</i>	132

6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	137
6.1 Κατασκευή πρωτοτύπου	137
6.2 Πειραματικά αποτελέσματα – επαλήθευση υλοποίησης	145
6.2.1 Μετρήσεις από το όχημα Ford Focus	149
6.2.2 Μετρήσεις από το όχημα Ford Fiesta	151
6.2.3 Μετρήσεις από το όχημα Toyota Corolla	153
6.2.4 Μετρήσεις στην ενδιαφερόμενη θέση στάθμευσης, με ύπαρξη σταθμευμένου οχήματος ή κίνηση σε γειτνιάζουσα θέση	155
6.2.5 Παρατηρήσεις.....	156
6.2.6 Ελαττωματικές Μετρήσεις	157
7 ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ	159
7.1 Συμπεράσματα	159
7.2 Προτάσεις για βελτίωση	160
8 Αναφορές	161
9 Παράρτημα: Firmware Μικροελεγκτή	166

1.1 Γενική εισαγωγή

Σίγουρα ο 20^{ος} αιώνας θα θυμίζει πάντα τη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και της εισαγωγής αυτής ολοένα και περισσότερο στην καθημερινότητα του απλού ανθρώπου. Πλέον στην εποχή μας θεωρείται δεδομένη και απαραίτητη, καθώς όλο και πιο πολλές γενιές έχουν ξεκινήσει τη ζωή τους απολαμβάνοντας ευκολίες και εξυπηρετήσεις που αυτή τόσο φυσικά προσφέρει.

Άρρηκτα συνδεδεμένη με τη διευκόλυνση της τεχνολογίας είναι η έννοια του αυτοματισμού. Όπως υπονοεί και η ετυμολογία της λέξης με τον αυτοματισμό επιτυγχάνεται η αυτόματη λειτουργία συσκευών και η εκτέλεση συγκεκριμένων διαδικασιών, χωρίς την απαίτηση ανθρώπινης φυσικής ή νοητικής εργασίας. Συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι η απόλυτη συνέπεια, ακρίβεια και αλόγυστη επανάληψη διεργασιών καθώς ο ανθρώπινος παράγοντας εισάγει κατά κανόνα σφάλματα και σταδιακή μείωση της απόδοσης.

Όσον αφορά τις ηλεκτρονικές συσκευές ο αυτοματισμός πάντα υπονοεί την εκτέλεση ενός αλγορίθμου. Με τη σειρά του ο αλγόριθμος, εννοιολογικά αποτελεί ένα προκαθορισμένο σύνολο σαφώς διατυπωμένων κανόνων ή διαδικασιών, για την επίλυση ενός προβλήματος σε ένα καθορισμένο αριθμό βημάτων. Η λογική που εισάγει ο αλγόριθμος πρέπει να ενσωματωθεί στον κώδικα με τον οποίο θα προγραμματιστεί κάποιος μικροεπεξεργαστής-μικροελεγκτής και αποτελεί το βασικό δομικό συστατικό μιας υλοποίησης.

Κατά την παρούσα πραγματεία το σύστημα που μελετάται, αποτελεί έναν ανιχνευτή παρκαρισμένων οχημάτων εντός μιας περιοχής που ζητείται, ανάλογα με την εφαρμογή, να ελεγχθεί. Για την επιτέλεση της επιθυμητής εργασίας φαίνεται πως είναι απαραίτητη η αντίληψη του περιβάλλοντος χώρου μέσω αισθητήρα. Στο επόμενο κεφάλαιο που αναπτύσσονται οι υπάρχουσες τεχνολογίες ανίχνευσης, γίνεται αναφορά στα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους για επιλογή της πιο κατάλληλης.

1.2 Πρακτικές εφαρμογές

Στο παρόν σημείο, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά σε πιθανές εφαρμογές του συστήματος, ώστε να είναι διακριτή η χρησιμότητά του και άρα η αξία μελέτης του.

1.2.1 Εφαρμογή σε περιοχή στάθμευσης (parking)

Σαν πρώτη πιθανή εφαρμογή είναι φυσικό, λόγω της φύσης του συστήματος, να επιλεχθεί η χρήση του σε μια εγκατάσταση μισθωμένης ή όχι στάθμευσης οχημάτων. Οι διευκολύνσεις που αυτό θα προσφέρει είναι αρκετά προφανείς και αναλύονται ακολούθως [1].

1

Αυτόματη ανύψωση μπαριέρας εισόδου ή άνοιγμα πύλης.

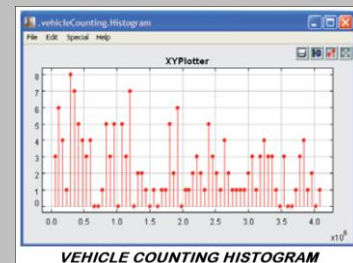
Με το σταμάτημα ενός οχήματος μπροστά σε σημείο εισόδου/εξόδου από χώρο στάθμευσης, το σύστημα δίνει εντολή ανοίγματος της θύρας ελέγχου



2

Καταμέτρηση σε πραγματικό χρόνο,

του αριθμού των αφιχθέντων και αναχωρούντων οχημάτων.



3

Καταμέτρηση σε πραγματικό χρόνο,

του αριθμού των οχημάτων σε ράμπες και συγκεκριμένες περιοχές ελέγχου.



4

Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο,

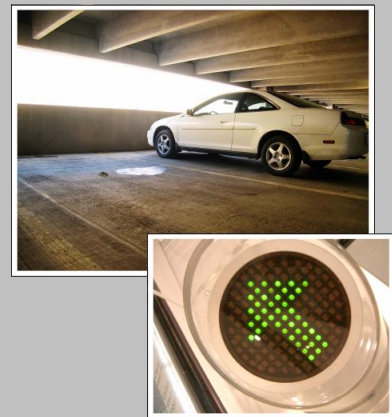
του συστήματος ελέγχου της περιοχής στάθμευσης, για την πληρότητα των θέσεων. Ένας αισθητήρας είναι τοποθετημένος σε έκαστη θέση παρκαρίσματος [1].



5

Σύνδεση με σύστημα εύρεσης κενής θέσης (way finding system).

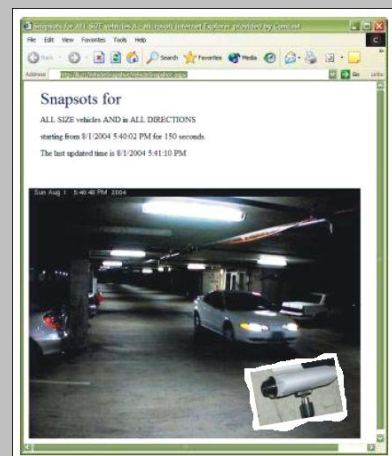
Η εν λόγω λειτουργία αντλεί πληροφορίες από το κεντρικό σύστημα για την πληρότητα του χώρου στάθμευσης και καθοδηγεί τον χρήστη σε υπάρχουσες κενές θέσεις. Η καθοδήγηση είναι πιθανόν να επιτυγχάνεται με φωτεινούς σηματοδότες που φέρουν κάθε φορά την κατάλληλη ένδειξη. Με τη λειτουργία αυτή επομένως, επιτυγχάνεται αποσυμφόρηση από αυξημένη κίνηση και κατά συνέπεια μεγαλύτερη αποδοτικότητα του χώρου στάθμευσης .



6

Δυνατότητα σύνδεσης με τον συναγερμό του κεντρικού συστήματος διεύθυνσης του χώρου στάθμευσης.

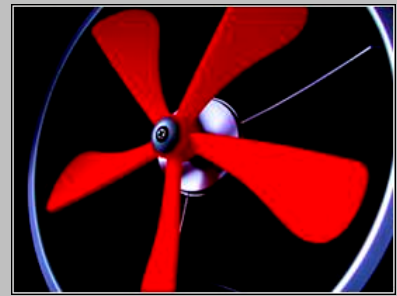
Με τη διασύνδεση αυτή θα μπορούσαν να αναφερθούν ενέργειες όπως κίνηση αντίθετης φοράς από την επιτρεπόμενη ή απλά κίνηση οχήματος μη προβλεπόμενης μετακίνησης. Θα μπορούσαν βεβαίως να ενσωματωθούν και κάποιες ενέργειες οπτικής εποπτείας σε τέτοιες περιπτώσεις, όπως καταγραφή εικόνων από εγκατεστημένες στο χώρο κάμερες.



7

Ποιότητα αέρα.

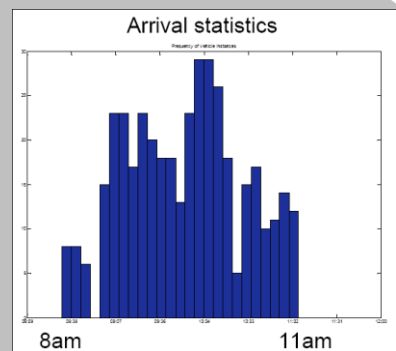
Μια επιπλέον σημαντική λειτουργία για εσωτερικούς χώρους στάθμευσης είναι η διασύνδεση του ανιχνευτή οχημάτων και κίνησης αυτών, με σύστημα επιτήρησης της ποιότητας του αέρα και πιθανή εντολή έναρξης της λειτουργίας του εξαερισμού.



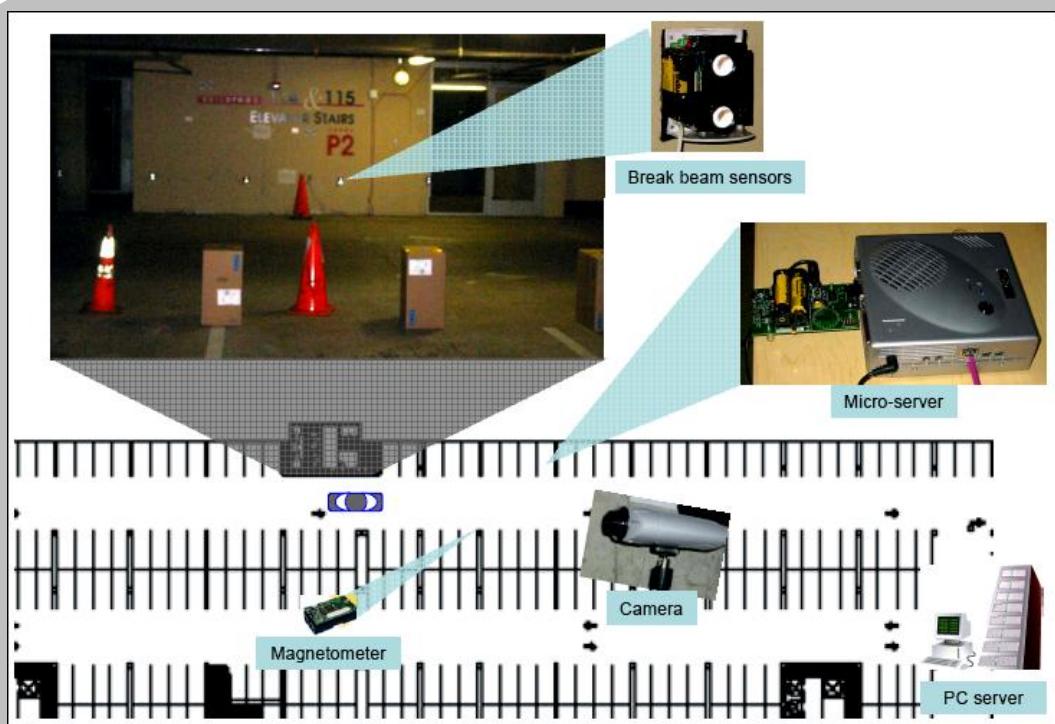
8

Τήρηση στατιστικών δεδομένων.

Μια τελευταία και βεβαίως πρωταρχικής σημασίας προοπτική για τέτοιου είδους επιχειρήσεις, είναι η σύνδεση του συστήματος με το λογιστικό τμήμα για προβολή στατιστικών δεδομένων, όπως και για την επίβλεψη της καταβολής των σωστών κομίστρων από τους χρήστες.



→ Μια συνολική εικόνα εφαρμογής τέτοιου συστήματος σε περιοχή στάθμευσης ακολουθεί για ευκολότερη κατανόηση (Το συγκεκριμένο εμπεριέχει και άλλες τεχνολογίες εκτός αυτής των μαγνητόμετρων) [2].



1.2.2 Άλλες εφαρμογές

1

Χρήση συστήματος σε πλυντήριο αυτοκινήτων.

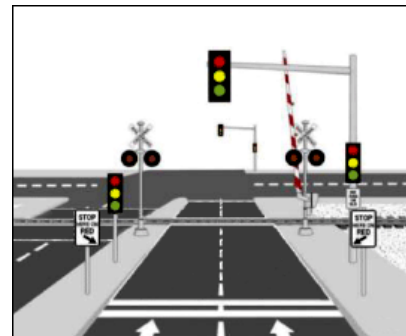
Θα ήταν πιθανή η χρήση του συστήματος σε εγκαταστάσεις αυτόματου πλύσιμου αυτοκινήτου. Με την ανίχνευση της θέσης των οχημάτων, θα μπορούσε να ελέγχει τον ψεκασμό νερού, απορρυπαντικού, καθώς και ένα πλήθος άλλων συσκευών όπως τις χρησιμοποιούμενες βούρτσες και πιθανά φώτα και κουδούνια προειδοποίησης. Είναι εξίσου εφικτή η καταμέτρηση των οχημάτων για την αποφυγή λάθους στις εισπράξεις μιας ανάλογης επιχείρησης.



2

Χρήση σε διασταυρώσεις δρόμων.

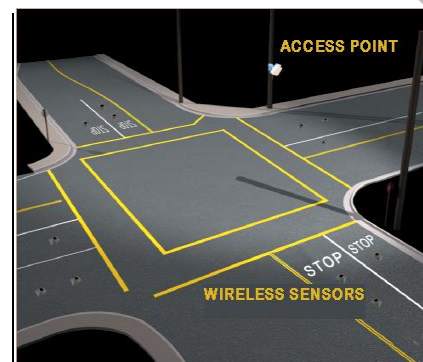
Ένα τέτοιο σύστημα θα παρουσίαζε αυξημένη χρησιμότητα στις κρίσιμες περιοχές των διασταυρώσεων των δρόμων, καθώς θα μπορούσε να ανιληφθεί την παρουσία οχημάτων σε διαφορετικές διευθύνσεις, να τα καταμετρήσει και να υπολογίσει την ταχύτητά τους (με παρουσία περισσότερων του ενός σε επαλληλία συστήματα).



3

Χρήση σε σιδηροδρομικές εφαρμογές.

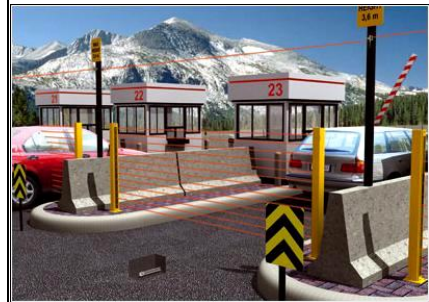
Ο ανιχνευτής θα μπορεί να διακρίνει τη διερχόμενη αμαξοστοιχία και θα χειρίζεται αυτόματα τις μπάρες ελέγχου διέλευσης της κυκλοφορίας από κάποιον διασταυρούμενο δρόμο. Με χρήση δύο τέτοιων ανιχνευτών, θα μπορούσε να διαπιστωθεί ακόμα κατεύθυνση προορισμού και ταχύτητα αυτού. [1]



4

Χρήση σε σταθμό διοδίων.

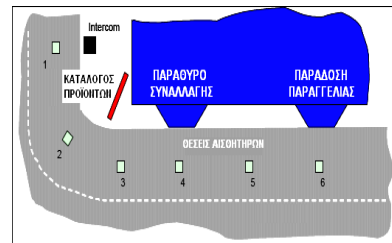
Η εφαρμογή ενός ανιχνευτή σε ένα σταθμό διοδίων εκτός από την αυτόματη ανύψωση της μπαριέρας, θα μπορούσε στην επίσης αυτόματη υπόδειξη των οφειλόμενων κομιστρών στους χρήστες ενός αυτοκινητοδρόμου. Αυτό θα γινόταν με την κατηγοριοποίηση των οχημάτων βάση της μαγνητική τους υπογραφής. [1]



5

Χρήση σε υπηρεσία drive in.

Η ανίχνευση της συγκεκριμένης θέσης του οχήματος, θα μπορούσε αντίστοιχα να αυτοματοποιεί τη διαδικασία φωνητικής ή μη παραγγελίας, όπως επίσης και παραλαβής από κάποιον υπάλληλο ή αντίστοιχο μηχάνημα.



6

Χρήση σε σταθμό φορτοεκφόρτωσης.

Η συγκεκριμένη εφαρμογή του συστήματος, θα επέτρεπε το αυτόματο άνοιγμα των θυρών των αποθηκών του σταθμού φορτοεκφόρτωσης.



2.1 Εισαγωγή

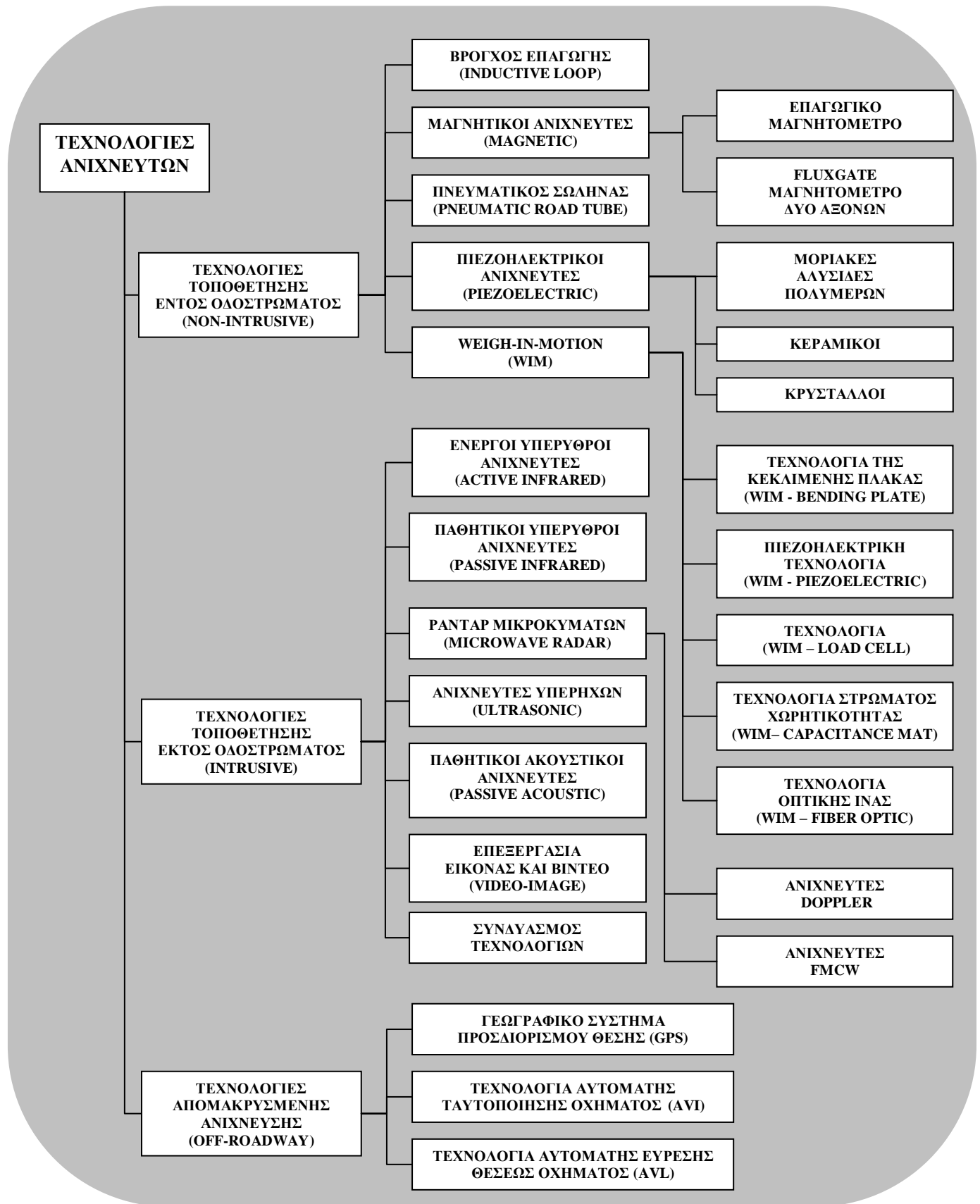
Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναπτυχθούν οι υπάρχουσες τεχνολογίες ανίχνευσης οχημάτων. Είναι εφικτή η κατηγοριοποίησή τους ανάλογα με το σημείο τοποθέτησής τους στην ελεγχόμενη περιοχή. Οι κατηγορίες αυτές είναι τρεις:

- Τεχνολογίες Τοποθέτησης Εντός Οδοστρώματος (Intrusive Technology)
- Τεχνολογίες Τοποθέτησης Εκτός Οδοστρώματος (Non-Intrusive Technology)
- Άλλες τεχνολογίες απομακρυσμένες από την ελεγχόμενη περιοχή (Off – Roadway Technologies)

Θα παρουσιαστούν οι κύριες εφαρμογές που εκπροσωπούν αυτές τις τεχνολογίες και θα αναλυθεί εν συντομία ο τρόπος λειτουργίας τους. Στην πορεία της ανάλυσης, θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα εκάστης εφαρμογής, με σκοπό τη σύγκρισή τους για επιλογή της καταλληλότερης για το σύστημα που πραγματεύεται.

Οφείλεται να προσημειωθεί πως ορισμένες από τις ανωτέρω εφαρμογές δεν είναι εν δυνάμει ικανές, όπως θα παρουσιαστεί και από τη θεωρητική επεξήγηση της λειτουργίας τους, να οδηγήσουν σε ανίχνευση σταθμευμένων οχημάτων. Η χρήση τους επομένως απορρίπτεται εξαρχής και δεν θα συμπεριληφθούν στις υποψήφιες προς χρήση τεχνολογίες, κρίνεται όμως αναγκαίο να αναφερθούν στην παρούσα παρουσίαση για σχηματισμό μιας ολοκληρωμένης εικόνας από τον αναγνώστη.

Στο σημείο αυτό παρατίθεται ένα διάγραμμα των προαναφερθέντων τεχνολογιών, κατηγοριοποιημένες σύμφωνα με τα ανωτέρω.

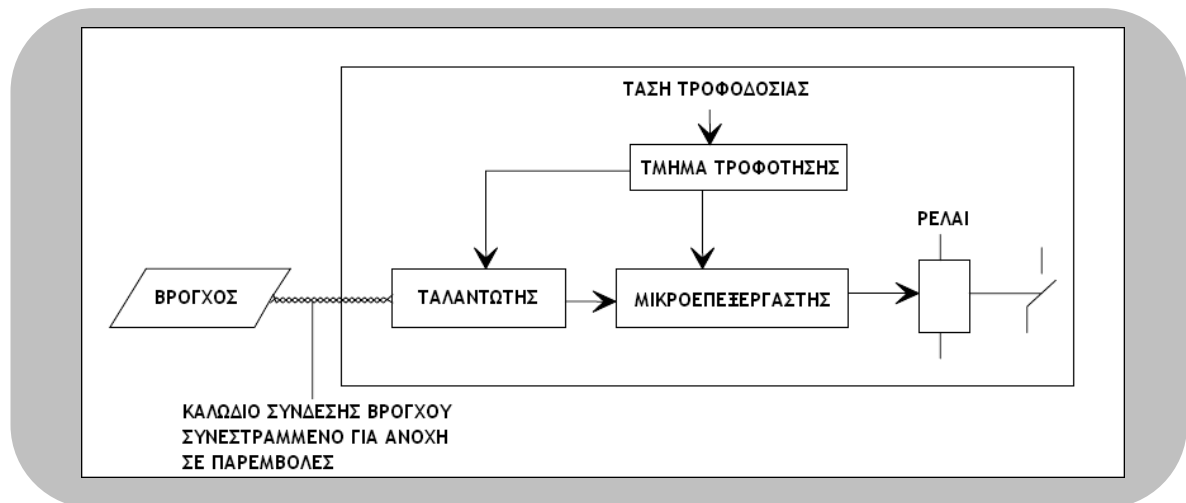


ΣΧΗΜΑ 2.1 - ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ [6]

2.2 Τεχνολογίες Τοποθέτησης Εντός οδοστρώματος

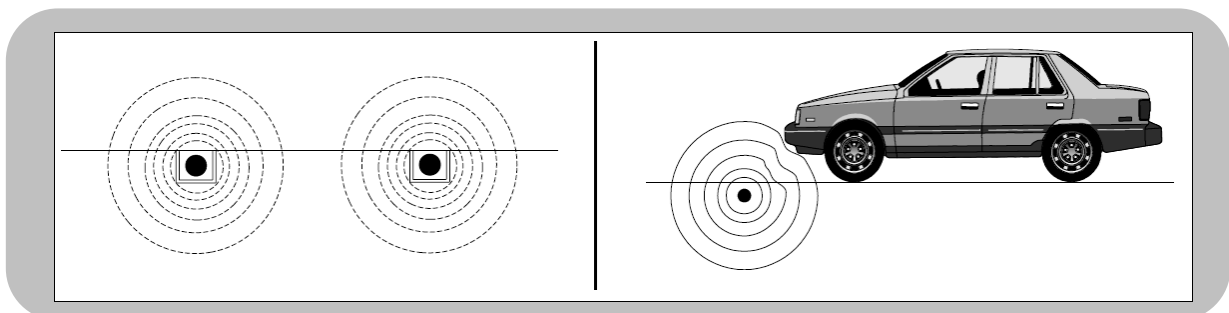
2.2.1 Βρόγχος Επαγωγής (Inductive Loop)

Η τεχνολογία του Βρόγχου Επαγωγής αποτελείται βασικά από ένα καλώδιο το οποίο συνήθως, στις μόνιμες εγκαταστάσεις, τοποθετείται εντός του οδοστρώματος. Ο βρόγχος που σχηματίζει το καλώδιο αυτό και ένας πυκνωτής που βρίσκεται ενσωματωμένος εντός του ανιχνευτή του συστήματος, απαρτίζουν έναν LC ταλαντωτή. Η συχνότητα συντονισμού του κυκλώματος αυτού καθορίζεται από τη χωρητικότητα του πυκνωτή και της αυτεπαγωγής του βρόγχου.



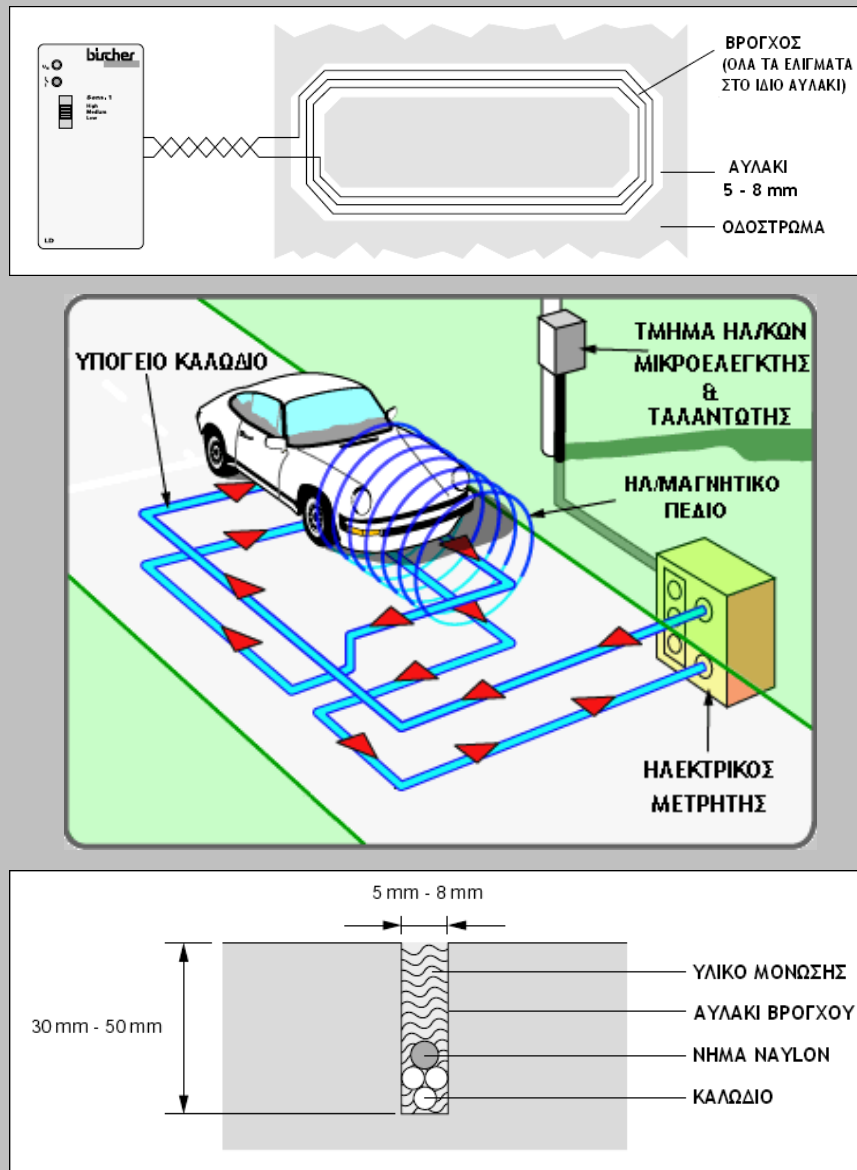
ΣΧΗΜΑ 2.2 - ΚΥΚΛΩΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΒΡΟΓΧΟΥ ΕΠΑΓΩΓΗΣ [III]

Με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος από το καλώδιο του βρόγχου, δημιουργείται γύρω από αυτό ένα μαγνητικό πεδίο με δυναμικές γραμμές που κλείνουν μέσω του συντομότερου δρόμου σχηματίζοντας ομόκεντρους κύκλους. Όταν ένα όχημα διέρχεται άνω του βρόγχου, επάγεται στο σασί του ηλεκτρικό ρεύμα που σχηματίζουν εκ νέου ένα ακόμα μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο αυτό αλληλεπιδρά με το αρχικό του βρόγχου και επομένως οι δυναμικές γραμμές εκείνου παραμορφώνονται και δεν ακολουθούν πλέον το συντομότερο δρόμο. Η βασική αρχή είναι πως η αυτεπαγωγή μικραίνει όταν αυξάνεται το μήκος των δυναμικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου. Έτσι η αυτεπαγωγή του LC κυκλώματος μειώνεται και επομένως η συχνότητα συντονισμού αυξάνει. Ο μικροεπεξεργαστής που ελέγχει το σύστημα και κατά προέκταση τη συχνότητα, αντιλαμβάνεται τη μεταβολή και μόλις διαπιστώσει υπέρβαση ενός κατωφλίου συχνότητας οδηγείται σε ανίχνευση οχήματος [III].



ΣΧΗΜΑ 2.3 - ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ ΕΠΑΓΩΓΗΣ [III]

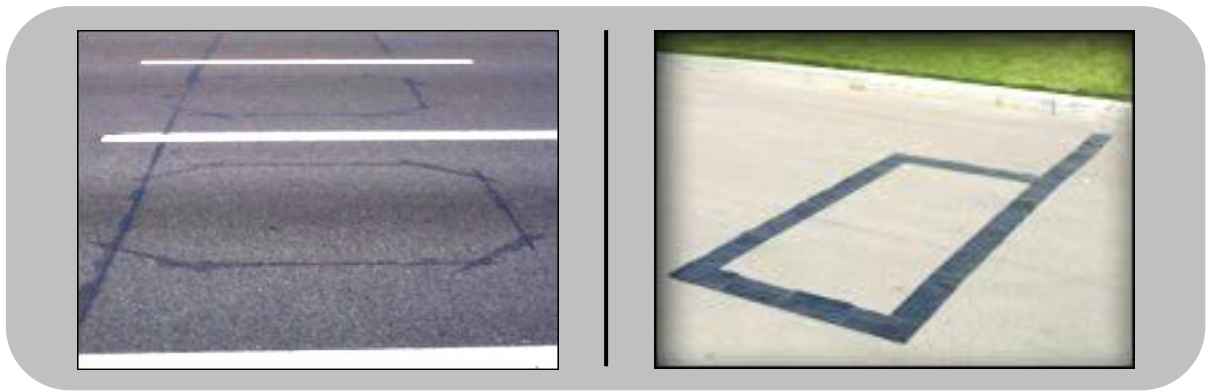
Η διάταξη και εφαρμογή όλου του συστήματος παρουσιάζεται ακολούθως για καλύτερη κατανόηση:



ΣΧΗΜΑ 2.4 - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΡΟΓΧΟΥ ΕΠΑΓΩΓΗΣ [i, II]

Οι περιπτώσεις τοποθέτησης του συστήματος είναι τρεις:

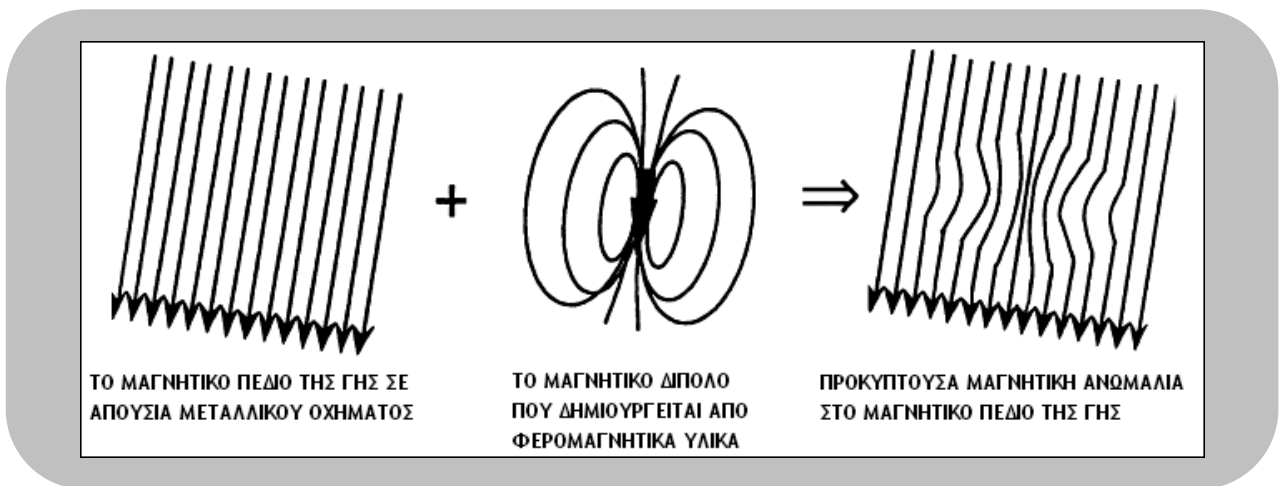
- Τοποθέτηση με εγχάραξη του οδοστρώματος
- Τοποθέτηση κατά την ασφαλτόστρωση
- Λυόμενη τοποθέτηση στην επιφάνεια του οδοστρώματος, με χρήση ειδικών σωλήνων από PVC που διατηρούν το σχήμα των βρόγχων.



ΣΧΗΜΑ 2.5 - ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΜΟΝΙΜΗ ΜΕ ΕΓΧΑΡΑΞΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ

2.2.2 Μαγνητικοί Ανιχνευτές (Magnetic Sensors)

Η λειτουργία των μαγνητικών ανιχνευτών βασίζεται στην μέτρηση της διατάραξης του φυσικού μαγνητικού πεδίου της Γης. Στην περίπτωση της μελέτης μας, η διατάραξη οφείλεται στα φερομαγνητικά μεταλλικά μέρη που συνθέτουν τα οχήματα.



ΣΧΗΜΑ 2.6 - ΑΝΩΜΑΛΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΓΗΣ ΛΟΓΩ ΔΙΠΟΛΟΥ [5]

Υπάρχουν δυο κύριοι τύποι μαγνητικών ανιχνευτών. Το επαγωγικό μαγνητόμετρο και το fluxgate μαγνητόμετρο δύο αξόνων.

- Το επαγωγικό μαγνητόμετρο, αναφέρεται επίσης και ως μαγνητόμετρο πηνίου αναζήτησης (search coil magnetometer), αποτελείται από μία περιέλιξη γύρω από ένα φερομαγνητικό πυρήνα μεγάλης διαπερατότητας. Ως ανιχνευτής αποκρίνεται με ανάπτυξη τάσης όταν υπάρξει διατάραξη των μαγνητικών γραμμών. Το μειονέκτημα για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι ότι απαιτείται από τον τύπο αυτό των ανιχνευτών μια ελάχιστη ταχύτητα.
- Αντίστοιχα το fluxgate μαγνητόμετρο δύο αξόνων αποτελείται από ένα πρωτεύον τυλίγμα, δύο δευτερεύοντα τυλίγματα και από φερομαγνητικό πυρήνα μεγάλης διαπερατότητας. Ο ανιχνευτής αυτός μετράει τις διακυμάνσεις στον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα του γήινου μαγνητικού πεδίου. Ο συγκεκριμένος τύπος μαγνητικού ανιχνευτή επιτρέπει την ανίχνευση σταθμευμένων οχημάτων στην περιοχή παρακολούθησης, διότι τα μεταλλικά τους μέρη προκαλούν μεταβολή της έντασης του μαγνητικού πεδίου που μετράται.

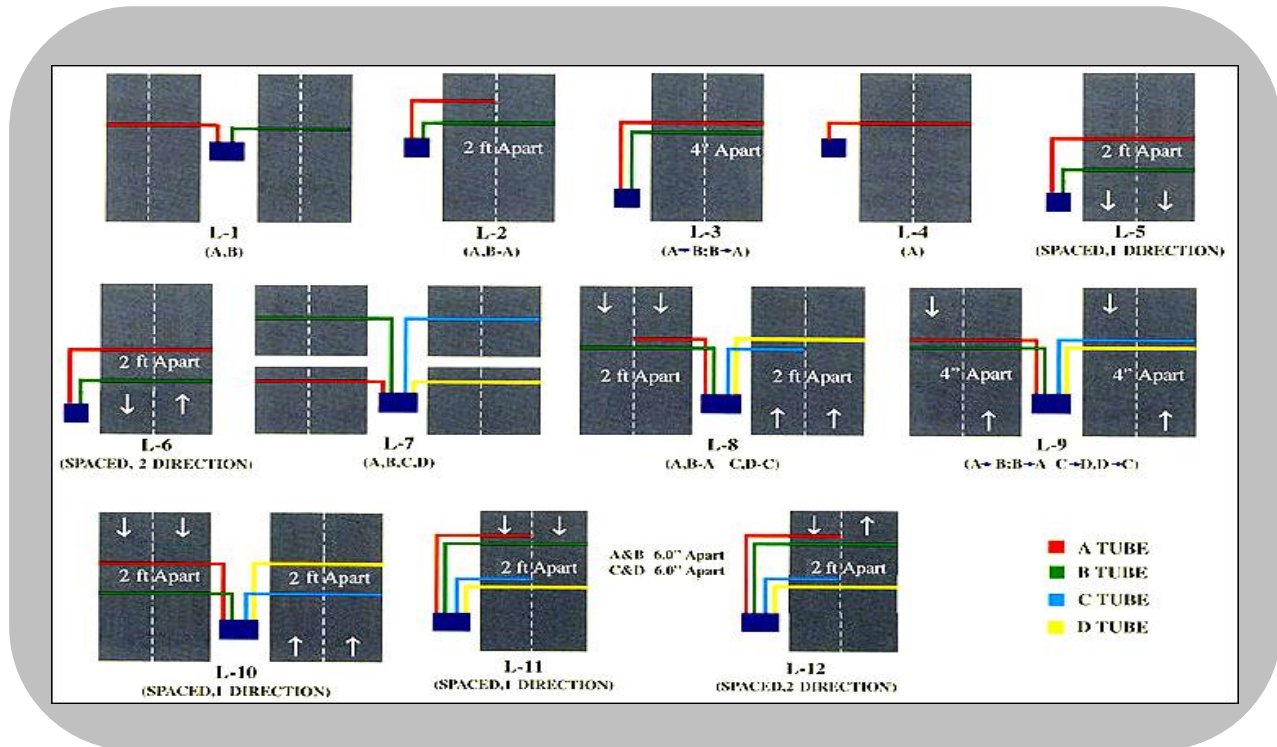
Και στους δυο τύπους όταν η αναπτυσσόμενη τάση στα άκρα των τυλιγμάτων υπερβεί ένα προκαθορισμένο κατώφλι, αποφαίνεται επιτυχής ανίχνευση από τα συστήματα[8].

2.2.3 Πνευματικός Σωλήνας (Pneumatic Road Tube)

Η τεχνολογία του πνευματικού σωλήνα είναι η πρωταρχική εντός οδοστρώματος, που χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση οχημάτων. Αποτελείται από ένα λαστιχένιο σωλήνα τοποθετημένο εγκάρσια σε όλη την έκταση του δρόμου και χρησιμοποιεί τις μεταβολές στην πίεση του αέρα που δημιουργούνται όταν ένα όχημα περάσει άνω αυτού. Οι ριπές αέρα μετατρέπονται από διακόπτες σε ηλεκτρικούς παλμούς και καταμετρώνται ως άξονες οχήματος[4].



ΣΧΗΜΑ 2.7 - ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΥ ΣΩΛΗΝΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΤΗΣ [V]



ΣΧΗΜΑ 2.8 - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ [V]

Η καταμέτρηση αξόνων, μπορεί να μετατραπεί σε υπολογισμό ταχύτητας, αριθμό διερχόμενων οχημάτων ακόμα και κατηγοριοποίηση αυτών μέσω των αποστάσεων των αξόνων και τον αριθμό αυτών. Η τεχνολογία αυτή δεν δύναται να χρησιμοποιηθεί για ανίχνευση σταθμευμένων οχημάτων.

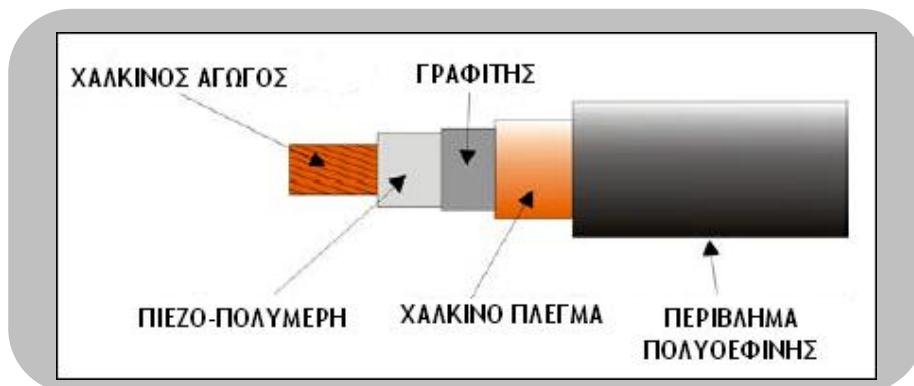
2.2.4 Πιεζοηλεκτρικό Καλώδιο (Piezoelectric Cables)

Οι πιεζοηλεκτρικοί ανιχνευτές χρησιμοποιούν, όπως υποδεικνύει η ονομασία τους, πιεζοηλεκτρικό υλικό. Η βασική ιδιότητα αυτού είναι η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η αιτία είναι η μηχανική αποδιαμόρφωση του υλικού και μεταβολή στην πυκνότητα του επιφανειακού φορτίου, που οδηγεί σε διαφορά τάσης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια. Η διαφορά τάσης παράγεται μόνο όταν υφίστανται μεταβολές στην πίεση που δέχεται το υλικό και επομένως τα σήματα που προκύπτουν έχουν πλάτος και συχνότητα ανάλογα αυτής. Αυτή η κατασκευαστική ιδιομορφία, είναι και η αιτία που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανίχνευση σταθμευμένων οχημάτων[6].

Οι χρήσεις που εξυπηρετούνται από τους ανιχνευτές αυτούς είναι ο υπολογισμός της κυκλοφοριακής ροής, της ταχύτητας των οχημάτων, καθώς και η κατηγοριοποίηση τους μετρώντας τον αριθμό αξόνων τους και τη απόσταση αυτών. Επισημαίνεται επίσης και η δυνατότητα μέτρηση του βάρους οχημάτων.

Οι πιεζοηλεκτρικοί αγωγοί μπορούν να διαχωριστούν ανάλογα με το πιεζοηλεκτρικό υλικό που χρησιμοποιούν. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Υλικό αποτελούμενο από μοριακές αλυσίδες πολυμερών. Μια συνήθης μορφή τους είναι η ομοαξονική διάρθρωσή τους, με μεταλλικό πυρήνα, πιεζοηλεκτρικό πολυμερές υλικό και εξωτερικό μεταλλικό στρώμα

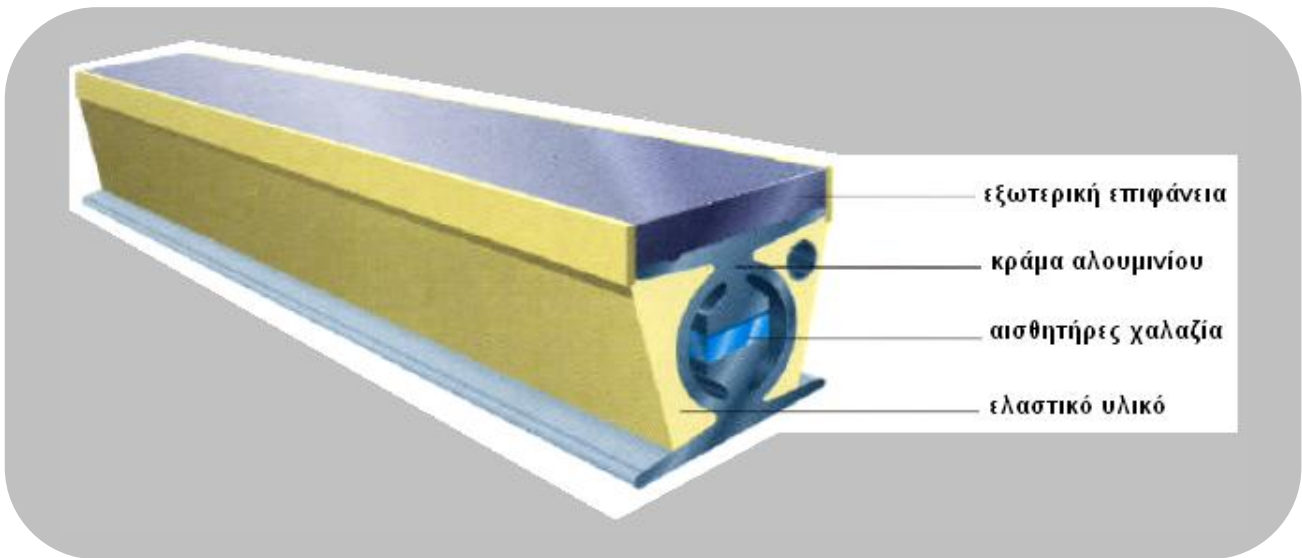


- Υλικό αποτελούμενο από κεραμικά. Ένας διαδεδομένος αισθητήρας αυτής της τεχνολογίας, είναι ο VIBRACOAX® της εταιρείας THERMOCOAX. Αποτελεί επίσης έναν μονωμένο μεταλλικό ομοαξονικό αγωγό, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη κατηγορία, με το εξωτερικό κυλινδρικό περίβλημα φτιαγμένο από χαλκό. Στο εσωτερικό περιέχεται συμπιεσμένη και πολωμένη πιεζοηλεκτρική κεραμική σκόνη, που διατρέχεται κεντρικά από έναν επίσης χάλκινο κυλινδρικό πυρήνα[IV].



ΣΧΗΜΑ 2.10 - ΔΟΜΗ ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ [IV]

- Υλικό αποτελούμενο από κρυστάλλους. Η εταιρία Kistler Instruments Corporation, έχει αναπτύξει την τεχνολογία LINEAS που βασίζεται σε κρύσταλλο χαλαζία.

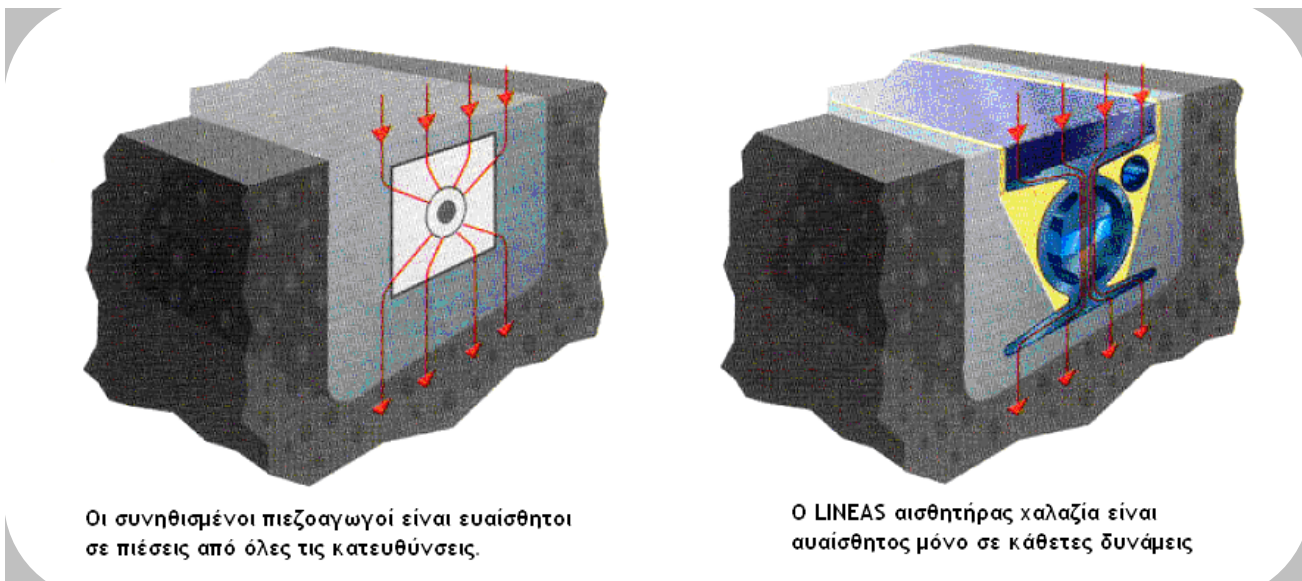


ΣΧΗΜΑ 2.11 - Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ LINEAS ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΥ [4]

Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής, έγκειται στο γεγονός πως ο χαλαζίας αποτελεί ένα υλικό με πολύ καλά χαρακτηριστικά, όπως εξαιρετική γραμμικότητα και σταθερότητα σε θερμοκρασιακές μεταβολές.

Οι αισθητήρες που βασίζονται σε κρύσταλλο χαλαζία, υπερτερούν συγκριτικά άλλων με διαφορετικό πιεζοηλεκτρικό υλικό, διότι ενώ εκείνοι αντιδρούν και στις πλάγιες δυνάμεις που παράγονται από τους τροχούς των οχημάτων, ο LINEAS αντιδρά μόνο στις κατακόρυφες παρέχοντας μεγαλύτερης ακρίβειας μετρήσεις.

Σημαντικότερο χαρακτηριστικό των αισθητήρων αυτών για την παρούσα μελέτη είναι η δυνατότητα, χάρη στη μονωμένη αντίσταση που διαθέτει, να μετράει και στατικές καταστάσεις.



Οι συνηθισμένοι πιεζοαγωγοί είναι ευαίσθητοι σε πιέσεις από όλες τις κατευθύνσεις.

Ο LINEAS αισθητήρας χαλαζία είναι αιαίσθητος μόνο σε κάθετες δυνάμεις

ΣΧΗΜΑ 2.12 - ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ ΤΟΥ LINEAS ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΣΤΙΣ ΠΛΑΓΙΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΩΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ [4]

2.2.5 Weigh-In-Motion Ανιχνευτές (WIM)

Οι ανιχνευτές WIM απαρτίζονται από αισθητήρες που κοινό τους χαρακτηριστικό είναι η μέτρηση της δύναμης και επομένως του βάρους που ασκούν τα οχήματα στο δρόμο. Είναι επιπλέον δυνατή η μέτρηση του ποσοστού από το βάρος που ασκεί ο κάθε τροχός ή άξονας του οχήματος.

Χρήσεις της κατηγορίας αυτής των ανιχνευτών είναι η πληροφόρηση, για την κυκλοφοριακή ροή, την ταχύτητα και την κατηγοριοποίηση των οχημάτων. Το σημαντικότερο στοιχείο όμως που παραθέτουν είναι το Ισοδύναμο Φορτίο του Κάθε Άξονα (Equivalent Single Axis Loading , ESAL), με το οποίο τα βαρά οχήματα καταπονούν το οδόστρωμα. Αυτή η πληροφορία επιτρέπει στις ανάλογες αρχές να διενεργούν το καλύτερο δυνατό έλεγχο και ενεργούν ανάλογα. Είναι επίσης δυνατόν, να συνοδεύονται και από διπλούς βρόγχους επαγωγής που σκοπό έχουν τον υπολογισμό της ταχύτητας.

Οι βασικότερες τεχνολογίες της κατηγορίας WIM είναι οι εξής:

- Η τεχνολογία της κεκλιμένης πλάκας (bending plate)
 - Η πιεζοηλεκτρική τεχνολογία
 - Η τεχνολογία load cell
 - Η τεχνολογία στρώματος χωρητικότητας (capacitance mat)
 - Η τεχνολογία των οπτικών ινών
- **Η τεχνολογία της κεκλιμένης πλάκας** απαρτίζεται συνήθως από μια πλάκα μέτρησης βάρους, προσαρτημένη σε ένα μεταλλικό πλαίσιο και εγκατεστημένη στην επιτηρούμενη λωρίδα κυκλοφορίας. Όταν ένα όχημα περάσει άνω της πλάκας την λυγίζει ελαφρά και οι μετρητές τανύσεως που βρίσκονται τοποθετημένοι κάτω αυτής παράγουν σήματα ανάλογα με το φορτίο που προκαλεί την παραμόρφωση. Το σύστημα λαμβάνει τα σήματα αυτά και υπολογίζει το δυναμικό φορτίο και εν συνεχεία το βάρος του οχήματος[6].



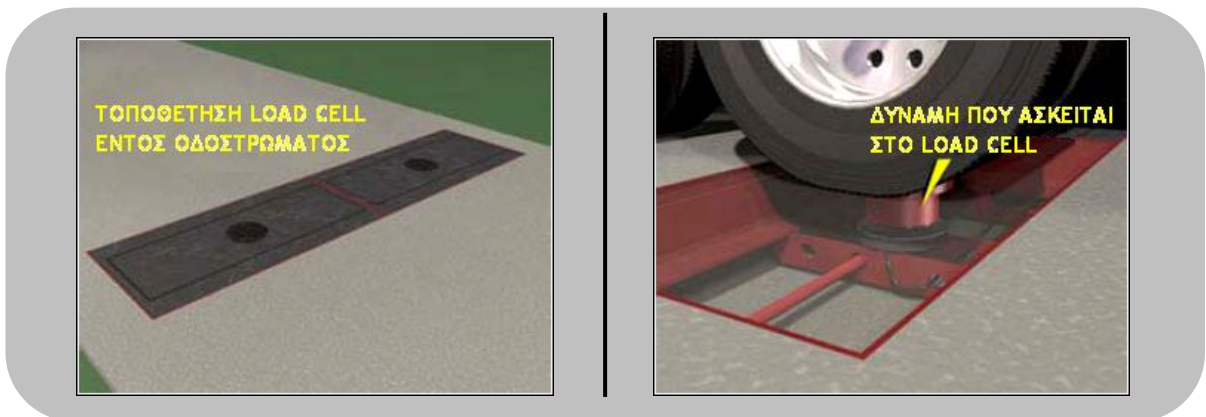
ΣΧΗΜΑ 2.13 - ΑΠΑΡΤΙΖΟΜΕΝΑ ΜΕΡΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗΣ ΠΛΑΚΑΣ [6,7]

- **Η πιεζοηλεκτρική τεχνολογία** που χρησιμοποιείται στους WIM ανιχνευτές, είναι η ίδια με αυτή που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Εδώ το σύστημα αποτελείται από έναν ή περισσότερους πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες που αντιλαμβάνονται διαφορά δυναμικού προερχόμενη από τη πίεση που ασκείται στον αισθητήρα από έναν άξονα. Μετράται επομένως πάλι το βάρος του άξονα.



ΣΧΗΜΑ 2.14 - ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ [7]

- **Η τεχνολογία load cell** αποτελείται από πιστόνι ελαίου, που είναι τοποθετημένο ενδιάμεσα από δύο μεταλλικές πλάκες εγκατεστημένες μόνιμα στο οδόστρωμα. Το σύστημα υπολογίζει το φορτίο του διερχόμενου οχήματος, μετατρέποντας την αντιλαμβανόμενη διαφορά στην υδραυλική πίεση. Η διαφορά αυτή είναι ανάλογη του φορτίου[6].



ΣΧΗΜΑ 2.15 - ΑΠΑΡΤΙΖΟΜΕΝΑ ΜΕΡΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗΣ ΠΛΑΚΑΣ [7]

- **Η τεχνολογία στρώματος χωρητικότητας (Capacitance Mats)** Το σύστημα WIM στρώματος χωρητικότητας αποτελείται από δύο ή τρεις μεταλλικές αγώγιμες πλάκες, τοποθετημένες παράλληλα μεταξύ τους και σε γνωστές αποστάσεις. Το διάκενο ανάμεσά τους περιέχει διηλεκτρικό συνήθως λάστιχο με γνωστές ελαστικές ιδιότητες. Η χωρητικότητα του στρώματος εισάγεται σε ένα ταλαντευόμενο κύκλωμα σε γνωστή συχνότητα. Με τη διέλευση του οχήματος, το φορτίο που ασκείται προκαλεί συμπίεση του αισθητήρα και εν συνεχεία αλλαγή της συχνότητας ταλάντωσης. Το ηλεκτρονικό τμήμα του συστήματος μετρά το πλάτος της διαφοράς της συχνότητας και το μετατρέπει σε βάρος[6].



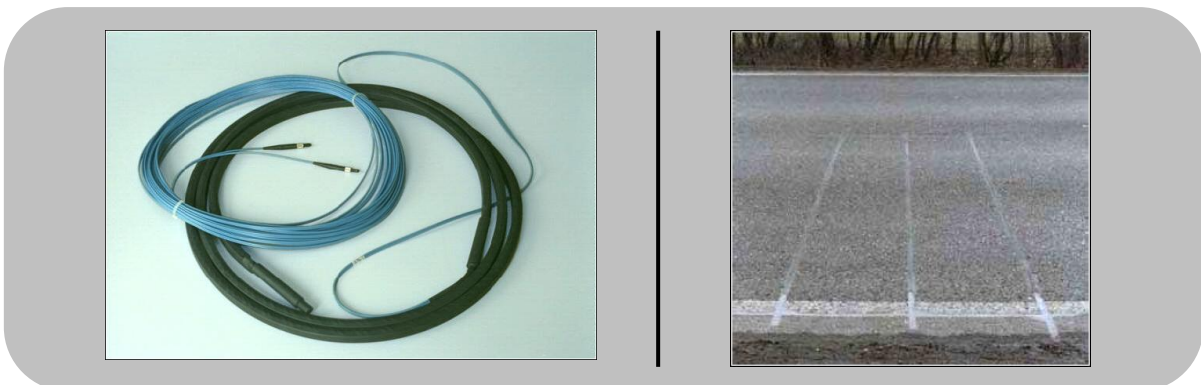
ΣΧΗΜΑ 2.16 - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ [5]

Η τεχνολογία των οπτικών ινών. Η τεχνολογία των οπτικών ινών είναι ιδιαίτερα ελκυστική έναντι στις προαναφερθείσες εφαρμογές WIM, λόγω της χαμηλής τιμής τους, της ακρίβειας που παρουσιάζουν και κυρίως επειδή είναι ανεπηρέαστες σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, σε δονήσεις και δεν παρουσιάζουν φαινόμενο cross-talk μεταξύ των γραμμών. Η πίεση που ασκείται από τον άξονα ενός οχήματος, επιφέρει μεταβολές στις οπτικές ιδιότητες της οπτικής ίνας. Οι μεταβολές αυτές μπορούν να μετρηθούν από αισθητήρες οπτικών ινών.

Οι αισθητήρες οπτικών ινών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

- Στους αισθητήρες ενδογενών μεταβολών (intrinsic-fiber-optics sensors), που μετρούν τις μεταβολές στην ένταση του φωτός λόγω της άμεσης φυσικής επαφής της οπτικής ίνας με ένα αντικείμενο.
- Στους αισθητήρες εξωγενών μεταβολών (extrinsic-fiber-optics sensors), που χρησιμοποιούν διαμορφωμένα σήματα που δεν επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες και βασίζονται σε μεθόδους ελέγχου μετάδοσης και ανακλάσεων.

Οι δύο λοιπόν τύποι ανιχνευτών, παρουσιάζουν διαφορές στην ακρίβεια, την κατανάλωση ισχύος και στον αριθμό των μερών από τα οποία απαρτίζονται [3,4].



ΣΧΗΜΑ 2.17 - ΚΑΛΩΔΙΟ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ [3]

2.3 Τεχνολογίες Τοποθέτησης Εκτός οδοστρώματος

Γενικά στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ανιχνευτές εκείνη που δεν είναι τοποθετημένοι εντός ή πάνω στο οδόστρωμα, αλλά βρίσκονται άνω αυτού ή στο πλάι του δρόμου.

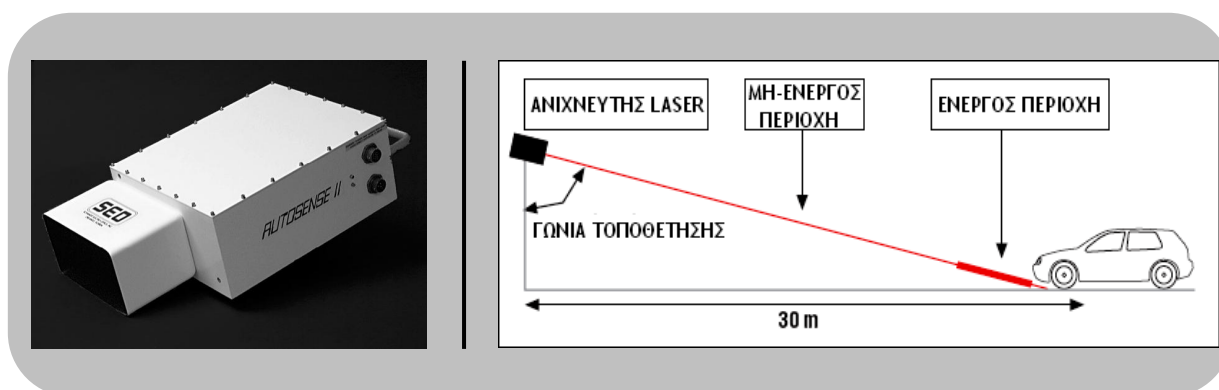
Όπως θα παρατηρηθεί, διαφαίνεται σε κάποιους τύπος από αυτούς η διάκρισή τους σε ενεργούς και παθητικούς αισθητήρες.

- Συγκεκριμένα οι ενεργοί, όπως οι υπέρυθροι, τα ραντάρ μικροκυμάτων και υπερήχων, εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα προς ένα στόχο και μετράνε την ισχύ του ανακλώμενου κύματος.
- Αντιθέτως οι παθητικοί, όπως οι ακολούθως εξεταζόμενοι υπέρυθροι και ακουστικοί, μετράνε την ενέργεια που εκπέμπει ένα αντικείμενο. Επίσης στην κατηγορία αυτή ανήκει και η επεξεργασία εικόνας και βίντεο, που ως τεχνολογία αναλύει την εικόνα της περιοχής παρακολούθησης.

2.3.1 Ενεργοί - Παθητικοί Υπέρυθροι και Λείζερ Ανιχνευτές (Active - Passive Infrared & Laser Sensors)

Στους υπέρυθρους ανιχνευτές, η ανίχνευση επιτελείται από στοιχεία ευαίσθητα στο φως, που μετατρέπουν την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ενέργεια σε ηλεκτρικά σήματα. Για την διαπίστωση της ύπαρξης οχήματος χρησιμοποιείται Επεξεργασία Σήματος σε Πραγματικό Χρόνο.

- **Οι ενεργοί ανιχνευτές**, εκπέμπουν μη ορατή υπέρυθρη ακτινοβολία, χαμηλής ισχύος μέσω διόδων led ή υψηλής ισχύος μέσω διόδων laser, σε μια ελεγχόμενη περιοχή του οδοστρώματος και μετρούν το χρόνο επιστροφής του ανακλώμενου κύματος. Όταν ένα όχημα εισέρχεται στην περιοχή αυτή, τότε ο χρόνος επιστροφής του σήματος μειώνεται. Αυτό δηλώνει την ύπαρξη και οδηγεί το σύστημα σε επιτυχή ανίχνευση. Όσον αφορά τη μέτρηση ταχύτητας, αυτή είναι εφικτή μέσω της σύγκρισης των χρόνων επιστροφής δυο ή περισσότερων ακτινών.



ΣΧΗΜΑ 2.18 - ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ LASER ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ [5,VI]

- **Οι παθητικοί ανιχνευτές**, σε αντίθεση με τους ενεργούς, στηρίζονται στο γεγονός πως κάθε αντικείμενο που δεν βρίσκεται στο απόλυτο μηδέν ($0^{\circ}\text{K} = -273,15^{\circ}\text{C}$) ακτινοβολεί υπέρυθη ακτινοβολία με ισχύ ανάλογα της επιφανειακής τους θερμοκρασίας, το μέγεθος αυτής και της δομής της. Τα οχήματα πάντα έχουν θερμοκρασία που διαφέρει από εκείνη του οδοστρώματος και η διαφορά αυτή είναι που μετράται από τους παθητικούς υπέρυθρους ανιχνευτές.



ΣΧΗΜΑ 2.19 - ΠΑΘΗΤΙΚΟΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ [III]

Με τη σειρά τους οι παθητικοί ανιχνευτές χωρίζονται σε ακόμα δύο κατηγορίες.

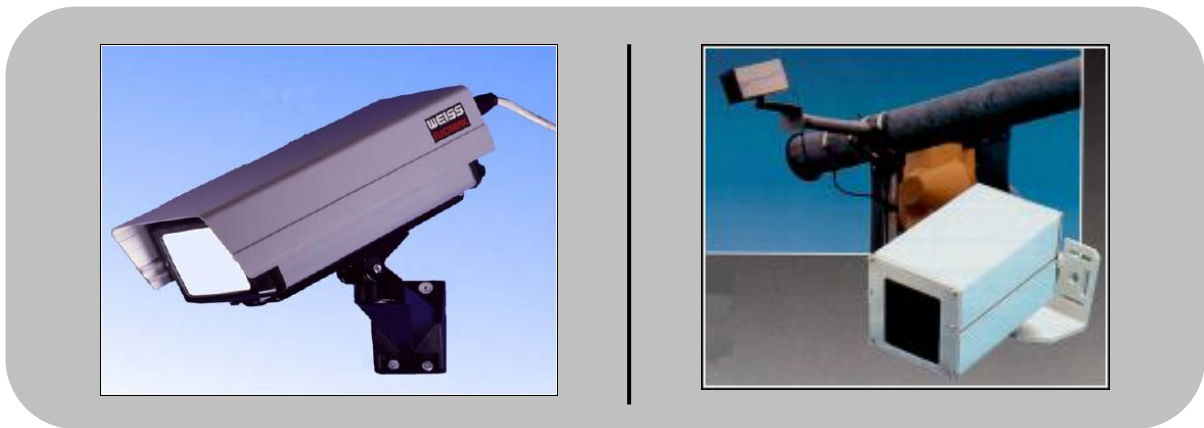
- Στους ανιχνευτές που δεν σχηματίζουν εικόνα και αποτελούνται από ένα ή περισσότερα στοιχεία ανίχνευσης. Το στιγμιαίο πεδίο όρασης είναι ανάλογο της γωνίας τοποθέτησης των ανιχνευτών και αποτελείται από ένα pixel.
- Στους ανιχνευτές που σχηματίζουν εικόνα, όπως η νέα τεχνολογία CCD και αποτελούνται από δύο διαστάσεων συστοιχία ανιχνευτών. Κάθε ανιχνευτής έχει ένα μικρό στιγμιαίο οπτικό πεδίο που συνολικά συνθέτουν το ολικό πεδίο ανίχνευσης του συστήματος. Η πληροφορία που συλλέγεται αποτελείται πλέον από έναν αριθμό pixel[4,5,6,8]

2.3.2 Ραντάρ Μικροκυμάτων (Microwave Radar)

Οι ανιχνευτές της συγκεκριμένης τεχνολογίας, όπως υποδεικνύει και το όνομα τους, χρησιμοποιούν ακτινοβολία με μικρό μήκος κύματος της τάξης 1 έως 30 cm. Η περιοχή αυτή οδηγεί σε αντίστοιχη συχνότητας 1 έως 30 GHz. Οι περισσότερες υλοποιήσεις χρησιμοποιούν εκπέμπουσα συχνότητα, αυτή των 10.525 GHz.

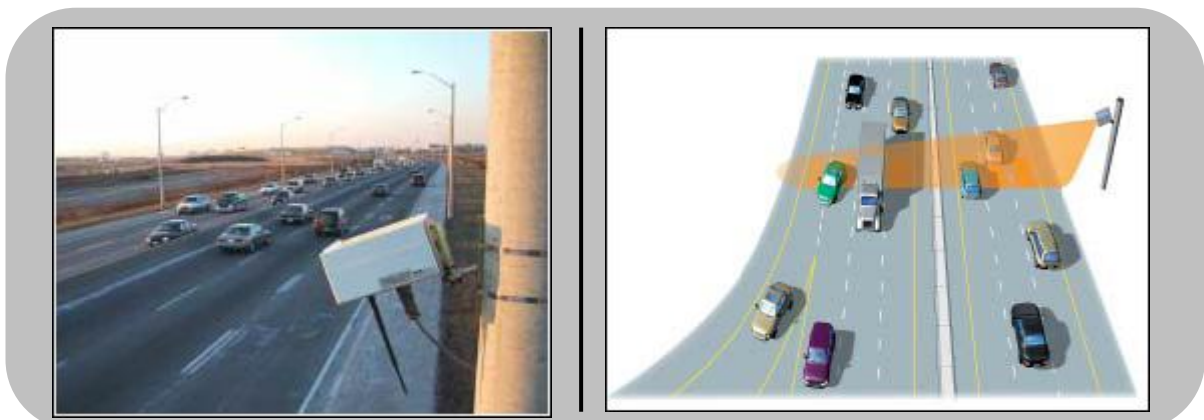
Οι ανιχνευτές μικροκυμάτων, χωρίζονται σε δύο τύπους. Αυτοί είναι οι μικροκυματικοί ανιχνευτές Doppler και οι ανιχνευτές Συνεχούς Κύματος Διαμόρφωσης Συχνότητας (Frequency-modulated Continuous Wave, FMCW).

- Οι ανιχνευτές Doppler μικροκυματικής ακτινοβολίας, εκπέμπουν σήματα με σταθερή ως προς το χρόνο συχνότητα στην υπό έλεγχο περιοχή. Σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler, η κίνηση ενός οχήματος μέσα στην περιοχή αυτή οδηγεί σε ολίσθηση συχνότητας του ανακλώμενου σήματος. Συγκεκριμένα, αν ο πομπός και ο δέκτης είναι ακίνητοι, δεν υπάρχει ολίσθηση συχνότητας. Επίσης αν ο πομπός πλησιάζει το δέκτη τότε έχουμε αύξηση της συχνότητας και αντιθέτως αν απομακρύνεται από αυτόν, έχουμε μείωση της συχνότητας. Μέσω του φαινομένου αυτού, είναι εφικτή η ανίχνευση κινούμενων οχημάτων και ο υπολογισμός της ταχύτητάς τους. Δεν είναι όμως δυνατή, λόγω της κατασκευαστικής αρχής που αναφέρθηκε, η ανίχνευση σταθμευμένων οχημάτων.



ΣΧΗΜΑ 2.20 - ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ DOPPLER ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ [5,III]

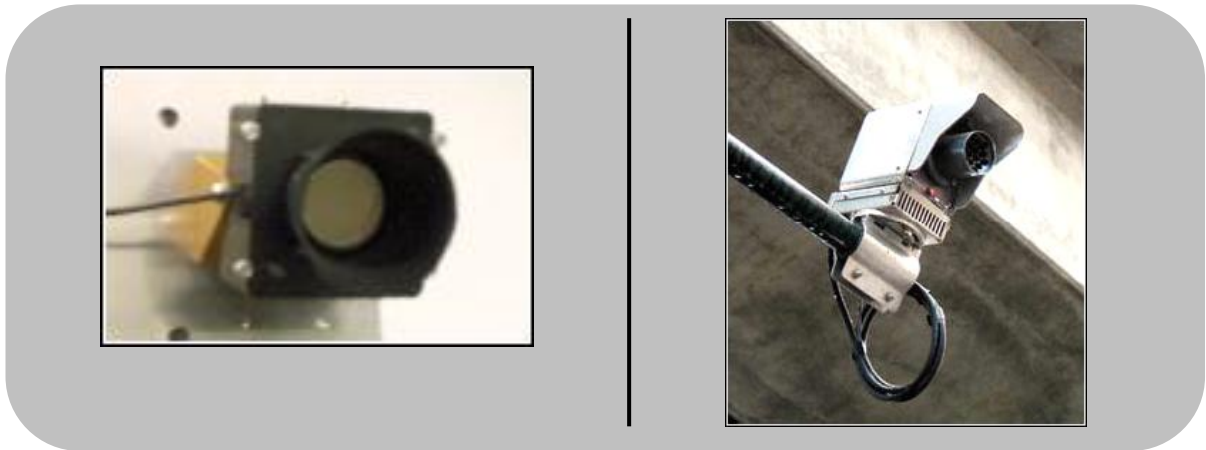
- Οι ανιχνευτές FMCW με τη σειρά τους, εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαμορφωμένα κατά συχνότητα. Η συχνότητα αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, οπότε με τον προσδιορισμό της συχνότητας του ανακλώμενου σήματος, το σύστημα είναι σε θέση να προσδιορίζει αν πέρασε όχημα από την περιοχή παρακολούθησης. Επίσης, λόγω της περιοδικότητας των συχνοτήτων των κυμάτων είναι δυνατή η εύρεση της ταχύτητας του οχήματος. Το σημαντικό με την περίπτωση αυτή είναι, πως μπορούν οι συγκεκριμένοι ανιχνευτές να ανιχνεύσουν σταθμευμένα οχήματα. Η δυνατότητα αυτή αναφέρεται συνήθως από τους κατασκευαστές ως *true presence* [5].



ΣΧΗΜΑ 2.21 - ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ FMCW ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΥΤΟΥ ΣΕ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΛΩΡΙΔΩΝ [VII]

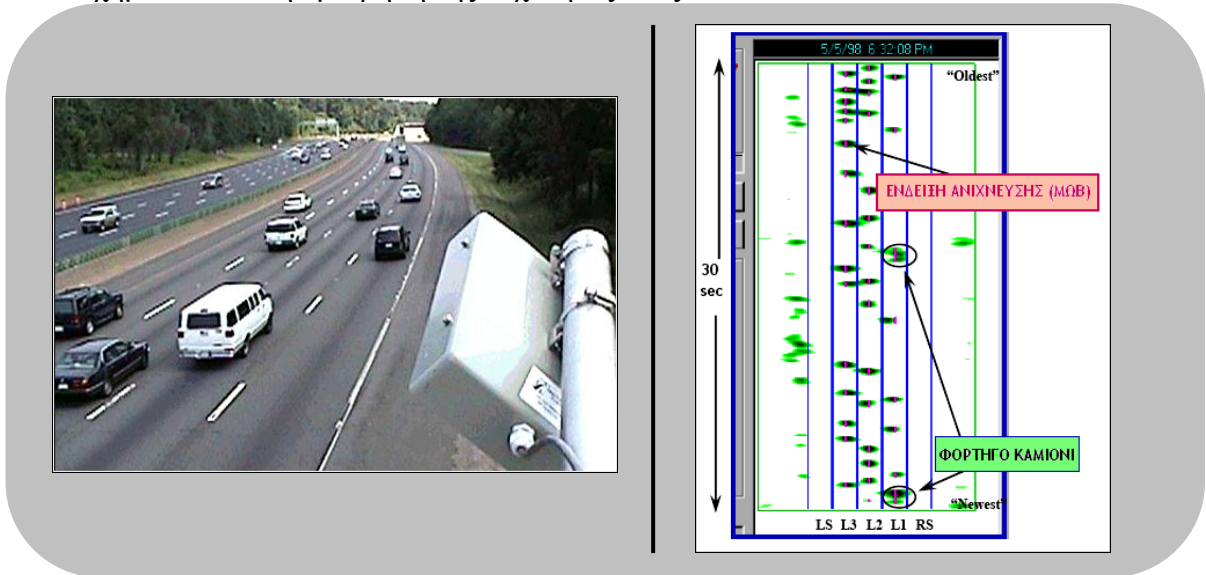
2.3.3 Παθητικοί Ακουστικοί Ανιχνευτές και Ανιχνευτές Υπερήχων (Passive Acoustic Array & Ultrasonic Sensors)

- Οι ανιχνευτές υπερήχων** εκπέμπουν υπερηχητικούς παλμούς συχνότητας μεταξύ 25 και 50 KHz, περιοχή που βρίσκεται πάνω από το ανθρώπινο ακουστικό πεδίο και μετρούν το χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να επιστρέψει στην συσκευή. Εάν ο χρόνος επιστροφής είναι μικρότερος από το συνήθη του περιβάλλοντος ήχου, αυτό υποδεικνύει την ύπαρξη οχήματος. Χρησιμοποιούνται επίσης για την καταμέτρηση οχημάτων, της ροής της κυκλοφορίας, όπως και τη μέτρηση ταχύτητας. Επισημαίνεται ότι υπάρχουν και υπερηχητικοί ανιχνευτές που χρησιμοποιούν για μέτρηση ταχύτητας την αρχή του φαινομένου Doppler, μόνο που είναι αισθητά πιο ακριβείς[5,6].



ΣΧΗΜΑ 2.22 - ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ[4, VII]

- Οι ηχητικοί ανιχνευτές** όπως αναμένεται, χρησιμοποιούν ηχητικά κύματα. Αποτελούνται από συστοιχία μικροφώνων που στοχεύουν στην κυκλοφοριακή κίνηση. Η συσκευή ανιχνεύει τον ήχο από ένα διερχόμενο όχημα και τον συγκρίνει με προπρογραμματισμένες ηχητικές υπογραφές με σκοπό την κατηγοριοποίησή του. Αναφέρεται πως η κύρια ηχητική πηγή είναι ο θόρυβος που προκύπτει από την επαφή των τροχών με το οδόστρωμα. Χρησιμοποιούνται επίσης για την καταμέτρηση οχημάτων και την μέτρηση της ταχύτητάς τους[6].



ΣΧΗΜΑ 2.23 - ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΟΥ[VII]

2.3.4 Επεξεργασία Εικόνας και Βίντεο (Video – Image Processing)

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία βίντεο πρωτοεισήχθησαν στον τομέα παρακολούθησης της κυκλοφορίας, λόγω της ιδιότητας τους να αποστέλλουν εικόνες από κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης σε κάποιον διαχειριστή του συστήματος για περαιτέρω διαχείριση και ερμηνεία. Στην σημερινή εποχή τέτοιες εφαρμογές χρησιμοποιούν επεξεργασία εικόνας ώστε η ανάλυση της ελεγχόμενης περιοχής να γίνεται αυτόματα και να εξάγονται αποτελέσματα για την κυκλοφορία.

Ένα τυπικό σύστημα περιλαμβάνει μία ή περισσότερες κάμερες, ένα μικροϋπολογιστικό σύστημα για την ψηφιοποίηση και επεξεργασία της εικόνας και τέλος ένα λογισμικό για μετατροπή των αποτελεσμάτων της ανάλυσης σε δεδομένα κυκλοφορίας. Η ανίχνευση των οχημάτων επιτυγχάνεται από την ανάλυση μιας κυκλοφοριακής εικόνας για διαπίστωση αλλαγών σε διαδοχικά καρέ. Οι αλγόριθμοι που επεξεργάζονται την ασπρόμαυρη εικόνα, μελετούν τα επίπεδα του γκρι σε ομάδες pixel που περιέχονται στην αλληλουχία των εικόνων. Έχει βεβαίως ενσωματωθεί στους αλγόριθμους η δυνατότητα να απορρίπτουν διακυμάνσεις στα επίπεδα του γκρι που οφείλονται σε καιρικές συνθήκες όπως οι σκιές και η εναλλαγή ημέρας με νύχτα και να παραμένουν αντικείμενα που έχουν αντιστοιχηθεί σε αυτοκίνητα, φορηγά, μοτοσυκλέτες και ποδήλατα.

Έχουν αναπτυχθεί τρεις τύποι για VIP συστήματα:

- Τα συστήματα tripleline λειτουργούν επιτρέποντας τον διαχειριστή να επιλέξει ένα περιορισμένο αριθμό ανιχνεύσιμων περιοχών μέσα στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Όταν ένα όχημα διασχίσει μια από αυτές τις περιοχές, ανιχνεύεται αντιλαμβάνοντας τις αλλαγές που προκλήθηκαν στα pixel σχετικά με την εικόνα του δρόμου απουσίας οχημάτων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται δύο λογικές ανάλυσης, η πρώτη στηριζόμενη στην επιφάνεια και η δεύτερη σε πλέγμα. Η ανάλυση επιφάνειας διακρίνει ακμές, ενώ η ανάλυση πλέγματος κατηγοριοποιεί τετράγωνα σε ένα προκαθορισμένο πλέγμα ανάλογα με το αν περιέχουν κινούμενα, σταματημένα ή καθόλου οχήματα.
- Τα συστήματα closed-loop tracking είναι μια προέκταση των προαναφερθέντων, που επιτρέπει την ανίχνευση οχημάτων σε ευρύτερες περιοχές οδοστρώματος. Συγκεκριμένα τα συστήματα αυτά παρακολουθούν συνεχώς οχήματα στο πεδίο της κάμερας και πολλαπλές ανιχνεύσεις επικυρώνουν μια τελική ανίχνευση. Μόλις αυτό ανιχνευθεί, τότε καταμετράται και υπολογίζεται η ταχύτητά του.
- Τέλος είναι τα συστήματα data association tracking, που αναγνωρίζουν και παρακολουθούν ένα συγκεκριμένο όχημα ή ομάδα αυτών, καθώς περνούν από την ελεγχόμενη περιοχή της κάμερας. Το υπολογιστικό τμήμα αναγνωρίζει οχήματα ελέγχοντας για μοναδικές συνδεδεμένες περιοχές pixel. Οι περιοχές αυτές ύστερα παρακολουθούνται καρέ καρέ, ώστε να εξαχθούν αποτελέσματα για τα συγκεκριμένα οχήματα ή επιλεγθείσες ομάδες αυτών. Οι δείκτες που υποδεικνύουν τα οχήματα βασίζονται σε επίπεδα ή μορφολογία. Οι δείκτες επιπέδων χρησιμοποιούν ακμές, ενώ οι δείκτες μορφολογίας συνδυασμό ιδιοτήτων και μεγεθών που θεωρούνται πως ανήκουν σε γνωστά οχήματα ή ομάδα οχημάτων[5].



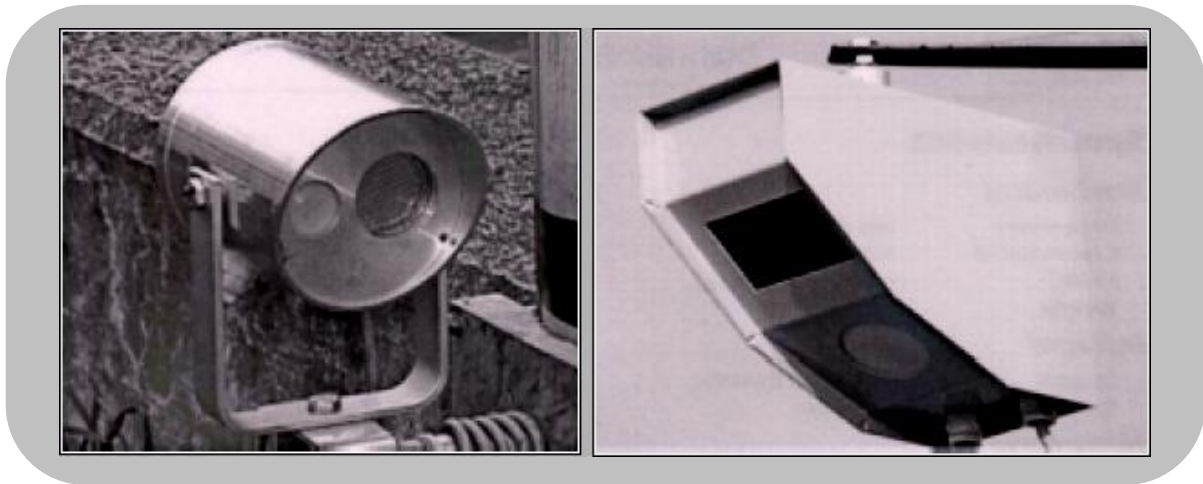
**ΣΧΗΜΑ 2.24 - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΒΙΝΤΕΟ.
ΚΑΜΕΡΑ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ, ΣΥΛΛΗΦΘΕΙΣΑ ΕΙΚΟΝΑ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ[9,VIII]**

2.3.5 Συνδυασμός τεχνολογιών

Όπως παρατηρήθηκε ανωτέρω κάθε τεχνολογία παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, μη μπορώντας να καλύψει εξολοκλήρου όλες τις ανάγκες ανίχνευσης. Οι δυσλειτουργίες και οι ελλείψεις που προκύπτουν από τις θεωρητικές αρχές στις οποίες βασίζονται οι προαναφερθείσες υλοποιήσεις, είναι ευνόητο πως θα μπορούσαν να αποφευχθούν αν συνδυάζονταν αυτές μεταξύ τους.

Τέτοιες προτάσεις είναι υπαρκτές στο εμπόριο με παραδείγματα το συνδυασμό της παθητικής υπέρυθρης τεχνολογίας με αυτήν των υπερήχων ή το ραντάρ που βασίζεται στο φαινόμενο Doppler. Συγκεκριμένα:

- Ο συνδυασμός παθητικής υπέρυθρης με την τεχνολογία υπερήχων, αυξάνει την ακρίβεια εύρεσης της συχνότητας οχημάτων, υπολογισμού του ύψους τους και της μεταξύ τους απόστασης, όπως επίσης και ανίχνευσης στάσιμου οχήματος ή ουράς οχημάτων.
- Ο συνδυασμός παθητικού υπέρυθρου και ραντάρ Doppler εξαλείφει τους περιορισμούς και των δύο τεχνολογιών και βελτιώνει τις επιδόσεις στην ανίχνευση, την εύρεση της συχνότητας διέλευσης, της ταχύτητας και του τύπου του οχήματος. Ενώ επομένως οι παθητικοί υπέρυθροι ανιχνευτές δεν μετρούν την ταχύτητα με ικανοποιητική ακρίβεια και οι μικροκυματικοί ανιχνευτές δεν αντιλαμβάνονται σταματημένα οχήματα, ο συνδυασμός τους έχει ως αποτέλεσμα να πληρούνται και οι δυο αυτές προδιαγραφές[5].



**ΣΧΗΜΑ 2.25 - ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ
ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΩΝ ΜΕ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΥΠΕΡΗΧΩΝ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ)
ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΟ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ DOPPLER (ΔΕΞΙΑ) [5]**

2.4 Τεχνολογίες Απομακρυσμένης Ανίχνευσης

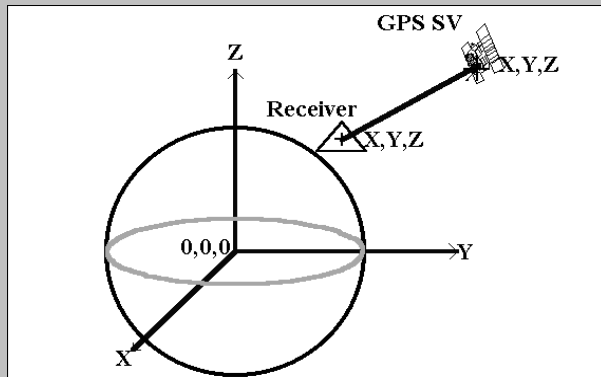
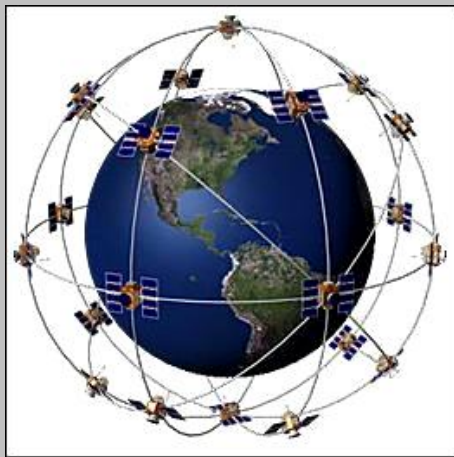
Στην κατηγορία απομακρυσμένης ανίχνευσης βρίσκονται αρκετές, υπό έρευνα και δοκιμή, πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες. Απαιτείται συνήθως σε αυτές η τοποθέτηση ειδικής συσκευής στα οχήματα και ενώ η τοποθέτηση τους είναι αρκετά δαπανηρή. Σε αντιδιαστολή όμως παρουσιάζουν σημαντικά προτερήματα όπως αυτόματη συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων και πληροφόρηση για οδικά συμβάντα σε συνεχή βάση και σε πραγματικό χρόνο, χαμηλό κόστος για κάθε μονάδα πληροφορίας, δυνατότητα πλοήγησης και μη διαταραχή της κυκλοφορίας.

Μερικές από αυτές είναι εκείνη που χρησιμοποιεί το Γεωγραφικό Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS), η τεχνολογία αυτόματης ταυτοποίησης οχήματος (Automatic Vehicle Identification, AVI) και η τεχνολογία αυτόματης εύρεσης θέσεως οχήματος (Automatic Vehicle Location).

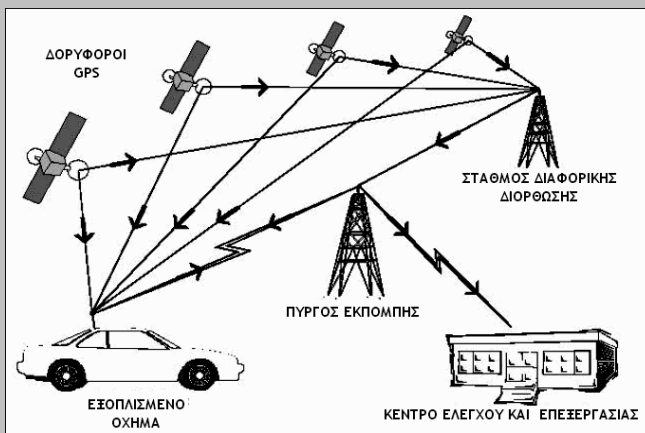
2.4.1 Γεωγραφικό Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (Global Positioning System, GPS)

Το εν λόγω σύστημα αναπτύχθηκε αρχικά από το Υπουργείο Άμυνας των Η.Π.Α. Ο πρωταρχικός στόχος του ήταν η ανίχνευση και η πλοήγηση στρατιωτικών πλοίων, αεροπλάνων και οχημάτων με χρήση δορυφόρων. Οι πληροφορίες δίνονται από μια ομάδα 24 ενεργών και 3 εφεδρικών δορυφόρων, κάθε ένας από τους οποίους περιστρέφεται περί της Γης ακριβώς δύο φορές την ημέρα σε ύψος 20.200 χιλιομέτρων. Οι τροχιές τους είναι προκαθορισμένες, ώστε τουλάχιστον 4 δορυφόροι να βρίσκονται πάντα σε οπτική επαφή από σχεδόν κάθε σημείο του πλανήτη.

Μέσω του συστήματος αυτών είναι δυνατός ο προσδιορισμός της ακριβής θέσης, ταχύτητας και κατεύθυνσης ενός αντικειμένου που φέρει τον αντίστοιχο δέκτη. Ο δέκτης συγκεκριμένα αντλώντας πληροφορίες από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους, υπολογίζει τις κανονικοποιημένες συντεταγμένες X , Y , Z (ECEF Earth-Centered, Earth-Fixed) με βάση τη Γη και τον ακριβή χρόνο. Εν συνεχεία οι συντεταγμένες αυτές μετατρέπονται από τον δέκτη σε γεωγραφικό πλάτος, μήκος και ύψος πάνω από τη Γη[i,iv].



Earth Centered, Earth Fixed X, Y, Z

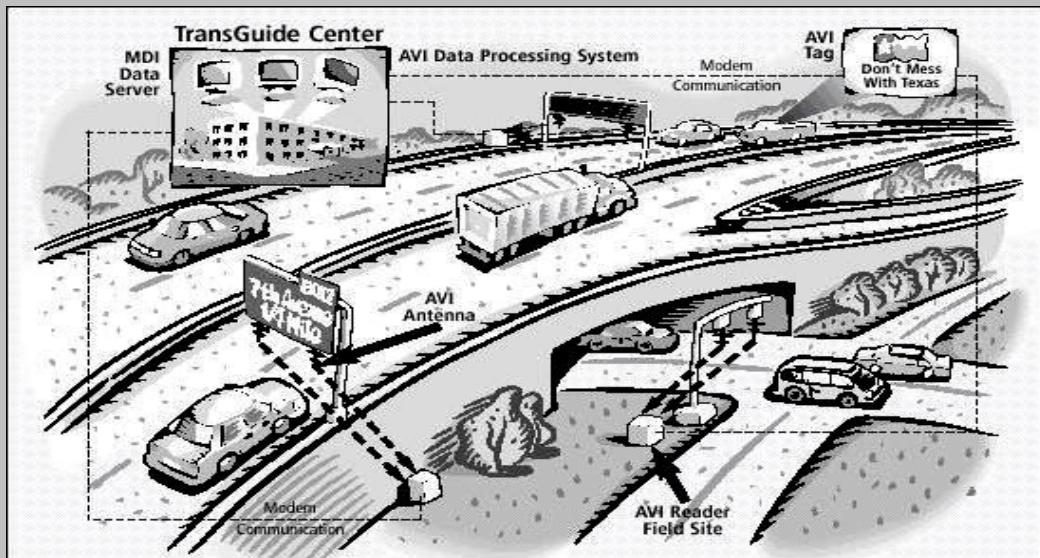


ΣΧΗΜΑ 2.26 - ΤΡΟΧΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΟΥΦΟΡΩΝ, ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ GPS, ΔΕΚΤΗΣ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΥΤΟΚΙΝΗΣΗΣ [4, i]

2.4.2 Τεχνολογία Αυτόματης Ταυτοποίησης Οχήματος (Automatic Vehicle Identification, AVI)

Η τεχνολογία αυτόματης ταυτοποίησης οχήματος (Automatic Vehicle Identification, AVI) χρησιμοποιήθηκε αρχικά στην ηλεκτρονική χρέωση διοδίων. Η χρήση της απαιτεί εγκατάσταση ειδικών συσκευών στα οχήματα, οι οποίες αποτελούν τα διακριτικά αυτών και είναι στην ουσία RF πομποδέκτες. Επιπροσθέτως κεραίες τοποθετούνται στο δρόμο για την ασύρματη επικοινωνία των συλλεκτών δεδομένων με τα οχήματα και αποθήκευσης των πληροφοριών. Η συχνότητα είναι προκαθορισμένη για την RFID (radio frequency identification) τεχνολογία στα 2.45GHz.

Οχήματα εξοπλισμένα με τα ID-διακριτικά σήματα, μπορούν να επιτύχουν γρήγορη και εύκολη πρόσβαση χωρίς την ανάγκη στάσης. Η τεχνολογία αυτή επομένως εγγυάται βελτιωμένη κυκλοφοριακή ροή και αυξημένη ασφάλεια για τον οδηγό. Επιπροσθέτως, τα συστήματα αυτά με την πληροφόρηση με κυκλοφοριακά δεδομένα σε πραγματικό, επιτρέπουν τον έλεγχο της κυκλοφοριακής κατάστασης, την ανίχνευση επικίνδυνων ή μη συμβάντων και την ενημέρωση των οδηγών. Το βασικό δεδομένο που λαμβάνεται, είναι ο χρόνος μεταξύ δύο προκαθορισμένων σημείων με εγκαταστημένους δέκτες. Υπολογίζεται έτσι η ταχύτητα και η κατάσταση της ροής των οχημάτων[4,ii].



ΣΧΗΜΑ 2.27 - ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ AVI, ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΟ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟ ΠΑΡΜΠΡΙΖ, ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ [IX]

2.4.3 Τεχνολογία Αυτόματης Εύρεσης Θέσεως Οχήματος (Automatic Vehicle Location, AVL)

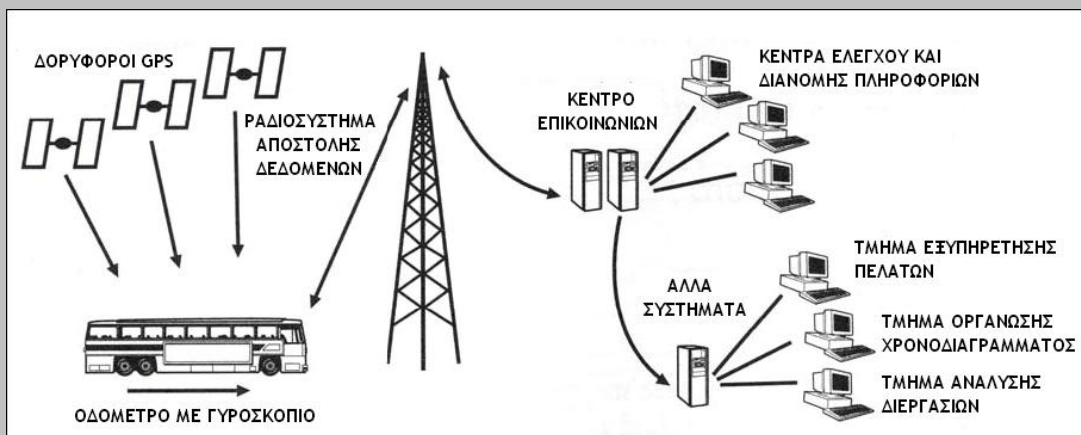
Το σύστημα AVL χρησιμοποιείται ευρέως από στρατιωτικούς και μη οργανισμούς για ένα σημαντικό αριθμό ετών. Μερικοί από τους εφαρμοστές είναι οι υπηρεσίες αστυνομίας και πυροσβεστικής, όπως και εταιρίες παραδόσεως πακέτων με όφελος τον έλεγχο του στόλου τους σε πραγματικό χρόνο. Αντιμετωπίζονται επομένως έγκαιρα περιπτώσεις καλύψεως της λειτουργίας όπως βλάβες οχημάτων ή κυκλοφοριακής συμφόρησης και βεβαίως προειδοποίηση για επικείμενες τρομοκρατικές απειλές.

Το σύστημα αυτό είναι βασισμένο σε υπολογιστικό σύστημα παρακολούθησης και περιλαμβάνει μια συγκεκριμένη τεχνολογία εντοπισμού θέσης και αποστολής δεδομένων από το όχημα σε ένα κέντρο ελέγχου και διανομής πληροφοριών. Οι τεχνολογίες που

χρησιμοποιούνται συνήθως σε τέτοιες εφαρμογές είναι οι ακόλουθες και μπορούν να υπάρξουν μόνες τους ή σε συνδυασμούς.

- Γεωγραφικό Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS)
- Συνδυασμός Καθοδηγητικής Ένδειξης και Οδομέτρου: Παθητικό και Ενεργό
- Ραδιοκάλυψη όπως Loran C
- Στίγμα εξ αναμετρήσεως

Η επιλογή της τεχνολογίας εντοπισμού, εξαρτάται από τη φύση της εφαρμόζουσας υπηρεσίας και της τοποθεσίας που πρόκειται να εγκατασταθεί. Ακολουθώς παρουσιάζεται ένα παράδειγμα στηριζόμενο στην τεχνολογία GPS, συνοδευόμενο από οδόμετρο για τις περιπτώσεις όπου δεν είναι υπαρκτό αντίστοιχο σήμα, που συνεχώς κερδίζει έδαφος σε τέτοιες εφαρμογές [10].



ΣΧΗΜΑ 2.28 - ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ AVL, ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ ΟΔΗΓΟΥ, ΚΕΝΤΡΟ ΕΛΕΓΧΟΥ [10]

2.5 Αξιολόγηση και Σύγκριση Τεχνολογιών

Στην προσπάθεια για αξιολόγηση των προαναφερθέντων τεχνολογιών, θα επικεντρωθούν τα κριτήρια στις κλιματολογικές επιπτώσεις που παρουσιάζονται στην κάθε κατηγορία ανιχνευτών, καθώς και στην δυνατότητα ή μη της ανίχνευσης σταθμευμένων οχημάτων που ενδιαφέρει. Αναφέρονται τα στοιχεία αυτά περιληπτικά για την κάθε τεχνολογία και τα συμπεράσματα αποτυπώνονται σε πίνακα που ακολουθεί.

2.5.1 Κλιματολογικές Επιπτώσεις και Δυνατότητα Ανίχνευσης Σταθμευμένου Οχήματος

- Η τεχνολογία του επαγωγικού βρόγχου, είναι ανθεκτική στις ακραίες καιρικές συνθήκες. Περίπτωση φθοράς παρατηρείται μόνο κατά την εκχιονιστική δράση και στην αυξημένη κυκλοφοριακή ροή, που δεν προβληματίζει στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Είναι επίσης πιθανή η αντιμετώπιση προβλήματος κατά τις υψηλές θερμοκρασίες, που οδηγούν μέσω της διαστολής του οδοστρώματος στην μη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος. Είναι δυνατή η ανίχνευση σταθμευμένων οχημάτων.
- Οι μαγνητικοί ανιχνευτές, παρουσιάζουν υψηλή ανοχή στις θερμοκρασιακές μεταβολές και γενικά στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Ανιχνεύουν επίσης σταθμευμένα οχήματα.
- Οι πνευματικοί σωλήνες, είναι επιρρεπείς στις δυσχερείς κλιματολογικές συνθήκες. Κατάσταση βροχής ή χιονιού αποκλείουν τη χρήση τους, ενώ οι διακόπτες αέρα, πάνω στους οποίους στηρίζεται η λειτουργία της εν λόγω τεχνολογίας, είναι ευαίσθητοι στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Αναφέρεται επίσης πως δεν επιτρέπουν τη χρήση τους για ανίχνευση σταματημένου οχήματος.
- Η πιεζοηλεκτρική τεχνολογία δεν επιτρέπει την ανίχνευση σταθμευμένων οχημάτων, παρά μόνο στην περίπτωση πιεζοηλεκτρικού υλικού από κρυστάλλους (LINEAS). Το ίδιο ισχύει και στις τεχνολογίες WIM που δεν εξυπηρετούν στην υπό μελέτη εφαρμογή.
- Οι ενεργοί υπέρυθροι ανιχνευτές, επηρεάζονται από το χιόνι και τη βροχή, καθώς η μικρού κύματος ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παρουσιάζει στις συγκεκριμένες περιπτώσεις υψηλό βαθμό σκεδάσεων και απώλειας ενέργειας. Οι ανιχνευτές αυτού του είδους δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Αντίθετα οι παθητικοί υπέρυθροι ανιχνευτές, δεν παρουσιάζουν αδυναμία στις έντονες καιρικές συνθήκες και μπορούν να αποφανθούν στην ύπαρξη ή μη σταματημένου οχήματος.

- Οι μικροκυματικοί ανιχνευτές που βασίζονται στο φαινόμενο Doppler, όπως αναφέρθηκε, δεν δύναται να ανιχνεύσουν στάθμευση σε αντιδιαστολή με τους ανιχνευτές της κατηγορίας true presence που επιτρέπουν τη χρήση αυτή.
- Στους ανιχνευτές υπερήχων, ο ακουστικός θόρυβος στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες είναι πιθανόν να αποτρέψει την ορθή λειτουργία τους. Η περίπτωση όμως αυτή αντιμετωπίζεται με τη ρύθμιση του αντιλαμβανόμενου πεδίου ώστε αυτό να είναι σχετικά μικρό και επικεντρωμένο. Οι ανιχνευτές αυτοί επιτρέπουν την ζητούμενη χρήση.
- Η τεχνολογία των παθητικών ακουστικών ανιχνευτών επηρεάζεται από το χιόνι. Η αιτία είναι η πορεία των οχημάτων εκτός των προκαθορισμένων ορίων από τις υπάρχουσες σημάσεις των λωρίδων κυκλοφορίας και το μικρό πεδίο παρακολούθησης των αισθητήρων. Όπως είναι αναμενόμενο, ο ακουστικός θόρυβος και σε αυτήν την περίπτωση δυσχεραίνει τη λειτουργία των ανιχνευτών. Η τεχνολογία αυτή ανιχνεύει την στάθμευση.
- Τέλος η τεχνολογία επεξεργασίας εικόνας και βίντεο παρουσιάζουν επιπτώσεις, όπως και όλες οι εφαρμογές τοποθέτησης εκτός οδοστρώματος και εγκατάστασης σε υψηλά σημεία, σε φαινόμενα ισχυρού ανέμου. Ιδιαίτερη επίπτωση υπάρχει σε ακραίες περιπτώσεις φωτισμού. Συγκεκριμένα το χιόνι και η βροχή ελαττώνουν την ορατότητα, όπως και οι αντανάκλασεις του βρεγμένου οδοστρώματος. Σφάλματα παρουσιάζονται και κατά το κρύο, όπου τα καυσαέρια μεγάλων οχημάτων σχηματίζουν στήλες καπνού. Οι χειρότερες επιδόσεις παρατηρούνται λόγω του φωτισμού στη διάρκεια εναλλαγής ημέρας με νύχτα και στις περιπτώσεις σκιών ή άμεσης έκθεσης σε έντονο φως. Όλες όμως οι επιδράσεις, είναι δυνατόν να εξαλειφθούν μέσω ειδικών αλγορίθμων. Θετικό για την παρούσα μελέτη, είναι η ανίχνευση σταθμευμένων πολλαπλών οχημάτων σε όλη την περιοχή του οπτικού πεδίου[4,6].



ΣΧΗΜΑ 2.29 - ΔΥΣΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ VIP ΛΟΓΩ ΣΚΙΑΣΕΩΝ Ή ΕΝΤΟΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ[4]

ΤΥΠΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ				ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ
	ΒΡΟΧΗ - ΧΙΟΝΙ	ΔΥΝΑΤΟΣ ΑΝΕΜΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΦΩΤΙΣΜΟΣ	-
Βρόγχος Επαγωγής	√	√	x	√	√
Μαγνητικός	√	x	x	x	√
Πνευματικός Σωλήνας	√	√	x	√	x
Ενεργός Υπέρυθρος	x	√	√	√	x
Παθητικός Υπέρυθρος	√	√	√	√	√
Μικροκυμάτων	√	√	√	√	√/x
Υπερήχων	√	√	√	√	√
Παθητικός Ακουστικός	x	√	x	√	√
VIP	x	x	x	x	√

ΠΙΝΑΚΑΣ 1- ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ/ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ
(x: Δεν υπάρχουν, √: Υπάρχουν) [4,5,6,8]

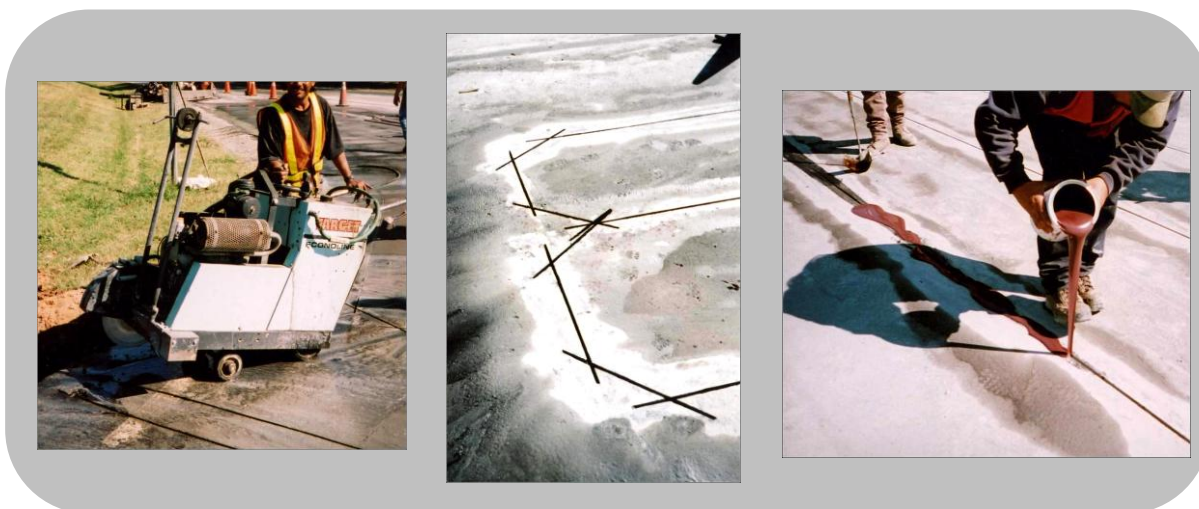
2.5.2 Επιλογή Τεχνολογίας

Από τα ανωτέρω διαφαίνεται πως η τεχνολογία με τα ευνοϊκότερα χαρακτηριστικά, είναι αυτή της επεξεργασίας εικόνας και βίντεο και εν συνεχεία αυτή του μαγνητόμετρου.

Πρέπει να αναφερθεί όμως, πως πέρα των κατασκευαστικών προδιαγραφών που πρέπει να πληρούνται σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή, ο δεύτερος σημαντικότερος παράγοντας επιλογής είναι αυτός του κόστους. Το κόστος με τη σειρά του μπορεί να ερμηνευθεί σε αυτό της αγοράς και εγκατάστασης του εξοπλισμού και αυτό της συντήρησης.

Όσον αφορά το κόστος προμήθειας, είναι λοιπόν πιθανόν ανάλογα με την περίπτωση, μια τεχνολογία που είναι ουσιαστικά πιο φθηνή από μια άλλη αν συγκρίνουμε ίδιο αριθμό χρησιμοποιούμενων αισθητήρων, να καταλήξει πιο ασύμφορη λόγω του πολύ μεγαλύτερου αριθμού ανιχνευτών που θα χρειαστούν από την δεύτερη σε μια πιθανή εφαρμογή.

Αν κοιτάξουμε προς την κατεύθυνση της τοποθέτησης, οι τεχνολογίες υπόγειας εγκατάστασης φαίνεται να είναι πιο δαπανηρές και με επίφοβες αλλοιώσεις του οδοστρώματος. Ένα παράδειγμα εγκατάστασης βρόγχων επαγωγής ακολουθεί.



ΣΧΗΜΑ 2.30 - ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΒΡΟΓΧΩΝ ΕΠΑΓΩΓΗΣ [iii]

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, η προφανής επιλογή του ανιχνευτή επεξεργασίας εικόνας και βίντεο, απορρίπτεται και τη θέση του παίρνει η τεχνολογία μαγνητικού αισθητήρα. Τα πλεονεκτήματα που εμφανίζει παρά την εγκατάσταση εντός του οδοστρώματος είναι:

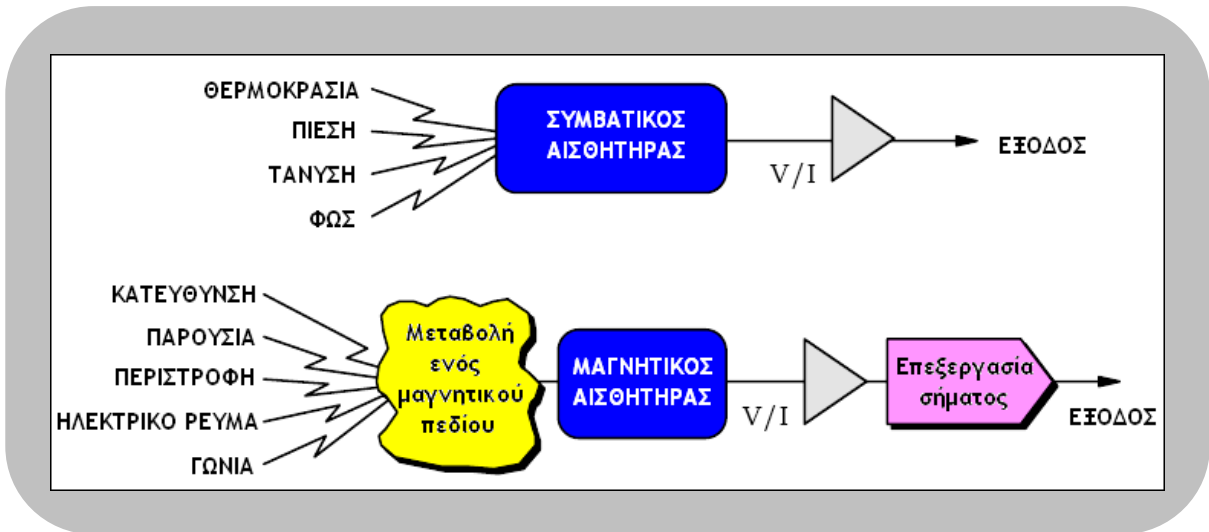
- το μέγεθος της συσκευής είναι μικρό οπότε το κόστος για την τοποθέτησή του περιορίζεται
- λειτουργεί με μπαταρία διάρκειας αρκετών χρόνων, άρα η διακοπή της λειτουργίας για συντήρηση και είναι σύντομη και σποραδική
- η διασύνδεση για μεταφορά δεδομένων επιτυγχάνεται κυρίως ασύρματα και
- το αρχικό κόστος αγοράς των υποσυστημάτων είναι μικρό, ώστε να μην είναι απαγορευτική η χρήση του σε εφαρμογές που απαιτούν πολλαπλές ανιχνεύσεις.

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, ύστερα από την προπορευθείσα επιλογή της μαγνητικής τεχνολογίας ανίχνευσης ως της καταλληλότερης για την υλοποίηση του εν λόγω συστήματος, κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν οι κυριότεροι αντιπρόσωποι των μαγνητικών αισθητήρων. Οι αισθητήρες αυτοί κατηγοριοποιούνται και περιγράφεται περιληπτικά η αρχή λειτουργίας τους για ουσιαστικότερη κατανόηση και απόφαση του χρησιμότερου εξ αυτών.

Η εκμετάλλευση των μαγνητικών ιδιοτήτων ξεκίνησε αιώνες πριν, κυρίως με τη διάδοση της πυξίδας ως μέσου εύρεσης της πορείας και πλοήγησης των πλοίων. Στις ημέρες μας η χρήση των μαγνητικών ανιχνευτών στην πλοήγηση είναι επίσης μια από τις βασικότερες, όμως έχουν προκύψει εφαρμογές τους σε νέους τομείς στους οποίους παρουσιάζουν εξαιρετική αποτελεσματικότητα. Η εξέλιξη των μαγνητικών αισθητήρων ήταν αναπόφευκτη στις μέρες μας που χαρακτηρίζεται από τις ραγδαίες τεχνολογικές ανακαλύψεις, με σκοπό την κάλυψη αναγκών όπως της βελτιωμένης ευαισθησίας, του μικρότερου μεγέθους και βεβαίως της συμβατότητας με τα ηλεκτρονικά συστήματα.

Οι μαγνητικοί αισθητήρες παρουσιάζουν όμως μια ιδιαιτερότητα συγκριτικά με τους συμβατικούς. Οι περισσότεροι μετρούν ένα φυσικό μέγεθος ή παράμετρο αυτού, απευθείας μέσω της τιμής της εξόδου τους. Αισθητήρες τέτοιου τύπου είναι και αυτοί της θερμοκρασίας, της πίεσης, του φωτός και της τάνυσεως. Σε αντιδιαστολή οι μαγνητικοί αισθητήρες αντιλαμβάνονται μεταβολές σε μαγνητικά πεδία που δημιουργήθηκαν ή τροποποιήθηκαν και έμμεσα καταμετρούν τον παράγοντα που οδήγησε στην αλλαγή αυτή. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η ταχύτητα τροχού, η παρουσία μαγνητικού μελανιού, η παρουσία οχήματος και η ύπαρξη ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι η μέτρηση μαγνητικών πεδίων δεν είναι ο πρωταρχικός τους σκοπός, ενώ για την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος η έξοδος του αισθητήρα είναι αναγκαίο να οδηγηθεί σε κάποιον μικροεπεξεργαστή για περαιτέρω επεξεργασία σήματος. Από τα προαναφερθέντα παρατηρείται πως η μαγνητική ανίχνευση είναι πιο δύσκολη στην εφαρμογή, αλλά λόγω της επεξεργασίας του σήματος οδηγεί σε ακριβή αποτελέσματα και μάλιστα χωρίς την ανάγκη για επαφή με το μετρούμενο μέγεθος[1,11].



ΣΧΗΜΑ 3.1 - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥΣ [1,11,12]

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, οι μαγνητικοί αισθητήρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν. Το κριτήριο πάνω στο οποίο θα βασιστεί η κατάταξή τους αυτή, είναι το πεδίο της διακριτικής τους ικανότητας και οι κατηγορίες αριθμούν αυθαίρετα τρεις.

- Αισθητήρες που ανιχνεύουν πεδία μικρότερα του ενός (1) μGauss , αναφέρονται ως **αισθητήρες ασθενούς μαγνητικού πεδίου (ή μαγνητόμετρα-magnetometers)**
- Αισθητήρες με διακριτική ικανότητα μεταξύ του ενός (1) μGauss και των δέκα (10) Gauss, αναφέρονται ως **αισθητήρες γήινου μαγνητικού πεδίου**
- Αισθητήρες για εφαρμογές πεδίων μεγαλύτερων των δέκα (10) Gauss, ανήκουν στην κατηγορία των **αισθητήρων ισχυρού μαγνητικού πεδίου (μετρητές Gauss-gauss meters)**

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ	ΑΝΙΧΝΕΥΣΙΜΟ ΠΕΔΙΟ (G)*				
	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁸	10 ⁻²	10 ²	10 ⁶
1. Search-Coil					
2. Flux-Gate					
3. Optically Pumped					
4. Nuclear-Precession					
5. SQUID					
6. Hall Effect					
7. Anisotropic Magnetoresistive					
8. Giant Magnetoresistive					
9. Magnetodiode					
10. Magnetotransistor					
11. Fiber-Optic					
12. Magneto-Optical					
13. Earth's Magnetic Field					

*Note: 1T = 10⁴ G = 10⁹ γ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 - ΠΕΔΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ [1,11,12,13]

3.2 Μαγνητικοί αισθητήρες Ασθενούς Πεδίου

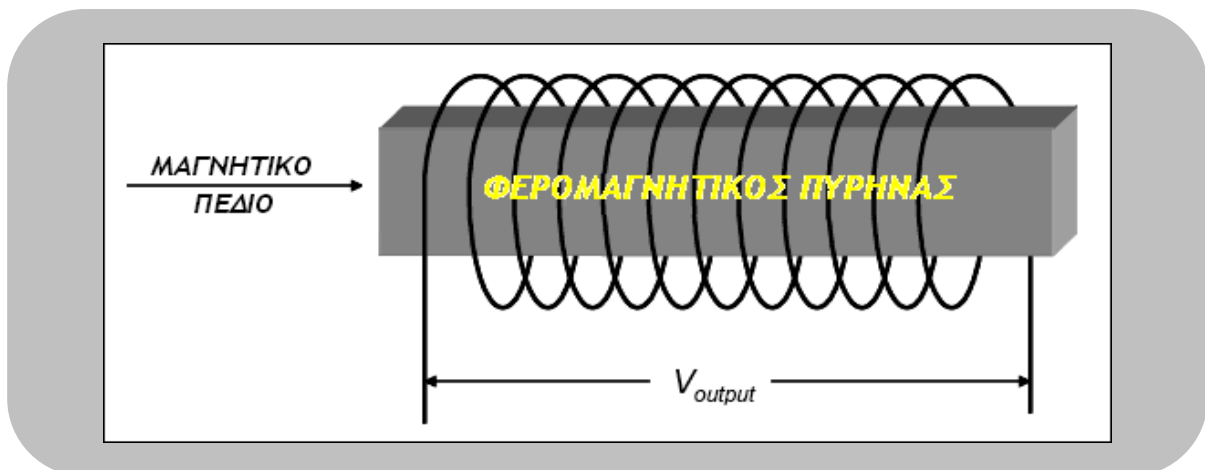
3.2.1 Επαγωγικό Πηνίο (Induction or Search Coil)

Το επαγωγικό πηνίο βασίζει την αρχή λειτουργίας του στο νόμο επαγωγής του Faraday που ορίζει πως, 'αν η μαγνητική ροή ϕ που διέρχεται από ένα πηνίο σχηματιζόμενο από αγωγό μεταβάλλεται, τότε επάγεται σε αυτό ένα ρεύμα και εμφανίζεται μια τάση στα άκρα του ανάλογη με το ρυθμό μεταβολής της ροής'.

$$e(t) = -\frac{d\phi}{dt} \quad , \quad e(t) = -\frac{d(\vec{B} \cdot \vec{A})}{dt} \quad , \quad e(t) = -\mu_0 \mu_e \cdot n \cdot A \cdot \frac{dH(t)}{dt}$$

Η μαγνητική ροή που διαπερνά τις σπείρες του πηνίου μεταβάλλεται μόνο όταν το πεδίο είναι χρονικά μεταβαλλόμενο ή αν το πηνίο κινείται σχετικά με ένα μη ομογενές πεδίο. Συνήθως εισάγεται στο πηνίο ένας πυρήνας φερομαγνητικού υλικού με μεγάλη μαγνητική διαπερατότητα, με σκοπό να συγκεντρώσει το περιβάλλον μαγνητικό πεδίο και να αυξήσει την πυκνότητα της μαγνητικής ροής.

Η ευαισθησία του επαγωγικού πηνίου εξαρτάται από τη διαπερατότητα του πυρήνα, τον αριθμό των σπειρών, την επιφάνεια που περικλείει το πηνίο, και το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής μέσα από αυτό. Με απουσία πυρήνα η διαπερατότητα στον αέρα είναι ίση με τη μονάδα, ενώ αυτή ενός φερομαγνητικού υλικού είναι κατά πολύ μεγαλύτερη. Η τελική θα εξαρτάται από το σχήμα του πυρήνα[13,14,15].



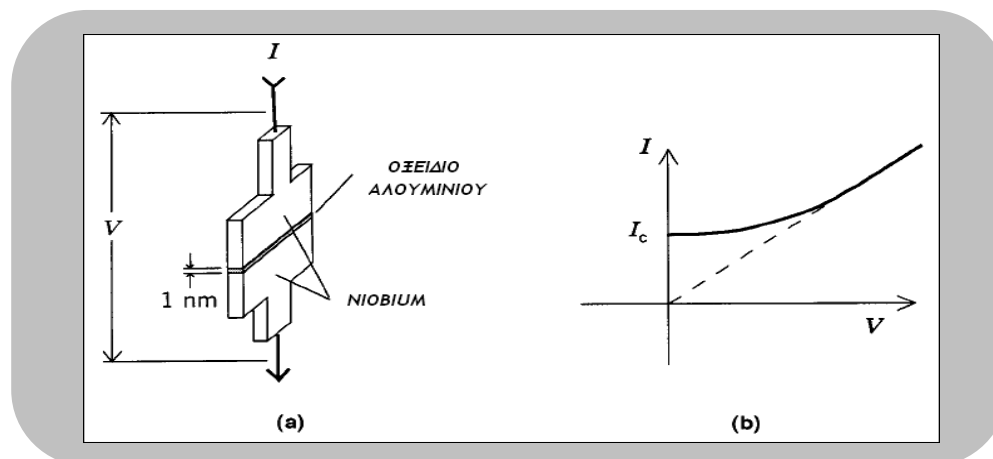
ΣΧΗΜΑ 3.2 - Επαγωγικό πηνίο[14]

3.2.2 Αισθητήρας S.Q.U.I.D.

Οι αισθητήρες αυτού του τύπου, αποτελούν τα πιο ακριβή όργανα μέτρησης μαγνητικού πεδίου. Η λειτουργία του, βασίζεται στην εντυπωσιακή αλληλεπίδραση ηλεκτρικών ρευμάτων και μαγνητικών πεδίων, όταν ορισμένα υλικά ψυχθούν κάτω από μια θερμοκρασία που τα μετατρέπει σε υπεραγώγιμα. Η ιδιότητά τους αυτή αποτελεί μηδενική αντίσταση στη ροή ηλεκτρικού ρεύματος.

Είναι γνωστό πως αν μαγνητική ροή διέλθει μέσα από μια σπείρα τέτοιου υπεραγώγιμου υλικού, θα εμφανιστεί σε αυτό ένα ρεύμα από επαγωγή, που μη υπαρκτής άλλης παρεμπόδισης θα ρέει για πάντα. Το πλάτος αυτού του επαγόμενου ρεύματος, είναι μια ιδανική και ευαίσθητη ένδειξη της πυκνότητας της μαγνητικής ροής, που αποκρίνεται ακόμα και σε πολύ μικρές μεταβολές αυτής.

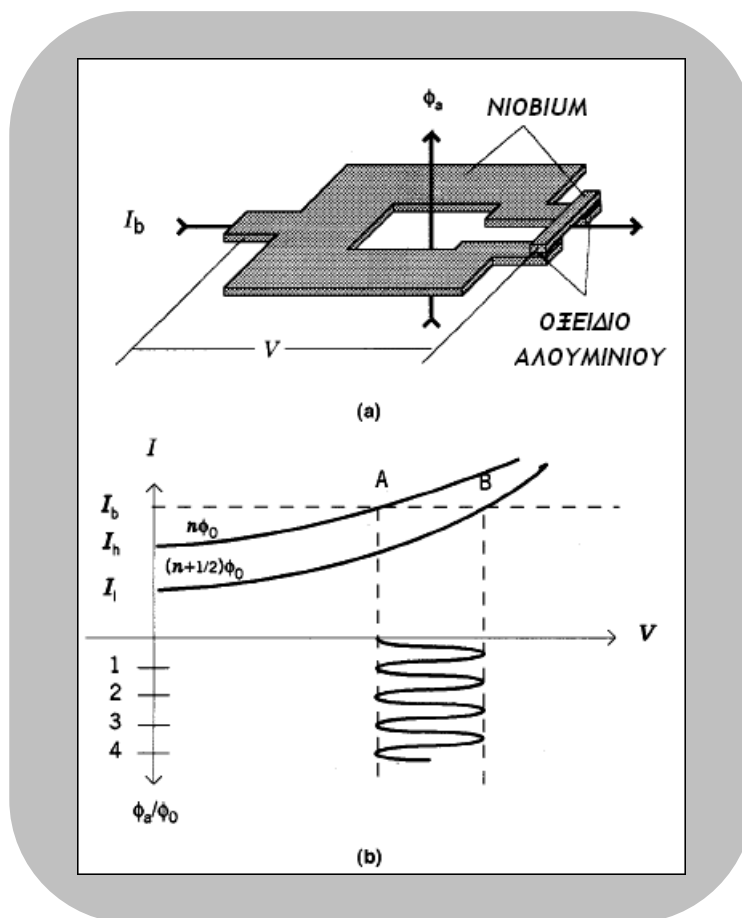
Η λύση για την μέτρηση του ρεύματος αυτού δόθηκε από τον Brian D. Josephson, που αντιλήφθηκε τι θα γινόταν σε ένα υπεραγώγιμο δακτύλιο, αν αυτός διακοπτόταν από μια 'ασθενή επαφή'. Αυτός μπορεί να είναι ένα λεπτό στρώμα από μονωτικό υλικό ή μία περιοχή που το υπεραγώγιμο υλικό έχει λεπτυνθεί για να περιοριστεί η ροή του ρεύματος. Η ανακάλυψη του ήταν πως ένα υπερρεύμα μπορεί να διέλθει μέσα από τον ασθενή αυτό δεσμό, αλλά το πλάτος του θα αποτελεί πλέον μια ταλαντευόμενη συνάρτηση της έντασης του μαγνητικού πεδίου και ιδιαίτερα της μαγνητικής ροής που βρίσκεται στην περιοχή αυτού του συνδέσμου-επαφής. Η μέγιστη τιμή αυτού του ρεύματος, που ονομάζεται κρίσιμο ρεύμα I_c , εμφανίζεται για τιμές μαγνητικής ροής ίσες με $n\phi_0$, όπου ϕ_0 είναι ένα κβάντο ροής (ίσο με 2 fWb) και η ελάχιστη τιμή του προκύπτει για τιμή της ροής ίση με $(n + 1/2)\phi_0$. Η περίοδος είναι ένα κβάντο ροής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται "dc Josephson effect". Ακολουθώντας απεικονίζεται η γενική δομή μίας επαφής τέτοιου τύπου καθώς και η χαρακτηριστική V-I. Δύο υπεραγωγοί συνήθως από Νιόβιο (Niobium), χωρίζονται από ένα πολύ λεπτό στρώμα μονωτικού όπως οξείδιο αλουμινίου τυπικού πάχους 1nm.



ΣΧΗΜΑ 3.3 - (a) ΕΠΑΦΗ JOSEPHSON (b) ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ V- I ΤΟΥ ΥΠΕΡΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΔΙΕΡΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΑΦΗ [15]

Ένα dc SQUID μαγνητόμετρο χρησιμοποιεί δύο Josephson επαφές σε δύο άκρα μίας σπείρας όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.4 . Η σπείρα είναι πολωμένη με ένα σταθερό ρεύμα που είναι μεγαλύτερο από το κρίσιμο των επαφών. Όταν η μαγνητική ροή που διαπερνά το δακτύλιο είναι ένα ακέραιο πολλαπλάσιο του ϕ_0 , η τάση μεταξύ των επαφών καθορίζεται από τη διασταύρωση του I_b και της $n\phi_0$ V-I καμπύλης (σημείο A). Καθώς η ροή αυξάνεται, το κρίσιμο ρεύμα μειώνεται . Η καμπύλη και επομένως το σημείο A μετακινούνται προς τα

δεξιά (η τάση της επαφής αυξάνεται). Το κρίσιμο ρεύμα φτάνει στην ελάχιστη τιμή, όταν η ροή έχει αυξηθεί κατά το $\frac{1}{2}\phi_0$ και η τάση της επαφής είναι στο μέγιστο (σημείο B). Καθώς η ροή συνεχίζει να αυξάνεται το κρίσιμο ρεύμα μεγαλώνει ξανά προς τη μέγιστη τιμή του και η τάση της επαφής πια μειώνεται.



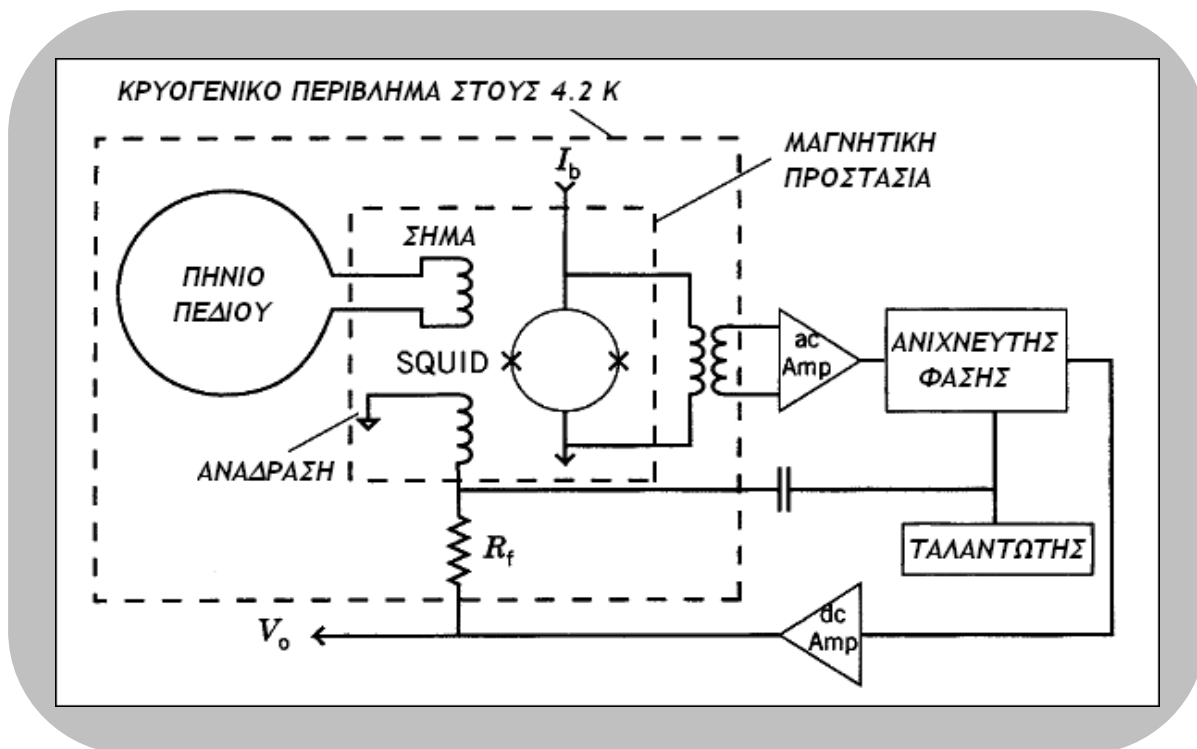
ΣΧΗΜΑ 3.4 - (a) ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ dc SQUID ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΕΝΑ ΥΠΕΡΑΓΩΓΙΜΟ ΒΡΟΓΧΟ ΚΑΙ ΔΥΟ ΕΠΑΦΕΣ JOSEPHSON, ΜΕ ΕΝΑ ΡΕΥΜΑ ΠΟΛΩΣΕΩΣ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΤΟΥ ΚΡΙΣΙΜΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (b) ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ V-I ΠΟΥ ΥΠΟΔΕΙΚΝΥΕΙ ΠΩΣ Η ΤΑΣΗ ΣΤΟΝ ΑΓΩΓΟ ΠΑΛΛΕΤΑΙ ΜΕ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΝΟΣ ΚΒΑΝΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΡΟΗΣ ϕ_0 [15]

Μια εφαρμογή ενός dc SQUID για μέτρηση ενός μεγάλου εύρους μαγνητικών πεδίων είναι η επόμενη. Η διάταξη αποτελείται από έναν μεγάλο υπεραγωγίμο βρόγχο εκτεθειμένο στο υπό μέτρηση μαγνητικό πεδίο, που είναι συνδεδεμένος με μια περιέλιξη σήματος. Αυτή είναι μαγνητικά συζευγμένη απευθείας με το SQUID. Σε κρυογονικές θερμοκρασίες, ο βρόγχος και η περιέλιξη σήματος σχηματίζουν ένα dc πηνίο επαγωγής. Η μαγνητική ροή που εφαρμόζεται σε αυτό, παράγει ένα ρεύμα στο βρόγχο που διατηρεί την ροή εντός του βρόγχου σταθερή, ακόμα και σε dc μαγνητικά πεδία. Η περιέλιξη σήματος μεγεθύνει τη ροή που εφαρμόζεται στο SQUID.

Το SQUID είναι πολωμένο μαγνητικά σε ένα βέλτιστο σημείο ευαισθησίας, ενώ ένα μικρό ac μαγνητικό πεδίο στα 100-500KHz υπερτίθεται στο πεδίο πόλωσης. Η έξοδος του SQUID είναι ένα διαμορφωμένο πλάτος και κατασταλαμμένης φέρουσας φερέσυχο κύμα, όπου το πλάτος υποδεικνύει την μεταβολή στο μαγνητικό πεδίο από το σημείο πόλωσης και η συχνότητα την πολικότητα της μεταβολής αυτής. Το σήμα εξόδου ενισχύεται και ταυτόχρονα αποδιαμορφώνεται. Το εξαγόμενο dc σήμα επίσης ενισχύεται και τροφοδοτείται μέσω μιας αντίστασης, πίσω σε ένα πηνίο συζευγμένο με το SQUID. Το ρεύμα μέσα στο πηνίο αυτό παράγει ένα μαγνητικό πεδίο που αντιτίθεται στο αρχικά

εφαρμοζόμενο πεδίο. Αυτό επιτυγχάνει το σημείο λειτουργίας SQUID να είναι πολύ κοντά στο σημείο πολώσεως. Ο παράγοντας κλίμακας του μαγνητόμετρου εξαρτάται από την αντίσταση και το πηνίο ανάδρασης, που δρουν με τον ίδιο τρόπο όπως σε ένα fluxgate μαγνητόμετρο.

Ο βρόγχος συλλογής, η περιέλιξη σήματος, SQUID, το πηνίο και η αντίσταση ανάδρασης, φυλάσσονται σε ένα θάλαμο κρυογονικής θερμοκρασίας και όλα εκτός του πρώτου είναι μαγνητικά θωρακισμένα. Το υπόλοιπο του κυκλώματος χειρίζεται σε θερμοκρασία δωματίου. Η ιδιαιτερότητα αυτή της κατασκευής του, είναι που του προσδίδει μεγάλο μέγεθος και το καθιστά ενεργοβόρο. Η χρήση του περιορίζεται σε επιστημονικά ιδρύματα και πανεπιστήμια για χαρακτηρισμό μαγνητικών υλικών[13,15].

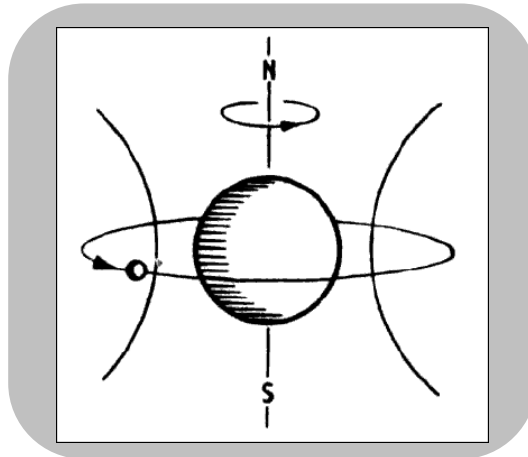


ΣΧΗΜΑ 3.5 - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΤΑΞΗΣ SQUID ΕΥΡΕΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ [15]

3.2.3 Αισθητήρας Εκτροπής Πυρήνα (Nuclear Precession)

Η λειτουργία του αισθητήρα εκτροπής πυρήνα, βασίζεται στη φυσική ιδιότητα των πρωτονίων του πυρήνα των ατόμων να περιστρέφονται περί του εαυτού τους, σε έναν άξονα παράλληλο-ευθυγραμμισμένο με αυτόν του υφιστάμενου περιβάλλοντος μαγνητικού πεδίου.

Συγκεκριμένα η τεχνολογία στηρίζεται στα άτομα του υδρογόνου, που ως γνωστό αποτελούνται από ένα πυρήνα περιλαμβανομένου ενός μοναδικού πρωτονίου και ενός μοναδικού ηλεκτρονίου που περιστρέφεται γύρω από αυτόν. Το περιστρεφόμενο ηλεκτρόνιο δρα ακριβώς όπως ένα ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα πηνίο και εγκαθιστά ένα μαγνητικό πεδίο γύρω από το άτομο. Αυτό πλέον προσομοιάζει με ένα μαγνητικό γυροσκόπιο του οποίου οι μαγνητικοί πόλοι βρίσκονται πάνω στον άξονα περιστροφής του.

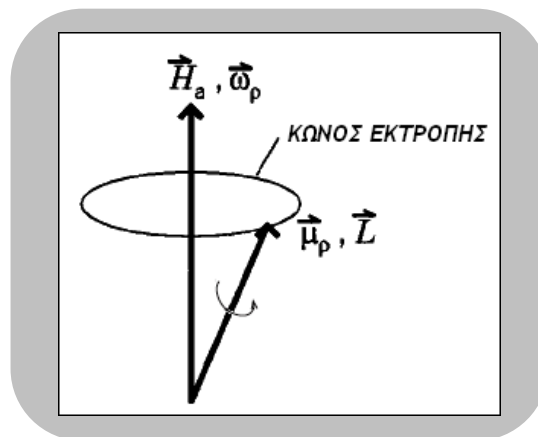


ΣΧΗΜΑ 3.6 - ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΠΟΛΟ ΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΖΕΤΑΙ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΟΥ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΤΟ ΥΑΡΟΓΟΝΟΥ, ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ ΤΟΥ [16]

Το πρωτόνιο το οποίο έχει στροφορμή \vec{L} και μαγνητική ροπή $\vec{\mu}_p$, με την εφαρμογή ενός εξωγενούς μαγνητικού πεδίου \vec{H}_a θα δεχθεί μια ροπή στρέψης

$$\vec{T} = \vec{\mu}_p \times \vec{H}_a$$

Αυτή θα τείνει να εκτρέψει τον άξονα περιστροφής του πρωτονίου από την αρχική κατεύθυνση, αυτής του γήινου μαγνητικού πεδίου, σε άλλη παράλληλη του νέου επιβαλλόμενου πεδίου ώστε αυτό να ευθυγραμμιστεί.



ΣΧΗΜΑ 3.6 - ΕΚΤΡΟΠΗ ΠΥΡΗΝΑ. ΕΝΑ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΠΡΩΤΟΝΙΟ ΜΕ ΣΤΡΟΦΟΡΜΗ L ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΠΗ μ_p , ΟΤΑΝ ΥΠΟΒΛΗΘΕΙ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ H_a , ΘΑ ΕΚΤΡΕΨΕΙ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΜΕ ΜΙΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ω_p [15]

Η συχνότητα εκτροπής $\vec{\omega}_p$ είναι η ουσιαστική μέτρηση, διότι αυτή είναι ανάλογη με το νέο μαγνητικό πεδίο. Η σχέση μεταξύ της ροπής στρέψης, της συχνότητας εκτροπής και της στροφορμής είναι

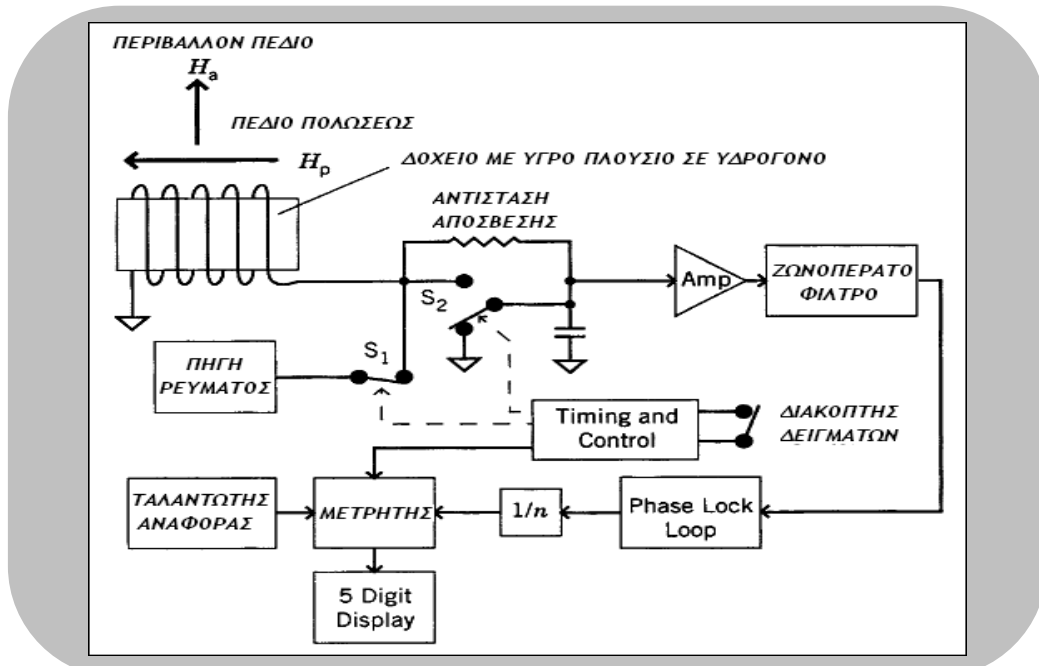
$$\vec{\mu}_p \times \vec{H}_a = \vec{\omega}_p \times \vec{L}$$

Λύνοντας ως προς το πλάτος της συχνότητας εκτροπής, καταλήγει στην *εξίσωση του Larmor*

$$\omega_p = \left(\frac{\mu_p}{L} \right) \cdot H_a = g \cdot H_a$$

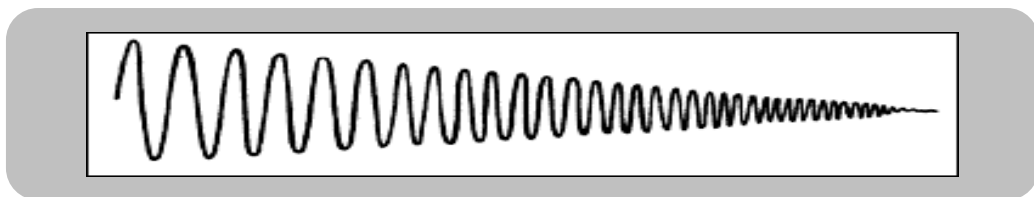
,όπου g είναι ο αδιάστατος γυρομαγνητικός λόγος του πρωτονίου που εκφράζει το λόγο της μαγνητικής διπολικής ροπής προς τη στροφορμή και ισούται με 0.042576 (Hz/nT).

Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας εφαρμογής φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα,



ΣΧΗΜΑ 3.7 - ΤΥΠΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΑΓΝΗΤΟΜΕΤΡΟΥ ΕΚΤΡΟΠΗΣ ΠΥΡΗΝΑ. ΕΝΑ ΠΕΔΙΟ ΠΟΛΩΣΕΩΣ ΕΦΑΡΜΟΖΕΤΑΙ ΣΤΟ ΥΓΡΟ ΟΤΑΝ Ο S1 ΕΙΝΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΣ. ΥΣΤΕΡΑ ΑΝΟΙΓΕΙ ΚΑΙ ΤΟ ΠΗΝΙΟ ΣΥΝΔΕΕΤΑΙ ΣΤΟΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ LARMOR [15]

Το δοχείο περιέχει υγρό πλούσιο δε υδρογόνο, όπως η κηροζίνη ή απλά το απεσταγμένο νερό, ενώ το πηνίο που το περικλείει υπηρχει δύο σκοπούς. Στην αρχή της μέτρησης η πηγή συνεχούς ρεύματος συνδέεται με αυτό ώστε να δημιουργήσει το μαγνητικό πεδίο που θα πολώσει το υγρό. Το πεδίο αυτό είναι της τάξης των 10mT. Μετά από λίγα δευτερόλεπτα η πηγή ρεύματος αποσυνδέεται από το πηνίο, το οποίο πλέον δρα ως ανιχνευτής. Η εκτροπή αυτή του άξονα περιστροφής, δημιουργεί ένα πολύ ασθενές εναλλασσόμενο πεδίο και επάγεται στο πηνίο ένα μικρό, επίσης εναλλασσόμενο και μειούμενο σήμα τάσης. Αυτό με τη σειρά του συνδέεται στην είσοδο ενός ενισχυτή, όπου ενισχύεται, φιλτράρεται και μετρίεται η συχνότητα εκτροπής. Το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο χρήστη σε μονάδες μαγνητικού πεδίου, μέσω μιας ψηφιακής οθόνης[15,16].



ΣΧΗΜΑ 3.8 - ΤΟ ΣΗΜΑ ΤΑΣΗΣ ΠΟΥ ΕΠΑΓΕΤΑΙ ΣΤΟ ΠΗΝΙΟ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΟΠΗ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ [16]

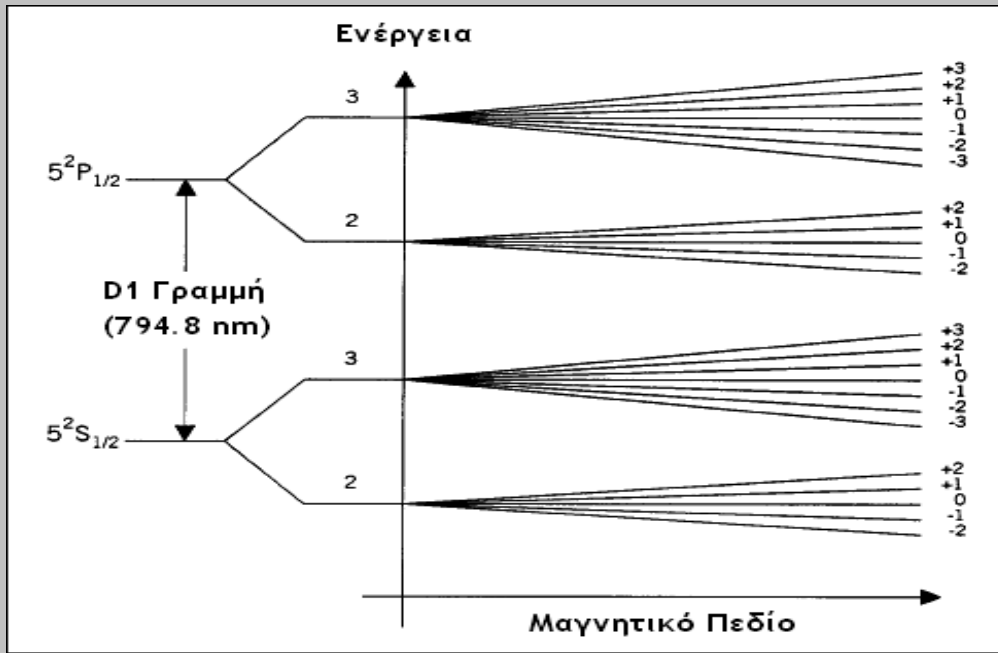
3.2.4 Αισθητήρας Οπτικής Αντλήσεως

Το μαγνητόμετρο οπτικής αντλήσεως, είναι βασισμένο στο φαινόμενο Zeeman. Ο αναφερόμενος ανακάλυψε πως εφαρμόζοντας ένα μαγνητικό πεδίο σε άτομα, τα οποία ακτινοβολούν ή απορροφούν φως, έχει ως συνέπεια οι φασματικές γραμμές αυτών να διαιρούνται σε ένα νέο σύνολο φασματικών γραμμών. Το νέο χαρακτηριστικό των τελευταίων, είναι η μικρότερη απόσταση μεταξύ τους συγκριτικά με τις κανονικές. Το διάστημα συχνότητας, που σχετίζεται με την ενέργεια, μεταξύ των γραμμών αυτών είναι ανάλογο με το πλάτος του επιβαλλόμενου πεδίου.

Η αναλυόμενη τεχνολογία εκμεταλλεύεται αυτό το χαρακτηριστικό διεγείροντας οπτικά άτομα, ώστε να δημιουργηθεί μια υπερπληθής ενεργειακή κατάσταση σε μια υπέρλεπτη (hyperfine) φασματική γραμμή. Εν συνεχεία προκαλείται απομάκρυνση ηλεκτρονίων από αυτή την ενεργειακή κατάσταση με χρήση ενός RF μαγνητικού πεδίου. Η RF συχνότητα που απαιτείται για την αραιώση της ενεργειακής κατάστασης, είναι ίση με τη φασματική διαφορά των γραμμών που προήλθε από το μαγνητικό πεδίο και είναι προφανώς ανάλογη με την ένταση αυτού.

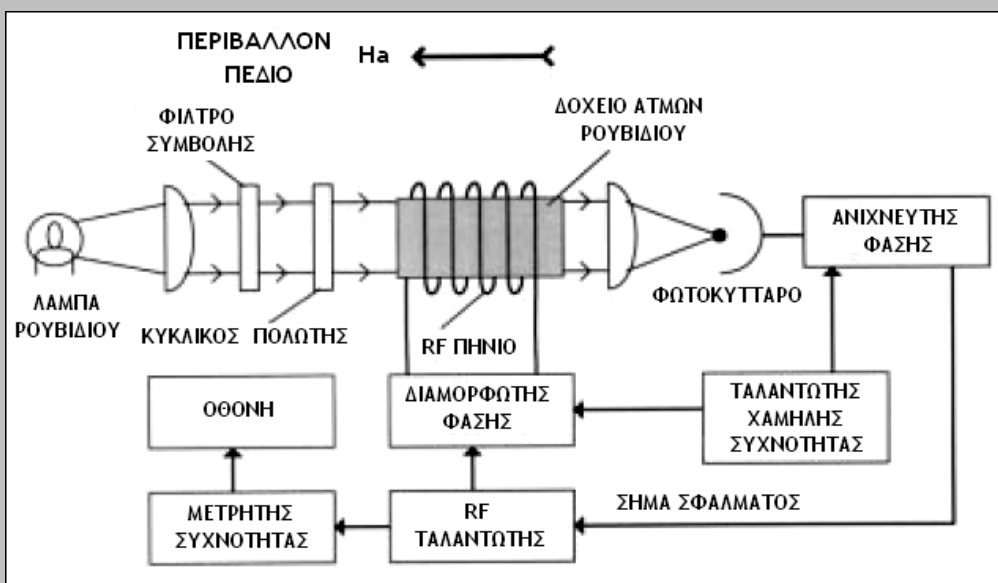
Πιο αναλυτικά, το φαινόμενο αυτό συναντάται περισσότερο σε αλκαλικά στοιχεία, όπως το Ρουβίδιο, το Λίθιο, το Κέσιο, το Νάτριο και το Κάλιο. Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός m , συσχετίζεται με τη στροφορμή και καθορίζει την συνιστώσα της μαγνητικής ροπής κατά μήκος του επιβαλλόμενου πεδίου. Μεταβάσεις γίνονται μεταξύ σταθμών διαφορετικών τιμών m , σύμφωνα με τον κανόνα πως η μεταβολή του m μπορεί να έχει τιμές μόνο 0, 1 και -1. Όταν δεν υφίσταται οπτική διέγερση, τα ηλεκτρόνια σθένους θα είναι διανεμημένα σε ενεργειακές καταστάσεις σύμφωνα με την κατανομή του Boltzmann και θα βρίσκονται επίσης σε κατάσταση ισορροπίας. Όταν υπάρξει διέγερση των ηλεκτρονίων με κυκλικά πολωμένο φως στην συχνότητα D1 (794.8 nm-μήκος κύματος), θα απορροφήσουν φωτόνια και θα μεταβούν από την κατάσταση $^2S_{1/2}$ στην $^2P_{1/2}$. Τα διεγερμένα ηλεκτρόνια, θα μεταπέσουν πλέον με ακανόνιστο τρόπο σε χαμηλότερες ενεργειακές καταστάσεις, κατανεμημένα με ίση πιθανότητα μεταξύ αυτών. Ο κανόνας όμως υποδεικνύει πως η μεταβολή του m μπορεί να είναι μόνο 1 ή -1 για κυκλικά πολωμένο φως. Εάν χρησιμοποιηθεί δεξιόστροφα κυκλικά πολωμένο φως, η μεταβολή του m θα είναι 1 και τα ηλεκτρόνια στην $m=3$ στάθμη της $^2S_{1/2}$ κατάστασης δεν θα μπορούν να μεταβούν, αφού δεν υπάρχει στάθμη $m=4$ στην $^2P_{1/2}$ κατάσταση. Επομένως τα ηλεκτρόνια αυτά παραμένουν στην $m=3$ στάθμη. Όλα τα υπόλοιπα ηλεκτρόνια μετακινούνται στην αμέσως υψηλότερη κατάσταση και ύστερα πέφτουν πίσω στην χαμηλότερη με ίση πιθανότητα να καταφτάσουν σε οποιαδήποτε από τις m στάθμες, συμπεριλαμβανομένης της $m=3$. Έτσι κατά αυτόν τον τρόπο, η στάθμη $m=3$ συμπληρώνεται και οι υπόλοιπες αδειάζουν, μέχρι όλα τα ηλεκτρόνια να βρεθούν στην στάθμη αυτή και να μην είναι εφικτές άλλες μεταβάσεις. Τότε η 'άντληση' σταματά.

Όταν η 'άντληση' ξεκινά οι ατμοί είναι αδιαφανείς, ενώ καθώς περνά ο χρόνος λιγότερα ηλεκτρόνια είναι ελεύθερα να απορροφήσουν φωτόνια και οι ατμοί αυτοί καταλήγουν στο τέλος της 'άντλησης' τελείως διάφανοι. Εάν εφαρμοστεί δεξιόστροφα ένα μικρό RF μαγνητικό πεδίο στη συχνότητα του Larmor, τα ηλεκτρόνια στην $m=3$ κατάσταση θα υποπέσουν στις άλλες στάθμες ώστε να είναι πλέον διαθέσιμα για περαιτέρω 'άντληση'. Το εν λόγω μαγνητόμετρο εκμεταλλεύεται την κατάσταση αυτή, συνθέτοντας έναν ταλαντωτή γύρω από τη συχνότητα Larmor. Το μαγνητόμετρο οπτικής άντλησης, μπορεί να δειγματολογήσει το μαγνητικό πεδίο σε πολύ μεγαλύτερο ρυθμό από το μαγνητόμετρο εκτροπής πυρήνα και γενικά μπορεί να επιτύχει μεγαλύτερη ανάλυση. Ενδεικτικά αναφέρεται πως ο ρυθμός δειγματοληψίας μπορεί να ανέλθει σε 15 δείγματα ανά δευτερόλεπτο και η ανάλυση σε 0.005 nT.



ΣΧΗΜΑ 3.9 - ΦΑΣΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΡΟΥΒΙΔΙΟΥ ($Rb-85$) ΠΟΥ ΣΥΝΗΘΩΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΕ ΑΥΤΑ ΤΑ ΜΑΓΝΗΤΟΜΕΤΡΑ. ΟΤΑΝ ΕΝΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΖΕΤΑΙ, ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΧΩΡΙΖΟΝΤΑΙ ΣΕ ΖΕΕΜΑΝ ΥΠΟΣΤΑΘΜΕΣ ΠΟΥ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΟΝΤΑΙ ΚΑΘΩΣ ΤΟ ΠΕΔΙΟ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ [15]

Μία υλοποίηση αυτής της τεχνολογίας περιγράφεται ακολούθως. Στην περίπτωση αυτή, το υπό μέτρηση μαγνητικό πεδίο και το RF είναι ομοαξονικά. Η συχνότητα του RF ταλαντωτή, διαμορφώνεται με έναν σταθερής χαμηλής συχνότητας ταλαντωτή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την η RF συχνότητα να μεταβάλλεται γύρο από τη συχνότητα Larmor. Αν ο RF ταλαντωτής δεν είναι κεντραρισμένος στην συχνότητα αυτή, η έξοδος του φωτοκύτταρου θα είναι ένα σήμα που θα περιέχει μια βασική συνιστώσα της RF διαμόρφωσης. Παράγεται τότε μια τάση σφάλματος, που χρησιμοποιείται για να οδηγήσει την RF συχνότητα προς την Larmor. Τότε η RF συχνότητα μετράται για προσδιοριστεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου[15].



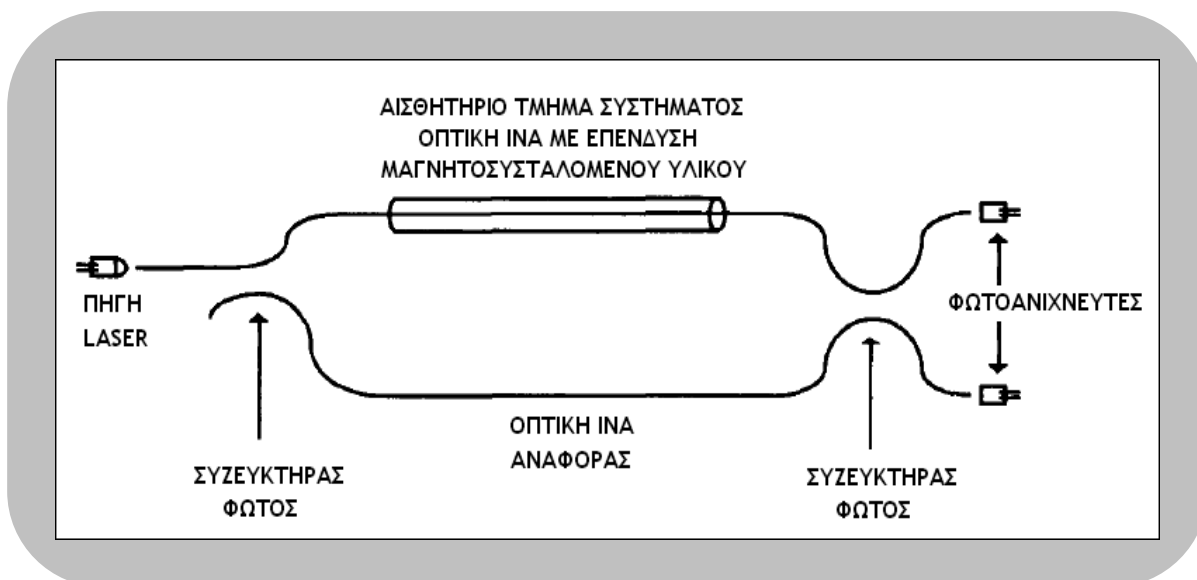
ΣΧΗΜΑ 3.10 - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΑΓΝΗΤΟΜΕΤΡΟΥ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ [15]

3.2.5 Αισθητήρας Οπτικής Ίνας (Fiber Optic)

Η τεχνολογία του αισθητήρα οπτικής ίνας, χρησιμοποιεί την αρχή της μαγνητοσυστολής που εισήχθη για πρώτη φορά το 1980. Σύμφωνα με αυτή οι αισθητήρες που υλοποιούνται, εκμεταλλεύονται τη διάταξη που επιφέρει ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο σε έναν φερομαγνητικό μορφομετατροπέα. Η διάταξη περιλαμβάνει δυο οπτικές ίνες που είναι έτσι διατεταγμένες ώστε να σχηματίζουν ένα Mach-Zender συμβολόμετρο (interferometer).

Η πηγή του φωτός που προέρχεται από ένα λέιζερ, διέρχεται αρχικά από έναν συζευκτήρα φωτός 2x2 που διαχωρίζει την αρχική δέσμη σε δύο νέα κύματα φωτός όμοια με το αρχικό, αλλά μισής ενέργειας το καθένα. Αυτά οδηγούνται σε δύο οπτικές ίνες αντίστοιχα, με την ιδιαιτερότητα ότι η μία από αυτές είναι καλυμμένη με ειδικό υλικό του οποίου οι διαστάσεις εξαρτώνται από τη φορά και το μέτρο της μαγνήτισης του. Όταν το υλικό αυτό μαγνητίζεται από ένα εξωτερικό πεδίο, το μήκος του αλλάζει. Αν η μεταβολή αυτή του μήκους είναι ένα κλάσμα του μήκους κύματος, το φως που διέρχεται από τη συγκεκριμένη οπτική ίνα θα καταφτάσει στον δεύτερο οπτικό συζευκτήρα με μια μικρή διαφορά φάσης, συγκριτικά με το άλλο αρχικά όμοιο κύμα που διέρχεται από την οπτική ίνα αναφοράς. Η συμβολή των δύο κυμάτων έχουν ως αποτέλεσμα το επίπεδο φωτός στους δύο ανιχνευτές στο τέλος της κάθε οπτικής ίνας, να είναι διαφορετικό κατά ένα ποσοστό ανάλογο της μεταξύ τους διαφοράς φάσης. Έτσι με παρακολούθηση της μεταβολής της φάσης, είναι εφικτή η μέτρηση του πεδίου που επιβάλλεται στον αισθητήρα.

Συσκευές τέτοιου τύπου είναι επίσης ευαίσθητες στον προσανατολισμό των γραμμών του πεδίου και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό της καμπυλότητας αυτών. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε νικέλιο ως μαγνητοσυστελλόμενο υλικό, ενώ τα πεδία που αισθάνεται μπορεί να είναι σταθερά, όπως και μεταβαλλόμενα με συχνότητες κάτω των 60Hz[13,17].

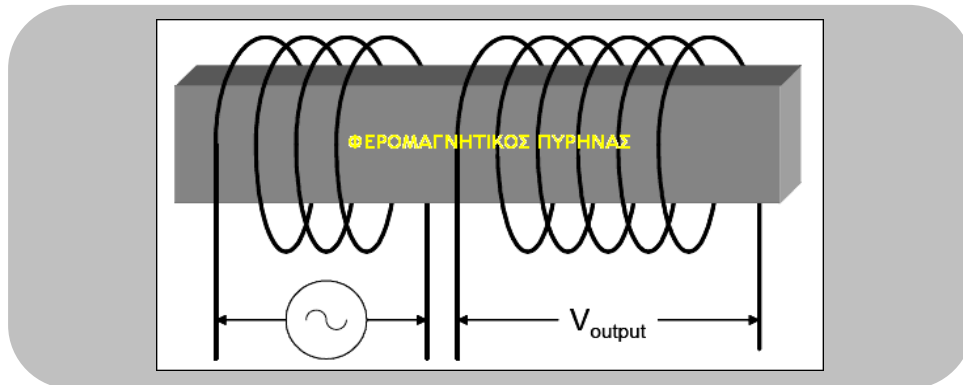


ΣΧΗΜΑ 3.11 - ΕΝΑ ΜΑΓΝΗΤΟΜΕΤΡΟ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΟ ΜΕ ΜΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΙΝΕΣ ΕΠΕΝΔΥΜΕΝΗ Ή ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΕΝΗ ΣΕ ΕΝΑ ΜΑΓΝΗΤΟΣΥΣΤΕΛΛΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ[13]

3.3 Μαγνητικοί αισθητήρες Γήινου Μαγνητικού Πεδίου

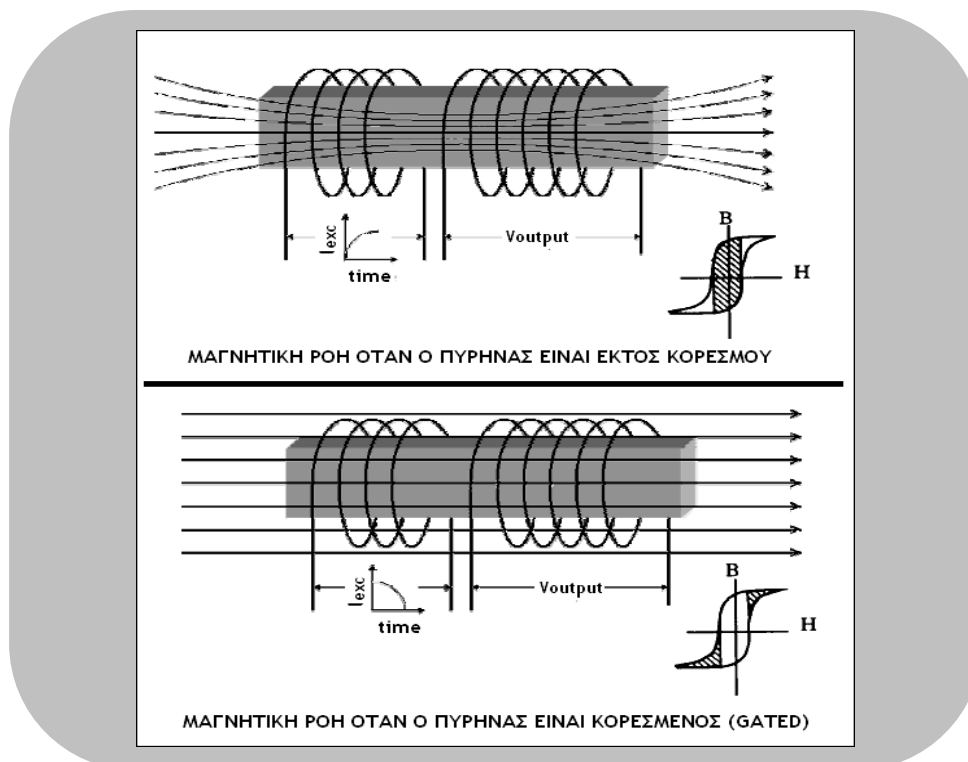
3.3.1 Αισθητήρας Fluxgate

Το fluxgate μαγνητόμετρο αποτελείται από ένα φερομαγνητικό υλικό-πυρήνα, το οποίο μπορεί εύκολα να φτάσει σε κατάσταση κορεσμού, γύρω από τον οποίο έχουν συστραφεί δύο πηνία. Ένα εναλλασσόμενο ρεύμα εφαρμόζεται στο ένα από τα πηνία και δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο που διέρχεται δια μέσου του πυρήνα.



ΣΧΗΜΑ 3.12 - ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝΟΣ ΑΠΛΟΥ FLUXGATE ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ [14]

Το μαγνητικό πεδίο αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μαγνητική ροή μέσα στον πυρήνα να φτάνει σε κορεσμό περιοδικά, πρώτα με ωρολογιακή φορά και έπειτα με αντι-ωρολογιακή. Το δεύτερο πηνίο είναι αυτό που παρέχει το σήμα εξόδου. Κατά τη διάρκεια που το φερομαγνητικό υλικό βρίσκεται ενδιάμεσου των μέγιστων τιμών κορεσμού, παρουσιάζει μαγνητική διαπερατότητα πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα. Όταν όμως ο πυρήνας είναι στον κορεσμό, η διαπερατότητα ισοδυναμεί με αυτή του αέρα.



ΣΧΗΜΑ 3.13 - ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝΟΣ ΑΠΛΟΥ FLUXGATE ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ [13,14]

Εάν δεν υπάρχει συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου παράλληλη με τον άξονα του πηνίου σήματος, η μεταβολή της μαγνητικής ροής είναι μηδενική. Στην περίπτωση που η συνιστώσα αυτή είναι υπαρκτή, τότε κάθε φορά που το φερομαγνητικό υλικό κατευθύνεται από το ένα άκρο κορεσμού στο άλλο η μαγνητική ροή μέσα στον πυρήνα θα αλλάζει από μια χαμηλή σε μια υψηλή τιμή. Θα εμφανιστεί επομένως, σύμφωνα με το νόμο του Faraday, μια τάση στα άκρα του πηνίου σήματος που θα είναι ανάλογη με το ρυθμό μεταβολής της ροής. Για σταθερά ή χαμηλής συχνότητας μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία, το σήμα τάσης είναι

$$e(t) = nA \frac{d(\mu_0 \mu_e H)}{dt} = nA \mu_0 H \frac{d\mu_e(t)}{dt}$$

,όπου

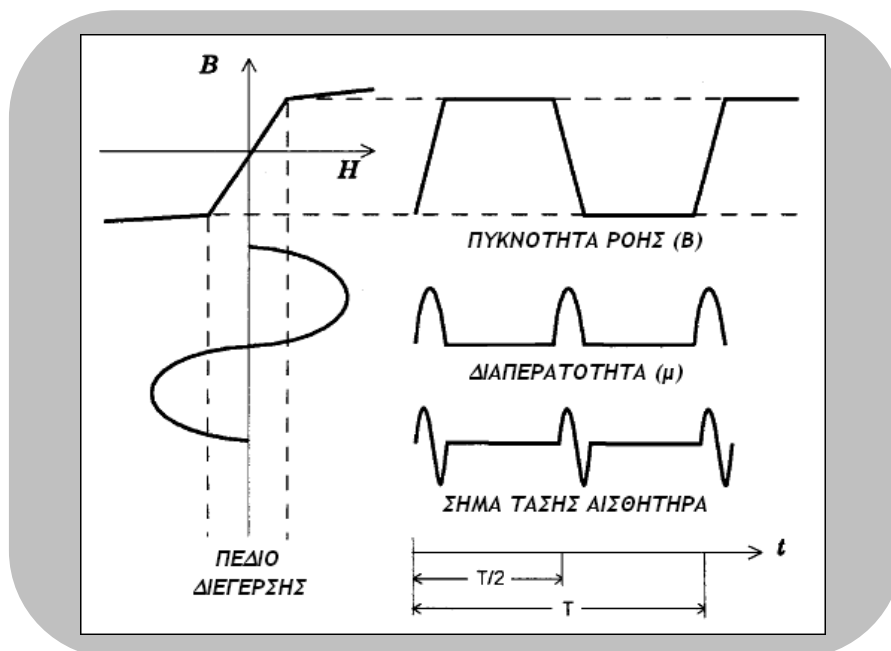
H = Συνιστώσα του υπό μέτρηση μαγνητικού πεδίου

n = Αριθμός ελιγμάτων του πηνίου σήματος

A = Διατομή του πηνίου σήματος

$\mu_e(t)$ = Ενεργός σχετική διαπερατότητα του πυρήνα

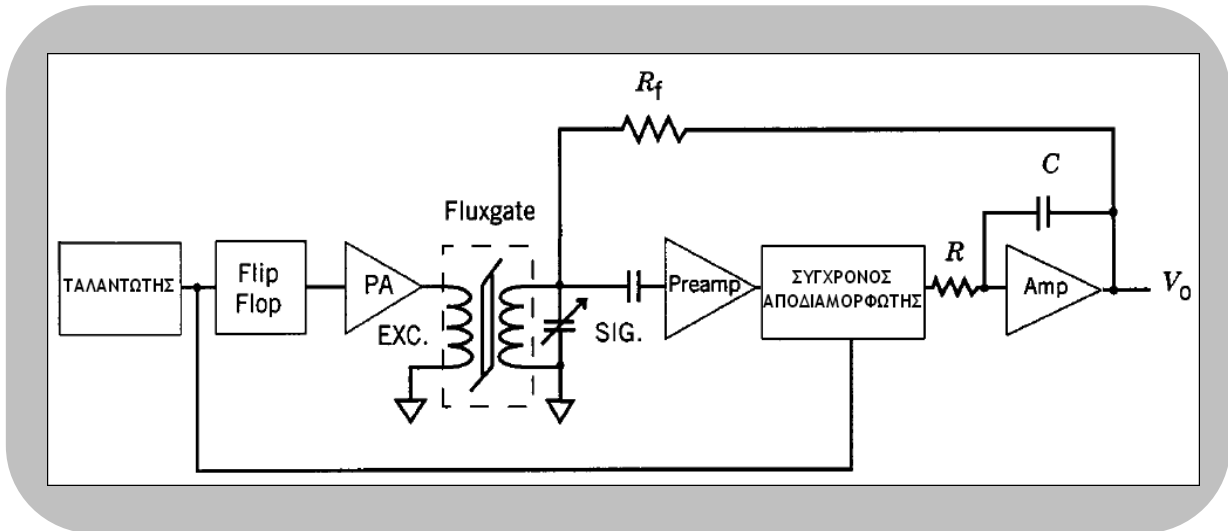
Ο παλμός αυτός τάσης στο πηνίο σήματος, λόγω της εναλλαγής της διαπερατότητας από μια χαμηλή σε μια υψηλή τιμή, έχει πλάτος ανάλογο με το μέγεθος του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου και φάση που υποδεικνύει την κατεύθυνση του πεδίου αυτού. Η συχνότητα του σήματος είναι η διπλάσια από τη συχνότητα διέγερσης, αφού η μετάβαση από τον κορεσμό σε κορεσμό συμβαίνει δύο φορές σε κάθε περίοδο του σήματος διέγερσης.



ΣΧΗΜΑ 3.14 - ΤΟ ΠΕΔΙΟ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΟΔΗΓΕΙ ΤΟΝ ΠΥΡΗΝΑ ΣΕ ΘΕΤΙΚΟ Ή ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΚΟΡΕΣΜΟ, ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΝ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ 1 ΚΑΙ ΜΙΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΤΙΜΗΣ ΔΥΟ ΦΟΡΕΣ ΣΕ ΚΑΘΕ ΚΥΚΛΟ [15]

Το σήμα από το fluxgate αισθητήρα, είναι διαμορφωμένου πλάτους και καταπιεσμένου φέροντος και είναι σύγχρονο με τη δεύτερη αρμονική του σήματος διέγερσης. Σε έναν αισθητήρα χαμηλής ισχύος, το σήμα μεταπηδά στη ζώνη βάσης χρησιμοποιώντας έναν σύγχρονο αποδιαμορφωτή αφού φιλτραριστεί και παρουσιάζεται ως η τελική έξοδος. Αυτή ονομάζεται αρχιτεκτονική ανοικτού βρόγχου και έχει περιορισμένη ακρίβεια, λόγω της γραμμικότητας της καμπύλης μαγνήτισεως του πυρήνα, στο 5% του μαγνητικού πεδίου της Γης (60μΤ).

Τα πιο ακριβή μαγνητόμετρα, χρησιμοποιούν ανάδραση μαγνητικού πεδίου. Ένα τυπικό διάγραμμα ενός fluxgate αισθητήρα δεύτερης αρμονικής με ανάδραση πεδίου είναι το ακόλουθο.



ΣΧΗΜΑ 3.15 - ΤΥΠΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΝΟΣ FLUXGATE ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ ΠΕΔΙΟΥ [15]

Το κύκλωμα στα αριστερά του fluxgate ονομάζεται κύκλωμα διέγερσης. Αποτελείται από έναν ταλαντωτή ρυθμισμένο να διπλασιάζει τη συχνότητα διέγερσης, ένα flip-flop που διαιρεί την συχνότητα ταλάντωσης δια δύο και έναν ενισχυτή ισχύος που παρέχει το ρεύμα διέγερσης στο αντίστοιχο πηνίο.

Το κύκλωμα στα δεξιά του fluxgate, ονομάζεται κύκλωμα διαύλου σήματος. Ενισχύει την έξοδο από το πηνίο σήματος, ταυτόχρονα αποδιαμορφώνει το ac σήμα χρησιμοποιώντας το σήμα του ταλαντωτή ως αναφορά, ενσωματώνει και ενισχύει την ζώνη βάσης και τέλος επιφέρει ανάδραση της εξόδου μέσω μιας αντίστασης, στο πηνίο σήματος. Το σήμα ανάδρασης παράγει ένα μαγνητικό πεδίο μέσα στον αισθητήρα που αντιπαρατίθεται του εξωτερικού πεδίου. Αυτό κρατά το συνολικό πεδίο μέσα στον αισθητήρα κοντά στο μηδέν και σε ένα γραμμικό τμήμα της καμπύλης μαγνήτισης του πυρήνα[15].

3.3.2 Αισθητήρας Ανισοτροπικής Μαγνητοαντίστασης (AMR)

Η ανακάλυψη προέρχεται από τον William Thomson στα μέσα του 19^{ου} αιώνα (1856), χρειάστηκαν όμως περισσότερα από 100 χρόνια ώστε η εξέλιξη της τεχνολογίας εναπόθεσης λεπτών στρωμάτων να επιτρέψει την κατασκευή ενός πρακτικού αισθητήρα για περαιτέρω χρήση. Ειδικότερα, ο αισθητήρας ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης, εκμεταλλεύεται το φαινόμενο της μεταβολής της ειδικής αντίστασης ορισμένων φερομαγνητικών κραμάτων, όταν επιβληθεί ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο. Η φυσική

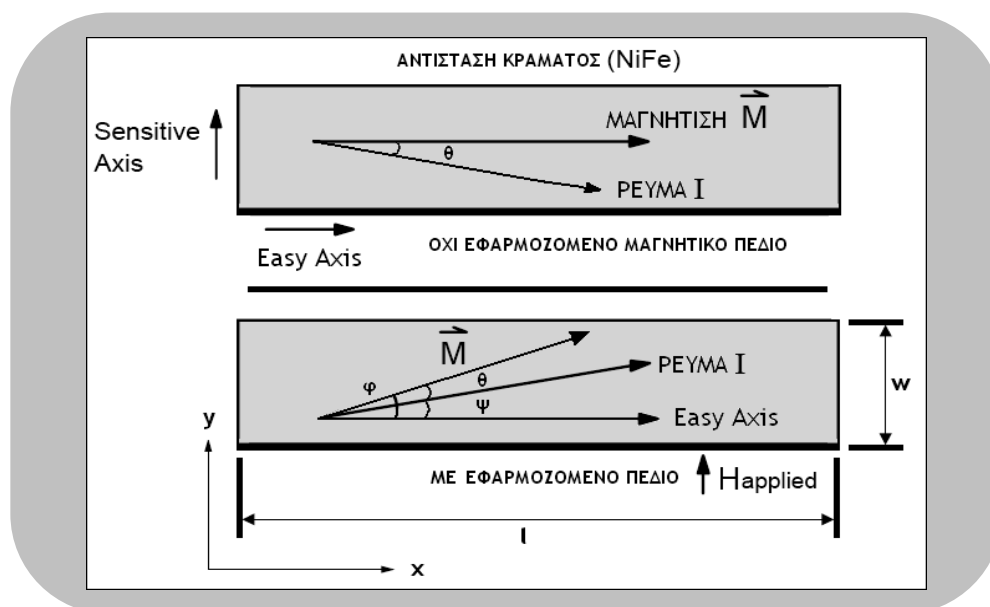
προέλευση του φαινομένου, προέρχεται από την ολίσθηση σε διαφορετικές ενεργειακές στάθμες των ηλεκτρονίων με θετικό και αρνητικό σπίν κάτω από την επίδραση ενός μαγνητικού πεδίου, που οδηγεί σε μετατόπιση των σταθμών Fermi.

Το ποσοστό της μεταβολής της ειδικής αντίστασης εξαρτάται από το πλάτος της μαγνήτισης και την κατεύθυνση στην οποία ρέει το ρεύμα που χρησιμοποιείται για την διενέργεια μέτρησης της αντίστασης. Το κράμα νικελίου-σιδήρου (Ni-Fe) παρουσιάζει την μεγαλύτερη μεταβολή με 5% μέγιστη. Στο ακόλουθο σχεδιάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της ειδικής αντίστασης του κράματος, για ένα πεδίο που εφαρμόζεται παράλληλα με τη ροή του ρεύματος. Καθώς το πεδίο μεγαλώνει, η μεταβολή αυτή αυξάνεται επίσης τείνοντας ασυμπτωτικά στη μέγιστη τιμή της, μέχρι το υλικό να φτάσει στον κορεσμό.



ΣΧΗΜΑ 3.16 - ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ [15]

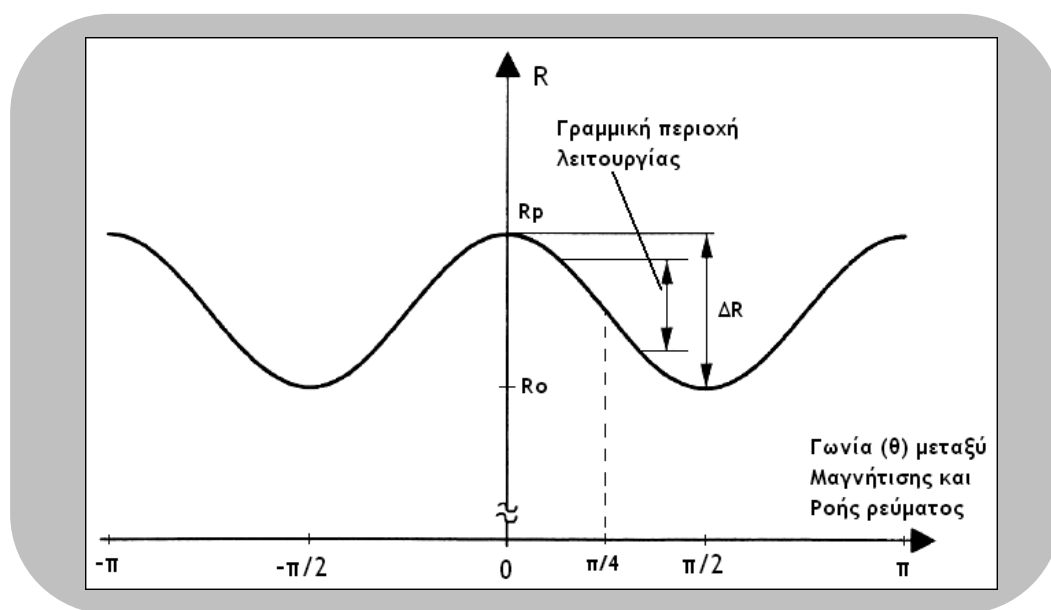
Κατά την παραγωγή του αισθητήρα, το λεπτό στρώμα τοποθετείται μέσα σε ένα έντονο μαγνητικό πεδίο πολώσεως H_b (Bias field). Το πεδίο αυτό είναι που θέτει τον επιθυμητό προσανατολισμό, που ονομάζεται και easy axis, του διανύσματος της μαγνήτισης (M). Συγκεκριμένα το διάνυσμα M τίθεται παράλληλα προς το μήκος της αντίστασης (άξονας x). Θεωρούμε ότι υπάρχει ρεύμα στο υπό εξέταση στρώμα το οποίο ρέει σχηματίζοντας γωνία θ με τη μαγνήτιση. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες της αντίστασης σχετίζονται με τη γωνία αυτή.



ΣΧΗΜΑ 3.17 - ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΟΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Εάν ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο H_a (Applied Field) εφαρμοστεί κάθετα στον άξονα easy axis, το διάνυσμα της μαγνήτισης θα περιστραφεί προς τη διεύθυνση του πεδίου αυτού αλλάζοντας τη γωνία θ και την αντίσταση που αντιλαμβάνεται το ρεύμα. Το μέγεθος της μεταβολής της γωνίας είναι ανάλογο του μεγέθους του εξωτερικού πεδίου, ενώ η αντίδραση αυτή της μαγνήτισης στην εφαρμογή εξωτερικού πεδίου είναι που ονομάζεται και φαινόμενο μαγνητοαντίστασης.

Η αντίσταση του κράματος είναι μέγιστη όταν η μαγνήτιση είναι παράλληλη με τη διεύθυνση ροής του ρεύματος, μειώνεται καθώς η διεύθυνση της μαγνήτισης αποκλίνει από αυτή και είναι ελάχιστη όταν οι δύο αυτές διευθύνσεις είναι κάθετες μεταξύ τους. Το φαινόμενο λοιπόν της μαγνητοαντίστασης είναι άμεσα συσχετισμένο με τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος και του διανύσματος της μαγνήτισης.



ΣΧΗΜΑ 3.18 - ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΓΩΝΙΑ θ ΜΕΤΑΞΥ ΜΑΓΝΗΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΡΟΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ [18]

Η σχέση που απεικονίζει ποσοτικά την εξάρτηση αυτή, είναι:

$$\rho(\theta) = \rho_o + (\rho_p - \rho_o) \cos^2 \theta = \rho_o + \Delta\rho_m \cos^2 \theta \quad (1)$$

$$R(\theta) = \rho_o \frac{l}{w \cdot t} + \Delta\rho_m \frac{l}{w \cdot t} \cos^2 \theta = R_o + \Delta R_m \cos^2 \theta \quad (2)$$

,όπου ρ_o (orthogonal) και ρ_p (parallel) είναι η αντίσταση για $\theta=\pi/2$ και $\theta=0$, ενώ $\Delta\rho_m$ είναι η μέγιστη ανισοτροπική μεταβολή της μαγνητοαντίστασης. Οι μεταβλητές l, w, t υποδηλώνουν αντίστοιχα το μήκος, το πλάτος και το πάχος του στρώματος και ισχύει για αυτά $l \gg w \gg t$. Ο όρος ανισοτροπικός, υποδεικνύει πως οι μαγνητικές ιδιότητες του υλικού εξαρτώνται από τη διεύθυνση. Το πηλίκο $\Delta\rho_m/\rho_o$, ονομάζεται συντελεστής μαγνητοαντίστασης και όπως προαναφέρθηκε μπορεί να τιμάται μεταξύ 3-5%. Ως ένδειξη αποτελεί κατασκευαστικό στοιχείο του εκάστοτε υλικού.

Με την εφαρμογή ενός εξωτερικού πεδίου, με πεδίο ολικής ανισοτροπίας $H_0=2K/\mu_0M_s$, η γωνία ϕ της μαγνήτισης \mathbf{M} από τον άξονα easy axis (άξονας x) δίνεται από τη σχέση

$$\sin \phi = \frac{H_y}{H_0 + \frac{H_x}{\cos \phi}}$$

, που για την απλούστερη περίπτωση $H_x=0$ δίνει

$$\sin \phi = \frac{H_y}{H_0} \quad (3)$$

, για την περιοχή $-1 < H_y/H_0 < 1$ ενώ εκτός αυτής είναι $\sin \phi = \text{sign}(H_y/H_0)$

Θα εισαχθούν στο συγκεκριμένο σημείο οι ποσότητες R_p και R_a , που αντιπροσωπεύουν τις αντιστάσεις σε παραλληλία με τη μαγνήτιση και τη μέση τιμή αντίστοιχα. Για αυτές ισχύουν:

$$R_p = R_o + \Delta R_m \quad (4)$$

$$R_a = R_o + \frac{\Delta R_m}{2} = R_p - \frac{\Delta R_m}{2} = \frac{R_o + R_p}{2} \quad (5)$$

Αν θεωρηθεί πως το ρεύμα βρίσκεται πάνω στον άξονα easy axis (άξονας x), τότε η γωνία $\psi=0$ και επομένως $\phi=\theta$ (Από το σχήμα 3.17 φαίνεται πως για τις γωνίες ισχύει $\phi=\theta+\psi$).

Από (2) και (4) θα προκύψει

$$R(\theta) = R_p - \Delta R_m \sin^2 \theta = R_p - \Delta R_m \sin^2 \phi \quad (6)$$

που από την (3) καταλήγει σε

$$R(H_y) = R_p - \Delta R_m \left(\frac{H_y}{H_o} \right)^2 \quad (7)$$

για $|H_y| \leq H_o$ και

$$R(H_y) = R_o$$

για $|H_y| > H_o$

Η αντίσταση επομένως παρουσιάζει μια μη-γραμμική εξάρτηση από το εξωτερικό πεδίο. Επιπροσθέτως η ευαισθησία dR/dH_y είναι πολύ μικρή κατά την προσέγγιση της αρχής των αξόνων και μηδενική για $H_y=0$. Ένα επιπλέον μειονέκτημα αυτής της έκφρασης είναι πως το πρόσημο του H_y δεν μπορεί να διευκρινιστεί λόγω της εξάρτησης της R από το τετράγωνο αυτού.

Με σκοπό να απαλυνθούν αυτά τα προβλήματα, επινοήθηκε η δομή των barber pole. Αυτά αποτελούν μια σειρά από λωρίδες υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που επιβάλλουν στο ρεύμα να ρέει σε μια γωνία $\psi=45^\circ$ συγκριτικά με τον άξονα x και επομένως τον easy axis του συστήματος.

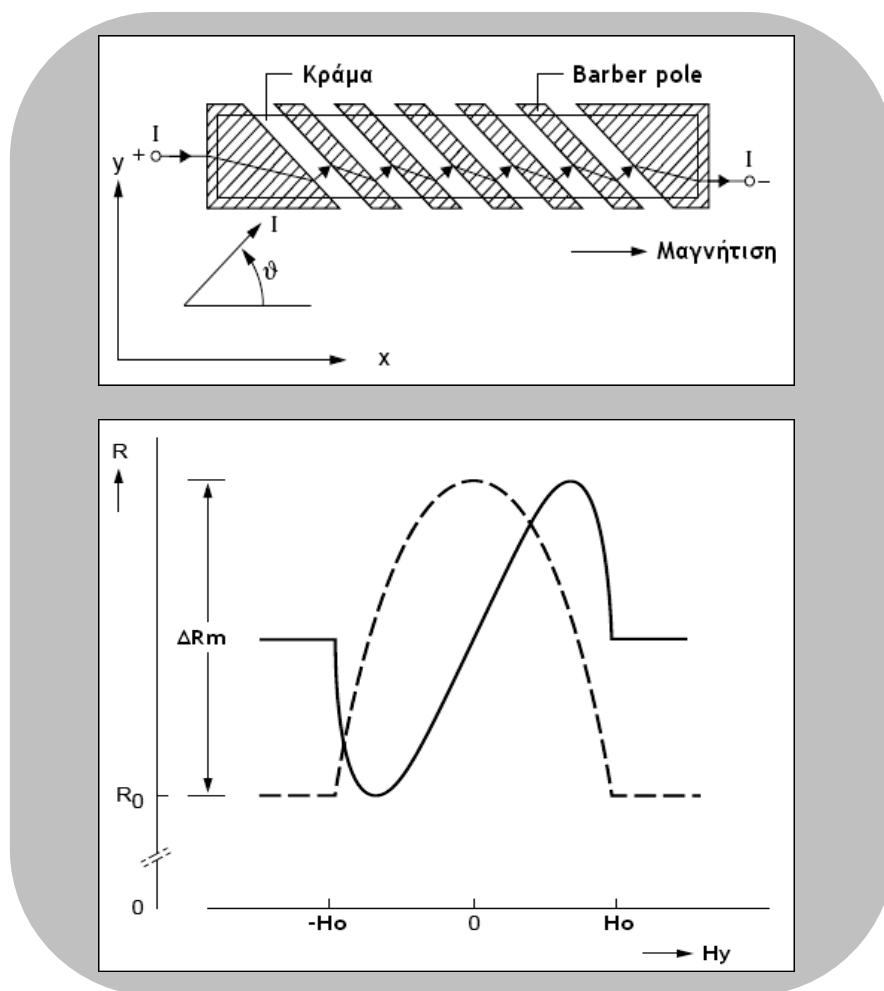
Από μαθηματικής πλευράς, οι barber pole εισάγουν μια γωνία $\psi=45^\circ$ μεταξύ του ρεύματος και του easy axis, με αποτέλεσμα να ισχύει για τη γωνία θ

$$\theta = \phi - 45^\circ \quad (8)$$

Από τις σχέσεις (5),(6) και (8) έχουμε τελικά

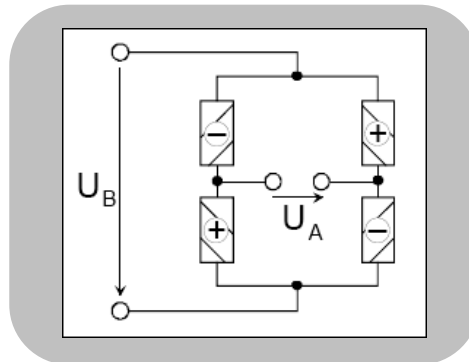
$$R(H_y) = R_a + \Delta R_m \left(\frac{H_y}{H_o} \right) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{H_y}{H_o} \right)^2} \quad (9)$$

Ακολούθως παρουσιάζεται η δομή των barber poles, καθώς και τα διαγράμματα των χαρακτηριστικών (7) και (9).



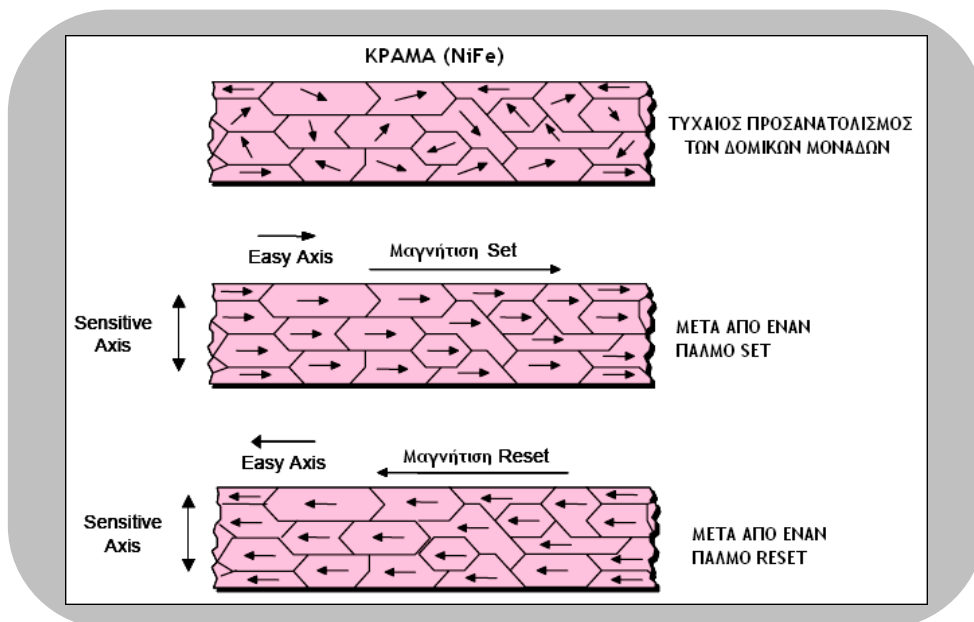
ΣΧΗΜΑ 3.19 - ΓΡΑΜΜΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΟΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΒΑΒΕΡ ΡΟΛΕΣ (ΤΟ ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ Η ΜΑΓΝΗΤΙΣΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΡΕΜΙΑΣ) – ΠΟΙΟΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗΣ R-H ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΔΟΜΗ(- -) ΚΑΙ ΜΕ ΑΥΤΗ (-) [PHILIPS]

Η δομή που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των μεταβολών της αντίστασης σε τάση και μάλιστα με έναν dc όρο, ο αισθητήρας υλοποιείται ως μια γέφυρα Wheatstone με τέσσερις ανεξάρτητες αντιστάσεις. Είναι σκόπιμο να συμπεριληφθεί ακόμα μια τάση σχεδιασμού, που αναδεικνύει ένα επιπλέον προτέρημα της δομής των barber poles. Οι αντιστάσεις σχεδιάζονται έτσι ώστε η δομές αυτές να βρίσκονται υπό γωνίες 45° και 135° αντίστοιχα, και να παρουσιάζουν θετικό και αρνητικό ΔR στην γραμμική περιοχή. Επιτυγχάνεται έτσι μέγιστη τάση εξόδου, πολλαπλασιασμένη κατά ένα συντελεστή 4 συγκριτικά με την έξοδο μιας μόνο αντίστασης, αν τοποθετηθούν ανά δύο απέναντι όμοιες σε γωνία δομές.

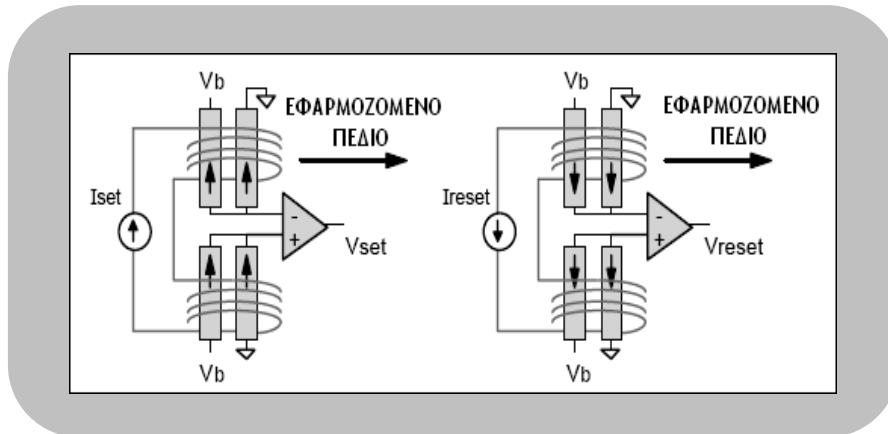


ΣΧΗΜΑ 3.20 - ΓΕΦΥΡΑ WHEATSTONE ΜΕ ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΜΑΓΝΗΤΟΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ ΔΟΜΗ BARBER POLE (+) ΥΠΟΔΕΙΚΝΥΕΙ ΔΟΜΗ ΥΠΟ 45° ΚΑΙ ΤΟ (-) ΥΠΟ 135° [18]

Αξιοσημείωτη είναι η πιθανότητα ένα έντονο μαγνητικό πεδίο να ‘σπάσει’ την ευθυγράμμιση της μαγνήτισης στο κράμα, γεγονός κρίσιμο για τη λειτουργία του αισθητήρα. Για να υπάρξει επαναρύθμιση στη μαγνητική κατάσταση, πρέπει να εφαρμοστεί ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο κατά το μήκος του λεπτού στρώματος. Μέσα λοιπόν σε κάποιες δεκάδες nsec οι τυχαίως προσανατολισμένες δομικές μονάδες θα ευθυγραμμιστούν ξανά, το διάνυσμα της μαγνήτισης M θα αποκατασταθεί και θα προκύψει τελικά το επιθυμητό και προβλέψιμο φαινόμενο της μαγνητοαντίστασης[1,15,18].

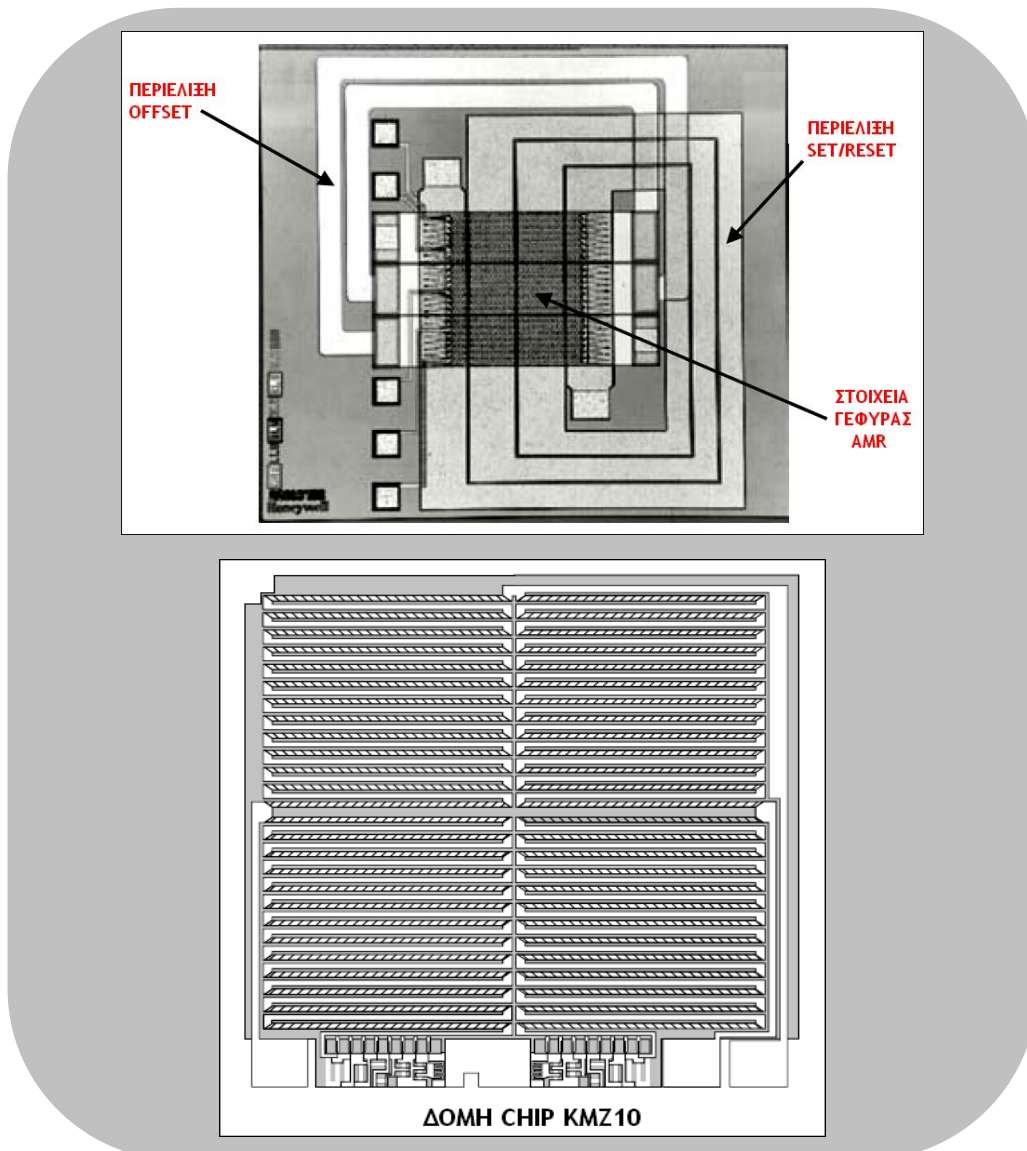


ΣΧΗΜΑ 3.21 - ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΙ [AN218]



ΣΧΗΜΑ 3.22 - ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ SET ΚΑΙ RESET [1]

Τέλος παρατίθενται εικόνες από πρακτικούς αισθητήρες, στις οποίες αναγνωρίζονται τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω.



ΣΧΗΜΑ 3.23 - ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΜΕ ΤΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥΣ [AN213, Philips]

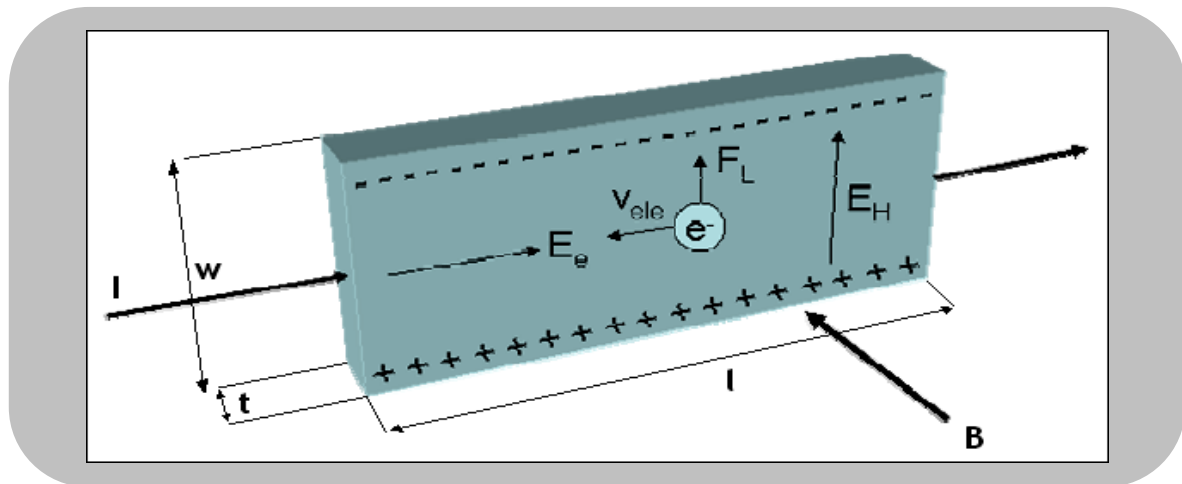
3.4 Μαγνητικοί αισθητήρες Ισχυρού Πεδίου

3.4.1 Αισθητήρας Φαινομένου Hall

Ο αισθητήρας του φαινομένου Hall, που είναι και από τους πιο διαδεδομένους στην μέτρηση ισχυρών μαγνητικών πεδίων, ανακαλύφθηκε από τον Edwin H. Hall το 1897. Το φαινόμενο αυτό είναι συνέπεια της δύναμης Lorentz που υποστηρίζει ότι ένα κινούμενο φορτίο q όταν βρίσκεται σε ένα μαγνητικό πεδίο B , δέχεται μια δύναμη F της οποίας η κατεύθυνση βρίσκεται από τον κανόνα των τριών δακτύλων και το μέτρο της είναι ανάλογο της έντασης του μαγνητικού πεδίου υπολογιζόμενο από τη σχέση

$$\vec{F}_L = e \cdot (\vec{v}_{ele} \times \vec{B})$$

, όπου e και v_{ele} το φορτίο και η ταχύτητα των ηλεκτρονίων. Σημειώνεται ότι ως φορέας φορτίου μπορεί να υποτεθούν εκτός από τα ηλεκτρόνια και οι οπές.



ΣΧΗΜΑ 3.24 - ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ HALL [14]

Η τάση Hall καθορίζεται ως

$$V_H = G \cdot \frac{r_H}{q \cdot n} \cdot \frac{1}{t} \cdot I \cdot B$$

με παράγοντα μορφολογίας G (εμπεριέχει το μήκος και το πλάτος και είναι τυπικά 0.7-0.9), συντελεστή διασποράς r_H (που είναι το θερμικό αίτιο), το φορτίο του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορέα q , τον αριθμό n αυτών, το πάχος t του στοιχείου, το ρεύμα I και τη μετρούμενη πυκνότητα μαγνητικής ροής B .

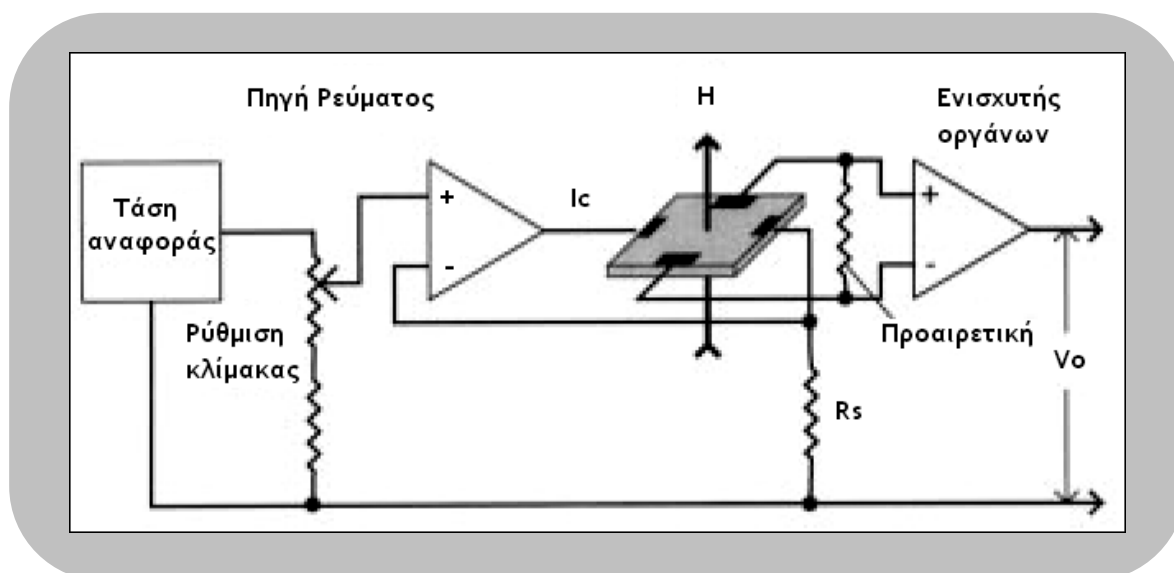
Σε εφαρμογές με περιορισμό στην τάση τροφοδοσίας, η τάση Hall θα υπολογίζεται από τον τύπο

$$V_H = \mu_H \cdot \frac{w}{l} \cdot G \cdot V \cdot B$$

,στην οποία εμφανίζεται η κινητικότητα Hall των φορέων μ_H και ο γεωμετρικός συντελεστής διόρθωσης w/l .

Ένα απλό gauss meter μπορεί να κατασκευαστεί σύμφωνα με το ακόλουθο κυκλωματικό διάγραμμα. Η τάση αναφοράς, ο τελεστικός ενισχυτής και η αντίσταση R_s , συνθέτουν πηγή συνεχούς ρεύματος ακριβείας για το ρεύμα ελέγχου I_c της συσκευής. Για καλύτερη επίδοση πρέπει η τάση αναφοράς και η αντίσταση να είναι πολύ σταθερές σχετικά με τη θερμοκρασία και το χρόνο. Η τάση Hall μπορεί να ενισχυθεί από έναν υψηλής εμπέδησης ($>1K\Omega$) διαφορικό ενισχυτή. Ένας ενισχυτής οργάνων ακριβείας είναι καλή επιλογή, επειδή έχει επαρκή σύνθετη αντίσταση εισόδου, το κέρδος του μπορεί να καθοριστεί από μια σταθερή αντίσταση και το τρίμμερ αντιστάθμισης του μηδενός του ενισχυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απαλείψει τη μετάθεση του μηδενός από το φαινόμενο Hall. Μερικές συσκευές χρειάζονται μια αντίσταση φορτίου παράλληλα της τάσης Hall για να επιτευχθεί η βέλτιστη γραμμικότητα.

Η αντιστάθμιση του μηδενός και ο $1/f$ θόρυβος του ενισχυτή τάσης, μειώνουν την επίδοση ενός γκαουσόμετρου Hall σε μέτρηση ασθενών πεδίων. Αυτές οι επιδράσεις μερικές φορές μπορούν μειωθούν χρησιμοποιώντας μία ac πηγή ρεύματος. Η ac τάση Hall διαμορφωμένη κατά πλάτος, μπορεί τότε να ενισχυθεί σε μια πιο ευνοϊκή συχνότητα [14,15].



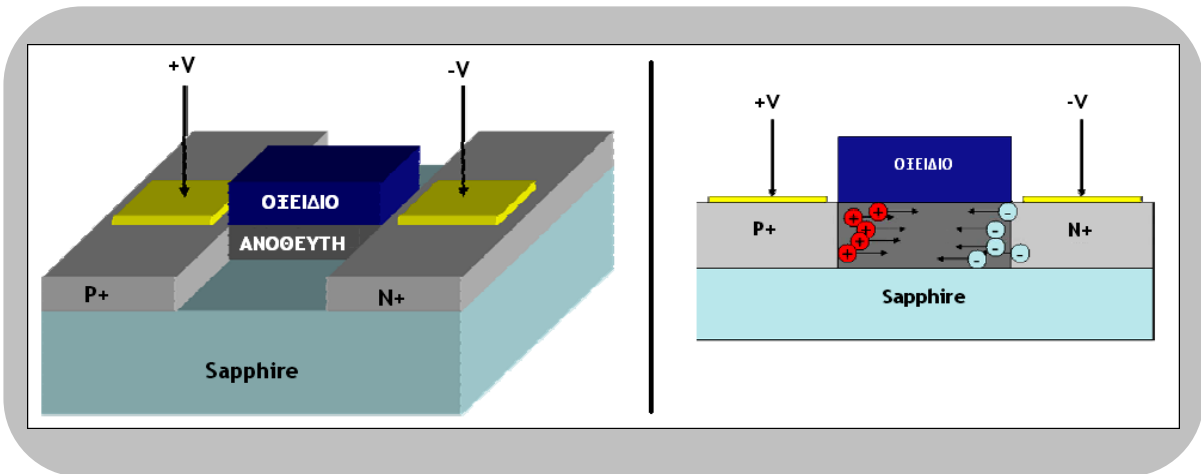
ΣΧΗΜΑ 3.25 - ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΑΣΗΣ HALL [15]

3.4.2 Αισθητήρας Μαγνητοδιόδου (Magnetodiode)

Η μαγνητοδιόδος αποτελείται είτε από ένα πλακίδιο πυριτίου-πάνω-σε μονωτή (silicon-on-insulator SOI) ή πυριτίου-πάνω-σε ζαφείρι (silicon-on-sapphire SOS). Συγκεκριμένα μια p-νοθευμένη περιοχή πυριτίου και μια n-νοθευμένη συνδέονται μέσω μιας τρίτης ανόθευτης, άνω της οποίας βρίσκεται ένα στρώμα από διοξείδιο του πυριτίου. Όταν εφαρμοστεί ένα θετικό δυναμικό στην p-περιοχή και ένα αρνητικό στη n-περιοχή, τότε οπές από την πρώτη και ηλεκτρόνια από τη δεύτερη θα αρχίσουν να εισρέουν στην ανόθευτη περιοχή. Το ρεύμα δια μέσου αυτής είναι μια συνάρτηση της ροής των ηλεκτρικών φορέων και της εξουδετέρωσης που λαμβάνει χώρα μεταξύ τους.

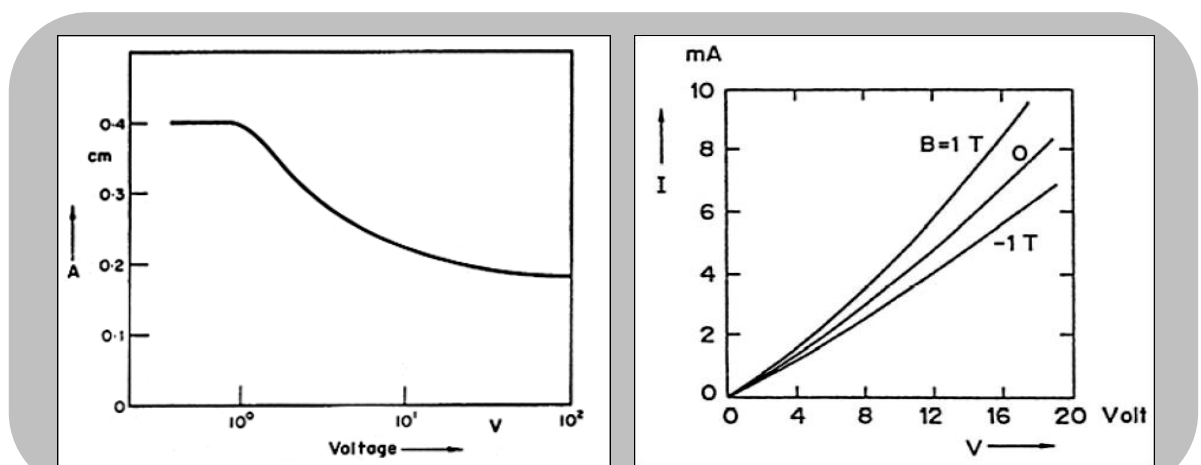
Όταν ένα μαγνητικό πεδίο εφαρμόζεται στην μαγνητοδιόδο τα ηλεκτρόνια και οι οπές εκτρέπονται είτε στη διεπαφή του οξειδίου, είτε σε αυτή του ζαφειριού. Λόγω της εξάρτησης της δύναμης Lorentz από το πρόσημο και οι δυο τύποι φορέων θα παρεκκλίνουν

προς την ίδια διεπαφή αφού οδεύουν σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Κοντά στη διεπαφή πυριτίου-ζαφειριού υπάρχει μεγαλύτερη προδιάθεση για επανασύνδεση από την περιοχή κοντά στη διεπαφή πυριτίου και διοξειδίου του πυριτίου. Αν επομένως το μαγνητικό πεδίο προκαλεί παρέκκλιση προς τα κάτω η αντίσταση του υλικού είναι αυξημένη προς το κανονικό, ενώ στην αντίθετη περίπτωση που η παρέκκλιση είναι προς τα πάνω η αντίσταση είναι μικρότερη της κανονικής. Σύμφωνα με τα πρότερα, το ρεύμα δια μέσου της ανόθευτης περιοχής παρουσιάζεται ως συνάρτηση προς την ένταση του μαγνητικού πεδίου που υφίσταται.



ΣΧΗΜΑ 3.26 - ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΟΔΙΟΔΟΥ, ΡΟΗ ΦΟΡΕΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΜΑΓΝΗΤΟΔΙΟΔΟΥ [14]

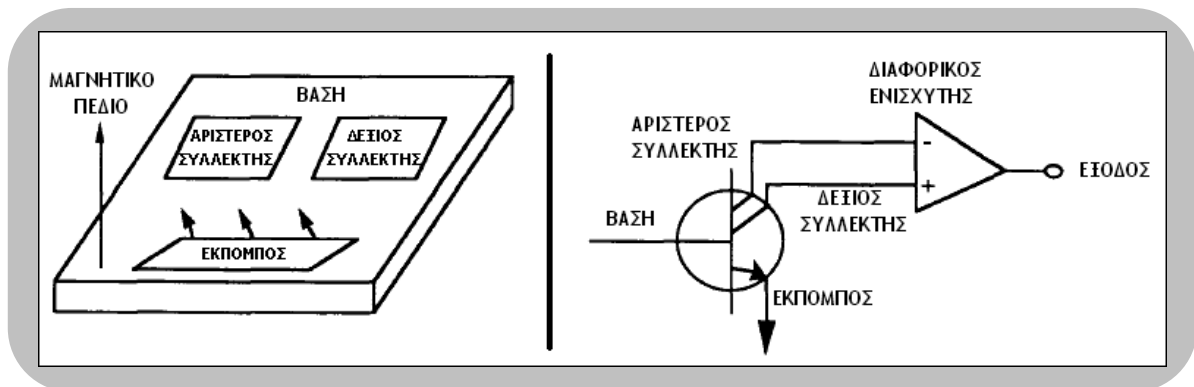
Η κατανάλωση ισχύος μπορεί να παρουσιάσει αύξηση για να ανταπεξέλθει τη σμίκρυνση της συσκευής. Όταν αυτή είναι μικρότερη από 0.4cm σε μήκος. Το ενεργό μήκος βάσης καθορίζεται από τη δύναμη ολίσθησης Lorentz. Εάν η συσκευή είναι μικρότερη από 0.4cm, η τάση οδήγησης της συσκευής θα πρέπει να αυξηθεί για να ταιριάζει με το ενεργό μήκος και να παράγει την ίδια διαφορά αντίστασης. Δεν έχει διενεργηθεί μελέτη για την πρόβλεψη τα απόκρισης της συσκευής όταν αυτή είναι μικρότερη των 0.2cm, παρά όμως αυτού από το επόμενο σχήμα διαφαίνεται πως ένα κατώτατο όριο έχει προσεγγισθεί. Συμπερασματικά λοιπόν μια μείωση της κλίμακας του μεγέθους της συσκευής μεταξύ 0.4 και 0.2 cm θα οδηγήσει σε αύξηση της κατανάλωσης ισχύος κατά περίπου δύο τάξεις πλάτους για να διατηρηθεί η ίδια ευαισθησία[13,14].



ΣΧΗΜΑ 3.27 - ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ A ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ I-V SOS ΜΑΓΝΗΤΟΔΙΟΔΟΥ [14]

3.4.3 Αισθητήρας Μαγνητοτρανζίστορ (Magnetotransistor)

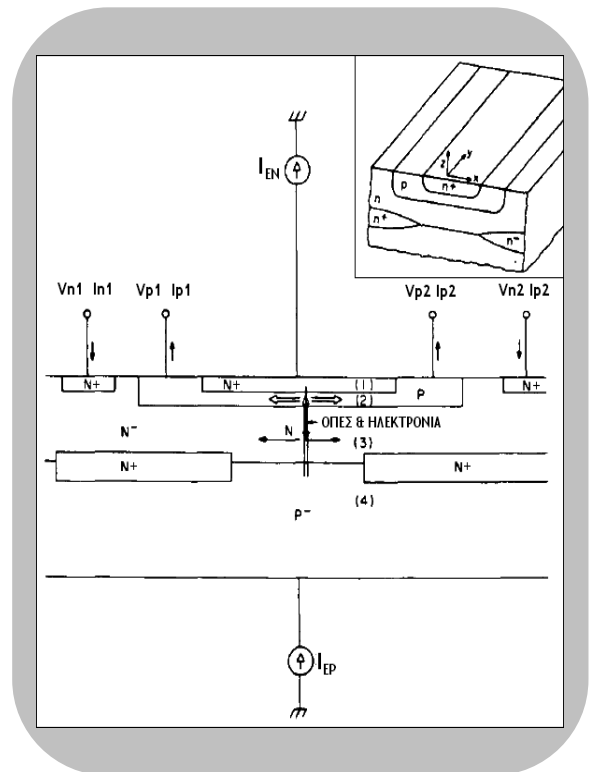
Ο αισθητήρας μαγνητοτρανζίστορ, είναι μια συσκευή ολοκληρώσιμη σε πυρίτιο. Εάν η μαγνητοδίοδος είναι μια εκδοχή της επαφής p-n, το μαγνητοτρανζίστορ είναι μια εκδοχή ενός ηρη τρανζίστορ. Όπως το τρανζίστορ αποτελείται από έναν n-νοθευμένο εκπομπό διαχωριζόμενο από έναν n-νοθευμένο συλλέκτη, μέσω μιας p-νοθευμένης βάσης. Η διαφορά είναι πως υπάρχουν δύο συλλέκτες αντί ενός όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



ΣΧΗΜΑ 3.28 - ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΟΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΑΙΣΘΑΝΕΤΑΙ ΤΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΡΕΕΙ ΔΙΑ ΜΕΣΟΥ ΜΙΑΣ ΕΚΔΟΧΗΣ ΤΟΥ ΝΡΝ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ [13]

Σε απουσία μαγνητικού πεδίου, ίσος αριθμός ηλεκτρικών φορέων καταφθάνουν και στους δύο συλλέκτες. Εάν υπάρχει ένα μαγνητικό πεδίο κάθετα στη διεύθυνση κινήσεως των φορτισμένων φορέων, τότε εκτρέπονται προς κάποιον από τους δυο συλλέκτες ανάλογα με την κατεύθυνση του πεδίου. Οι τάσεις των δύο συλλεκτών τροφοδοτούν ένα διαφορικό ενισχυτή, του οποίου η έξοδος είναι ανάλογη στο εφαρμοζόμενο μαγνητικό πεδίο.

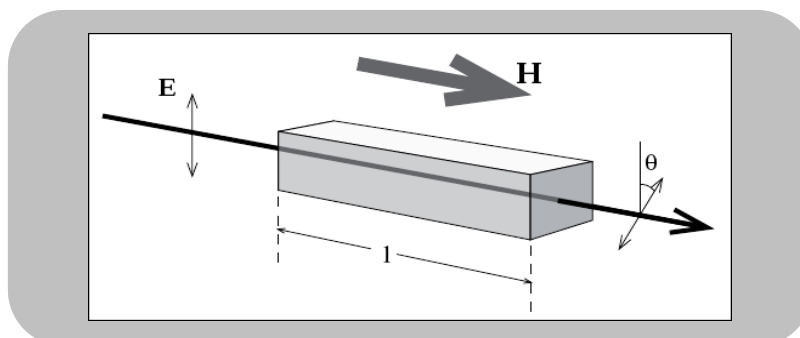
Δυο διαφορετικές επιδράσεις χρησιμοποιούνται στα μαγνητοτρανζίστορ, ώστε αυτά να διαγνώσουν μαγνητικά πεδία. Αυτά είναι τα Hall και Suhl φαινόμενα. Στο φαινόμενο Hall, όπως έχει προηγηθεί και στην περιγραφή του, η δύναμη Lorentz αντισταθμίζεται από ένα αντιτιθέμενο ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο διακρίνεται μεταξύ των δυο συλλεκτών. Το φαινόμενο Suhl εμφανίζεται όταν δεν υπάρχει αντιστάθμιση της δύναμης Lorentz. Ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο δημιουργεί μια απόκλιση στην τροχιά των κινούμενων φορέων, που καταλήγει σε μια διαφορετική κατανομή των ρευμάτων που αντιλαμβάνεται μεταξύ των εξόδων των συλλεκτών. Παρόλο που και τα δύο φαινόμενα συμβαίνουν ταυτόχρονα, είναι πιθανό να σχεδιαστούν συσκευές στις οποίες το ένα από τα δυο φαινόμενα θα είναι το κυρίαρχο. Το σχήμα 3.29 απεικονίζει μια ηρη δομή που βελτιστοποιεί το φαινόμενο Suhl [13].



ΣΧΗΜΑ 3.29 - ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΟΜΗ ηρη-ΔΟΜΗΣ ΜΑΓΝΗΤΟΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ [13]

3.4.4 Μαγνητο-οπτικός αισθητήρας (Magneto-optical)

Ο μαγνητο-οπτικός αισθητήρας εκμεταλλεύεται ακόμα ένα φαινόμενο που ανακαλύφθηκε από τον Faraday το 1845. Το φαινόμενο αυτό υποστηρίζει πως όταν ένα υλικό είναι τοποθετημένο σε ένα μαγνητικό πεδίο και μια δέσμη γραμμικώς πολωμένου φωτός διέρχεται δια μέσω αυτού στην διεύθυνση του πεδίου, θα παρουσιαστεί μια περιστροφή στο επίπεδο πολώσεως του.



ΣΧΗΜΑ 3.30 - ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΠΟΛΩΣΕΩΣ ΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΦΩΤΟΣ[17]

Άλλα ονόματα που χρησιμοποιούνται για το ίδιο φαινόμενο είναι, μαγνητο-οπτική περιστροφή (magneto-optical rotation , MOR), μαγνητική κυκλική διαθλαστικότητα (magnetic circular birefringence , MCB) και μαγνητο-οπτικό φαινόμενο (magneto-optical effect). Ο τελευταίος όρος είναι ο πιο γενικός και μπορεί να εμπεριέχει και άλλα φαινόμενα.

Το φαινόμενο αυτό δεν είναι αντιστρεπτό στη φύση του. Αυτό υπονοεί πως η κατεύθυνση διάδοσης του φωτός αντιστραφεί, η φορά της περιστροφής όπως παρατηρείται από ένα σταθερό σύστημα αναφοράς δεν αντιστρέφεται αντίστοιχα. Μια δέσμη φωτός που διέρχεται δύο φορές από το μέσο σε αντίθετες κατευθύνσεις, θα υποστεί επομένως μια ολική περιστροφή διπλάσια από αυτή ενός μόνο περάσματος.

Η περιστροφή που επιτυγχάνεται είναι ανάλογη με τη μαγνήτιση του υλικού,

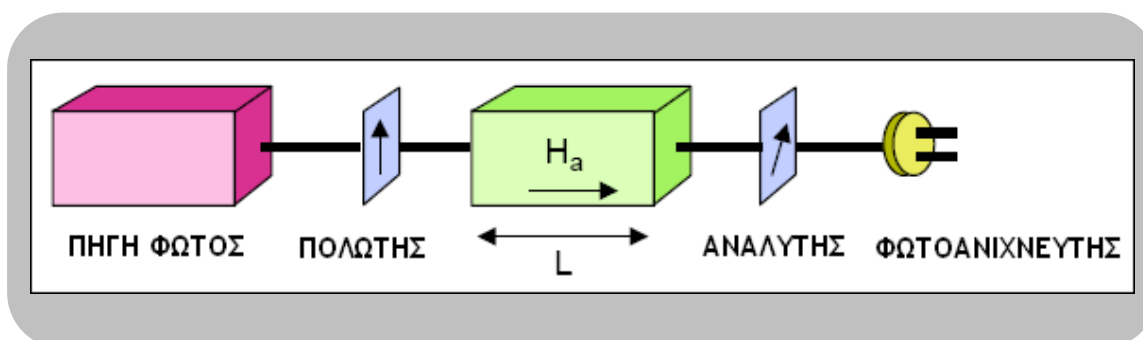
$$\theta = \int_L kM \cdot dl$$

Όπου θ είναι η περιστροφή της πολώσεως, M είναι η μαγνήτιση, L είναι το μήκος που διατρέχει το φως και k είναι μια σταθερά, που εξαρτάται από το υλικό και εν προκειμένω στο μήκος κύματος και τη θερμοκρασία. Στα παραμαγνητικά και διαμαγνητικά υλικά η μαγνήτιση και επομένως η περιστροφή της πολώσεως, είναι πρακτικά ανάλογα με την ένταση του μαγνητικού πεδίου H . Τότε η περιστροφή μπορεί να περιγραφεί μέσω της σταθεράς Verdet V , που έχει μονάδα οπτικής περιστροφής ανά μονάδα εντάσεως του εφαρμοζόμενου πεδίου και ανά μονάδα μήκους.

$$\theta = \int_L V \cdot H \cdot dl = V \cdot H \cdot l$$

Το H είναι η συνιστώσα της εντάσεως του μαγνητικού πεδίου παράλληλη με τη διεύθυνση διάδοσης του φωτός. Η σταθερά Verdet μερικές φορές εκφράζεται με όρους πυκνότητας μαγνητικής ροής B που σε αυτά τα υλικά είναι γραμμικώς συσχετισμένη με την ένταση του μαγνητικού πεδίου $B = \mu H$.

Η δομή ενός τέτοιου συστήματος παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



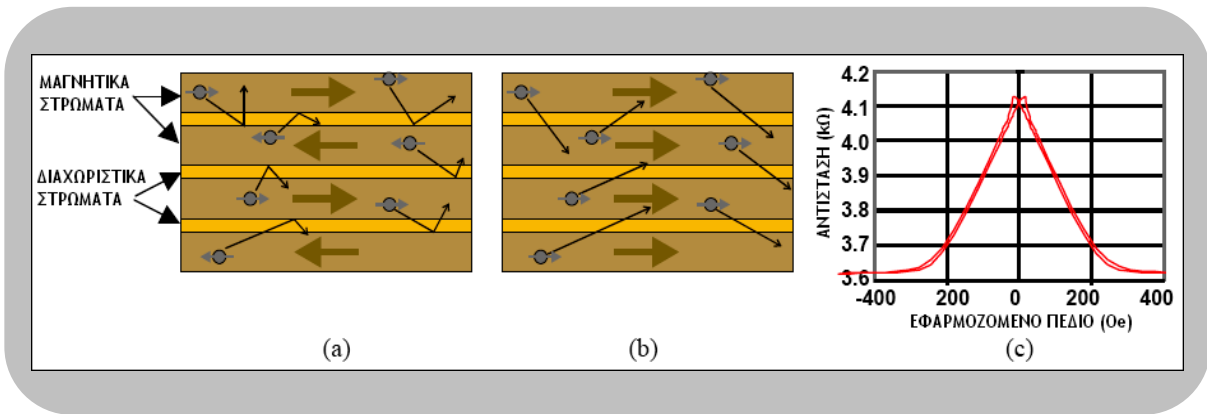
ΣΧΗΜΑ 3.31 - ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΑΓΝΗΤΟ-ΟΠΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ [12]

Υπάρχουν τρία βασικά κρυσταλλικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την μελέτη αυτού του φαινομένου. Ένα σύννηθες είναι το τέρβιο-γάλλιο-γρανάτης, που έχει σταθερά Verdet $0.5 \text{ min}/(\text{G} \cdot \text{cm})$. Έχουν αναφερθεί επίσης υλικά με πολύ υψηλές τιμές σταθεράς Verdet ($-200-400 \text{ min}/(\text{G} \cdot \text{cm})$) όπως το σίδηρος-γρανάτης υποκατάστατο βισμούθιου. Το υλικό αυτό εκτός από την σχετικά υψηλή τιμή της σταθεράς Verdet, μπορεί να επίσης να διατηρήσει μια μόνιμη μαγνήτιση. Το βασικό πλεονέκτημα που έχει ο μαγνητο-οπτικός αισθητήρας συγκριτικά με άλλους είναι ο πολύ μικρός χρόνος απόκρισης. Έχουν παρασκευαστεί αισθητήρες με απόκριση τάξεως GHz [13,17].

3.4.5 Αισθητήρας Γιγάντιας Μαγνητοαντίστασης (GMR)

Το φαινόμενο της γιγάντιας μαγνητοαντίστασης σε πολύ-επίπεδα λεπτά στρώματα, ανακαλύφθηκε το 1988 από τον Baibich και συνεργάτες του στο πανεπιστήμιο Université Paris-Sud. Ο όρος γιγάντια, εμπνεύστηκε από το γεγονός πως το 10-15% της μεταβολής της αντίστασης που παρατηρήθηκε στην GMR τεχνολογία, ξεπερνά κατά πολύ το ποσοστό μεταβολής των συσκευών ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης.

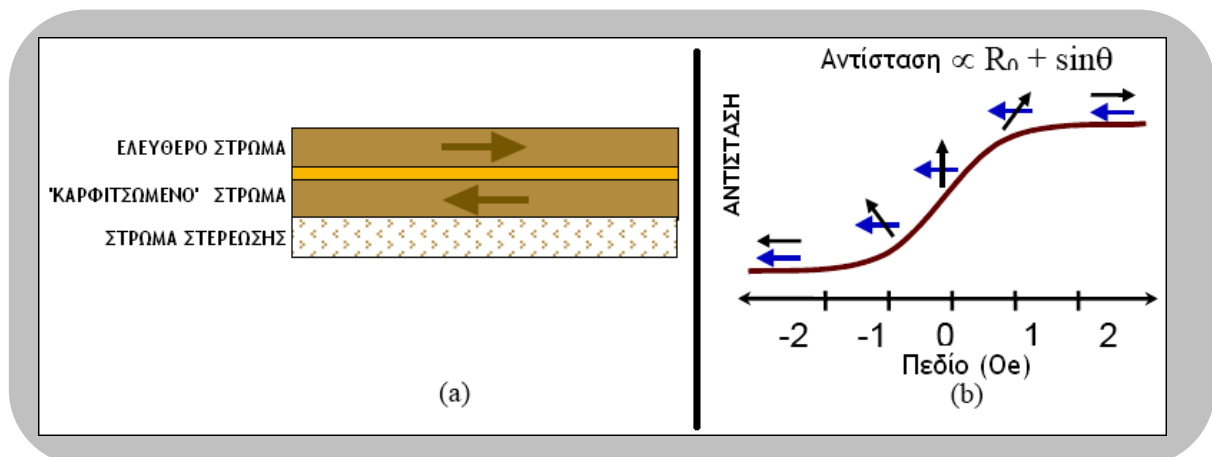
Μια GMR διάταξη αποτελείται από δύο ή περισσότερα στρώματα φερομαγνητικού μετάλλου (συνήθως NiFe, CoFe), διαχωριζόμενα από ένα πολύ λεπτό μη μαγνητικό αγώγιμο στρώμα μετάλλου (Cu, Au ή Ru). Για να επιτευχθεί το φαινόμενο γιγάντιας μαγνητοαντίστασης, τα διαχωριστικά επίπεδα πρέπει να είναι λεπτά συγκρινόμενα με μέσο ελεύθερο μονοπάτι, έτσι ώστε ηλεκτρόνια πολωμένου σπίν στο ένα στρώμα να μπορούν περάσουν στα άλλα στρώματα πριν διαταραχθεί η πόλωσή τους από τη σκέδαση. Κατά κύριο λόγο, τα φερομαγνητικά στρώματα μπορούν να προσομοιαστούν με φίλτρα πολώσεως του σπίν των ηλεκτρονίων. Τα διαχωριστικά στρώματα επιτρέπουν στις μαγνητικές κατευθύνσεις των υπολοίπων επιπέδων να διαφέρουν, ενώ επιπλέον επιτρέπουν τη διέλευση των ηλεκτρονίων. Όταν τα μαγνητικά στρώματα είναι ευθυγραμμισμένα στην ίδια κατεύθυνση, ηλεκτρόνια με προέλευση από ένα στρώμα, μπορούν να διέλθουν σχετικά ελεύθερα δια μέσου των άλλων στρωμάτων όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.32 (α). Ωστόσο αν οι μαγνητίσεις είναι αντίθετες, τότε τα ηλεκτρόνια που προέρχονται από ένα στρώμα εμποδίζονται στο να διέλθουν σε κάποιο γειτνιάζον στρώμα (σχήμα 3.32 (b)). Η διαταραχή της ελεύθερης κίνησης των ηλεκτρονίων, καταλήγει σε μια αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης.



ΣΧΗΜΑ 3.32 - ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ GMR (α) ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΕ ΑΝΤΙΘΕΤΗ ΜΑΓΝΗΤΙΣΗ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΜΕΓΑΛΗ ΣΚΕΔΑΣΗ (β) ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΣΚΕΔΑΣΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΤΑΙ ΟΤΑΝ Η ΜΑΓΝΗΤΙΣΗ ΤΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΕΝΑ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΟ ΠΕΔΙΟ (γ) ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ [19]

Οι συσκευές GMR συνήθως λειτουργούν με το ρεύμα ανίχνευσης στο επίπεδο του φιλμ (CIP, current-in-plane) και χρησιμοποιούν ηλεκτρικές επαφές στα άκρα μακρινών λωρίδων. Παρόλο που η μαγνητοαντίσταση μειώνεται λόγω της διακλάδωσης του ρεύματος δια μέσω των στρώματων, η εναλλακτική διάταξη ρεύματος αντίστασης κάθετης στο επίπεδο του φιλμ (CCP), θα είχε τυπικά αντίσταση πολύ χαμηλή για πρακτικές εφαρμογές.

Το GMR φαινόμενο απαντάται σε πολύ-επίπεδες διατάξεις NiFe, με διαχωρισμό από στρώματα Ru. Για ικανοποιητικά λεπτά διαχωριστικά στρώματα, πάχους μόνο μερικών ατόμων) εμφανίζεται μια ισχυρή 'σύζευξη ανταλλαγής', που ευνοεί αντιπαράλληλη ευθυγράμμιση των γειτονικών μαγνητικών στρωμάτων. Τότε, σε απουσία εξωτερικώς εφαρμοζόμενου πεδίου, τα μαγνητικά στρώματα εναλλάσσουν τη μαγνήτισή τους καταλήγοντας σε υψηλή αντίσταση. Όταν εφαρμοστεί ένα μαγνητικό πεδίο, αυτό είναι ικανό να υπερνικήσει τη διαστρωματική σύζευξη και να επιβάλλει όλα τα στρώματα να ευθυγραμμιστούν μαζί του μειώνοντας την αντίσταση. Αφού λοιπόν ένα μαγνητικό πεδίο, σε οποιαδήποτε κατεύθυνση, θα οδηγήσει σε ευθυγράμμιση των μαγνητίσεων, η καμπύλη της αντίστασης σύμφωνα με το μαγνητικό εφαρμοζόμενο πεδίο θα είναι μια ρητή συνάρτηση και συμμετρική γύρω από το μηδέν (σχήμα 3.32 (c)).



ΣΧΗΜΑ 3.33 - (α) ΔΟΜΗ SPIN-VALVE (β) ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΩΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ [19]

Μια τροποποιημένη εκδοχή της πολύ-επίπεδης διάταξης, χρησιμοποιεί μόνο δύο μαγνητικά στρώματα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.33 . Το κάτω στρώμα εναποτίθεται απευθείας στην επιφάνεια ενός αντι-φερομαγνητικού στρώματος ‘στερέωσης’. Το αντι-φερομαγνητικό στρώμα δεν έχει μαγνήτιση από μόνο του, αλλά τείνει να διατηρήσει τη μαγνήτιση του γειτονικού φερομαγνητικού στρώματος ως προς την κατεύθυνση. Το άλλο στρώμα είναι ελεύθερο να περιστρέψει τη μαγνήτιση του ως απόκριση σε ένα πεδίο. Αυτή η δομή ονομάζεται ‘βαλβίδα σπίν’ (spin valve), διότι όπως φαντάζεται κανείς το μαγνητικό πεδίο περιστρέφει το άνω στρώμα όπως σε ένα κρουνό, για να ορίσει τη ροή των σπίν-πολωμένων ηλεκτρονίων μέσα στη συσκευή. Σε μια κατάλληλα πολωμένη βαλβίδα σπίν, η κατάσταση ηρεμίας του ελευθέρου στρώματος είναι σε κάθετη θέση συγκριτικά με το στρώμα στερέωσης, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η μέγιστη ευαισθησία και ταλάντωση του σήματος. Η απόκριση σε ένα μαγνητικό πεδίο εφαρμοζόμενο στην κατεύθυνση του στρώματος στερέωσης, είναι γραμμική σε αρκετά μεγάλη περιοχή. Η τελική καμπύλη R ως προς H είναι περιττή και διέρχεται από την αρχή των αξόνων.

Οι συσκευές GMR χρησιμοποιούνται στις κεφαλές ανάγνωσης των σκληρών δίσκων των ηλεκτρονικών υπολογιστών[19].

3.5 Επιλογή μαγνητικού αισθητήρα

Βάσει των ανωτέρω, είναι αναμενόμενο ο επιλεγθέν αισθητήρας να είναι αυτός της ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης, δηλαδή ο AMR.

4.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα που ακολουθεί σκιαγραφείται το σύστημα που αποτελεί και το ζητούμενο της παρούσης εργασίας. Όπως υποδηλώνει ο τίτλος και τα προηγούμενα κεφάλαια, το αντικείμενο μελέτης είναι η σχεδίαση και κατασκευή σε πρωτότυπη μορφή ενός υποσυστήματος σκοπός του οποίου είναι η ανίχνευση σταθμευμένου οχήματος σε μια ενδιαφερόμενη θέση. Η περαιτέρω επεξεργασία της πληροφορίας που συλλέγεται, ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία καλείται να ενσωματωθεί. Η δομή του σε κάθε περίπτωση είναι η ίδια και θα παρουσιαστεί μαζί με την ανάλυση των υποσυστημάτων που το απαρτίζουν ακολούθως.

4.2 Διάταξη συστήματος

Η λογική της κατασκευής βασίζεται στην ανίχνευση οχήματος μέσω μαγνητικού αισθητήρα AMR. Όπως είναι πρόδηλο, μια σχεδίαση βασισμένη πάνω σε ένα ηλεκτρονικό αισθητήρα απαιτεί κάποια δεδομένα ακόλουθα στάδια για να είναι εφικτή η λειτουργικότητά του. Το αμέσως επόμενο λοιπόν στάδιο είναι αυτό της ενίσχυσης καθώς η έξοδος του αισθητήρα δεν υπερβαίνει σε καμία περίπτωση εντός της περιοχής λειτουργίας της τιμές της τάξης μερικών δεκάδων mV. Σημειώνεται πως η ανίχνευση οχήματος με την συγκεκριμένη τεχνολογία αισθητήρα, είναι εφικτή με μια μόνο αισθητήρια μονάδα. Αυτό έχει ως επακόλουθο πως και η ενίσχυση θα αριθμεί μια.

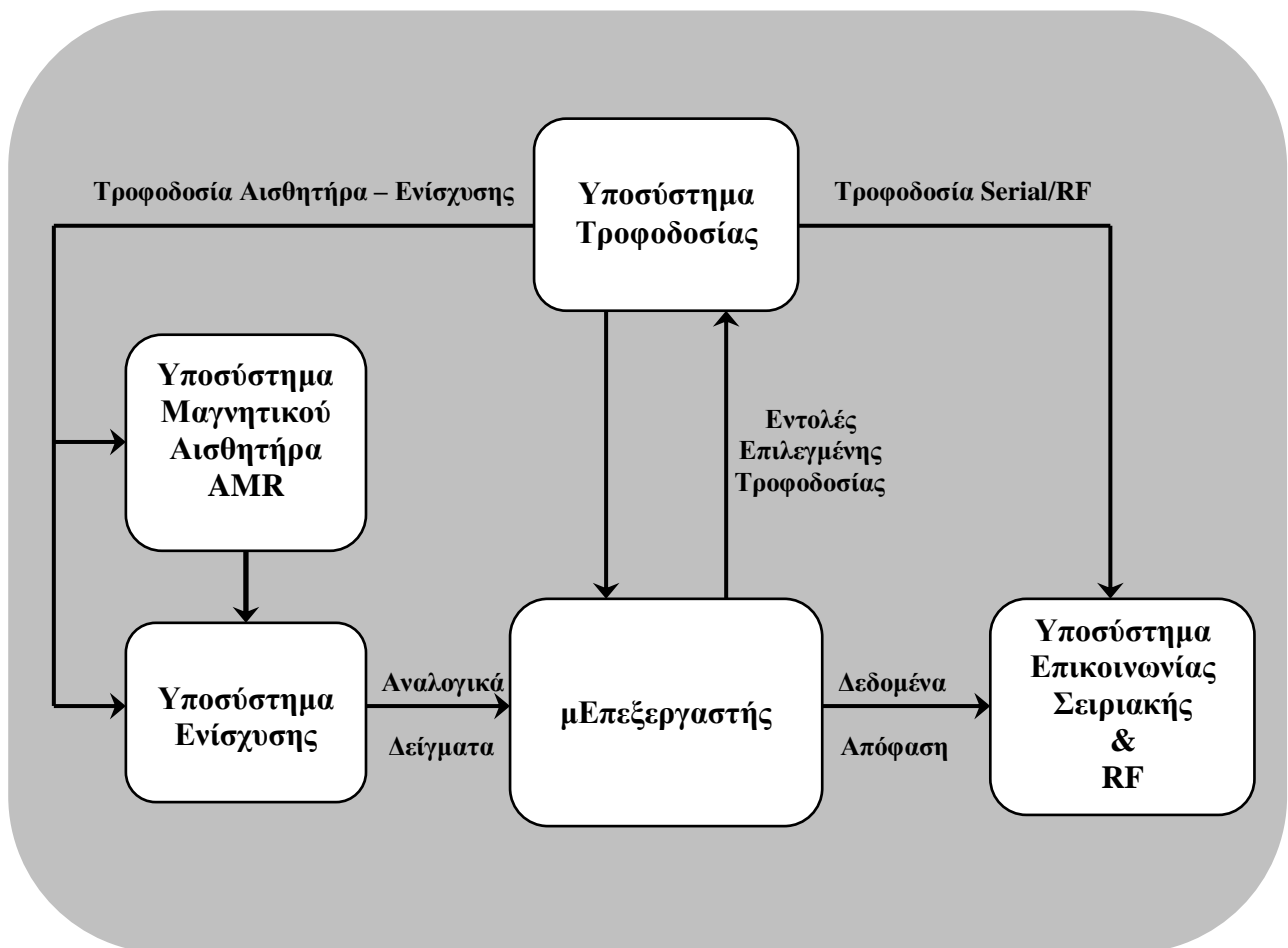
Βασικότερο στοιχείο ενός αυτόνομου συστήματος, είναι το στάδιο συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων που προκύπτουν σε κατάλληλα επίπεδα τιμών μετά από τα δύο προαναφερθέντα στάδια. Η λειτουργία αυτή δεν θα μπορούσε να διενεργηθεί παρά μόνο με τη χρήση ενός μικροεπεξεργαστή. Αυτός συλλέγει την έξοδο του αισθητήριου υποσυστήματος και αφού τη μετατρέψει σε ψηφιακή μορφή, την επεξεργάζεται βάσει ενός προεγκατεστημένου αλγορίθμου για εξάγει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα αυτά μεταδίδονται και κοινοποιούνται με τη σειρά τους μέσω κάποιας μορφής επικοινωνίας του συστήματος με τον έξω κόσμο. Στην συγκεκριμένη σχεδίαση θα συμπεριληφθούν δύο εναλλακτικές μορφές επικοινωνίας, αυτή της σειριακής ενσύρματης και επίσης μιας RF ασύρματης, με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Το τελευταίο και ουσιαστικά πρωταρχικό στάδιο είναι αυτό της τροφοδοσίας, το οποίο στην εν λόγω υλοποίηση θα δίνει την δυνατότητα ελεγχόμενης τροφοδότησης ορισμένων υποσυστημάτων κατά το δοκούν.

Τα στάδια-υποσυστήματα που περιληπτικά αναφέρθηκαν θα αριθμηθούν ακολούθως και μονολεκτικά, ενώ θα παρουσιαστεί και το μπλοκ διάγραμμα του συστήματος για πληρέστερη εποπτεία.

1. Υποσύστημα αισθητήρα
2. Υποσύστημα ενίσχυσης
3. Υποσύστημα επικοινωνίας
4. Υποσύστημα τροφοδοσίας
5. Υποσύστημα-μονάδα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων



ΣΧΗΜΑ 4.1 – ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.3 Προδιαγραφές συστήματος

Οι σχεδιαστικές προδιαγραφές που πρέπει να πληροί η εν λόγω μελέτη είναι οι εξής παρακάτω:

- Να αποφασίζει για την στάθμευση ή μη οχήματος στην εγγύς περιοχή τοποθέτησής του με τη χρήση της τεχνολογίας AMR μαγνητικού αισθητήρα.
- Να είναι αυτόνομο ως προς την τροφοδοσία λειτουργώντας με μπαταρία ή συστοιχία αυτών, η διάρκεια ζωής της οποίας να κρίνεται επαρκής. Αυτή στοχεύεται να είναι διάρκειας μερικών χρόνων για να αποφεύγεται η οικονομικά ασύμφορη επιθεώρηση και συντήρηση της συσκευής. Για να επιτευχθεί αυτό θα χρησιμοποιηθεί πολλαπλή και επιλεγόμενη τροφοδοσία, καθώς και πρόβλεψη κατάστασης καταστολής του συστήματος.
- Το σύστημα καλείται να τοποθετηθεί στην περιοχή ανίχνευσης εντός ή εκτός του οδοστρώματος, πάντα σε κατάλληλο περίβλημα. Ο περιορισμός αυτός υποδεικνύει τις μικρές διαστάσεις του.
- Να παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα, ανεπηρέαστα από εξωγενείς παράγοντες όπως οι ιδιομορφίες της θέσης τοποθέτησης και οι θερμοκρασιακές μεταβολές.
- Να μεταδίδει τα αποτελέσματα κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων επιθυμητών χρονικών διαστημάτων μέσω ασύρματης RF μετάδοσης, ενώ να είναι επίσης δυνατή η διασύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή και σειριακά μέσω θύρας RS232. Επιπλέον η διασύνδεση θα πρέπει να είναι αμφίδρομη ώστε να είναι εφικτή η τροποποίηση παραμέτρων του εξ αποστάσεως για βελτιστοποίηση της απόδοσής του.

Σημειώνεται πως το ζήτημα του μεγέθους μπορεί να ικανοποιηθεί χρησιμοποιώντας την τεχνολογία SMT των στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν, ενώ η ανεπηρέαστη λειτουργία του από θερμοκρασιακές μεταβολές και πιθανά πλησίον φερομαγνητικά υλικά μπορεί να προβλεφθεί από την κατάλληλη πόλωση της τάσης εξόδου κατά τη διάρκεια αρχικοποίησης του συστήματος. Η ρύθμιση αυτή θα πραγματοποιείται κατά την πρωταρχική τροφοδοσία του συστήματος και στις περιόδους που δεν βρίσκεται σταθμευμένο αυτοκίνητο. Υλοποίηση της είναι εφικτή είτε μέσω λογισμικού, είτε όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση μέσω κατάλληλης χρήσης της τεχνολογίας I2C. Θα αναφερθούν εν συντομία τα βασικά χαρακτηριστικά των δύο προαναφερθέντων τεχνολογιών.

4.3.1 Τεχνολογία SMT

Η τεχνολογία SMT (Surface mount technology ή Τεχνολογία Επιφανειακής Στήριξης), είναι η μέθοδος κατασκευής ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στα οποία τα στοιχεία που το αποτελούν τοποθετούνται, όπως αναφέρει και η ονομασία της, κατευθείαν στην επιφάνεια των τυπωμένων πλακετών (PCBs, printed circuit boards). Οι συσκευές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή ονομάζονται Συσκευές Επιφανειακής Στήριξης (surface-mount devices ή SMDs). Στην βιομηχανία έχει κατά κόρον αντικαταστήσει την προηγούμενη κατασκευαστική μέθοδο τοποθέτησης εξαρτημάτων, κατά την οποία χρησιμοποιούνταν ακροδέκτες-αγωγοί δια μέσου οπών πάνω στο τυπωμένο κύκλωμα. Η προηγούμενη αυτή τεχνική επονομαζόταν through-hole. Ένα στοιχείο SMT είναι συνήθως μικρότερο σε διαστάσεις από το ομόλογο του στην προηγούμενη τεχνολογία, επειδή δεν έχει καθόλου ακροδέκτες ή αυτοί είναι μικρότεροι. Μπορεί να διαθέτει ακροδέκτες διαφόρων τύπων

όπως κοντές ακίδες, επίπεδες επαφές, μια διάταξη από ημισφαιρικούς ακροδέκτες (BGAs), καθώς και ακροδέκτες στην επιφάνεια του στοιχείου.

Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε κατά την δεκαετία του '60 και χρησιμοποιήθηκε ευρέως στα τέλη του '80. Τη μεγαλύτερη ευθύνη για την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας την έχει η IBM. Τα στοιχεία επανασχεδιάστηκαν από μηχανικής απόψεως, ώστε να έχουν μικρές μεταλλικές επαφές που θα μπορούσαν να κολληθούν απευθείας στην επιφάνεια των τυπωμένων κυκλωμάτων. Αυτό είχε ως συνέπεια τα στοιχεία να συρρικνωθούν και να διαδοθεί η τοποθέτησή τους και στις δύο πλευρές των πλακετών, με αποτέλεσμα την επιτυχία πολύ μεγαλύτερων ποσοστών κυκλωματικής πυκνότητας. Συνήθως η στήριξη επιτυγχάνεται μέσω των κολλήσεων, ωστόσο στα στοιχεία που τοποθετούνται στην κάτω πλευρά του κυκλώματος διασφαλίζεται προσωρινά η στήριξή τους με μια επιπλέον κουκίδα συγκολλητικής ουσίας. Οι συσκευές επιφανειακής στήριξης είναι συνήθως μικρές σε διαστάσεις ενώ προέρχονται από διαδικασίες αυξημένης αυτοματοποίησης που μειώνουν το κατασκευαστικό κόστος ενώ παράλληλα αυξάνουν το ρυθμό παραγωγής. Είναι όσον αφορά τις διαστάσεις και το βάρος το 1/4 με 1/10 αυτών των συσκευών με through-hole στοιχεία, ενώ κοστίζουν το μισό έως και το ένα τέταρτο.

Όσον αφορά τη συναρμολόγησή τους, στα σημεία που πρόκειται τα στοιχεία να τοποθετηθούν το κύκλωμα εμφανίζει επίπεδες επαργυρωμένες ή επιχρυσωμένες επιφάνειες. Πρωταρχικά εναποτίθεται ένα μείγμα κόλλησης σε όλες τις προς τοποθέτηση επιφάνειες με έναν πολυγράφο από ανοξείδωτο χάλυβα. Εάν τα στοιχεία πρόκειται να τοποθετηθούν στην δεύτερη πλευρά, ένα μηχάνημα εναποθέτει μικρές κουκίδες κολλητικής ουσίας στις περιοχές τοποθέτησης. Οι πλακέτες τότε προωθούνται προς τη μηχανή τοποθέτησης πάνω σε έναν ταινιόδρομο. Τα στοιχεία SMDs παραδίδονται στην γραμμή παραγωγής πάνω σε χάρτινες ή πλαστικές ταινίες τυλιγμένες σε μπομπίνες. Η μηχανή τοποθέτησης συλλέγει τα στοιχεία από τις μπομπίνες και τα εναποθέτει στα τυπωμένα κυκλώματα. Τα στοιχεία της δεύτερης όψης τοποθετούνται πρώτα αφού οι συγκολλητικές κουκίδες έχουν θερμανθεί με χρήση χαμηλής θερμοκρασίας ή υπεριώδους ακτινοβολίας. Τα κυκλώματα τότε αναστρέφονται και τοποθετούνται τα στοιχεία της πρώτης πλευράς.

Εν συνεχεία οι πλακέτες εισάγονται στον φούρνο επανάτηξης, πρώτα σε μια περιοχή προθέρμανσης κατά την οποία η θερμοκρασία τους και αυτή των στοιχείων σταδιακά και ομοιόμορφα αυξάνεται. Αυτό βοηθάει ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι θερμικές τάσεις όταν το σύστημα αρχίσει να επανέρχεται στην φυσιολογική θερμοκρασία μετά το στάδιο της συγκόλλησης. Μετά την προθέρμανση ακολουθεί το στάδιο της συγκόλλησης, κατά το οποίο τα συστήματα υπόκεινται σε υψηλή θερμοκρασία ικανή να τήξει την ειδική πάστα. Η επιφανειακή τάση της τηγμένης κόλλησης συγκρατεί τα στοιχεία στη θέση τους και αν οι επιφάνειες τοποθέτησης είναι γεωμετρικά σωστές η τάση αυτή αυτόματα ευθυγραμμίζει τα στοιχεία.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την κόλληση επανάτηξης (reflowing solder). Μια είναι η χρήση υπέρυθρων λαμπτήρων και ονομάζεται υπέρυθρη επανάτηξη (infrared reflow). Άλλη είναι αυτή της χρησιμοποίησης θερμασμένου αερίου. Κάποτε χρησιμοποιούταν ειδικά υγρά φθοριούχου άνθρακα με υψηλά σημεία βρασμού σε μια μέθοδο που καλούταν επανάτηξη εξάχνωσης (vapor phase reflow). Η μέθοδος όμως αυτή πλέον δεν χρησιμοποιείται λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών. Στις μέρες μας είναι πιο διαδεδομένη η χρήση αερίου αζώτου ή αερίου αζώτου εμπλουτισμένου με αέρα. Κάθε μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Στη μέθοδο υπέρυθρης επανάτηξης ο σχεδιαστής να διατάξει την πλακέτα με τέτοιο τρόπο, ώστε τα χαμηλά σε ύψος στοιχεία να μην σκιάζονται από τα υψηλότερα. Η τοποθέτηση από την άλλη των στοιχείων είναι λιγότερο περιορισμένη αν ο σχεδιαστής γνωρίζει ότι θα ακολουθηθεί επανάτηξη εξάχνωσης κατά την διαδικασία παραγωγής. Μετά το στάδιο επανάτηξης, κάποια ευαίσθητα σε θερμοκρασία

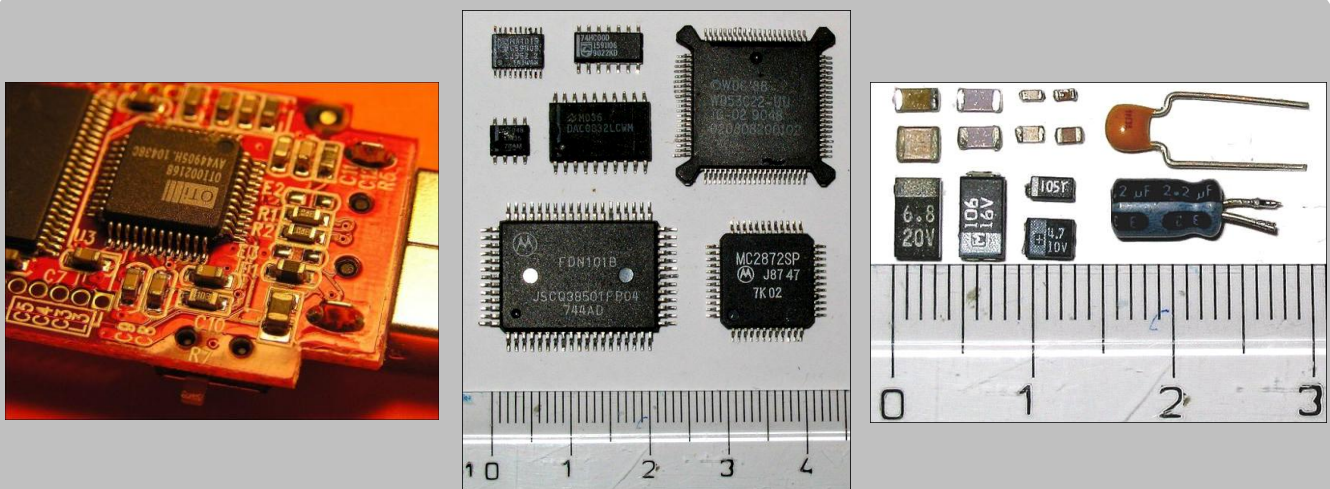
στοιχεία τοποθετούνται με το χέρι ή σε διαδικασία αυτοματοποίησης από εξοπλισμό που χρησιμοποιεί εστιασμένη υπέρυθη ακτίνα.

Τέλος μετά την κόλληση των εξαρτημάτων οι πλακέτες πλένονται για να απομακρυνθούν τυχούσες διαφεύγουσες μπάλες κόλλησης, που θα μπορούσαν να βραχυκυκλώσουν κοντινά τοποθετημένους ακροδέκτες στοιχείων. Η συγκέντρωση ρητινελαίου μπορεί να απομακρυνθεί με διαλύτες φθοριούχου άνθρακα, διαλύτες υδρογονάνθρακα υψηλού σημείου ανάφλεξης ή με την ουσία limonene που εξάγεται από τον φλοιό των πορτοκαλιών.

Στο τελικό στάδιο οι πλακέτες ελέγχονται οπτικά για απόντα ή μη ευθυγραμμισμένα στοιχεία, καθώς και για βραχυκυκλώματα από κόλληση. Ακολουθεί στους σταθμούς δοκιμής όπου εξακριβώνεται η σωστή λειτουργία τους[iv].

Συνοπτικά τα κύρια πλεονεκτήματα της τεχνολογίας SMT συγκριτικά με αυτήν της through-hole είναι τα επόμενα:

- Παρέχει μικρότερα σε μέγεθος και βάρος στοιχεία
- Χρειάζονται να διανοιχθούν λιγότερες οπές simpler automated assembly
- Μικρά προβλήματα κατά την τοποθέτηση των εξαρτημάτων διορθώνονται αυτόματα από την επιφανειακή τάση της τετηγμένης κόλλησης
- Τα στοιχεία που απαρτίζουν το κύκλωμα δύναται να τοποθετηθούν και από τις δύο πλευρές του κυκλώματος
- Μικρότερη αντίσταση και επαγωγική αντίσταση των αγωγών (έχει ως αποτέλεσμα τις καλύτερες επιδόσεις των στοιχείων υψηλών συχνοτήτων)
- Καλύτερες μηχανικές επιδόσεις υπό συνθήκες κραδασμών



ΣΧΗΜΑ 4.2 – α)ΣΤΟΙΧΕΙΑ SMT ΠΑΝΩ ΣΕ ΜΙΑ ΠΛΑΚΕΤΑ ΕΝΟΣ usb flash disc, β)ΔΙΑΦΟΡΑ chip SMD, γ)SMD ΠΥΚΝΩΤΕΣ(αριστερά) ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΔΥΟ ΠΥΚΝΩΤΕΣ through-hole (δεξιά) [iv]

4.3.2 Τεχνολογία I2C

Η τεχνολογία I2C είναι ένας σειριακός διάυλος που επινοήθηκε από την Philips και χρησιμοποιείται για να διασυνδέσει περιφερειακά χαμηλής ταχύτητας σε μια μητρική πλακέτα ή γενικά σε ένα ενσωματωμένο σύστημα. Ως ακρωνύμιο αντιστοιχεί στον όρο **Inter-Integrated Circuit** (Ενδο-Ολοκληρωμένο Κύκλωμα) και προφέρεται *I-squared-C*.

Το πρωτότυπο I2C σύστημα δημιουργήθηκε στις αρχές του '80 ως ένας απλός εσωτερικός δίαυλος, για την κατασκευή ηλεκτρονικών ελέγχου βασισμένα σε διάφορα chip της Philips. Το 1992 ανακοινώθηκε η πρώτη έκδοση, που εμπεριείχε μια νέα γρήγορη κατάσταση στα 400Kbits/sec και 10-bit διεύθυνσης, ώστε να αυξήσει τον αριθμό των διασυνδεδεμένων κόμβων στους 1008. Η έκδοση 2.0 από το 1998 εισήγαγε την υψηλής-ταχύτητας κατάσταση (high-speed mode) στα 3.4 Mbit/sec με χαμηλότερες απαιτήσεις σε τάση και ρεύμα και είχε ως φυσικό επόμενο την εξοικονόμηση ενέργειας. Η τελευταία έκδοση 2.1 από το 2001 διαφοροποιείται ελάχιστα από την 2.0 και είναι στις μέρες μας το πιο ενημερωμένο πρότυπο.

Όσον αφορά τη λειτουργία του πρωτοτύπου I2C αυτό χρησιμοποιεί μόνο δύο αμφίδρομες γραμμές ανοικτού συλλέκτη, τις serial data (SDA) και serial clock (SCL) που συνδέονται με pull-up αντιστάσεις. Η μέγιστη τιμή της τάσης είναι +5V, ενώ και συστήματα των +3.3V είναι συχνά αφού επιτρέπονται και άλλες τιμές τάσης. Το πρότυπο σχέδιο του I2C έχει 7-bit τμήμα διεύθυνσης με 16 δεσμευμένες διευθύνσεις, άρα ένας μέγιστος αριθμός 112 κόμβων μπορούν να επικοινωνούν στον ίδιο δίαυλο. Οι πιο διαδεδομένες καταστάσεις του διαύλου I2C είναι αυτές των 100Kbit/sec (standard mode) και των 10Kbit/sec (low-speed mode), αλλά και συχνότητες ρολογιού κοντά στο μηδέν είναι επίσης επιτρεπτές. Πρόσφατες αναθεωρήσεις του I2C, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μπορούν να εξυπηρετήσουν περισσότερους κόμβους, να έχουν υψηλότερη ταχύτητα (400 Kbit/sec *Fast mode* και 3.4 Mbit/sec *High Speed mode*) και να ενσωματώνουν και άλλα χαρακτηριστικά όπως τμήμα διεύθυνσης 10-bit.

Η τεχνολογία I2C είναι κατάλληλη σε περιφερειακά όπου η απλότητα και το χαμηλό κατασκευαστικό κόστος είναι σε προτεραιότητα ως προς την ταχύτητα. Μερικές τυπικές εφαρμογές του διαύλου I2C είναι οι ακόλουθες:

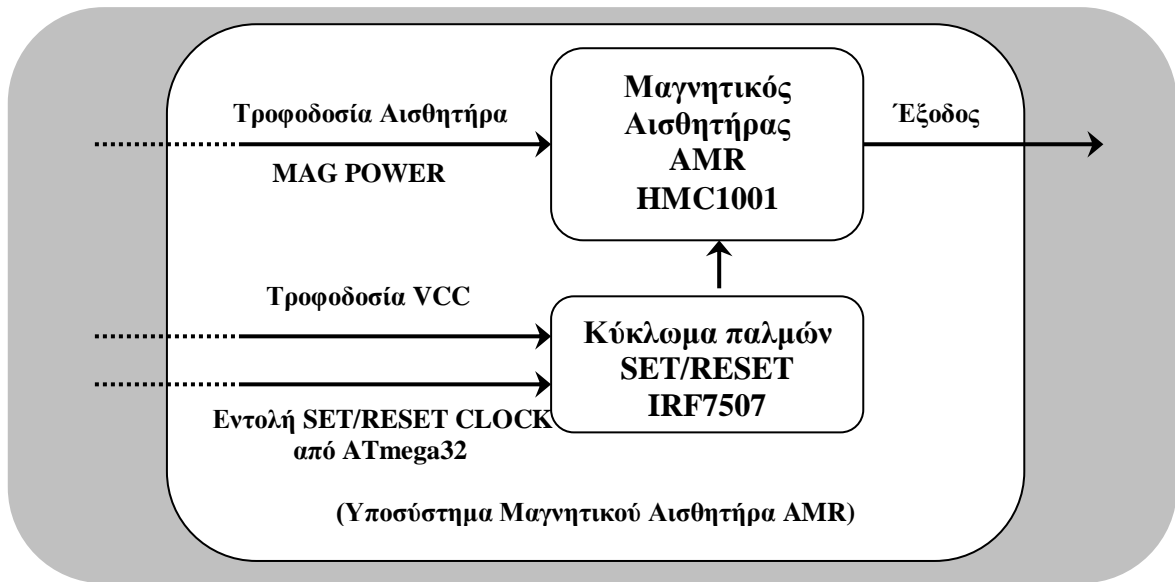
- Προσπέλαση chip NVRAM που συγκρατούν ρυθμίσεις χρηστών
- Προσπέλαση DAC και ADC χαμηλής ταχύτητας
- Ρύθμιση της αντίθεσης, της απόχρωσης και της χρωματικής ισορροπίας στις οθόνες
- Ρύθμιση της έντασης του ήχου σε 'έξυπνα' ηχεία
- Έλεγχος των LED οθονών, όπως στα κινητά τηλέφωνα
- Έλεγχος διατάξεων παρακολούθησης και διαγνωστικών αισθητήρων, όπως ο θερμοστάτης ενός επεξεργαστή και η ταχύτητα του ανεμιστήρα
- Ανάγνωση ρολογιών πραγματικού χρόνου
- Επιλεγμένη τροφοδότηση ή μη περιφερειακών ενός συστήματος

Το κύριο πλεονέκτημα του I2C είναι πως ένας μΕλεγκτής μπορεί να ελέγξει ένα δίκτυο περιφερειακών chips με μόνο δύο γενικής χρήσης I/O pins και κατάλληλο λογισμικό. Περιφερειακά μπορούν να προστεθούν ή να αποσυνδεθούν από το δίαυλο ενώ το σύστημα βρίσκεται σε λειτουργία, που καθιστά το I2C ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν hot swapping περιφερειακών. Οι δίαυλοι όπως αυτός του I2C έγιναν δημοφιλείς, όταν οι ηλεκτρονικοί μηχανικοί συνειδητοποίησαν πως το περισσότερο από το κατασκευαστικό κόστος ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος είναι συνάρτηση του μεγέθους της συσκευασίας του και του αριθμού των ακροδεκτών του. Μία μικρότερη συσκευασία συνήθως ζυγίζει λιγότερο και καταναλώνει λιγότερη ισχύ, πράγμα απαραίτητο σε συσκευές όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί υπολογιστές[iv].

4.4 Παρουσίαση Υποσυστημάτων

4.4.1 Υποσύστημα Μαγνητικού Αισθητήρα AMR

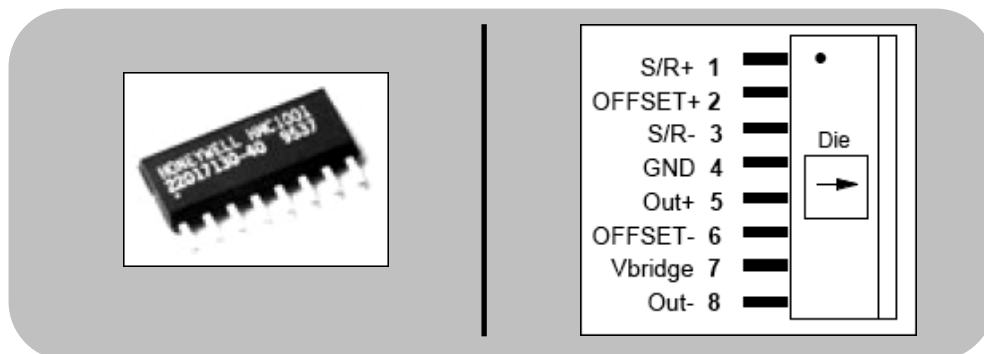
Το υποσύστημα του μαγνητικού αισθητήρα στην παρούσα μελέτη αποτελείται όπως είναι αναμενόμενο από τον ίδιο τον μαγνητικό αισθητήρα AMR και ένα κύκλωμα που παράγει τους παλμούς SET/RESET και επαναφέρει τον αισθητήρα στην κανονική κατάσταση λειτουργίας. Ένα διάγραμμα του υποσυστήματος αυτού φαίνεται παρακάτω.



ΣΧΗΜΑ 4.3 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ

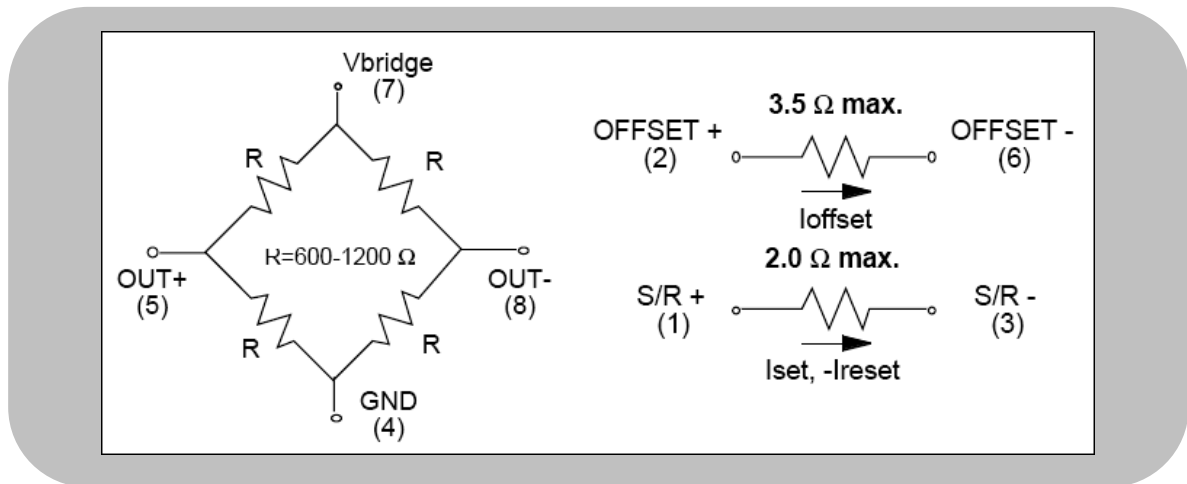
4.4.1.1 Μαγνητικός Αισθητήρας AMR (HMC1001)

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιείται, είναι ο HMC1001 της εταιρείας Honeywell. Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο με την τεχνολογία των μαγνητικών αισθητήρων, αποτελεί μια γέφυρα Wheatstone οι οποίοι συντίθεται από τέσσερις αντιστάσεις ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης κατασκευασμένες με την τεχνολογία λεπτών στρωμάτων σε μορφή ταινίας και τοποθετημένη πάνω σε ένα δισκίο πυριτίου. Ο αισθητήρας HMC1001 παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



ΣΧΗΜΑ 4.4 – Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ HMC1001 ΤΗΣ Honeywell ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ 8-Pin SIP ΚΑΙ Η ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ ΤΟΥ (Το βέλος δείχνει την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου που προκαλεί θετική τάση εξόδου) [22]

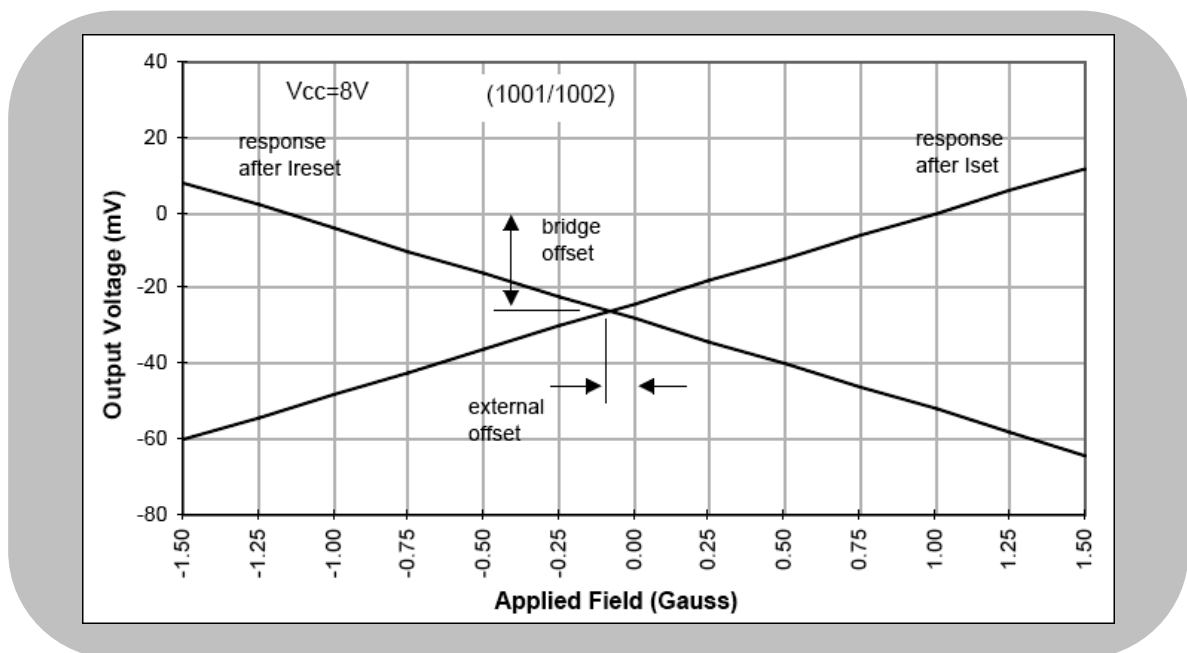
Το ενδιαφέρον χαρακτηριστικό που επιπλέον διαθέτει ο συγκεκριμένος αισθητήρας, όπως οι υπόλοιποι της επιλεγμένης κατασκευάστριας εταιρείας, είναι τα δύο ενσωματωμένα μαγνητικά συζευγμένα ελιγμάτα OFFSET και SET/RESET. Αυτά έχουν πατενταριστεί από την Honeywell και απαλλάσσουν τον σχεδιαστή από την ανάγκη χρησιμοποίησης εξωτερικών ελιγμάτων γύρω από τις συσκευές. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συστατικά μέρη του αισθητήρα.



ΣΧΗΜΑ 4.5 – ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ[22]

Στο σημείο αυτό κρίνεται ενδιαφέρον να αναλυθεί η λειτουργία του υποκυκλώματος offset, παρόλο που αυτό δεν θα χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη υλοποίηση, και αυτό του set/reset.

Για να κατανοηθεί η έννοια του offset όπως και η λειτουργία του κυκλώματος set/reset, παρουσιάζεται το ακόλουθο διάγραμμα που απεικονίζει την έξοδο της γέφυρας του αισθητήρα συναρτήσει του επιβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου.



ΣΧΗΜΑ 4.6 – ΕΞΟΔΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ. ΕΜΦΑΝΙΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΤΟΥ bridge offset (κατακόρυφα) ΚΑΙ ΤΟΥ external offset (οριζόντια)[22]

Συγκεκριμένα όταν ένας παλμός ρεύματος SET (I_{set}) οδηγείται στον SR+ ακροδέκτη, η έξοδος ακολουθεί την καμπύλη με τη θετική κλίση. Ανάλογα όταν ένας παλμός ρεύματος RESET (I_{reset}) οδηγείται στον ακροδέκτη SR-, η έξοδος ακολουθεί την καμπύλη με την αρνητική κλίση. Αυτές οι δύο καμπύλες αποτελούν καθρεπτικές εικόνες κανονικά γύρω από την αρχή των αξόνων. Αυτό όμως δεν ισχύει λόγω των δυο φαινόμενων offset.

Στην κατακόρυφη διεύθυνση το offset είναι περίπου 25mV. Ονομάζεται bridge offset και οφείλεται στη μη ομοιομορφία των αντιστάσεων της γέφυρας κατά την κατασκευαστική διαδικασία. Η απόκλιση αυτή μπορεί να ρυθμιστεί στο μηδέν με δύο τεχνικές. Η πιο αποτελεσματική είναι η πρόσθεση μιας παράλληλης αντίστασης σε ένα τμήμα της γέφυρας, ώστε να εξαναγκάσει τις δύο τάσεις εξόδου να έχουν την ίδια τιμή. Η διαδικασία αυτή πρέπει να γίνει σε συνθήκες μηδενικού μαγνητικού πεδίου.

Αντίστοιχα η απόκλιση κατά την οριζόντια διεύθυνση ονομάζεται external offset και μπορεί να οφείλεται από γειτονικά φερομαγνητικά υλικά ή ανεπιθύμητα μαγνητικά πεδία που συναθροίζονται με το υπό μέτρηση πεδίο. Η συνήθης τεχνική για τη ρύθμιση της απόκλισης αυτής στο μηδέν είναι η διοχέτευση στο έλιγμα OFFSET ενός συνεχούς ρεύματος[22].

Συγκεντρωτικά οι χρήσεις του ελίγματος OFFSET κατά την τροφοδότηση του με ρεύμα είναι ο ακόλουθος

- Ένα ανεπιθύμητο πεδίο μπορεί να αγνοηθεί
- Το bridge offset μηδενίζεται
- Η έξοδος της γέφυρας μπορεί να οδηγήσει το έλιγμα OFFSET ώστε να μηδενιστεί η επίδραση του υπό μέτρηση πεδίου, σε μια σύνδεση κλειστού βρόγχου
- Το κέρδος της γέφυρας μπορεί να αυτό-ρυθμιστεί κατ' εντολή του σχεδιαστή σε μια υλοποίηση.

Παρατίθεται ένας πίνακας με τα βασικότερα χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου αισθητήρα.

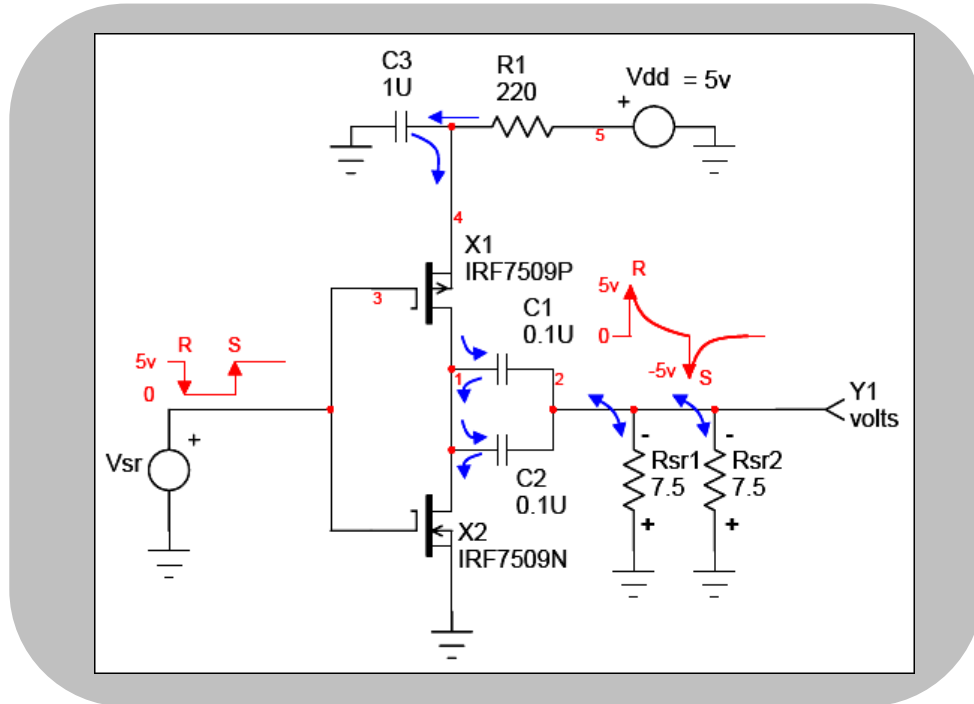
	HMC1001/02	Units
Sensitivity	3.1	mV/V/G
Resolution	27	μgauss
Range	± 2	gauss
Set/Rst Current	3.0	Amps

ΣΧΗΜΑ 4.7 – ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΥΡΙΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ HMC1001[22]

4.4.1.2 Κύκλωμα παλμών SET/RESET

Για την εξάλειψη των ανεπιθύμητων παραγόντων όπως κυρίως είναι τα γειτνιάζοντα φερομαγνητικά υλικά, η εν λόγω κατασκευή εκμεταλλεύεται το έλιγμα SET/RESET που πρέπει όμως κατά τα προλεγόμενα να οδηγηθεί με παλμούς ρεύματος. Στο συγκεκριμένο σημείο θα υποδειχθεί ένα προτεινόμενο κύκλωμα παλμών από την κατασκευάστρια εταιρεία του αισθητήρα, και τέλος θα παρουσιαστεί το υποκύκλωμα που συντέθηκε.

Η σχεδίαση που προτείνεται από την Honeywell είναι η επονομαζόμενη TOTEM POLE. Σε αυτή ένα στάδιο push-pull οδηγεί το ένα άκρο του ελίγματος set/reset, ενώ το άλλο γειώνεται. Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται το εν λόγω κύκλωμα.



ΣΧΗΜΑ 4.8 – ΚΥΚΛΩΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΔΕΙΞΗ ΓΙΑ ΤΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΛΜΩΝ SET/RESET. ΔΙΑΤΑΞΗ TOTEM POLE[21]

Η ονομασία Totem Pole προέρχεται από τους δυο ημιαγωγούς που βρίσκονται τοποθετημένοι ο ένας πάνω από τον άλλο και μεταξύ της θετικής τροφοδοσίας Vdd και της Γης. Στο απεικονιζόμενο κύκλωμα οι ημιαγωγοί είναι δύο συμπληρωματικά Mosfet ισχύος, με το P-τύπου επάνω και το N-τύπου κάτω. Το chip IRF7509 της International Rectifier έχει επιλεγθεί σε αυτό το κύκλωμα, καθώς περιέχει εξίσου τα Mosfets P και N τύπου σε ένα πολύ μικρό πακέτο micro-8 και παρουσιάζει τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά. Εξίσου και άλλοι κατασκευαστές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με τις απαιτήσεις τα mosfets να μπορούν να ‘ανοίξουν’ και να ‘κλείσουν’ με μια διέγερση 5V, να αντέχουν τα φορτία αιχμής των set/reset ρευμάτων και η αντίσταση κατά τη λειτουργία τους (“on” resistance) σε αυτές τις αιχμές να είναι ικανοποιητικά μικρή συγκριτικά με την αντίσταση του συνδεδεμένου ελίγματος SET/RESET.

Το IRF7509 έχει περίπου δυο amperes συνεχούς ρεύματος συλλέκτη, κατάλληλη περιοχή τιμών τάσης Vds ($V_{ds} \geq 5.5V$), είναι με 5V λογικής πύλης και έχει αντίσταση λειτουργίας περίπου ίση και μικρότερη από 270mΩ. Το έλιγμα set/reset στο σχήμα επιλέχθηκε να είναι αυτό δυο ελιγμάτων της σειράς HMC102X συνδεδεμένα παράλληλα. Με την ονομαστική αντίστασή τους στα 7.5Ω το ζεύγος θα έχει σε παραλληλία 3.5Ω ολική αντίσταση και το κάθε έλιγμα θα απαιτεί τουλάχιστον 0.5A ρεύματος κορυφής.

Με την πηγή λογικής τάσης V_{sr} αρχικά σε υψηλή κατάσταση ($V_{sr} \geq 4.5V$), το mosfet N-τύπου X2 είναι ενεργό και γειώνει αποτελεσματικά το κύκλωμα σειράς C1, C2, Rsr1 και Rsr2. Καθώς η πηγή λογικής τάσης μεταβαίνει σε χαμηλή λογική στάθμη ($V_{sr} \leq 0.5V$), το mosfet X2 τίθεται σε κατάσταση μη λειτουργίας και αποσυνδέει το κύκλωμα σειράς από τη Γη. Ταυτόχρονα το mosfet X1 που είναι πια στην κατάσταση on συνδέει απότομα το R-C κύκλωμα σειράς με την Vdd τάση στον κόμβο των X1, C3 και R1. Επειδή οι πυκνωτές C1 και C2 έχουν αρχική τάση μηδενική, η ξαφνική μετάβαση από τη Γη στην Vdd έχει ως αποτέλεσμα όλη η τάση να εμφανιστεί στα ελιγμάτα Rsr1 και Rsr2. Το γεγονός αυτό είναι που δημιουργεί την αιχμή reset και το ρεύμα εισρέει στους αρνητικούς ακροδέκτες των Rsr1 και Rsr2.

Καθώς ο παλμός reset εξασθενεί, ο πυκνωτής C3 εκφορτίζεται δια μέσου του X1 και του κυκλώματος σειράς. Τελικά οι πυκνωτές C1, C2 φορτίζονται πλήρως σε τάση περίπου ίση με Vdd και ο πυκνωτής C3 αρχίζει ξανά να φορτίζεται. Κατά την κατάσταση που όλοι οι πυκνωτές βρίσκονται σε πλήρη φόρτιση, θα μπορούσε να ληφθεί μέτρηση από τον αισθητήρα γνωρίζοντας όμως ότι το δείγμα θα είχε ανεστραμμένη πολικότητα.

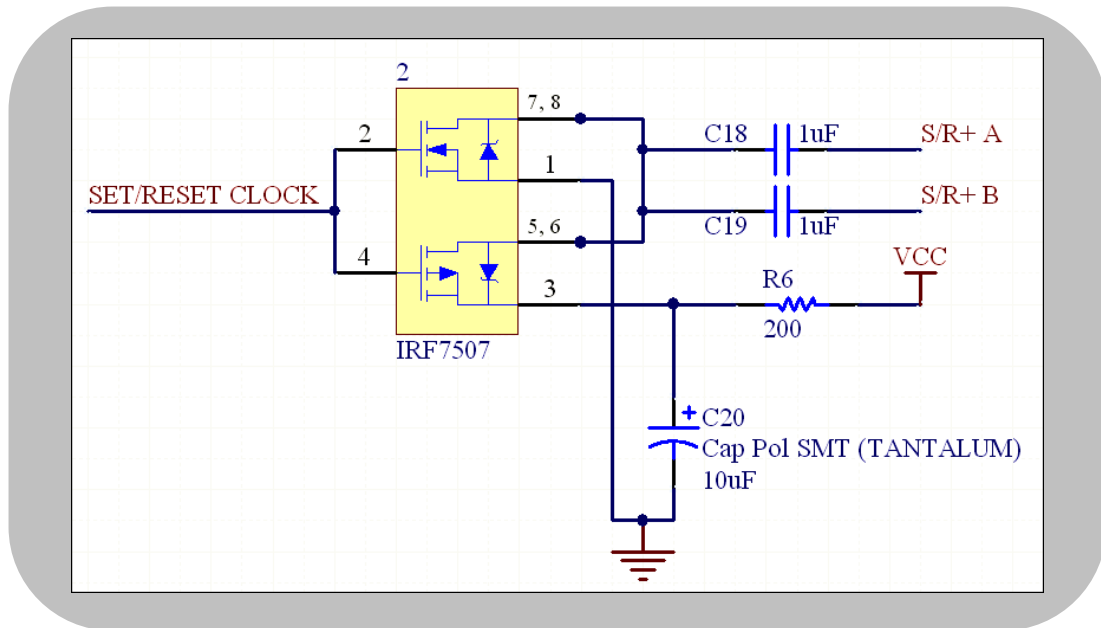
Για να σχηματιστεί ο παλμός set, τα mosfet X1 και X2 εναλλάσσουν καταστάσεις, απομακρύνοντας την τάση Vdd από το κύκλωμα σειράς και συνδέοντας τους πυκνωτές C1 και C2 εκ νέου με τη Γη. Αυτό δημιουργεί μια αρνητική τάση Vdd στις άκρες των Rsr1, Rsr2 και η τάση αυτή δημιουργεί τον επιθυμητό παλμό ρεύματος, που εξασθενεί με ρυθμό ανάλογο προς την αντίσταση λειτουργίας του X2 αθροισμένη με αυτήν της παραλληλίας των αντιστάσεων ελιγμάτων και των πυκνωτών C1 και C2. Το ρεύμα αυτό τώρα εισρέει στον θετικό ακροδέκτη των ελιγμάτων σχηματίζοντας τον set παλμό.

Καθώς ο παλμός ρεύματος εξασθενεί στο μηδέν, οι γέφυρες των αισθητήρων είναι στην κανονική τους κατάσταση και έτοιμες για μετρήσεις. Προσοχή πρέπει να δειχθεί στον χρόνο που πρέπει να μεσολαβήσει ώστε οι μετρήσεις να είναι ακριβείς. Αυτός οριοθετείται σε μερικά msec μετά τους παλμούς set και reset ώστε τα ρεύματα να έχουν ηρεμήσει, καθώς και μικρές τιμές ρευμάτων ελιγμάτων μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικά σφάλματα.

Ο προσδιορισμός των στοιχείων του κυκλώματος Totem Pole ξεκινά με την επιλογή των C1 και C2 σύμφωνα με τη δεδομένη αντίσταση ελιγματος και την επιθυμητή διάρκεια παλμού. Η επιλογή ενός ή περισσότερων πυκνωτών έχει ως κριτήρια και το μέγεθος αυτών καθώς και τη θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας τους. Οι τιμές των C3 και R1 επιλέγονται με πρωταρχική απαίτηση ο C3 να έχει πολλαπλάσια χωρητικότητα από αυτή των C1, C2 και να επαναφορτίζεται σε μικρό χρονικό διάστημα. Τυπικές τιμές του είναι μεταξύ 1-10 mF με το ESR να αποτελεί το βασικό κριτήριο επιλογής, ακολουθούμενο από το μέγεθος και την περιοχή τάσεως λειτουργίας. Η R1 επιλέγεται μετά τον C3 βάσει του χρόνου αποκατάστασης και με γνώμονα να περιορίσει την αιχμή ρεύματος από την πηγή ισχύος (μπαταρία). Τυπικές τιμές της είναι μεταξύ 100-1000Ω[21].

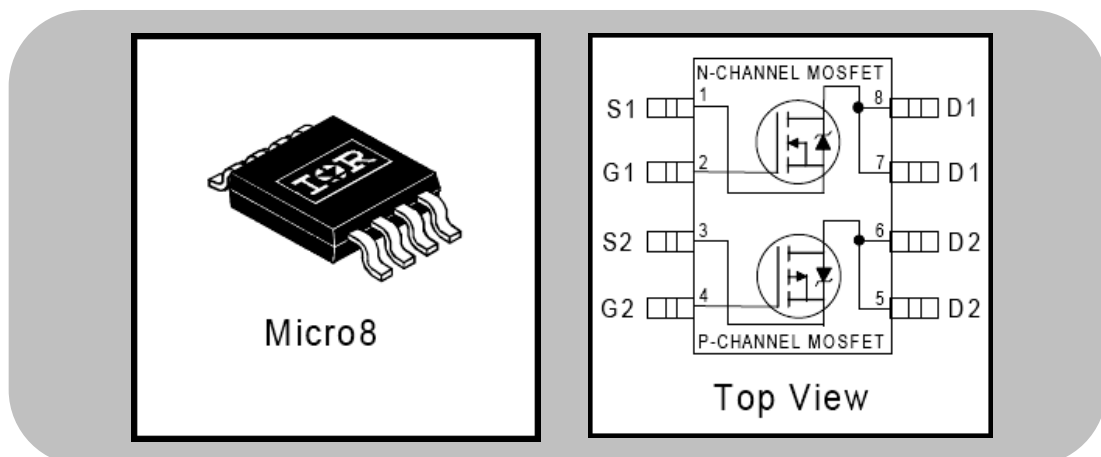
Στη σχεδίαση που μελετάται χρησιμοποιήθηκε ως κύκλωμα παλμών set/reset το ανωτέρω, με τροποποιήσεις στις τιμές των στοιχείων και επιλογή ως ζεύγους mosfet το chip IRF7507 εξίσου της ίδιας κατασκευάστριας εταιρείας. Η δομή του είναι η ίδια με το IRF7509 με μικρές διαφοροποιήσεις στα λειτουργικά του χαρακτηριστικά που ικανοποιούν όμως τις απαραίτητες απαιτήσεις. Η συνολική λειτουργία του τελικού υποκυκλώματος είναι ανάλογη με του αναλυθέντος και το κυκλωματικό διάγραμμα είναι το ακόλουθο όπου και παρουσιάζονται οι επιλεγμένες τιμές των στοιχείων.

Ως παρατήρηση αναφέρεται πως στο παρατιθέμενο κύκλωμα εμφανίζονται δύο έξοδοι οι S/R+ A και S/R+ B, ενώ χρησιμοποιείται ένας αισθητήρας. Η εξήγηση για το γεγονός αυτό, είναι πως προβλέπεται η πιθανή χρήση του αισθητήρα HMC1002 διπλού άξονα για υλοποίηση άλλης εφαρμογής, σε αντικατάσταση του τωρινού HMC1001 μονού άξονα.



ΣΧΗΜΑ 4.9 – ΥΠΟΚΥΚΛΩΜΑ ΠΑΛΜΩΝ SET/RESET ΠΡΩΤΟΤΥΠΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ

Παρουσιάζονται επίσης παρακάτω η μορφή του πακεταρίσματος του chip IRF7507 καθώς και η εσωτερική δομή του και αυτή των ακροδεκτών του.



ΣΧΗΜΑ 4.10 – α) ΠΑΚΕΤΟ IRF7507, β) ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ [23]

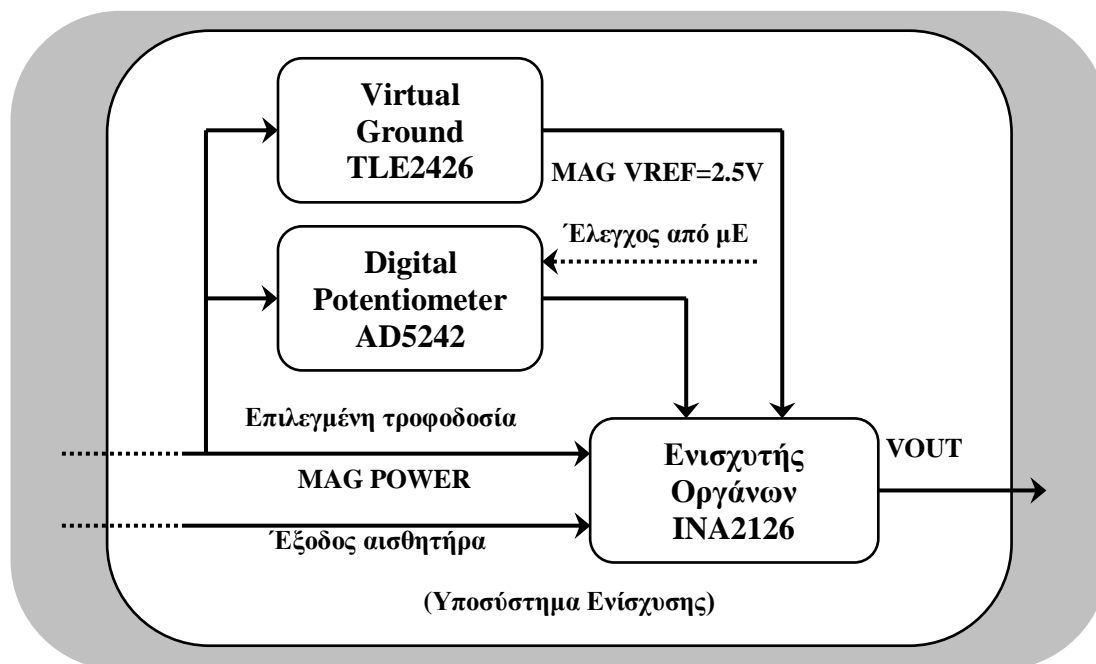
4.4.2 Υποσύστημα Ενίσχυσης

Όπως σχολιάστηκε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου, η έξοδος του αισθητήρα δεν υπερβαίνει τιμές της τάξης μερικών mV. Συγκεκριμένα από το datasheet του αισθητήρα σημειώνεται πως η ευαισθησία του είναι 3.2mV/V/Gauss. Αυτό έχει ως συνέπεια με τάση τροφοδοσίας 5V να δίνει 16mV/Gauss. Γνωρίζοντας πως ένα τυπικό όχημα επιφέρει μέγιστη μεταβολή της τάξης των 250mGauss καταλήγουμε πως η μέγιστη τιμή της εξόδου του αισθητήρα θα είναι στην περίπου $16 \cdot 0.25 = 4\text{mV}$. Επειδή όμως οι μεταβολές είναι και αρνητικές, για να εκμεταλλευτούμε όλο το εύρος των 5V που μας παρέχει η τροφοδοσία θα πρέπει η έξοδος του ενισχυτικού σταδίου να πολωθεί στα 2.5V. Μια ενίσχυση με κέρδος περίπου ίσο με 350 θα δώσει λοιπόν μέγιστη έξοδο κοντά στα 4V (3.9V για την ακρίβεια) με την προεπιλεγείσα πόλωση. Το 1V που απομένει κρίνεται αρκετό για μεγαλύτερες μεταβολές του μαγνητικού πεδίου παρέχοντας έτσι μια ασφάλεια στα λαμβανόμενα δείγματα.

Το υποσύστημα ενίσχυσης επομένως θα περιέχει εκτός από τους ενισχυτές και το υποκύκλωμα δημιουργίας της τάσης πολώσεως των 2.5V που θα ονομαστεί VIRTUAL GROUND. Αξιοσημείωτη είναι η παρατήρηση πως το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι της τάξης 0.5-0.7Gauss άρα και η ενισχυμένη τιμή του αισθητήρα χωρίς μεταβολή από κάποιο επιπλέον φερομαγνητικό υλικό θα είναι κατά μια μικρή τιμή μικρότερη από τα 2.5V. Το αν η συγκεκριμένη μεταβολή από τη στάθμη της πόλωσης στρέφεται προς τα 5V ή τα 0V εξαρτάται μόνο από τη φορά διεύθυνσης του άξονα ευαισθησίας (sensitive axis) του αισθητήρα. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή ο άξονας αυτός έχει φορά από το έδαφος και προς τα επάνω, για το λόγο αυτό η μεταβολή αυτή αφαιρείται από τα 2.5V της πολώσεως.

Το τελευταίο υποκύκλωμα του υποσυστήματος ενίσχυσης θα είναι τέτοιο ώστε να αντιλαμβάνεται την μεταβολή από την πόλωση λόγω του μαγνητικού πεδίου της Γης και να την επαναφέρει στο επιθυμητό επίπεδο. Κατάλληλο για τη χρήση αυτή κρίθηκε ένα ποτενσιόμετρο που προσθέτει ή αφαιρεί μια τιμή dc τάσης ώστε η έξοδος του ενισχυτικού σταδίου όταν δεν βρίσκεται πάνω από το σύστημα όχημα (θα ονομάζεται από το σημείο αυτό Baseline) να είναι 2.5V. Η ιδιαιτερότητα του ποτενσιόμετρου αυτού είναι πως θα πρέπει να ρυθμίζεται αυτόματα από το μ Ελεγκτή όποτε αυτό κρίνεται αναγκαίο. Η υπόδειξη αυτή οδηγεί στην επιλογή ενός ολοκληρωμένου ποτενσιόμετρου με δυνατότητα I2C.

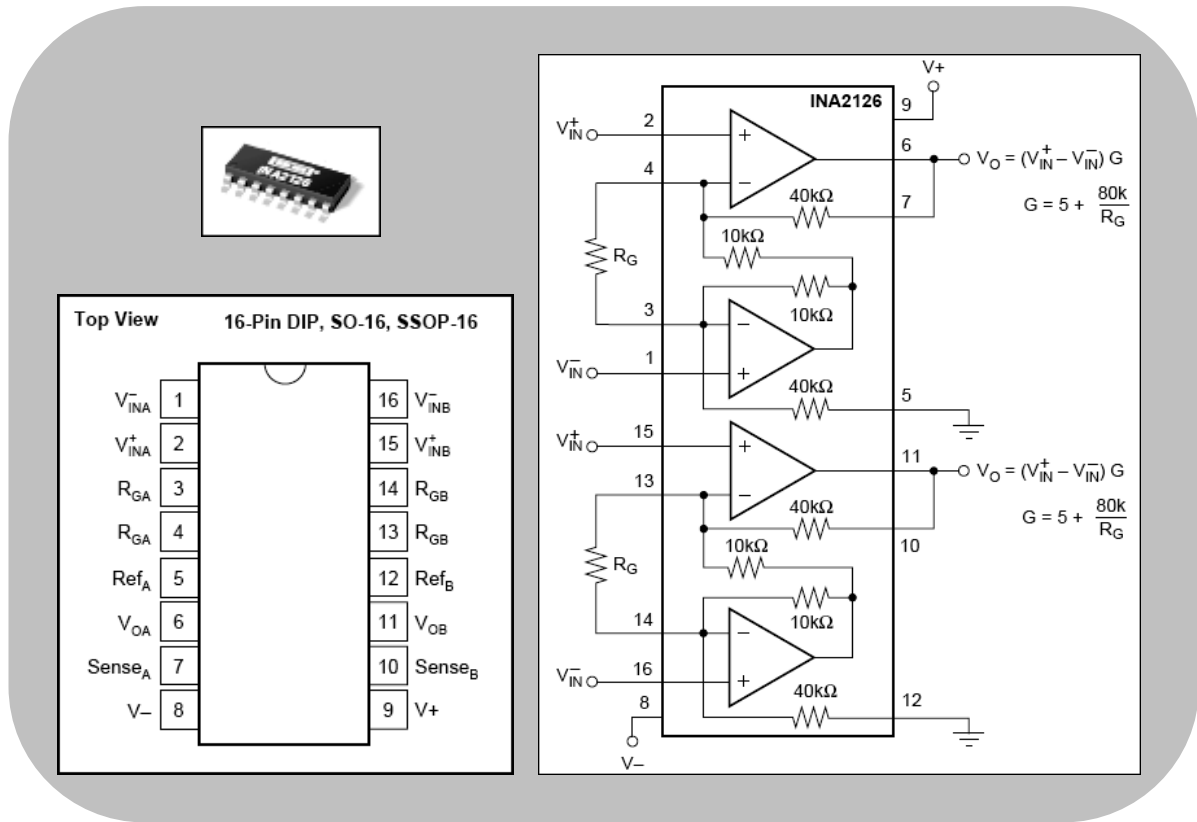
Όλα τα μέρη από τα οποία αποτελείται το υποσύστημα της ενίσχυσης θα τροφοδοτούνται από την ίδια επιλεγμένη από τον μ Ελεγκτή τροφοδοσία των 5V που ονομάζεται στον παρόν κύκλωμα MAG POWER. Ένα μπλοκ διάγραμμα του υποσυστήματος ενίσχυσης παρουσιάζεται παρακάτω.



ΣΧΗΜΑ 4.11 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

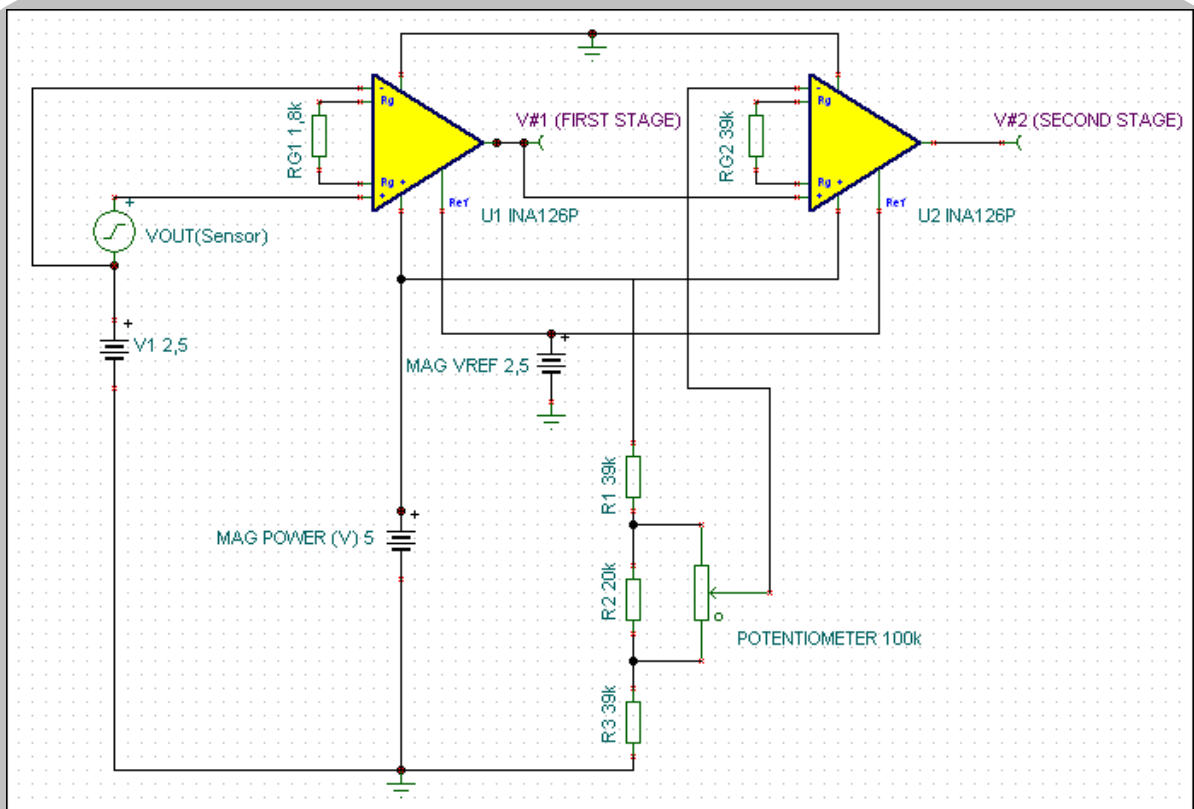
4.4.2.1 Ενισχυτής οργάνων

Ως ενισχυτής οργάνων χρησιμοποιείται ο INA2126 της Burr Brown που αποτελεί μια διπλή παραλλαγή του INA126. Το εσωτερικό του διάγραμμα και αυτό των ακροδεκτών του, όπως και το πακετάρισμα που επιλέχθηκε παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



ΣΧΗΜΑ 4.12 – α)Ο INA2126, β)ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ, γ)ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ[24]

Η συνδεσμολογία που πραγματοποιήθηκε είναι η επόμενη, ενώ οι τιμές των αντιστάσεων που επελέγησαν για το επιθυμητό κέρδος του 350 υπολογίζονται ακολούθως.



ΣΧΗΜΑ 4.12 – ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ

Το σχηματικό διάγραμμα της συνδεσμολογίας πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα TINA της Texas Instruments. Αυτό χρησιμοποιεί τη μηχανή του Spice και μοντέλα κατασκευασμένα από την ίδια την εταιρεία για τα chip που εμπορεύεται. Σε αυτό παρατηρούνται δύο ενισχυτές οργάνων INA126 οι οποίοι όπως προαναφέρθηκε εμπεριέχονται στον διπλό INA2126. Το ψηφιακό ποτενσιόμετρο στη συγκεκριμένη προσομοίωση υλοποιείται με ένα απλό αναλογικό του οποίου η τιμή βρίσκεται στο 50%. Ως σήμα εισόδου έχει δοθεί ένα απλό ημίτονο που αντικαθιστά στον εν λόγω πείραμα την έξοδο Vout του αισθητήρα.

Οι τιμές των αντιστάσεων κέρδους R_G για τα δύο ενισχυτικά στάδια υπολογίζονται από τον δοσμένο από το datasheet τύπο

$$G = 5 + \frac{80k}{R_G}$$

Άρα με $R_{G1}=1.8k$ και $R_{G2}=39k$ τα αντίστοιχα κέρδη είναι $G_1=49.44$ και $G_2=7.05$. Το τελικό ολικό κέρδος είναι $G_t=G_1 \cdot G_2=348,55$ κοντά λοιπόν στο επιθυμητό.

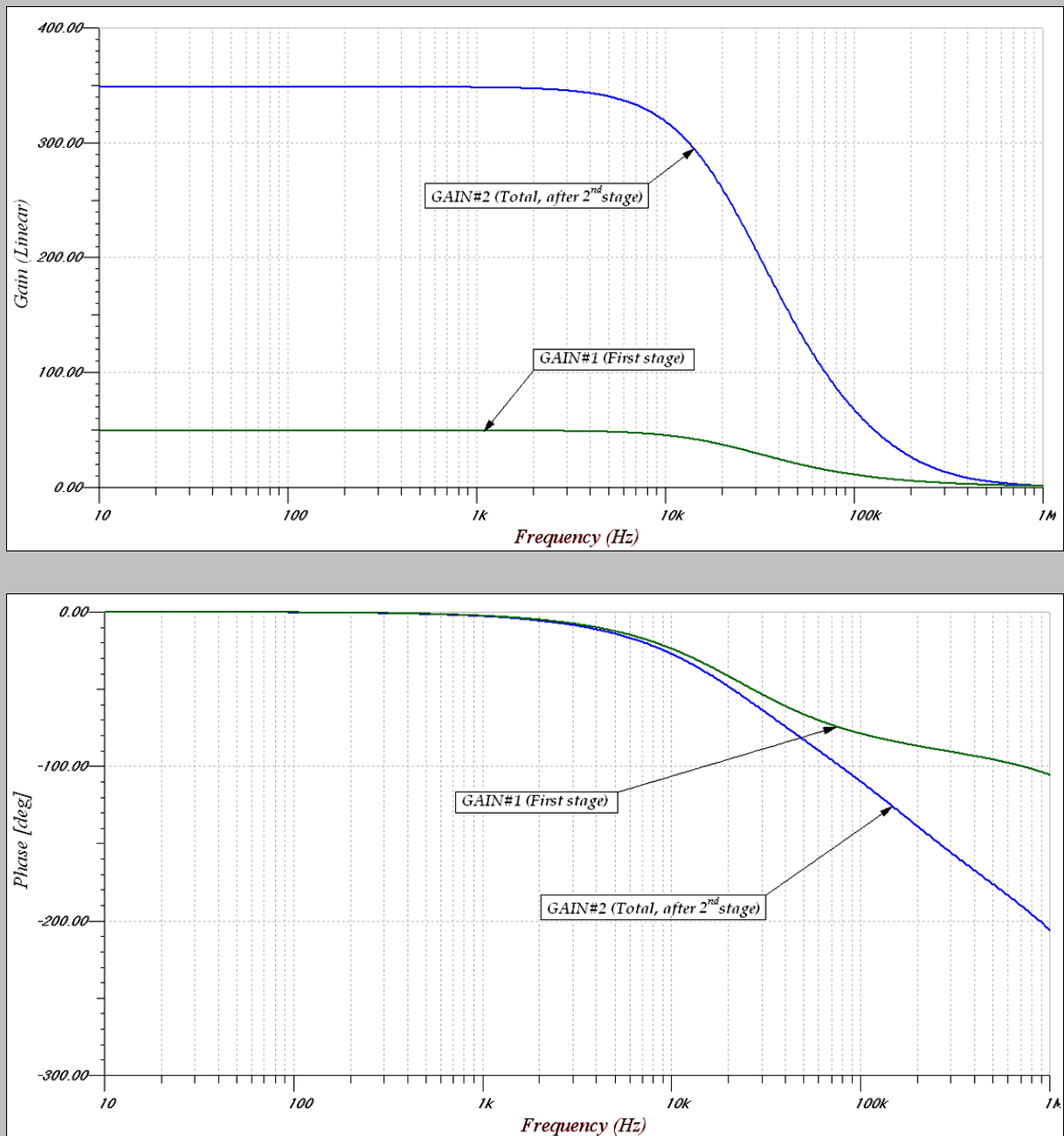
Για να κατανοηθεί η λειτουργία του ποτενσιόμετρου ως ρυθμιστικός παράγοντας της dc τιμής τάσης πόλωσης της εξόδου του ενισχυτικού σταδίου θα γραφεί η σχέση της τάσεως εξόδου.

$$\left. \begin{aligned} V_{OUT1} &= (V_{IN}^{+A} - V_{IN}^{-A}) \cdot G_1 + V_{REF} \\ V_{OUT2} &= (V_{IN}^{+B} - V_{IN}^{-B}) \cdot G_2 + V_{REF} \\ V_{IN}^{+B} &= V_{OUT1} \\ V_{OUT2} &= V_{OUT,TOTAL} \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{OUT,TOTAL} = (V_{IN}^{+A} - V_{IN}^{-A}) \cdot G_1 \cdot G_2 + (V_{REF} - V_{IN}^{-B}) \cdot G_2 + V_{REF}}$$

Η τάση V_{IN}^{-B} όμως για ποσοστό δρομέα 50% είναι ίση με τη $V_{REF} = 2.5V$. Άρα με μετατόπιση της θέσης του δρομέα μπορεί να επιτευχθεί τιμή του όρου $(V_{REF} - V_{IN}^{-B}) \cdot G_2$ αντίθετη με τη μεταβολή της baseline από τα 2.5V και να την αντισταθμίσει. Αυτό ήταν και το επιθυμητό.

Στα επόμενα διαγράμματα φαίνεται μια ac ανάλυση για το παραπάνω κύκλωμα που αποδεικνύει και τα προϋπολογισθέντα.

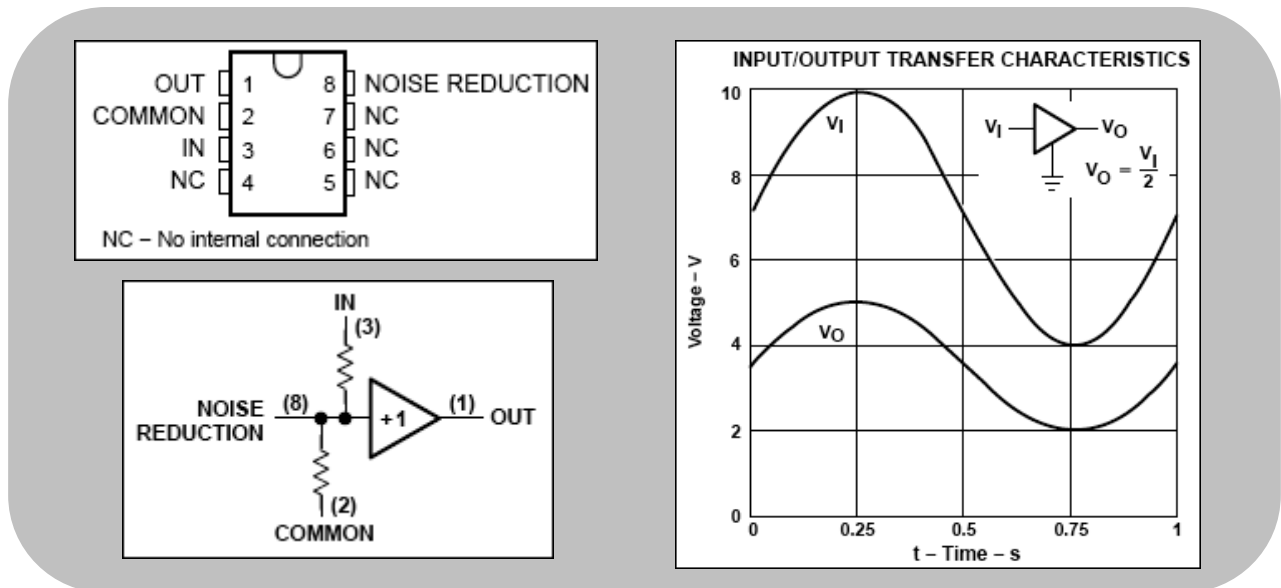


ΣΧΗΜΑ 4.13 – ac ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ

4.4.2.2 Τάση αναφοράς (VIRTUAL GROUND)

Στο κύκλωμα όπως παρουσιάστηκε ανωτέρω είναι απαραίτητη η τάση αναφοράς $V_{REF}=2.5V$ για την πόλωση της τάσης εξόδου του ενισχυτικού σταδίου. Η πόλωση αυτή είναι όπως εξηγήθηκε απαραίτητη για την εκμετάλλευση όλου του εύρους των 5V της τάσης τροφοδοσίας. Επειδή η τάση αυτή αναφοράς πρέπει να δημιουργηθεί από την δεδομένη των 5V, το chip TLE2426 της Texas Instruments χρησιμοποιείται.

Η λειτουργία του ολοκληρωμένου αυτού είναι η τάση εξόδου του να είναι πάντα η μισή της τάσης εισόδου (rail splitter). Η ιδιότητά του αυτή οφείλεται στο γεγονός του συνδυασμού σε ένα πακέτο ενός τελεστικού ενισχυτή μικρής ισχύος και ενός ακριβούς διαιρέτη που δίνει πάντα σχέση $V_O/V_I = 0.5$ ανεξαρτήτου απορροφημένου ή διοχετευόμενου ρεύματος. Παρουσιάζει χαμηλή αντίσταση εξόδου και δυνατότητα διοχέτευσης ρεύματος 20mA. Στην συγκεκριμένη υλοποίηση χρησιμοποιήθηκε το πακετάρισμα με τους 8 ακροδέκτες καθώς παρουσιάζει ελαττωμένο θόρυβο και φυσικά διαστάσεις συγκριτικά με τις άλλες συσκευασίες. Για την περαιτέρω ελάττωση του θρύβου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ειδικός ακροδέκτης 8 στον οποίο θα συνδεθεί ένας πυκνωτής. Το διάγραμμα των ακροδεκτών του καθώς και οι χαρακτηριστικές μεταφοράς ακολουθούν[25].

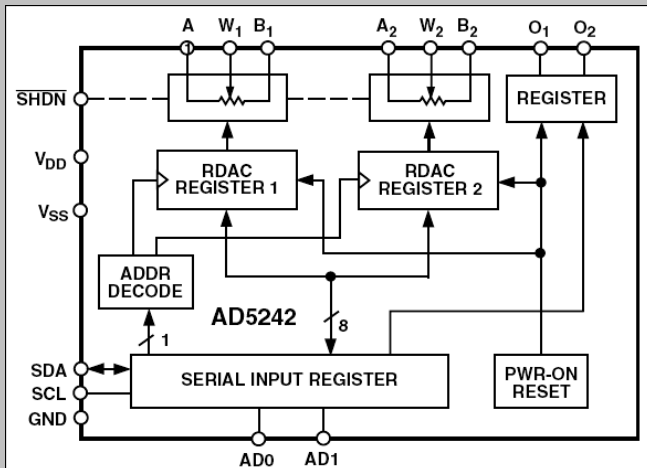


ΣΧΗΜΑ 4.14 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ ΤΟΥ TLE2426 ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ[25]

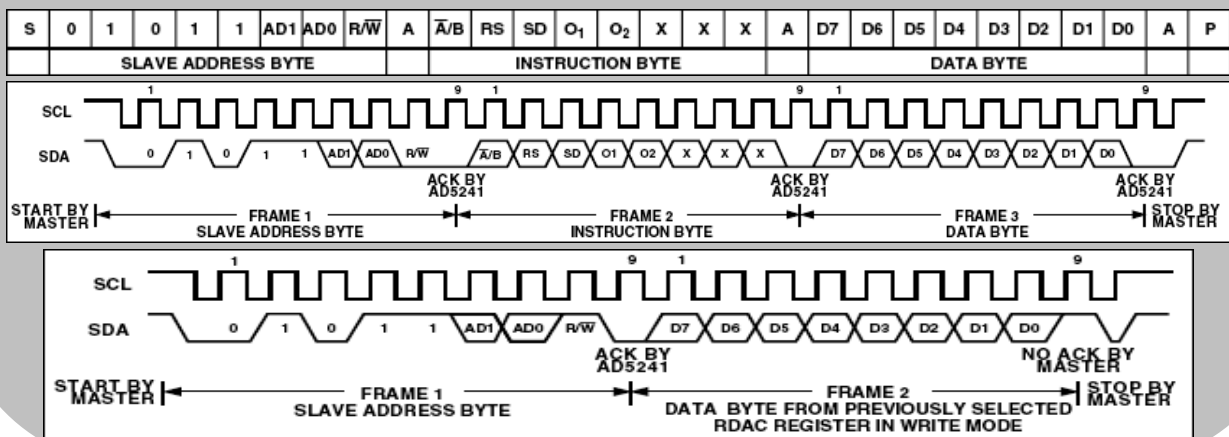
4.4.2.3 Ψηφιακό Ποτενσιόμετρο

Το ολοκληρωμένο AD5242 της Analog Devices παρέχει ένα ποτενσιόμετρο δύο καναλιών, 256 θέσεων, το οποίο είναι ελεγχόμενο ψηφιακά μέσω του προτύπου I2C. Η λειτουργία του είναι η ίδια με αυτή ενός αναλογικό ποτενσιόμετρο, τρίμμερ ή μεταβλητή αντίσταση (Variable Resistor). Στο διπλό αυτό ποτενσιόμετρο σε κάθε κανάλι επιτρέπεται ο πλήρης προγραμματισμός της τιμής της αντίστασης μεταξύ των ακροδεκτών A και του δρομέα W (wiper) ή αυτής μεταξύ του W και του ακροδέκτη B. Η ολική αντίσταση μεταξύ A και B ποικίλει ανάλογα με το μοντέλο του ολοκληρωμένου. Στο παρόν κύκλωμα χρησιμοποιήθηκε αυτό με $R_{AB}=100k\Omega$. Η προεπιλεγμένη θέση του δρομέα κατά την τροφοδότηση του ολοκληρωμένου είναι στη μέση της R_{AB} , ενώ αργότερα η θέση αυτή προγραμματίζεται από ένα συμβατό με το πρότυπο I2C περιβάλλον επικοινωνίας, σειριακών δεδομένων δυο σημάτων. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό είναι η ύπαρξη στο ολοκληρωμένο δυο ακόμη προγραμματιζόμενων λογικών εξόδων που επιτρέπουν στο χρήστη να οδηγεί ψηφιακά φορτία, λογικές πύλες, οδηγούς LED και αναλογικούς διακόπτες σε ανάλογες εφαρμογές.

Στο σημείο αυτό θα αναλυθεί ο τρόπος λειτουργίας του με έμφαση στη μέθοδο προγραμματισμού του μέσω του σειριακού διαύλου δύο σημάτων. Για να είναι δυνατή και η επόπτευση των γραφθέντων παρατίθενται ακολούθως ένα μπλοκ διάγραμμα της λειτουργίας του, καθώς και η μορφή των δεδομένων εισαγωγής και ο τρόπος εγγραφής στο σειριακό καταχωρητή RDAC.



S = Συνθήκη Έναρξης
P = Συνθήκη Παύσης
A = Acknowledge
X = Δεν ενδιαφέρει
AD1, AD0 = Bits προγραμματιζόμενης διεύθυνσης σε περίπτωση πολλαπλής χρήσης ολοκληρωμένων (4 διευθύνσεις δυνατές). Τα bits αυτά πρέπει να συμφωνούν με τις λογικές καταστάσεις των ακροδ/των AD1 και AD0
R/W = Επίτρεψη Ανάγνωσης 'High' και έξοδος στο SDA. Επίτρεψη Εγγραφής 'Low'.
A/B =Επιλογή υποδιεύθυνσης RDAC. '0' για RDAC1 και '1' for RDAC2.
RS = Midscale reset, active high.
SD = Shutdown in active high. Same as *SHDN* except inverse logic.
O1, O2 = Output logic pin latched values.
D7, D6, D5, D4, D3, D2, D1, D0 = Bits Δεδομένων.



ΣΧΗΜΑ 4.15 – α) ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ AD5242, β) ΜΟΡΦΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ, γ) ΤΡΟΠΟΣ ΕΓΓΡΑΦΗΣ ΣΤΟΝ RDAC, δ) ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ RDAC[26]

Το AD5242 ελέγχεται μέσω του διαύλου που αναφέρθηκε προηγουμένως και παρατηρείται στο μπλοκ διάγραμμα και ο οποίος είναι συμβατός με το πρότυπο I2C. Οι καταχωρητές RDACs είναι συνδεδεμένοι στον δίαυλο αυτό σαν συσκευές 'slave'. Αναφερόμενοι στο σχήμα 4.15 το πρώτο byte είναι το byte διεύθυνσης slave. Περιέχει 7-bits διεύθυνσης και ένα bit R/W. Τα 5 MSBs είναι 01011 και τα επόμενα δυο καθορίζονται από την κατάσταση των ακροδεκτών AD0 και AD1. Οι AD0 και AD1 επιτρέπουν στο χρήστη να χρησιμοποιήσει μέχρι και 4 τέτοιες συσκευές σε έναν μόνο δίαυλο.

Το πρωτόκολλο του διαύλου δύο σημάτων I2C λειτουργεί ως εξής:

1) Ο master αρχικοποιεί την μεταφορά δεδομένων καταδεικνύοντας μια συνθήκη START, που συμβαίνει κατά τη μετάβαση του SDA από την υψηλή προς τη χαμηλή στάθμη ενώ το SCL βρίσκεται υψηλά. Το επόμενο byte είναι αυτό της slave διεύθυνσης που αποτελείται, όπως αναφέρθηκε, από 7 bits διεύθυνσης και ένα bit R/W' που υποδεικνύει αν δεδομένα θα διαβαστούν ή θα γραφούν στη συσκευή slave. Η συσκευή slave στην οποία αντιστοιχεί η διεύθυνση, θα αποκριθεί με την μεταγωγή της SDA χαμηλά κατά τη διάρκεια του ένατου παλμού ρολογιού (αυτός ονομάζεται Acknowledge Bit). Στο στάδιο αυτό όλες οι άλλες συσκευές στο δίαυλο παραμένουν ανενεργές καθώς η επιλεγμένη συσκευή αναμένει για δεδομένα να γραφούν ή διαβαστούν από τον καταχωρητή της. Εάν το R/W' bit είναι υψηλά, ο master θα διαβάσει από τη slave συσκευή και εάν είναι χαμηλά ο master θα γράψει σε αυτή.

2) Μια διαδικασία εγγραφής περιλαμβάνει ένα επιπλέον byte εντολής από τη διαδικασία ανάγνωσης. Αυτό το byte (frame 2) ακολουθεί το byte διεύθυνσης slave. Το MSB του byte εντολής που ονομάζεται A'/B, είναι το bit επιλογής υποδιεύθυνσης RDAC. Ένα χαμηλό bit επιλέγει τον RDAC1 και ένα υψηλό επιλέγει τον RDAC2 για το διπλό ποτενσιόμετρο AD5242. Για το AD5241 το A'/B τίθεται χαμηλά. Το δεύτερο MSB, το RS είναι το midscale reset. Μια υψηλή λογική στάθμη αυτού του bit μετακινεί τον δρομέα του επιλεγμένου RDAC στην ενδιάμεση θέση όπου RWA = RWB. Το τρίτο MSB, το SD είναι αυτό της διακοπής λειτουργίας. Μια υψηλή λογική στάθμη του SD προκαλεί τον RDAC να ανοίξει το κύκλωμα από την πλευρά το ακροδέκτη A, ενώ συνδέει τον δρομέα στον ακροδέκτη B. Αυτή η διαδικασία αποδίδει 0Ω στην λειτουργία του AD5241 ως ρεοστάτης ή 0V στη λειτουργία ποτενσιόμετρου. Το SD bit εκτελεί την ίδια λειτουργία όπως και ο ακροδέκτης (SHDN)', εκτός του ότι αυτός αντιδρά σε χαμηλό επίπεδο. Τα επόμενα δυο bits είναι τα O2 και O1. Τέλος τα τρία LSBs δεν ενδιαφέρουν όπως φαίνεται και στο σχήμα.

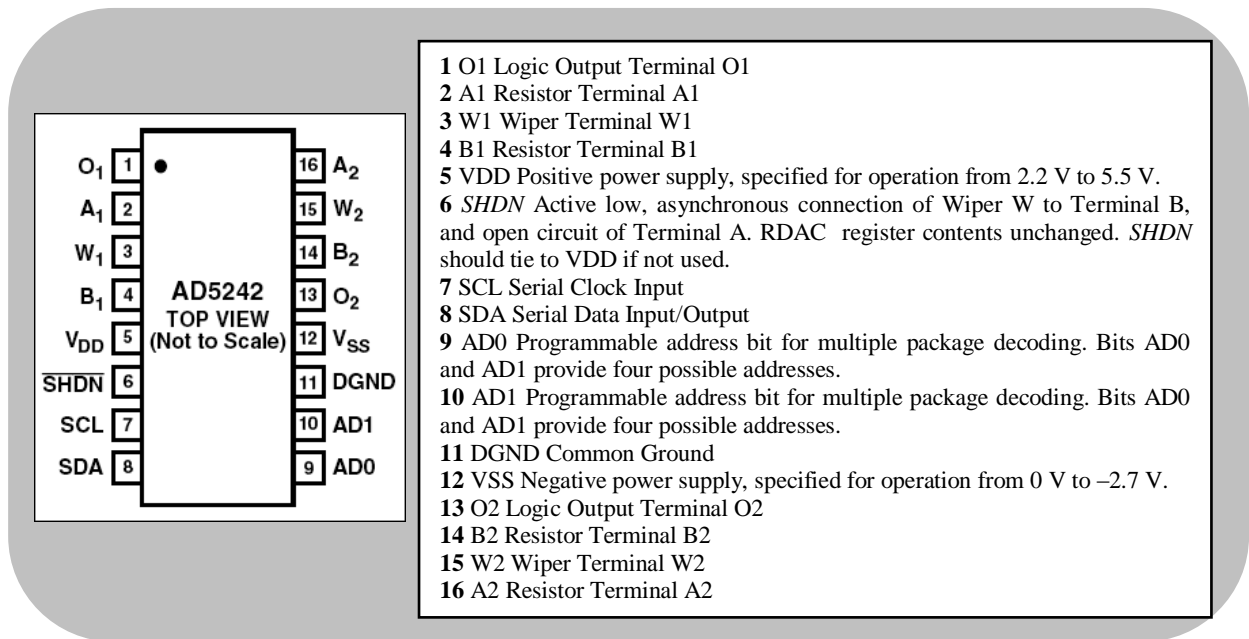
3) Μετά το bit ACK το τελευταίο byte στην διαδικασία Εγγραφής είναι αυτό των δεδομένων. Τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω του σειριακού διαύλου με τη διαδοχή εννέα παλμών ρολογιού (οκτώ bits δεδομένων ακολουθούμενα από το ACK). Οι μεταβάσεις της SDA γραμμής πρέπει να συμβαίνουν κατά τη διάρκεια όπου η SCL είναι χαμηλά και η SDA παραμένει σταθερή κατά την υψηλή περίοδο της δεύτερης.

4) Αντίθετα από την διαδικασία Εγγραφής, στην διαδικασία Ανάγνωσης το byte δεδομένων ακολουθεί αμέσως το bit ACK του byte διεύθυνσης slave. Τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω του σειριακού διαύλου κατά την αλληλουχία εννέα παλμών ρολογιού όμοια με την διαδικασία εγγραφής εκτός του ότι το ACK μετά τα 8bits δεδομένων είναι 1. Ομοίως οι μεταβάσεις της SDA γραμμής πρέπει να συμβαίνουν όταν η SCL είναι χαμηλά και παραμένει σταθερή κατά την υψηλή περίοδο της SCL.

5) Όταν όλα τα bits δεδομένων έχουν αναγνωσθεί ή γραφτεί, μια συνθήκη STOP προκαλείται από τον master. Η συνθήκη αυτή καθορίζεται ως η μετάβαση από τα χαμηλά προς τα υψηλά της γραμμής SDA καθόσον η SCL είναι υψηλά. Στην διαδικασία Εγγραφής ο master θα προκαλέσει μετάβαση της SDA υψηλά κατά τη διάρκεια του δέκατου παλμού για να προκαλέσει τη συνθήκη STOP, ενώ στην διαδικασία Ανάγνωσης θα εφαρμόσει ένα μη ACK bit κατά τη διάρκεια του ένατου παλμού ρολογιού. Ο master έπειτα θα προκαλέσει μετάβαση της SDA προς τα χαμηλά πριν από τον δέκατο παλμό που γίνεται 1 και προκαλεί τη συνθήκη STOP.

Μια επαναλαμβανόμενη εντολή Εγγραφής δίνει στον χρήστη την ευελιξία να ανανεώνει την έξοδο του RDAC κάποιες φορές μετά την δεικτοδότηση μέσω διεύθυνσης και ανάθεσης εντολής σε κάποια συσκευή για πρώτη φορά. Κατά τη διάρκεια ενός κύκλου Εγγραφής, κάθε byte δεδομένων θα ανανεώνει την έξοδο του RDAC. Για παράδειγμα αφού ο RDAC έχει δεχθεί τη διεύθυνση slave και τα bytes εντολής, η έξοδος του RDAC θα ανανεώνεται. Εάν ένα άλλο byte γραφτεί σε αυτόν, ενώ αυτός ακόμα δεικτοδοτείται στην ίδια slave συσκευή και με την ίδια εντολή, αυτό το byte θα ενημερώσει την έξοδο της προεπιλεγμένης συσκευής. Εάν διαφορετικές εντολές απαιτούνται, η διαδικασία Εγγραφής πρέπει να ξεκινήσει μια νέα αλληλουχία με μια νέα διεύθυνση slave, εντολής και δεδομένων. Παρομοίως επιτρέπεται και μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία Ανάγνωσης του RDAC[26].

Κατά την υλοποιούμενη εφαρμογή θα χρησιμοποιηθεί μόνο η διαδικασία Εγγραφής. Μια δομή των ακροδεκτών του AD5242 παρουσιάζεται παρακάτω.

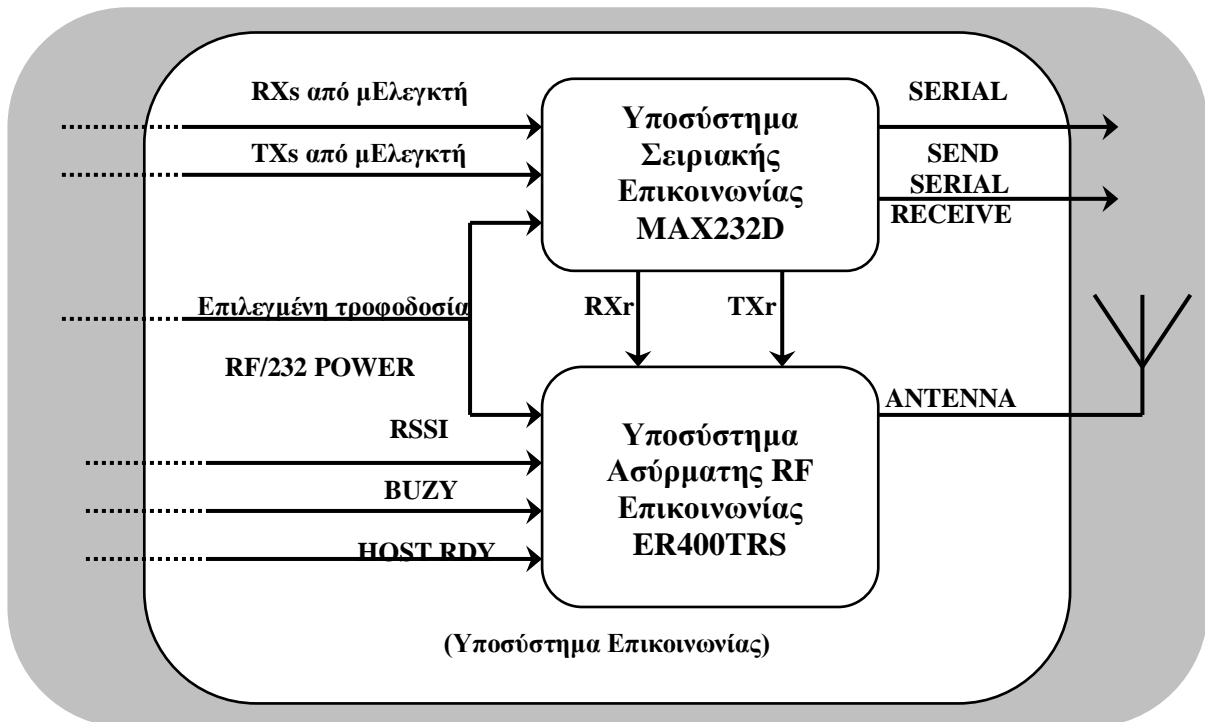


ΣΧΗΜΑ 4.16 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ ΤΟΥ AD5242[26]

4.4.3 Υποσύστημα Επικοινωνίας

Το τμήμα της επικοινωνίας του συστήματος με τον έξω κόσμο για την κοινοποίηση των αποτελεσμάτων, καθώς και τη λήψη κάποιων παραμέτρων υλοποιείται ενσύρματα και ασύρματα. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει δυο ξεχωριστά υποσυστήματα το ένα που θα μετατρέπει τα δεδομένα σε κατάλληλη μορφή για μετάδοση μέσω σειριακής θύρας RS232 και το άλλο που θα επιτρέπει την RF μετάδοση.

Το διάγραμμα του υποσυστήματος αυτού απεικονίζεται ακολούθως.

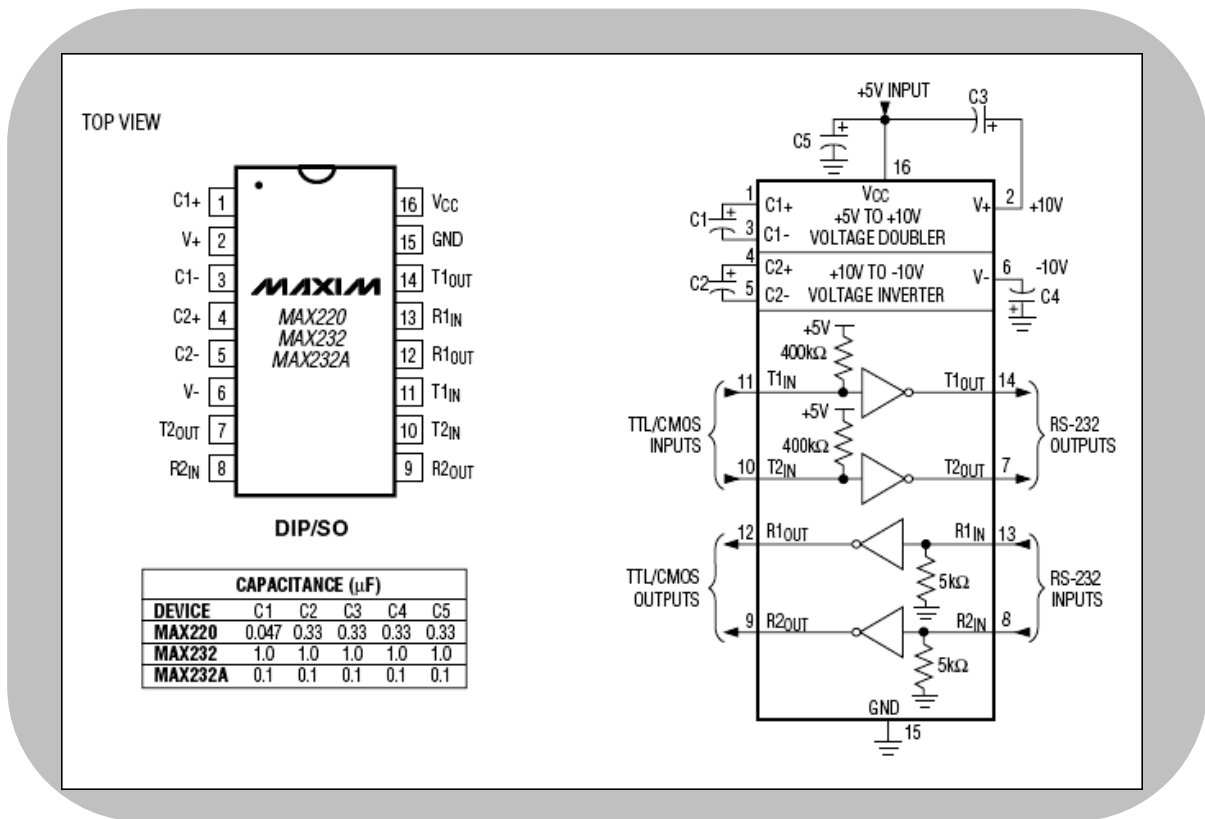


ΣΧΗΜΑ 4.17 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

4.4.3.1 Σειριακή Επικοινωνία

Ενώ η βασική επικοινωνία του συστήματος βασίζεται στην ασύρματη μετάδοση RF, ενσωματώνεται και το ολοκληρωμένο MAX232D της Maxim Integrated Products για τη σειριακή επικοινωνία μέσω θύρας RS232.

Το ολοκληρωμένο MAX232 αποτελείται από 4 μέρη, ένα διπλό μετατροπέα DC-DC, οδηγούς RS232, δέκτες RS232 και εισόδους ελέγχου λειτουργίας του οδηγού και του δέκτη. Τα συστατικά μέρη αυτά φαίνονται στο σχηματικό διάγραμμα που ακολουθεί.



ΣΧΗΜΑ 4.18 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΟΥ MAX232[27]

- Οι δύο μετατροπείς τάσης που περιέχει το ολοκληρωμένο MAX232, μετατρέπουν τα +5V της τροφοδοσίας σε +10V και -10V (απουσία φορτίου) ώστε να ικανοποιούνται τα πρότυπα EIA/TIA-232E και V.28. Ένα μικρό ποσό ισχύος είναι δυνατό να ληφθεί από τις εξόδους V+ και V- για την τροφοδότηση εξωτερικών κυκλωμάτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τάσεις αυτές δεν είναι σταθεροποιημένες, που σημαίνει ότι αυξανόμενη ένταση ρεύματος φορτίου θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της τάσεως εξόδου.

- Η προβλεπόμενη διακύμανση του οδηγού εξόδου είναι $\pm 8V$ όταν είναι συνδεδεμένος με ένα δέκτη RS-232 με ονομαστική αντίσταση $5k\Omega$ και η τάση τροφοδοσίας του είναι +5V. Η διακύμανση αυτή ικανοποιεί τις προδιαγραφές των EIA/TIA-232E και V.28, οι οποίες προβλέπουν ως ελάχιστη διακύμανση τάσης του οδηγού εξόδου τα $\pm 5V$ στις χειρότερες δυνατές συνθήκες. Αυτές ορίζονται ως ένα φορτίο ελάχιστης τιμής $3k\Omega$ και τάσης τροφοδοσίας 4.5V στη μέγιστη δυνατή θερμοκρασία λειτουργίας. Κατά συνέπεια διασφαλίζεται η σωστή λειτουργία του ολοκληρωμένου ακόμα και στις δύσκολες συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον όπου θα τοποθετηθεί.

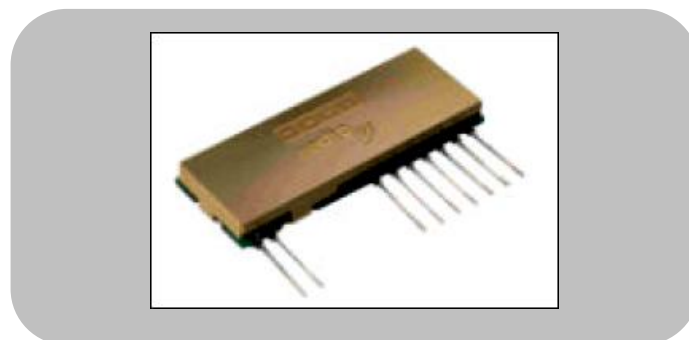
- Οι προδιαγραφές EIA/TIA-232E και V.28 ορίζουν επίπεδο τάσης μεγαλύτερο των 3V ως λογικό 0, με αποτέλεσμα στους δέκτες να γίνεται αντιστροφή. Τα κατώφλια εισόδου είναι ρυθμισμένα στα 0.8V και 2.4V, ώστε οι δέκτες να συμφωνούν με τις προαναφερθείσες προδιαγραφές καθώς και με τα TTL επίπεδα εισόδου. Επιπρόσθετα, οι εισοδοί των δεκτών είναι ανθεκτικοί σε τάσεις μέχρι και τα $\pm 25V$ και περιέχουν αντιστάσεις τερματισμού ονομαστικής τιμής 5k Ω . Οι ιδιότητα αυτή ενισχύει σημαντικά την ανθεκτικότητα του ολοκληρωμένου[27].

4.4.3.2 Ασύρματη RF Επικοινωνία

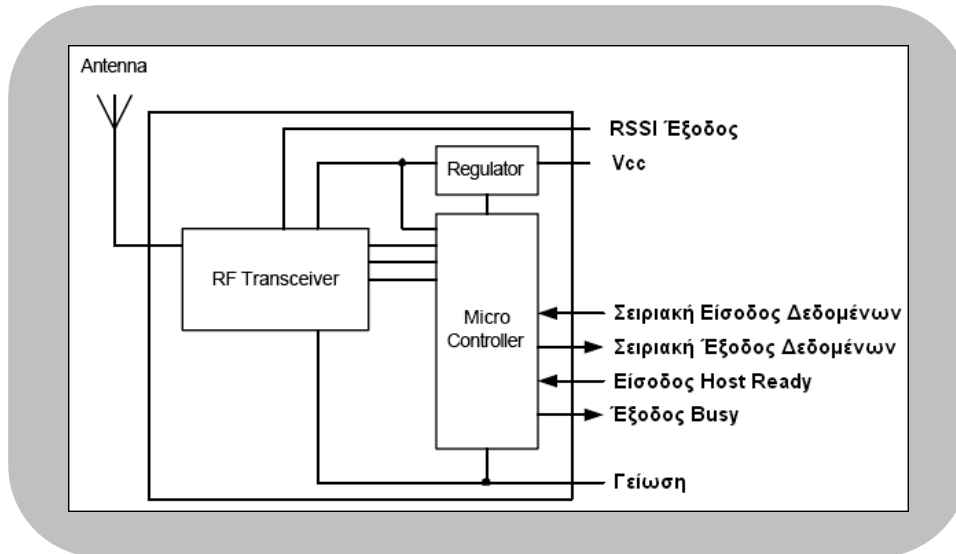
Για την επίτευξη της ασύρματης ζεύξης μεταξύ του συστήματος και της κεντρικής μονάδας συλλογής δεδομένων, χρησιμοποιούνται δύο πομποδέκτες (transceivers) Easy-Radio ER400TRS της LPRS. Το ζεύγος δύο τέτοιων υποσυστημάτων επιτρέπει την αμφίδρομη μετάδοση σειριακών δεδομένων σε μέγιστη απόσταση πομποδεκτών, 250 μέτρων όταν υπάρχει οπτική επαφή (line of sight). Ο πομποδέκτης αυτός λειτουργεί στην πανευρωπαϊκή συχνότητα των 433MHz με τροφοδοσία από 3.6V.

Ο ER400TRS, είναι ένα πλήρες υποσύστημα που συνδυάζει έναν πομποδέκτη RF υψηλής απόδοσης και χαμηλής ισχύος, έναν 'flash' προγραμματιζόμενο μικροελεγκτή και έναν σταθεροποιητή τάσης. Ο μικροελεγκτής συντονίζει τις λειτουργίες του πομποδέκτη και είναι υπεύθυνος για τη διασύνδεση με το εξωτερικό περιβάλλον παρέχοντας σειριακή είσοδο και έξοδο. Επίσης περιέχει μία προγραμματιζόμενη μνήμη EEPROM που διαφυλάσσει τις ρυθμίσεις για τις διάφορες τυπικές καταστάσεις λειτουργίας του πομποδέκτη. Αξιοσημείωτη είναι η ιδιότητα του μικροελεγκτή να φιλτράρει το σήμα και να το απομονώνει μεταδίδοντας το σε κατάλληλη μορφή, απαλλάσσοντας το χρήστη από την αφαίρεση του θορύβου. Το δομικό αυτό στοιχείο συνδέεται σε μια 50 Ω κεραία, η οποία μπορεί να είναι ένα απλό σύρμα, επίσης ελικοειδής ή τυπωμένη στην πλακέτα ως ένας βρόγχος.

Η σειριακή είσοδος και έξοδος λαμβάνει και στέλνει σύμβολα με δυνατότητα προγραμματιζόμενων ρυθμών, ενώ ο τυπικός είναι 19200 Baud. Υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι και 128 bytes δεδομένων, πριν αυτά ενθυλακωθούν σε πακέτα κατάλληλα για ασύρματη μετάδοση. Κάθε επόμενος πομποδέκτης που αντιλαμβάνεται την μετάδοση, όπως αυτός που βρίσκεται στο σύστημα συλλογής δεδομένων, λαμβάνει τα μηνύματα τα αποκωδικοποιεί και αποθηκεύει τα δεδομένα έναν καταχωρητή ώστε αυτά να είναι έτοιμα για ερμηνεία και περαιτέρω επεξεργασία. Σημειώνεται πως η μετάδοση και η λήψη είναι αμφίδρομες διαδικασίες, δεν μπορούν όμως να επιτελούνται ταυτόχρονα. Ο πομποδέκτης ER400TRS καθώς και ένα μπλοκ διάγραμμα της εσωτερικής δομής του παρουσιάζονται ακολούθως.

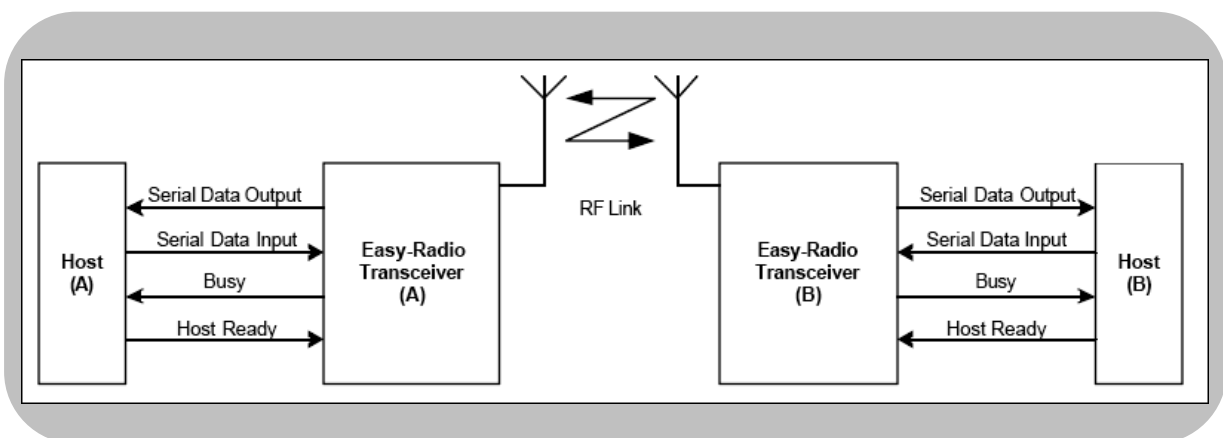


ΣΧΗΜΑ 4.19 – Ο ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗΣ ER400TRS[28]



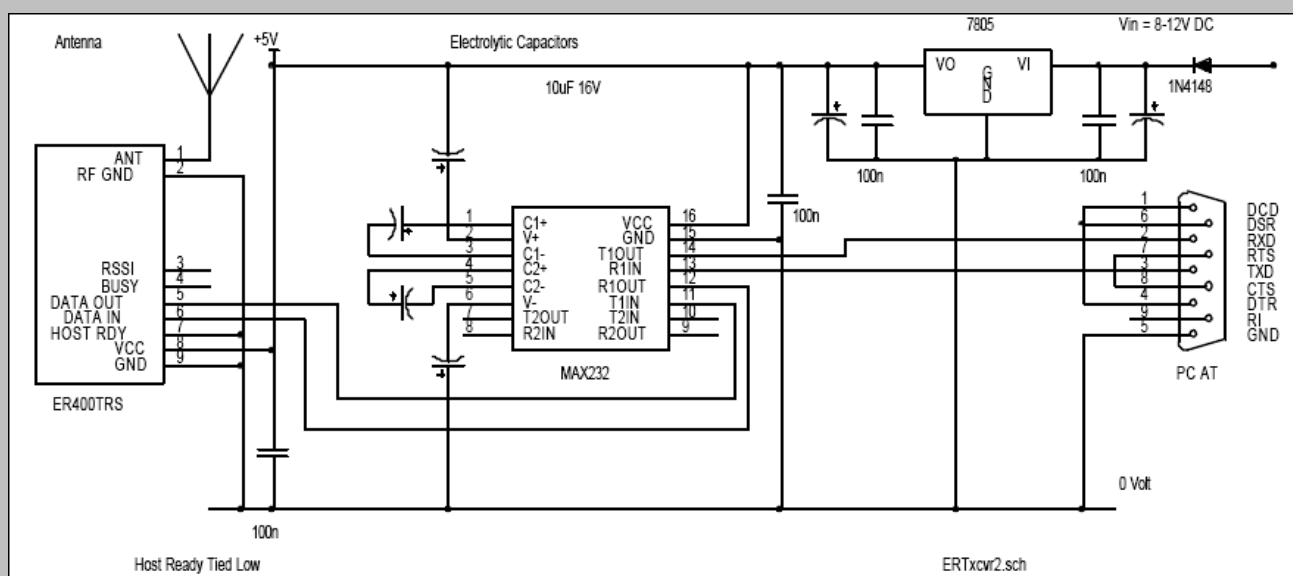
ΣΧΗΜΑ 4.20 – ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ER400TRS[28]

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένα τυπικό μπλοκ διάγραμμα της διασύνδεσης των πομποδεκτών για την ασύρματη μετάδοση και λήψη των πληροφοριών. Οι χρήστες A και B συλλέγουν και αποστέλλουν δεδομένα σε πρακτικές εφαρμογές, παρέχοντας σειριακές γραμμές εισόδου και εξόδου προς και από τους δύο πομποδέκτες. Η έξοδος Busy όταν είναι ενεργή υποδεικνύει πως ο πομποδέκτης επιτελεί μια εσωτερική εργασία και δεν είναι έτοιμος να δεχθεί δεδομένα. Αντίθετα η είσοδος Host Ready χρησιμοποιείται για να ενημερώσει πως ο αντίστοιχος χρήστης είναι έτοιμος να δεχθεί τα δεδομένα που συγκρατούνται στην εσωτερική μνήμη του ER400TRS. Γενικά ένας χρήστης πρέπει να ελέγχει πριν στείλει δεδομένα πως η γραμμή Busy δεν βρίσκεται στο υψηλό επίπεδο τάσης, πράγμα που θα επισήμαινε πως ο πομποδέκτης είτε δέχεται είτε αποστέλλει δεδομένα μέσω της RF ραδιοζεύξης. Πρέπει επίσης να προκαλεί μετάβαση της γραμμής Host Ready σε χαμηλά επίπεδα τάσης και να ελέγχει πως δεν εμφανίζονται δεδομένα στην σειριακή γραμμή εξόδου.



ΣΧΗΜΑ 4.21 – ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΥΠΙΚΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΩΝ ΓΙΑ ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ[28]

Η σύνδεση του πομποδέκτη με την έξοδο του συστήματος σύγχρονης-ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας, δεν απαιτεί χρήση ενδιάμεσου σταδίου. Άρα εκείνος δύναται να συνδεθεί απευθείας με τις κατάλληλες θύρες του μικροελεγκτή. Αντίθετα στο σύστημα συλλογής δεδομένων, για τη σύνδεση του με τη θύρα RS232 του υπολογιστή, απαιτείται η μεσολάβηση ενός ολοκληρωμένου MAX232 το οποίο παρέχει τα κατάλληλα επίπεδα τάσης (+/-12V) στο σήμα και το αντιστρέφει ώστε να πληρεί τις απαιτήσεις του πομποδέκτη. Το κύκλωμα που προτείνεται από το datasheet για τη διασύνδεση με την κεντρική μονάδα παρουσιάζεται παρακάτω[28].



ΣΧΗΜΑ 4.22 – ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΥΠΙΚΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕΣΩ ΘΥΡΑΣ RS232[28]

Ως σύστημα συλλογής δεδομένων, χρησιμοποιείται ηλεκτρονικός υπολογιστής, στον οποίο τα ληφθέντα δεδομένα απεικονίζονται και συλλέγονται μέσω κατάλληλου προγράμματος διαχείρισης της θύρας RS232. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το Terminal V1.9b που επιτρέπει την επιλογή ρυθμίσεων όπως αυτή του ρυθμού λήψης Baud rate.

4.4.4 Υποσύστημα Τροφοδοσίας

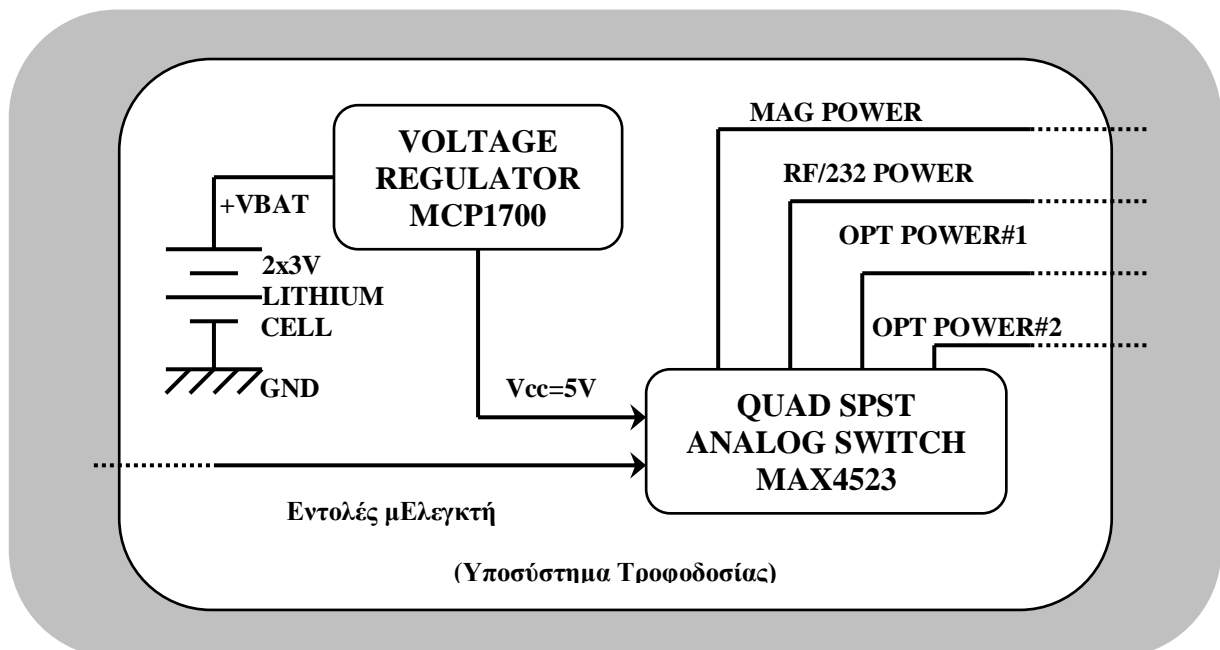
Στο εισαγωγικό σημείωμα του κεφαλαίου αυτού, αναφέρθηκε πως η τροφοδοσία είναι ουσιαστικά το πρωταρχικό στάδιο του συστήματος αυτού. Αυτή επιλέγεται να είναι το επίπεδο τάσης των 5V το οποίο θα δημιουργείται από μια συστοιχία δύο μπαταριών λιθίου 3V έκαστη. Παρατηρείται επομένως πως θα χρειαστεί στο υποσύστημα αυτό πρωτίστως ένας ρυθμιστής τάσης που θα παρέχει την κατάλληλη για τα επιλεχθέντα στοιχεία τάση τροφοδοσίας.

Ο δεύτερος κατασκευαστικός περιορισμός είναι η επιθυμητή επιλεγμένη από τον μΕλεγκτή τροφοδοσία των επιμέρους υποσυστημάτων που αναλύθηκαν, κατά τις απαιτούμενες προκαθορισμένες χρονικές διάρκειες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η παρεμπόδιση παρεμβολής από την ταυτόχρονη συλλογή δειγμάτων μέσω του υποσυστήματος αισθητήρων και τη χρήση του RF πομποδέκτη. Επιπλέον η επιλεγμένη αυτή τροφοδοσία καταλήγει σε μειωμένη κατανάλωση ισχύος από τη διαχείριση της λειτουργίας ή μη των επιμέρους υποσυστημάτων.

Η δημιουργία των ανεξάρτητων γραμμών επιλογής τροφοδοσίας, επιτυγχάνεται μέσω ενός αναλογικού τετραπλού διακόπτη τάσης που προσφέρεται σε μορφή ολοκληρωμένου. Η επιλογή της τροφοδότησης ή μη της κάθε γραμμής επιτελείται από τον μΕλεγκτή μέσω του λογισμικού με το οποίο θα προγραμματιστεί, και επιτυγχάνεται με τη διασύνδεση της εκάστοτε γραμμής τροφοδοσίας στην βασική τάση των 5V, όποτε αυτό χρειαστεί. Οι ανεξάρτητες αυτές γραμμές αριθμούν τέσσερις και είναι οι ακόλουθες.

- **MAG POWER** : Τροφοδοτεί τα Υποσυστήματα Μαγνητικού Αισθητήρα και Ενίσχυσης
- **RF/232 POWER**: Τροφοδοτεί το Υποσύστημα Επικοινωνίας (Σειριακής και Ασύρματης)
- **OPT POWER1** : Γραμμή τροφοδότησης για ενδεχόμενο επιπλέον Υποσύστημα αισθητήρα #1
- **OPT POWER2** : Γραμμή τροφοδότησης για ενδεχόμενο επιπλέον Υποσύστημα αισθητήρα #2

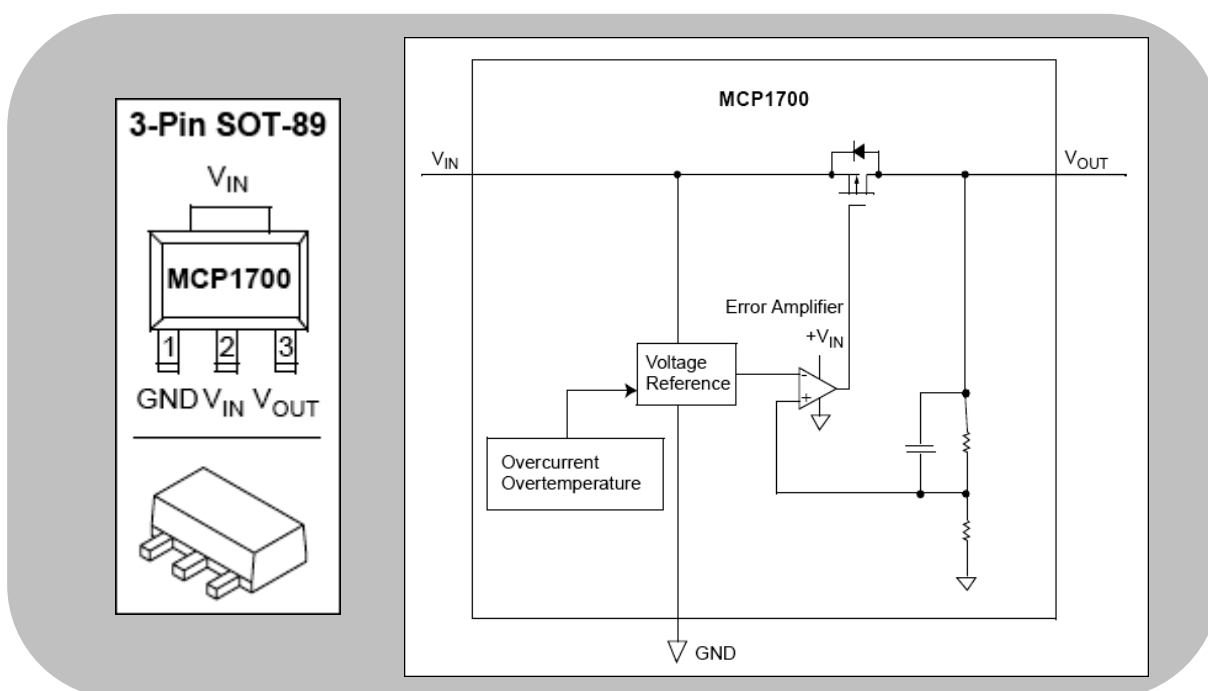
Το σχηματικό διάγραμμα του υποσυστήματος τροφοδοσίας παρουσιάζεται κάτωθι.



ΣΧΗΜΑ 4.23 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

4.4.4.1 Ρυθμιστής Τάσης

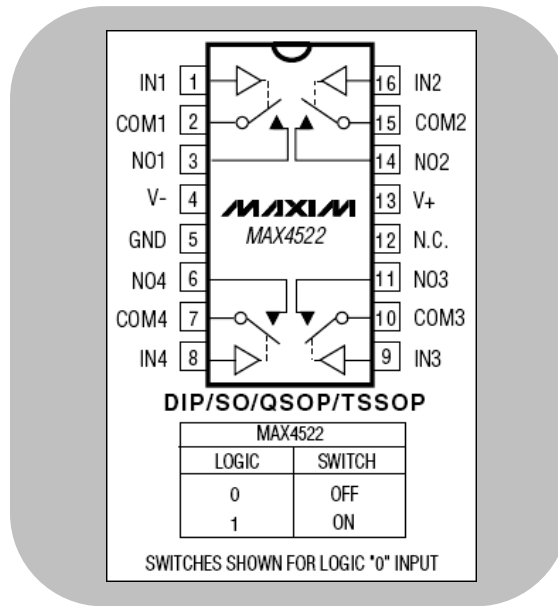
Το MCP1700 της εταιρείας MICROCHIP, αποτελεί μέλος της οικογένειας των CMOS LDO (low dropout) ρυθμιστών τάσεως, με χαρακτηριστικά την απόδοση μέχρι και 250 mA ρεύματος και την κατανάλωση μόνο 1.6μΑ ρεύματος ηρεμίας. Η τάση εισόδου κυμαίνεται στα 2.3-6.0V ώστε να είναι ιδανικό σε εφαρμογές τροφοδότησης από ένα, δυο ή και τρία στοιχεία μπαταρίας. Ανάλογα η τάση εξόδου κυμαίνεται από 1.2-5.0V και είναι σταθερή εφόσον χρησιμοποιηθεί χωρητικότητα εξόδου τουλάχιστον 1μF. Επιπλέον ενσωματώνονται ένα όριο υπερρεύματος και διακοπή λειτουργίας από υπερθέρμανση προσφέροντας έτσι μια αξιόπιστη επιλογή. Στην υπό μελέτη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε το MCP1700T-5002E/MB που αποτελεί την επιλογή του πακέτου SOT-89 με τάση εξόδου 5V. Ένα διάγραμμα της εσωτερικής δομής του, όπως και απεικόνιση της μορφής του πακέτου που επιλέχθηκε παρουσιάζονται ακολούθως[29].



**ΣΧΗΜΑ 4.24 – α) ΠΑΚΕΤΟ SOT-89 ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ ΤΟΥ MCP1700Τ
β) ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΟΥ ΔΟΜΗΣ[29]**

4.4.4.2 Αναλογικός Διακόπτης

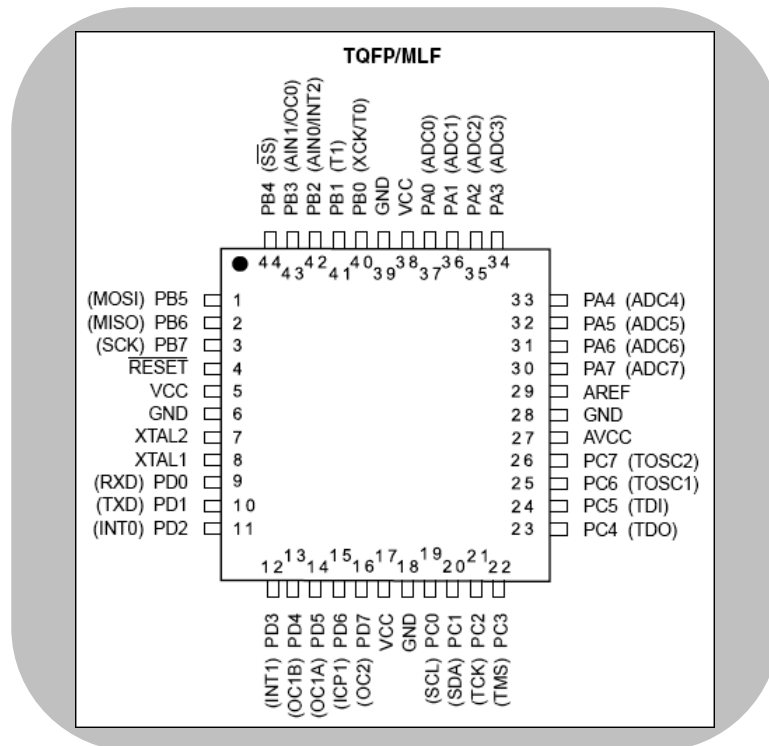
Το MAX4522 της Maxim που χρησιμοποιούμε, αποτελεί έναν τετραπλό αναλογικό διακόπτη τύπου single-pole/single-throw (SPST). Συγκεκριμένα το μοντέλο 4522 περιέχει τέσσερις κανονικά ανοικτούς (NO-Normally Open) διακόπτες CMOS. Αυτοί μπορούν να λειτουργήσουν με διπλές τροφοδοσίες τιμών από ±2V μέχρι ±6V ή μονή τροφοδοσία τιμής μεταξύ +2V και +12V. Επιπλέον το ολοκληρωμένο πληρεί τις προδιαγραφές λογικής TTL/CMOS ψηφιακών εισόδων με λογικά κατώφλια +0.8V και +2.4V, όταν η τροφοδοσία είναι ±5V ή μια μονή των +5V. Το διάγραμμα εσωτερικής δομής του είναι το επόμενο και η συσκευασία που επιλέχθηκε είναι η SOIC16[30].



ΣΧΗΜΑ 4.25 – ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ ΤΟΥ MAX4522 ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΟΥ ΔΟΜΗΣ[30]

4.4.5 Μικροελεγκτής ATmega32

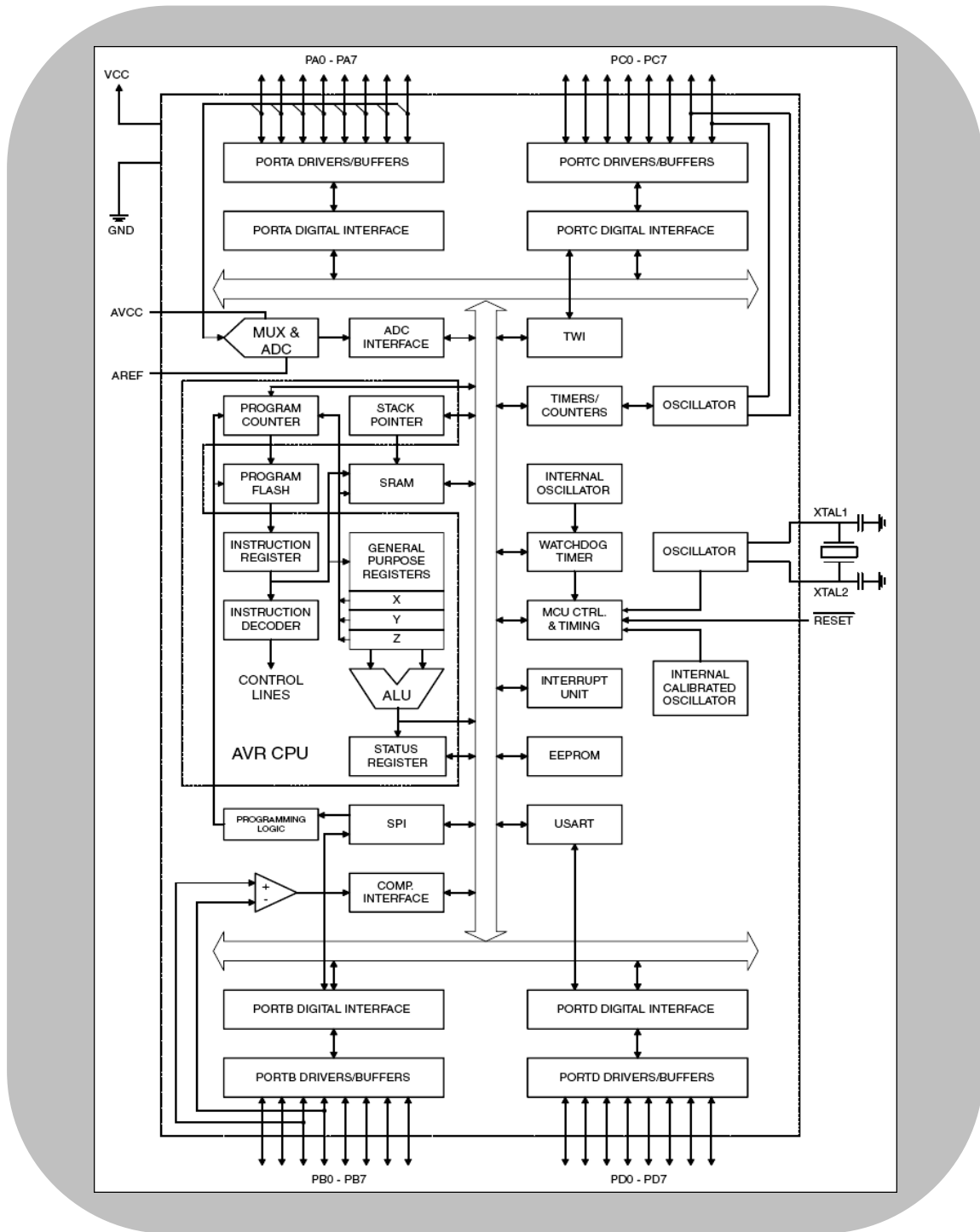
Ο μικροελεγκτής στο συγκεκριμένο σύστημα, όπως και σε κάθε διάταξη που περιλαμβάνει αισθητήρες και γενικά περιφερειακά, αποτελεί το βασικότερο δομικό στοιχείο που ελέγχει τα υποσυστήματα και επιτελεί λογικές λειτουργικές διεργασίες. Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ο χρησιμοποιούμενος ATmega32 της εταιρείας Atmel και θα αναλυθούν τα κυριότερα δομικά υποσυστήματα του. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το SMT πακέτο δομής 44 ακροδεκτών που χρησιμοποιήθηκε.



ΣΧΗΜΑ 4.26 – ΠΑΚΕΤΟ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ ΤΟΥ ATmega32[31]

4.4.5.1 Παρουσίαση της δομής του Atmega32

Ο ATmega32 είναι ένας 8-bit CMOS μικροελεγκτής χαμηλής κατανάλωσης ισχύος βασισμένος στην βελτιωμένη AVR RISC αρχιτεκτονική. Με την εκτέλεση ισχυρών εντολών σε έναν μόνο κύκλο μηχανής, επιτυγχάνει διεκπεραιωτική ικανότητα που πλησιάζει τις 1 MIPS (Million Instructions Per Second) ανά MHz συχνότητας λειτουργίας. Αυτό επιτρέπει στον σχεδιαστή να βελτιστοποιήσει την κατανάλωση ισχύος σε αντιπαράθεση με την υπολογιστική ταχύτητα. Ένα μπλοκ διάγραμμα της εσωτερικής του δομής παρουσιάζεται παρακάτω.



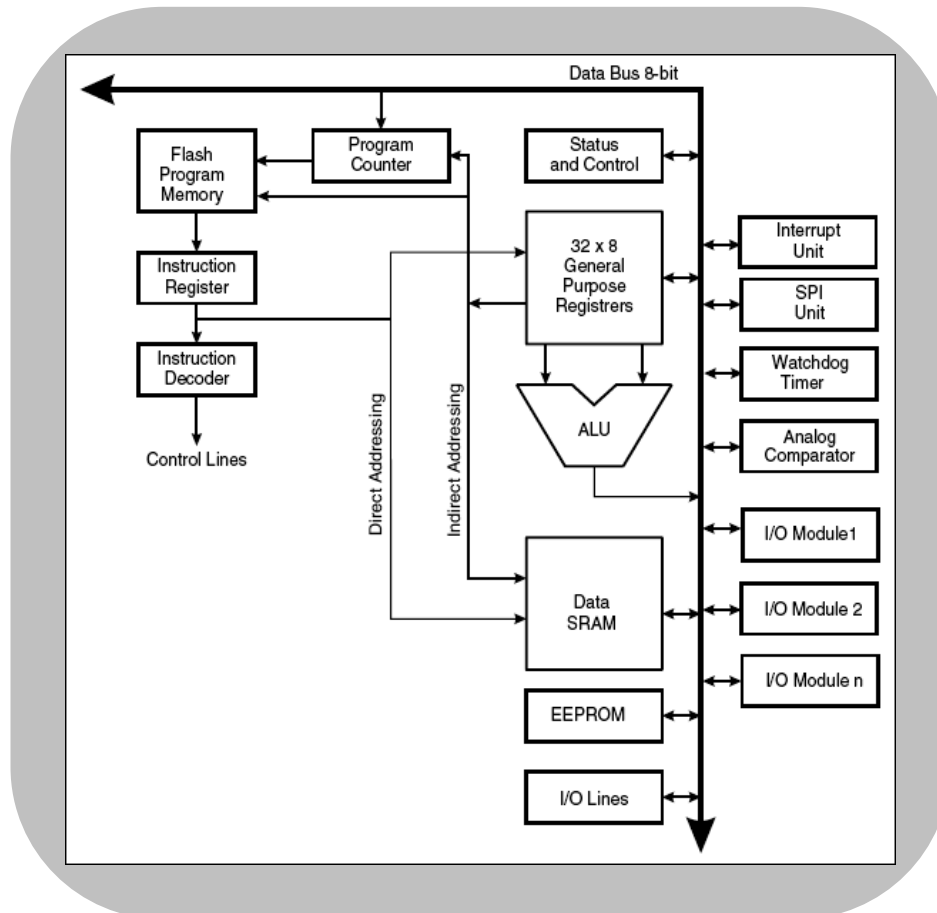
ΣΧΗΜΑ 4.27 – ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ATmega32[31]

Οι ακροδέκτες του μικροελεγκτή περιγράφονται ακολούθως.

- **Vcc:** Τάση τροφοδοσίας
- **GND:** Γείωση
- **Port A (PA7..PA0):** Η θύρα A αποτελεί την αναλογική είσοδο στον A/D μετατροπέα. Εάν αυτός δεν χρησιμοποιείται, τότε αναλογεί σε μια 8-bit αμφίδρομη θύρα. Οι ακροδέκτες PA0 έως PA7 είναι τρισταθείς (tri-stated) όταν ενεργοποιείται μια συνθήκη reset, ακόμα και εάν το ρολόι δεν τρέχει.
- **Port B (PB7..PB0):** Η θύρα B είναι επίσης μια 8-bit αμφίδρομη θύρα εισόδου/εξόδου, αρχικοποιημένες εξίσου ως τρισταθείς μετά από μια συνθήκη reset. Η θύρα αυτή εξυπηρετεί επίσης τις λειτουργίες ορισμένων ειδικών χαρακτηριστικών του ATmega32.
- **Port C (PC7..PC0):** Ομοίως αποτελεί μια 8-bit αμφίδρομη θύρα εισόδου/εξόδου αρχικοποιημένη ως τρισταθείς μετά από μια συνθήκη reset. Εξυπηρετεί επίσης τις λειτουργίες του JTAG interface και μερικά άλλα ειδικά χαρακτηριστικά.
- **Port D (PD7..PD0):** Ομοίως ως θύρα. Μπορεί να εξυπηρετεί και άλλα ειδικά χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή.
- **(RESET)':** Είσοδος reset. Μια χαμηλή στάθμη τάσης στον ακροδέκτη αυτό για περισσότερο από τον ελάχιστο δυνατό μήκος παλμού, θα ενεργοποιήσει μια συνθήκη reset ακόμα και αν το ρολόι δεν τρέχει.
- **XTAL1:** Είσοδος στον αναστρέφοντα ταλαντωτή και είσοδος στο εσωτερικό κύκλωμα χρονισμού.
- **XTAL2:** Έξοδος από τον ταλαντωτή
- **AVCC:** Αποτελεί τον ακροδέκτη παροχής τάσης για τη θύρα A και τον A/D μετατροπέα. Πρέπει να συνδεθεί εξωτερικά με το Vcc, ακόμα και εάν ο ADC δεν χρησιμοποιείται. Εάν όμως χρησιμοποιείται η σύνδεση προς την Vcc θα πρέπει να γίνει μέσω ενός low-pass φίλτρου.
- **AREF:** Ο ακροδέκτης αυτός αποτελεί την αναλογική τάση αναφοράς του ADC.

4.4.5.2 Ο πυρήνας του Atmega32

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του πυρήνα AVR. Η βασική λειτουργία αυτού είναι η εξασφάλιση της ορθής εκτέλεσης του προγράμματος. Η CPU πρέπει επομένως να δύναται να προσπελαύνει μνήμες, να επιτελεί λογικές πράξεις, να ελέγχει τα περιφερειακά και να εξυπηρετεί διακοπές. Ένα μπλοκ διάγραμμα της κεντρικής μονάδας ελέγχου είναι το ακόλουθο.



ΣΧΗΜΑ 4.28 – ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ -MCU[31]

Για την μεγιστοποίηση της απόδοσης ο AVR χρησιμοποιεί την Harvard αρχιτεκτονική, διαθέτοντας διαφορετικές μνήμες και διαύλους για το πρόγραμμα και τα δεδομένα. Η αρχιτεκτονική αυτή επιτρέπει οι εντολές να έχουν διαφορετικό μήκος σε δυαδικά ψηφία από τα δεδομένα. Δίνεται η δυνατότητα να επιλέγεται, ανάλογα με το πλήθος των εντολών, το κατάλληλο μήκος της λέξης εντολής ώστε να επιτυγχάνεται η κωδικοποίηση της κάθε εντολής σε μία μόνο λέξη με αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της ταχύτητας ανάκλησης. Οι εντολές στο πρόγραμμα εκτελούνται με τη μέθοδο της σωλήνωσης, έτσι ώστε ενώ μια εντολή εκτελείται η επόμενη ανακαλείται από τη μνήμη προγράμματος. Η σχεδίαση αυτή επιτρέπει οι εντολές να εκτελούνται σε έναν κύκλο ρολογιού. Η μνήμη προγράμματος είναι μια ενσωματωμένη αναπρογραμματιζόμενη μνήμη τύπου flash.

Ο γρήγορης προσπέλασης (σε έναν κύκλο ρολογιού) Register File, περιέχει 32 8-bit καταχωρητές γενικής χρήσης. Αυτό επιτρέπει λειτουργία της ALU σε έναν κύκλο, με τυπική μορφή την έξοδο δυο τελεστών από τον Register File, την επιτέλεση της εντολής και την αποθήκευση του αποτελέσματος πάλι πίσω στον RF. Έξι από τους καταχωρητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τρεις 16-bit έμμεσους καταχωρητές διευθύνσεων, επιτρέποντας αποδοτικούς υπολογισμούς διευθύνσεων ή ακόμα και τη χρησιμοποίηση ενός από αυτών ως δείκτη για προσπέλαση πινάκων στην μνήμη προγράμματος.

Η AVR ALU, λειτουργεί με απευθείας σύνδεση και με τους 32 γενικής χρήσης καταχωρητές. Κατά τη διάρκεια ενός κύκλου ρολογιού επιτελούνται αριθμητικές πράξεις μεταξύ καταχωρητών. Οι πράξεις της ALU διαιρούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Τις αριθμητικές, τις λογικές και τις πράξεις bit (Μερικές παραλλαγές αυτής της αρχιτεκτονικής παρέχουν επίσης και έναν πολλαπλασιαστή που υποστηρίζει εξίσου πολλαπλασιασμό και κλασματική μορφή με πρόσημο ή χωρίς).

Ο καταχωρητής Κατάστασης (status register), περιέχει πληροφορίες σχετικά με το αποτέλεσμα των πιο πρόσφατων αριθμητικών πράξεων. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αλλάξουν τη ροή του προγράμματος, με σκοπό να επιτελέσουν λειτουργίες υπό συνθήκη. Σημειώνεται πως ο καταχωρητής Κατάστασης ανανεώνεται μετά από όλες τις πράξεις της ALU, απαλλάσσοντας τον χρήστη από την ανάγκη χρησιμοποίησης των αποκλειστικών εντολών σύγκρισης και καταλήγοντας σε έναν πιο γρήγορο και συνεπυγμένο κώδικα. Σημειώνεται πως ο καταχωρητής αυτός δεν αποθηκεύεται ή αποκαθίσταται αυτόματα κατά την εξυπηρέτηση μιας διακοπής ή την επιστροφή από αυτήν. Η πράξη αυτή πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στο πρόγραμμα.

Κατά τη διάρκεια διακοπών και κλήσης υπορουτινών, η διεύθυνση επιστροφής του Program Counter (PC) αποθηκεύεται στη στοίβα. Αυτή με τη σειρά της χωροθετείται εντός της γενικής μνήμης SRAM και συνεπώς το μέγεθος της περιορίζεται μόνο από το μέγεθος της συνολικής SRAM και το ποσοστό χρησιμοποίησής της. Όλα τα προγράμματα του χρήστη θα πρέπει να αρχικοποιούν τον SP στη ρουτίνα επανέναρξης, ενώ επίσης αυτός είναι προσπελάσιμος για εγγραφή και ανάγνωση μέσω των I/Os.

- **Διακοπές (Interrupts):** Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή της παραγράφου η CPU του μικροελεγκτή θα πρέπει να δύναται να εξυπηρετεί διακοπές. Ο AVR παρέχει διάφορες διακοπές, η κάθε μια από τις οποίες έχει έναν ξεχωριστό δείκτη προς τη μνήμη προγράμματος. Σε όλες τις διακοπές έχουν ανατεθεί διαφορετικά bit επίτρησης, τα οποία πρέπει να γραφούν 1 μαζί με το Γενικευμένο Bit Επίτρησης Διακοπών στον καταχωρητή Κατάστασης ώστε να ενεργοποιηθεί η διακοπή. Οι χαμηλότερες διευθύνσεις στην μνήμη προγράμματος είναι εξ ορισμού οι δείκτες reset και διακοπών. Όσο χαμηλότερη είναι η διεύθυνση τόσο μεγαλύτερη είναι η προτεραιότητα της συγκεκριμένης διακοπής. Το reset έχει την μεγαλύτερη προτεραιότητα ακολουθούμενο από την INTO (External Interrupt Request 0).

Υπάρχουν βασικά δύο τύποι διακοπών. Ο πρώτος τύπος ενεργοποιείται από ένα γεγονός που θέτει 1 στην σημαία διακοπής. Για αυτές τις διακοπές ο Μετρητής Προγράμματος (PC) δεικτοδοτείται με τον πραγματικό δείκτη διακοπής με σκοπό την εκτέλεση της υπορουτίνας εξυπηρέτησης. Η σημαία διακοπής επαναφέρεται στο 0 πλέον μέσω hardware. Εάν μια συνθήκη διακοπής συντελεστεί ενώ το αντίστοιχο bit ενεργοποίησης έχει επανέρθει στο 0, η σημαία διακοπής θα γίνει 1 και θα παραμένει μέχρι η διακοπή να ενεργοποιηθεί ή η σημαία 'καθαριστεί' από το λογισμικό. Παρομοίως εάν μια ή περισσότερες συνθήκες διακοπών συμβούν ενώ το Γενικευμένο Bit Επίτρησης Διακοπών είναι 0, οι αντίστοιχες σημαίες διακοπών θα παραμένουν 1 μέχρι το πρώτο να γίνει και αυτό 1 και τότε οι διακοπές θα πραγματοποιηθούν με σειρά προτεραιότητας.

Ο δεύτερος τύπος διακοπών ενεργοποιείται ενόσω η συνθήκη διακοπής είναι παρούσα. Αυτές οι διακοπές δεν έχουν απαραίτητως σημαίες. Αν η συνθήκη διακοπής παύσει πριν αυτή ενεργοποιηθεί, τότε αυτή δεν πρόκειται να ενεργοποιηθεί ύστερα.

Όταν ο AVR βγαίνει από μια υπορουτίνα διακοπής, επιστρέφει πάντα στο κυρίως πρόγραμμα και εκτελεί μια ακόμα εντολή πριν από την εξυπηρέτηση οποιασδήποτε εκκρεμούς διακοπής. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο καταχωρητής Κατάστασης δεν αποθηκεύεται ή αποκαθίσταται αυτόματα κατά την εξυπηρέτηση μιας διακοπής ή την επιστροφή από αυτήν και πρέπει να προνοηθεί να συμπεριληφθεί η ενέργεια αυτή εντός του προγράμματος[31].

Οι δείκτες του reset και των διακοπών παρουσιάζονται ακολούθως.

Αριθμός Δείκτη	Διεύθυνση Προγράμματος	Πηγή	Ορισμός Διακοπής
1	\$000	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset, Watchdog Reset, and JTAG AVR Reset
2	\$002	INT0	External Interrupt Request 0
3	\$004	INT1	External Interrupt Request 1
4	\$006	INT2	External Interrupt Request 2
5	\$008	TIMER2 COMP	Timer/Counter2 Compare Match
6	\$00A	TIMER2 OVF	Timer/Counter2 Overflow
7	\$00C	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
8	\$00E	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
9	\$010	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
10	\$012	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
11	\$014	TIMER0 COMP	Timer/Counter0 Compare Match
12	\$016	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
13	\$018	SPI, STC	Serial Transfer Complete
14	\$01A	USART, RXC	USART, Rx Complete
15	\$01C	USART, UDRE	USART Data Register Empty
16	\$01E	USART, TXC	USART, Tx Complete
17	\$020	ADC	ADC Conversion Complete
18	\$022	EE_RDY	EEPROM Ready
19	\$024	ANA_COMP	Analog Comparator
20	\$026	TWI	Two-wire Serial Interface
21	\$028	SPM_RDY	Store Program Memory Ready

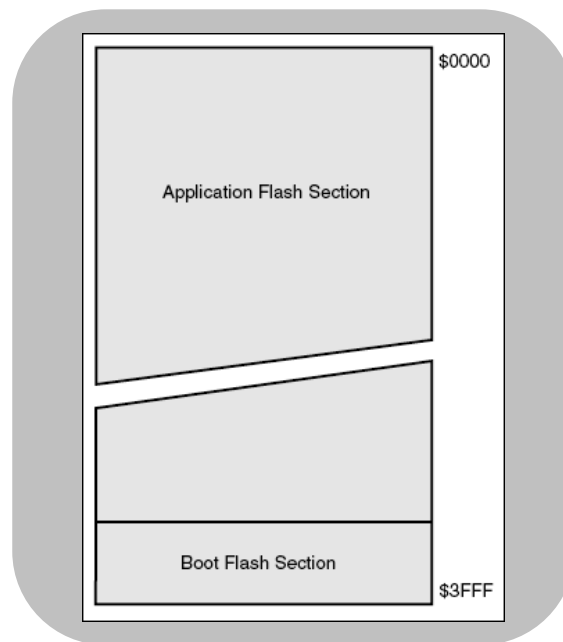
ΣΧΗΜΑ 4.29 – ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΙΚΤΩΝ reset ΚΑΙ ΔΙΑΚΟΠΩΝ[31]

4.4.5.3 Οι μνήμες του Atmega32

Η AVR αρχιτεκτονική περιέχει δύο βασικές περιοχές μνήμης, την Μνήμη Δεδομένων και την Μνήμη Προγράμματος. Επιπροσθέτως ο ATmega32 παρουσιάζει και μια μνήμη EEPROM για αποθήκευση δεδομένων.

- **Εσωτερική Επαναπρογραμματιζόμενη Μνήμη Προγράμματος τύπου Flash:**
Ο ATmega32 περιέχει 32Kbytes ενσωματωμένη επαναπρογραμματιζόμενη μνήμη τύπου Flash για αποθήκευση προγράμματος. Από τη στιγμή που όλες οι εντολές του AVR είναι μήκους 16 ή 32 bit, η μνήμη Flash είναι οργανωμένη ως 16K x 16bits. Για ασφάλεια του λογισμικού η περιοχή μνήμης Flash είναι διαχωρισμένη σε δύο επιμέρους τμήματα, αυτό του προγράμματος εκκίνησης και αυτό των προγραμμάτων εφαρμογών. Η μνήμη τύπου

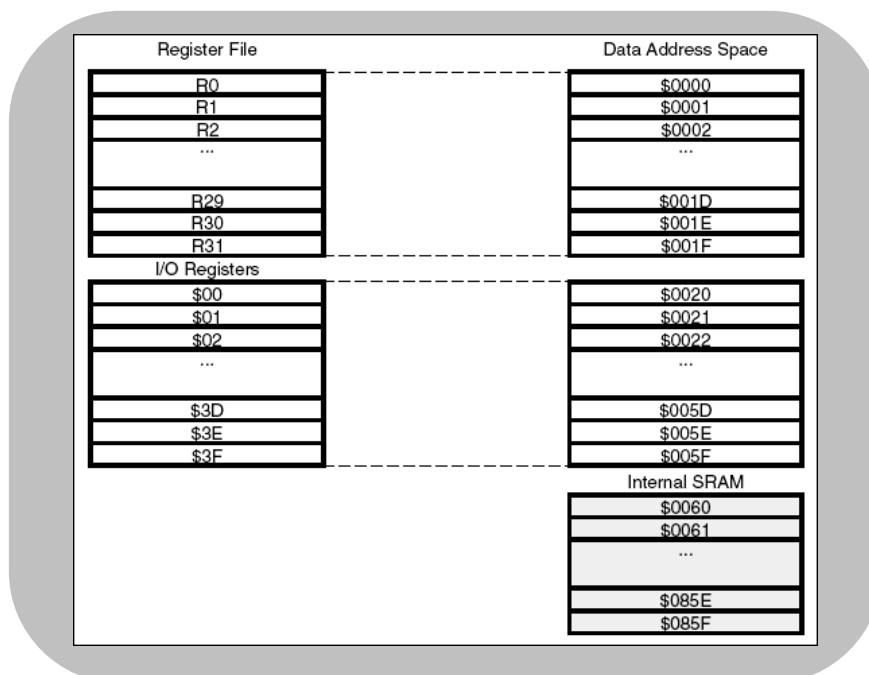
Flash έχει ανθεκτικότητα για τουλάχιστον 10.000 κύκλους εγγραφής/διαγραφής. Ο Μετρητής Προγράμματος (PC) είναι μήκους 14bit, δεδομένου ότι πρέπει να διευθυνσιοδοτεί τις 16K υποπεριοχές της μνήμης προγράμματος.



ΣΧΗΜΑ 4.30 – ΧΑΡΤΗΣ ΜΝΗΜΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ[31]

- **Μνήμη Δεδομένων SRAM:**

Οι χαμηλότερες 2144 διευθύνσεις της μνήμης Δεδομένων, δεικτοδοτούν τον Καταχωρητή Προγράμματος (Register File), τη μνήμη Εισόδων/Εξόδων (I/O Memory) (οι πρώτες 96 για τις δύο αυτές υποπεριοχές) και την εσωτερική μνήμη SRAM (οι υπόλοιπες 2048 διευθύνσεις). Οι 32 γενικής χρήσης καταχωρητές, οι 64 καταχωρητές εισόδων/εξόδων και τα 2048bytes της εσωτερικής SRAM παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα



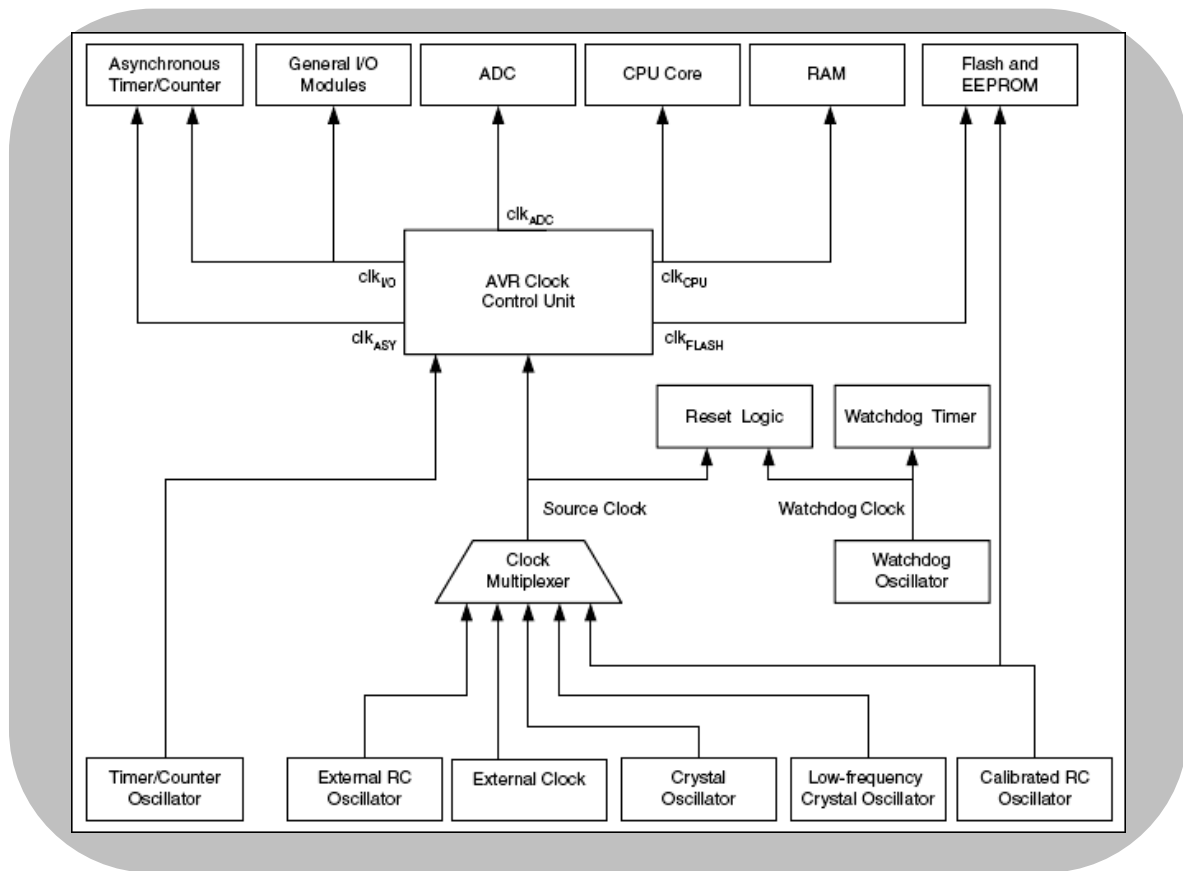
ΣΧΗΜΑ 4.31 – ΧΑΡΤΗΣ ΜΝΗΜΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SRAM[31]

- **EEPROM Data Memory:**

Ο ATmega32 περιέχει 1024 bytes μνήμης Δεδομένων EEPROM. Είναι οργανωμένη ως μια ξεχωριστή περιοχή δεδομένων, στην οποία μεμονωμένα bytes μπορούν γραφθούν και να αναγνωστούν. Η ανθεκτικότητα της μνήμης EEPROM είναι τουλάχιστον 100.000 κύκλων εγγραφής/διαγραφής[31].

4.4.5.4 Το ρολόι του Atmega32

Στο επόμενο σχήμα 4.32 παρουσιάζονται τα κυριότερα υποσυστήματα του ρολογιού στον AVR και η κατανομή αυτών. Όλα τα ρολόγια πρέπει να είναι ανενεργά μια δεδομένη χρονική στιγμή. Με σκοπό την μείωση της κατανάλωσης ισχύος, τα ρολόγια των υποσυστημάτων που δεν χρησιμοποιούνται μπορούν να καταστέλλουν τη λειτουργία τους ενεργοποιώντας διαφορετικές καταστάσεις ‘ύπνωσης’.



ΣΧΗΜΑ 4.32 – ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΡΟΛΟΓΙΟΥ[31]

- **CPU Clock – clk_{CPU} :**

Το ρολόι της CPU δρομολογείται σε στοιχεία του συστήματος που είναι άμεσα συνδεδεμένα με τη λειτουργία του πυρήνα του AVR. Παραδείγματα αυτών είναι οι Γενικής Χρήσης καταχωρητές, ο καταχωρητής Κατάστασης και η μνήμη Δεδομένων που συγκρατεί το Δείκτη Στοιβάς. Παύση του CPU ρολογιού κωλύει τον πυρήνα από την επιτέλεση διαφόρων λειτουργιών και την εκτέλεση πράξεων.

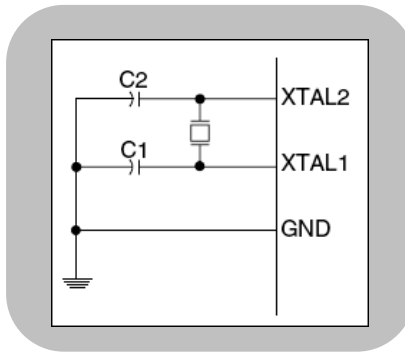
- **I/O Clock – $clk_{I/O}$:**
Το ρολόι I/O χρησιμοποιείται από την πλειονότητα των υποσυστημάτων εισόδων/εξόδων όπως οι Χρονιστές/Μετρητές (Timer/Counters), SPI και το USART. Το I/O ρολόι χρησιμοποιείται επίσης από το υποσύστημα Εξωτερικών Διακοπών, αλλά πρέπει να σημειωθεί πως ορισμένες εξωτερικές διακοπές εξυπηρετούνται με ασύγχρονη λογική, δηλαδή ακόμα και αν το I/O ρολόι είναι σταματημένο.
- **Flash Clock – clk_{FLASH} :**
Το ρολόι Flash, ελέγχει την λειτουργία του Flash interface. Το ρολόι αυτό είναι συνήθως ενεργό ταυτόχρονα με το ρολόι της CPU.
- **Asynchronous Timer Clock – clk_{ASY} :**
Το ρολόι Ασύγχρονου Χρονιστή (Asynchronous Timer), επιτρέπει σε αυτόν να ρυθμίζεται άμεσα από έναν εξωτερικό κρύσταλλο 32 kHz. Ο χρονιστής-μετρητής αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και εάν η συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση 'ύπνωσης'.
- **ADC Clock – clk_{ADC} :**
Ο μετατροπέα A/D έχει ένα αποκλειστικό ρολόι. Αυτό επιτρέπει να καταστέλλεται η λειτουργία της CPU και των ρολογιών I/Os με σκοπό την μείωση του θορύβου που παράγεται από τα ψηφιακά κυκλώματα. Τα αποτελέσματα επομένως της μετατροπής είναι πιο ακριβή.

Ο ATmega32 μπορεί να έχει διάφορες πηγές χρονισμού. Αυτές επιλέγονται από τα Flash Fuse Bits, όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί.

Επιλογή Πηγής Χρονισμού Συσκευής	CKSEL3..0
Εξωτερικός Κρύσταλλος/ Κεραμικός Ταλαντωτή	1111 - 1010
Εξωτερικός Κρύσταλλος Χαμηλής Συχνότητας	1001
Εξωτερικός RC Ταλαντωτής	1000 - 0101
Ρυθμιζόμενος Εσωτερικός RC Ταλαντωτής	0100 - 0001
Εξωτερικό Ρολόι	0000

ΣΧΗΜΑ 4.33 – ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ[31]

Για την περίπτωση του εξωτερικού κρυστάλλου, χρησιμοποιούνται τα XTAL1 και XTAL2 που είναι αντίστοιχα η είσοδος και η έξοδος ενός ανάστροφου ενισχυτή ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ταλαντωτής. Η σύνδεση του κρυστάλλου γίνεται όπως στο σχήμα 4.34. Οι C1 και C2 πρέπει να είναι πάντα ίδιοι και για τους κρυστάλλους και για τους ταλαντωτές.

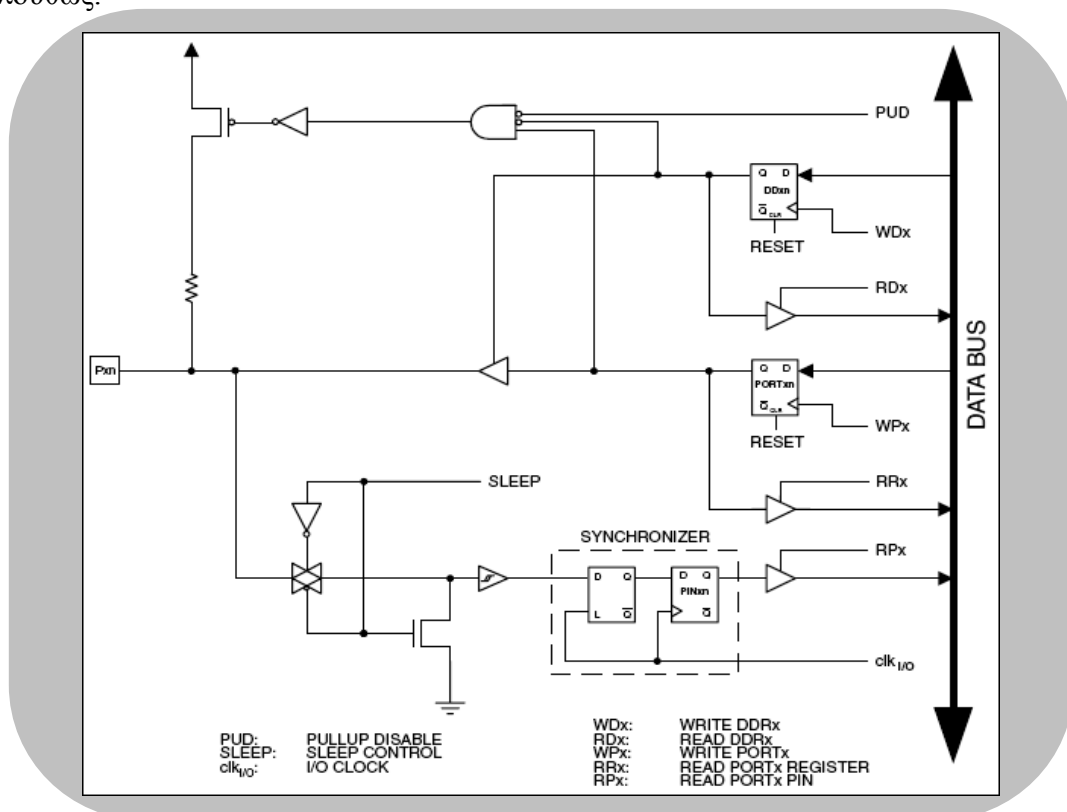


ΣΧΗΜΑ 4.34 – ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΥ[31]

Συγκεκριμένα στην παρούσα εφαρμογή μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ο εσωτερικός χρονισμός, πράγμα όμως που οδηγούσε σε σφάλμα κατά την ασύρματη μετάδοση. Έτσι τελικά χρησιμοποιήθηκε ένας εξωτερικός των 11.0592MHz που όπως θα παρουσιαστεί έλυσε το πρόβλημα[31].

4.4.5.5 Θύρες Εισόδου/Εξόδου του Atmega32

Γενικά οι θύρες αποτελούν ένα σύνολο ακροδεκτών του μικροελεγκτή οι οποίοι μπορούν να προσπελαστούν ταυτόχρονα, να τους αντιστοιχηθεί ένας συνδυασμός λογικών ‘0’ και ‘1’ ή να φανερώσουν την κατάσταση μιας περιφερειακής συσκευής που είναι συνδεδεμένη σε αυτούς. Σε φυσικό επίπεδο, η θύρα αποτελεί έναν καταχωρητή, ο οποίος συνδέεται με το μΕ. Χρησιμοποιείται για να παρακολουθήσει ή να ελέγξει την κατάσταση εξωτερικών συσκευών ή περιφερειακών. Στον ATmega32 οι θύρες είναι αμφίδρομες. Ένα λειτουργικό μπλοκ διάγραμμα ενός ακροδέκτη μιας γενικής θύρας, που εδώ ονομάζεται Pxn, φαίνεται ακολούθως.



ΣΧΗΜΑ 4.35 – ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΑΚΡΟΔΕΚΤΗ ΘΥΡΑΣ ΤΟΥ ATmega32[31]

Σε κάθε ακροδέκτη θύρας αντιστοιχούν τρία bit καταχωρητή. Τα DDxn, PORTxn και PINxn.

Το DDxn στον DDRx καταχωρητή επιλέγει την κατεύθυνση του ακροδέκτη. Αν αυτό είναι στο λογικό 1, τότε ο ακροδέκτης θεωρείται ακροδέκτης εξόδου. Αν του αντιστοιχεί το λογικό 0 τότε αποτελεί έναν ακροδέκτη εισόδου.

Από την άλλη εάν στο PORTxn έχει αντιστοιχηθεί λογικό 1 ενώ ο ακροδέκτης είναι προσαρμοσμένος ως εισόδου, τότε η αντίσταση pull-up ενεργοποιείται. Για να απενεργοποιηθεί πρέπει να γραφεί στο PORTxn 0 ή να χαρακτηριστεί ο ακροδέκτης ως ακροδέκτης εξόδου. Γενικά οι ακροδέκτες των θυρών είναι τρισταθείς όταν μια συνθήκη reset ενεργοποιείται, ακόμα και κανένα ρολόι να μην είναι ενεργοποιημένο. Αν το PORTxn είναι 1 όταν ο ακροδέκτης είναι προσαρμοσμένος ως έξοδος, τότε η έξοδος σε αυτόν θα είναι σε υψηλό επίπεδο τάσης. Αντίθετα αν το PORTxn είναι 0 ενώ ο ακροδέκτης συμπεριφέρεται ως έξοδος, τότε αυτή θα είναι το λογικό χαμηλό επίπεδο τάσης.

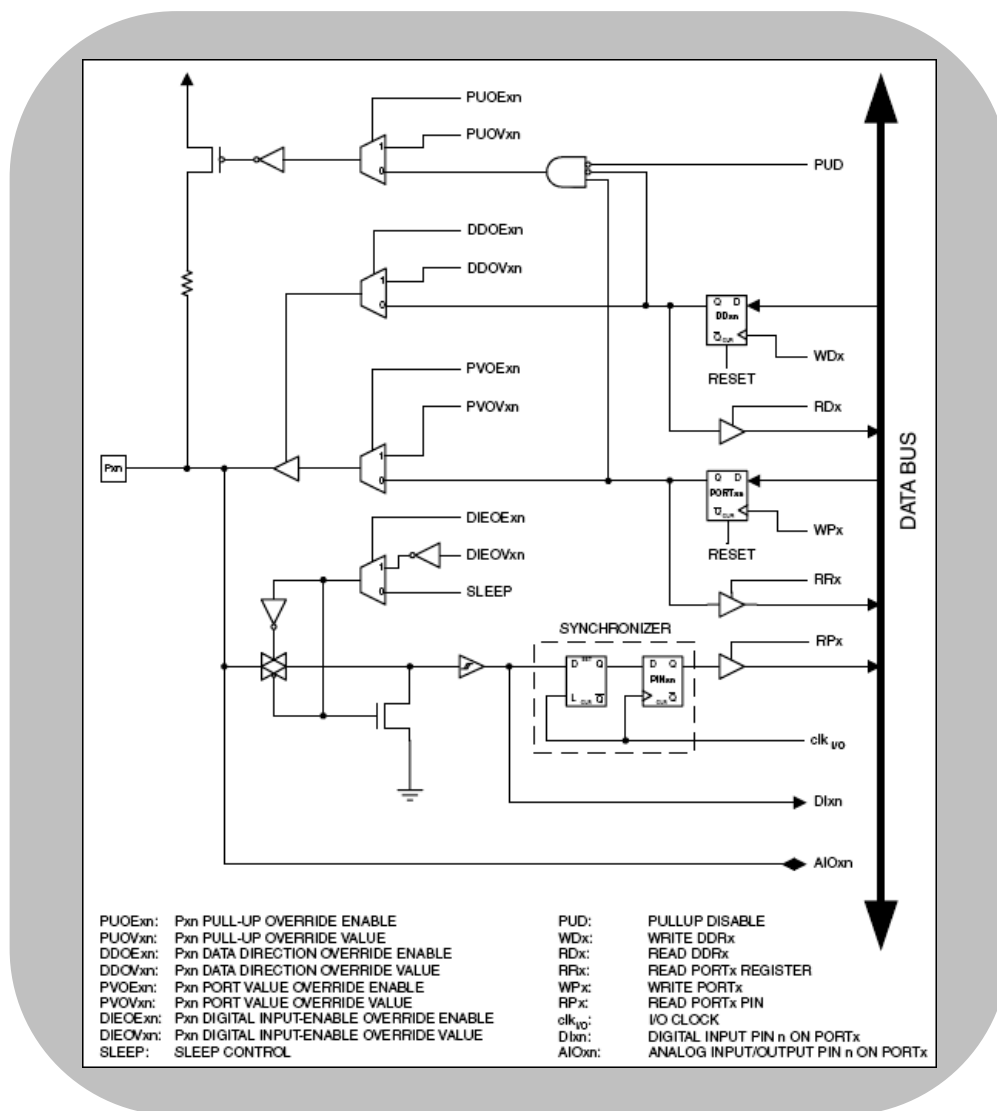
Ανεξάρτητα από την τιμή κατεύθυνσης του DDxn bit, ο ακροδέκτης μπορεί να διαβαστεί από το PINxn bit καταχωρητή.

Ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας των σημάτων ελέγχου των ακροδεκτών

DDxn	PORTxn	PUD (στο FIOR)	I/O	Pull-up	Σχόλιο
0	0	X	Είσοδος	OXI	Tri-state (Hi-Z)
0	1	0	Είσοδος	NAI	Pxn will source current if ext. pulled low.
0	1	1	Είσοδος	OXI	Tri-state (Hi-Z)
1	0	X	Έξοδος	OXI	Output Low (Sink)
1	1	X	Έξοδος	OXI	Output High (Source)

ΣΧΗΜΑ 4.36 – ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ ΤΟΥ ATmega32[31]

Σημειώνεται επίσης πως οι περισσότεροι ακροδέκτες έχουν και εναλλακτικές λειτουργίες εκτός από το να είναι γενικές ψηφιακές εισοδοί/έξοδοι. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται πως τα σήματα ελέγχου του ακροδέκτη μιας θύρας, μπορούν παρακαμφθούν από εναλλακτικές λειτουργίες. Τα σήματα παράκαμψης μπορεί να μην είναι υπαρκτά σε όλους τους ακροδέκτες, αλλά το σχήμα αποτελεί μια γενική περιγραφή εφαρμόσιμη σε όλους τους ακροδέκτες της οικογένειας AVR[31].



ΣΧΗΜΑ 4.36 – ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΚΡΟΔΕΚΤΗ ΘΥΡΑΣ ΤΟΥ ATmega32[31]

4.4.5.6 Περιφερειακά του Atmega32

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν οι περιφερειακές συσκευές του μικροελεγκτή που επιλέχθηκε και θα παρουσιαστούν αυτές των οποίων θα γίνει χρήση. Συγκεκριμένα ο ATmega32 περιέχει:

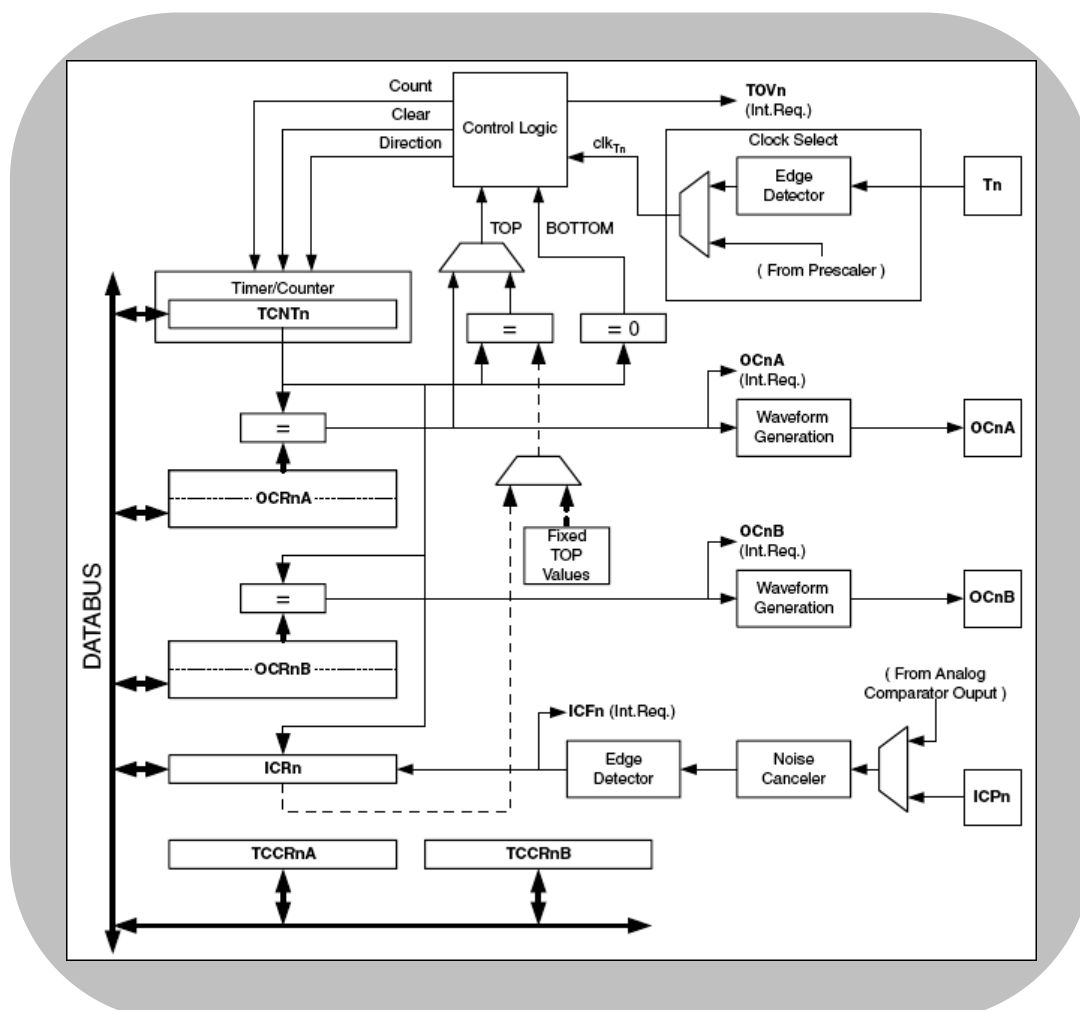
- Δυο 8-bit Χρονοστάτες/Μετρητές (Timer/Counters) με ξεχωριστούς Prescalers
- Έναν 16-bit Χρονοστή/Μετρητή επίσης με ξεχωριστό Prescaler, Compare Mode και Capture Mode
- Μετρητή πραγματικού χρόνου με ξεχωριστό ταλαντωτή
- Τέσσερα PWM κανάλια
- Οκτακάναλο 10-bit ADC
- Περιβάλλον Επικοινωνίας Δυο Συρμάτων (Two-wire Serial Interface)

- Προγραμματιζόμενη Σειριακή USART
- Master/Slave SPI Σειριακό Περιβάλλον Επικοινωνίας
- Προγραμματιζόμενος Watchdog Χρονιστής με ξεχωριστό ενσωματωμένο Ταλαντωτή
- Ενσωματωμένο Αναλογικό Συγκριτή (Analog Comparator)

Εν συνεχεία θα παρουσιαστούν συνοπτικά τα περιφερειακά που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη. Αυτά είναι ο 16bit χρονιστής, ο πομποδέκτης σύγχρονης/ασύγχρονης επικοινωνίας, το περιβάλλον επικοινωνίας δύο συρμάτων και τέλος ο 10bit μετατροπέας A/D[31].

4.4.5.6.1 Χρονιστής 16 bit

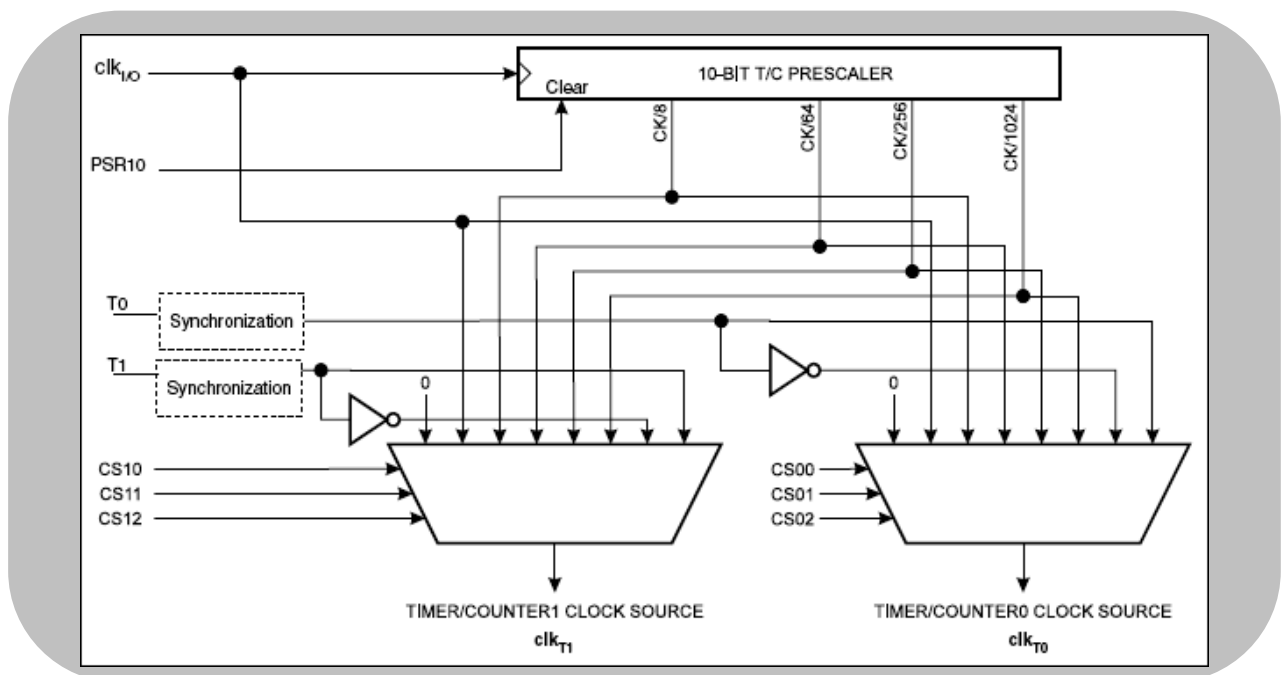
Ο 16 bit χρονιστής/μετρητής επιτρέπει ακριβή λειτουργία του προγράμματος (διαχείριση γεγονότων), δημιουργία κυματοειδών σημάτων και μέτρηση χρόνων σημάτων. Ένα απλοποιημένο μπλοκ διάγραμμα αυτού παρουσιάζεται στο κάτωθι σχήμα.



ΣΧΗΜΑ 4.37 – ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΡΟΝΙΣΤΗ/ΜΕΤΡΗΤΗ 16-bit[31]

Στην προηγούμενη εικόνα διακρίνεται η είσοδος από τον επιλογέα κλίμακας χρονισμού (prescaler), ο οποίος προγραμματίζεται μέσω λογισμικού. Ο χρονιστής Timer1, όπως αναφέρθηκε, είναι μήκους 16bit που μπορεί να πάρει τιμές από 0000h έως FFFFh. Γνωρίζοντας πως ο χρονιστής μπορεί να πάρει τη συχνότητα ρολογιού ($f_{CLK_I/O}$) αυτούσια ή μέσω του Prescaler συχνότητες $f_{CLK_I/O}/8$, $f_{CLK_I/O}/64$, $f_{CLK_I/O}/256$, or $f_{CLK_I/O}/1024$, επιλέγεται αυτή που διαιρείται δια 64. Με τον τρόπο αυτό, αφού έχει επιλεγθεί εξωτερικός κρύσταλλος συχνότητας 11.0592MHz, επιτυγχάνεται αν αρχικοποιηθεί ο Timer1 στην τιμή DE40h, ο μετρητής να χρειάζεται μέχρι την υπερχειλίση του ακριβώς 50msec. Ο χρόνος αυτός είναι ο κατάλληλος ώστε να εξυπηρετείται η διακοπή με συχνότητα 20Hz και επομένως και ο αλγόριθμος και η δειγματοληψία που εμπεριέχονται στην υπορουτίνα της διακοπής[31].

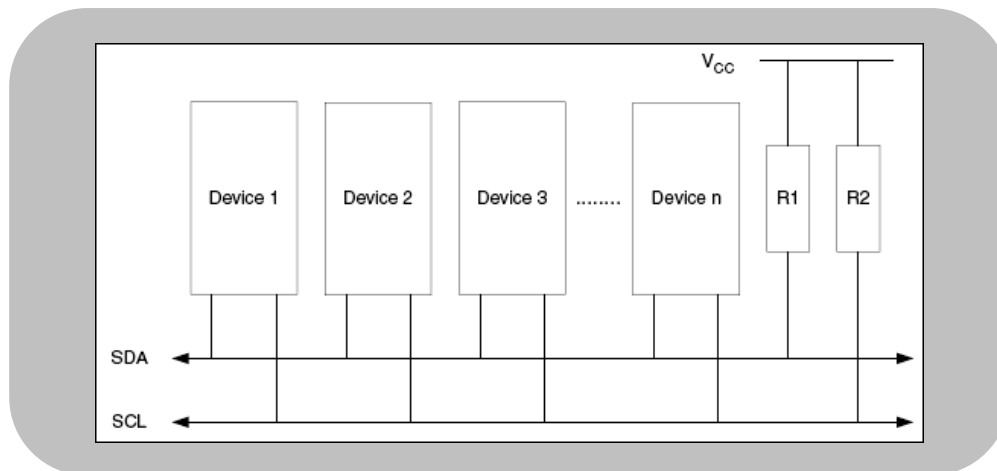
Ένα σχηματικό του Prescaler παρουσιάζεται παρακάτω.



ΣΧΗΜΑ 4.38 – ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ Prescaler ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΣΤΩΝ Timer0 ΚΑΙ Timer1 ΤΟΥ ATmega32[31]

4.4.5.6 Περιβάλλον Επικοινωνίας Δυο Συρμάτων (Two-wire Serial Interface)

Το περιβάλλον επικοινωνίας Δυο Συρμάτων (TWI), είναι ιδανικό για τυπικές εφαρμογές του μικροελεγκτή. Το πρωτόκολλο TWI επιτρέπει στον σχεδιαστή να διασυνδέσει μέχρι και 128 διαφορετικές συσκευές χρησιμοποιώντας μόνο δυο αμφίδρομες γραμμές, μια για το ρολόι (SCL) και μια για τα δεδομένα (SDA). Το μοναδικό εξωτερικό εξάρτημα που χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί για να πραγματοποιηθεί ο διάυλος, είναι μια pull-up αντίσταση για κάθε γραμμή του διαύλου. Όλες οι συνδεδεμένες συσκευές στον διάυλο έχουν διαφορετικές διευθύνσεις. Η διασύνδεση αυτή των συσκευών στον διάυλο, φαίνεται παρακάτω.



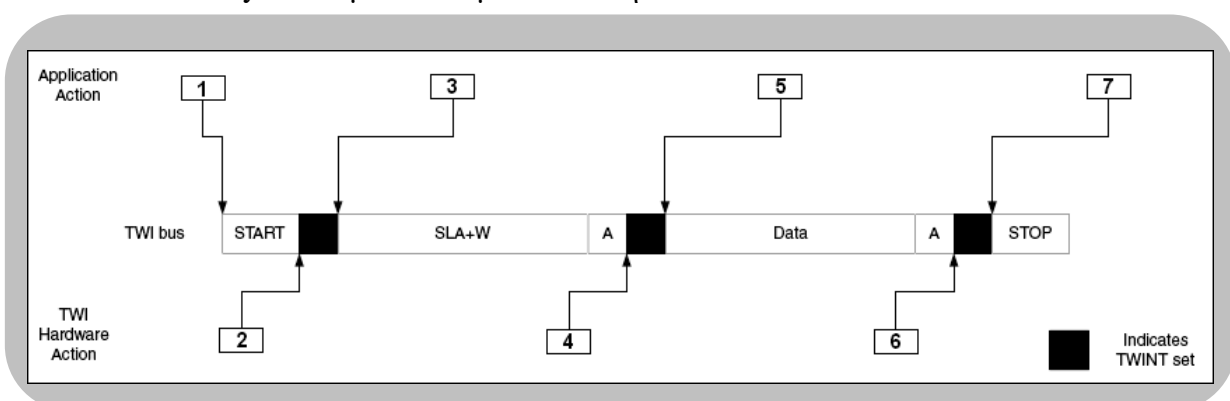
ΣΧΗΜΑ 4.39 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΣΤΟΝ ΔΙΑΔΥΛΟ ΤΟΥ TWI[31]

Οι συσκευές διακρίνονται σε

- Master: Η συσκευή που ξεκινάει και τερματίζει μια μετάδοση. Η master επίσης παράγει το ρολόι SCL.
- Slave: Η συσκευή στην οποία απευθύνεται η master
- Transmitter: Η συσκευή που θέτει δεδομένα στον διάδυλο
- Receiver: Η συσκευή που διαβάζει δεδομένα από το διάδυλο

Το πρωτόκολλο TWI του AVR είναι προορισμένο για μετάδοση bytes και βασίζεται σε διακοπές. Οι διακοπές αυτές επιτελούνται μετά από κάθε ενέργεια του διαύλου όπως η λήψη ενός byte ή η εκπομπή μιας συνθήκης start. Λόγω της χρήσης των διακοπών, η εκάστοτε εφαρμογή είναι δυνατόν να συνεχίζεται εκτελώντας άλλες λειτουργίες κατά τη διάρκεια μιας μετάδοσης ενός TWI byte. Σημειώνεται πως το TWIE (TWI Interrupt Enable) bit στον TWCR, μαζί με το γενικό bit επίτρησης διακοπής (Global Interrupt Enable) στον SREG, δίνουν τη δυνατότητα στην εκάστοτε εφαρμογή να αποφασίσει εάν μέσω της σημαίας TWINT θα εξυπηρετηθεί μια διακοπή ή όχι. Αφού η σημαία TWINT επιβεβαιωθεί, ο TWI ολοκληρώνει μια διεργασία και περιμένει την εφαρμογή να αποκριθεί. Στην περίπτωση αυτή ο TWI καταχωρητής κατάστασης TWSR περιέχει μια τιμή που υποδεικνύει την παρούσα κατάσταση του διαύλου. Η εφαρμογή μπορεί έπειτα να αποφασίσει τη λειτουργία του διαύλου στον επόμενο κύκλο, μέσω της διαχείρισης των καταχωρητών TWCR και TWDR.

Ακολουθεί και ένα παράδειγμα κατά το οποίο μια συσκευή master επιθυμεί να αποστείλει ένα byte δεδομένων σε μια συσκευή slave.



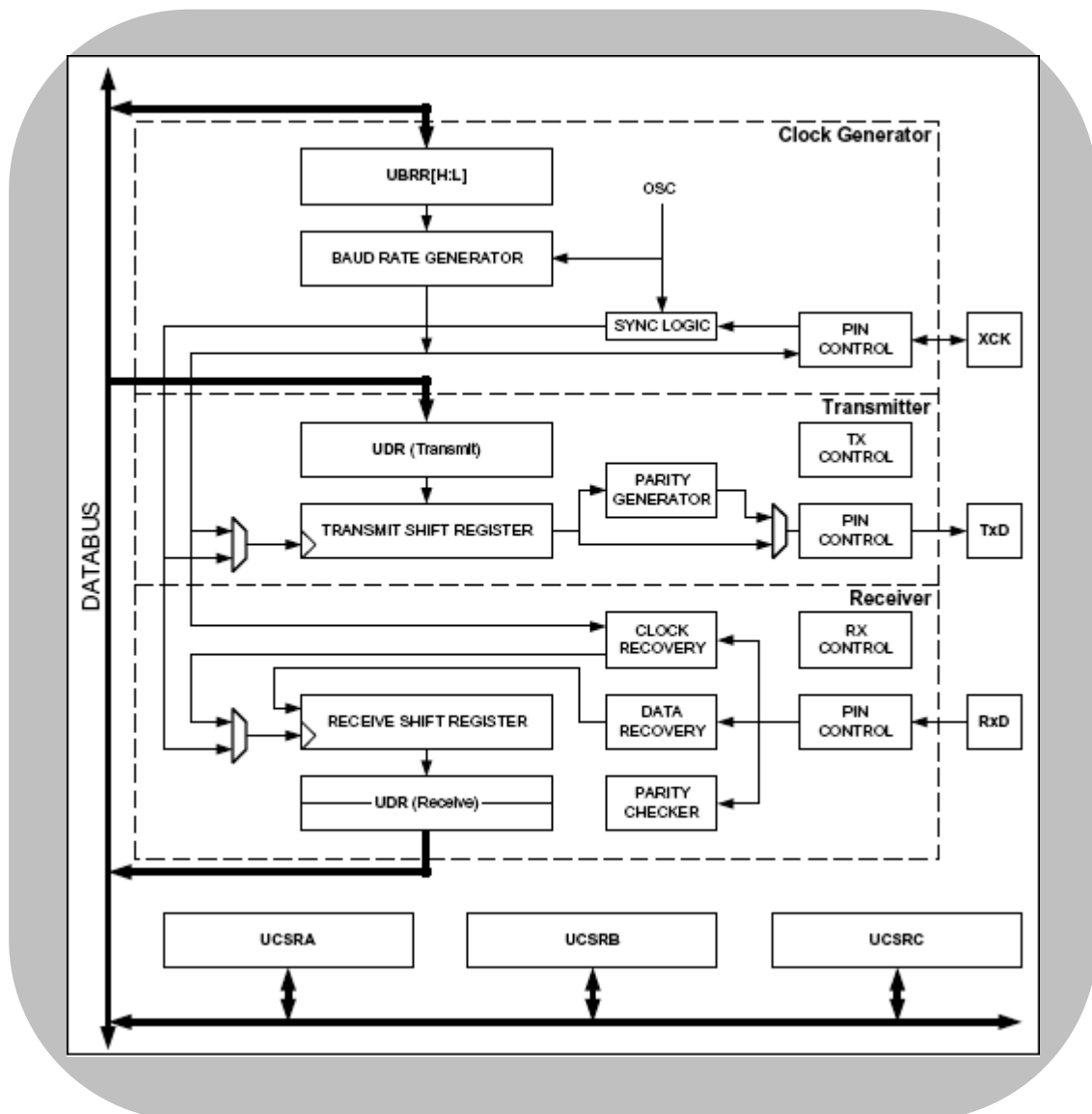
ΣΧΗΜΑ 4.40 – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΕΝΟΣ byte ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΜΙΑ master ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΕ ΜΙΑ slave[31]

1. Το πρώτο βήμα σε μια TWI μετάδοση, είναι η αποστολή μιας συνθήκης START. Αυτό επιτυγχάνεται γράφοντας μια συγκεκριμένη τιμή στον TWCR, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο εντολή στο υλικό του TWI να εκπέμψει μια συνθήκη START. Ποια τιμή θα εγγραφεί δεν ενδιαφέρει εδώ. Γράφοντας ένα 1 στο TWINT bit καθαρίζει τη σημαία.. Το TWI δεν θα ξεκινήσει καμία λειτουργία καθόσον το TWINT bit στον TWCR είναι 1. Ακριβώς μετά τη χρονική στιγμή που η εφαρμογή καθαρίζει το TWINT, το TWI θα ξεκινήσει την εκπομπή της συνθήκης START.
2. Αφού η συνθήκη START έχει εκπεμφθεί, η σημαία TWINT στον TWCR είναι 1 και ο TWSR ενημερώνεται με έναν κωδικό κατάστασης που υποδεικνύει ότι η συνθήκη START επιτυχώς εστάλη.
3. Η εφαρμογή πρέπει στο σημείο αυτό να εξετάσει την τιμή του TWSR, για να επιβεβαιωθεί ότι η συνθήκη START επιτυχώς μεταδόθηκε. Εάν ο TWSR υποδεικνύει διαφορετικά, η εφαρμογή πιθανόν να προβεί σε κάποια ειδική ενέργεια όπως η κλήση μιας ρουτίνας σφάλματος. Υποθέτοντας ο κωδικός κατάστασης είναι όπως αναμενόταν, η εφαρμογή θα πρέπει να φορτώσει το SLA+W στον TWDR. Υπενθυμίζεται πως ο TWDR χρησιμοποιείται εξίσου και για διευθύνσεις και για δεδομένα. Αφού ο TWDR έχει φορτωθεί με το επιθυμητό SLA+W, μια συγκεκριμένη τιμή πρέπει να γραφεί στον TWCR, υποδεικνύοντας στο υλικό του TWI να αποστείλει το τρέχον SLA+W του TWDR. Ποια τιμή θα γραφεί δεν ενδιαφέρει εδώ. Γράφοντας ένα 1 στο TWINT, καθαρίζει τη σημαία. Το TWI δεν θα ξεκινήσει καμία λειτουργία καθόσον το TWINT bit στον TWCR είναι 1. Ακριβώς μετά την εκκαθάριση του TWINT από την εφαρμογή, το TWI θα ξεκινήσει την αποστολή του πακέτου της διεύθυνσης.
4. Όταν το πακέτο της διεύθυνσης εκπεμφθεί, η σημαία TWINT στον TWCR είναι 1 και ο TWSR ενημερώνεται με τον κωδικό κατάστασης που υποδεικνύει πως το πακέτο διεύθυνσης έχει αποσταλεί επιτυχώς. Ο κωδικός κατάστασης θα υποδεικνύει επίσης εάν μια συσκευή slave αποδέχτηκε το πακέτο ή όχι.
5. Η εφαρμογή πρέπει τώρα να εξετάσει την τιμή του TWSR, για να επιβεβαιώσει πως το πακέτο της διεύθυνσης αποστάληκε επιτυχώς και πως η τιμή του ACK bit είναι όπως αναμενόταν. Εάν ο TWSR υποδεικνύει το αντίθετο η εφαρμογή πιθανόν να προβεί σε κάποια ειδική ενέργεια όπως η κλήση μια ρουτίνας σφάλματος. Υποθέτοντας πως ο κωδικός κατάστασης είναι όπως αναμενόταν, η εφαρμογή πρέπει να φορτώσει ένα πακέτο δεδομένων στον TWDR. Επακολούθως, μια συγκεκριμένη τιμή πρέπει να γραφεί στον TWCR υποδεικνύοντας στο υλικό του TWI να μεταδώσει το παρόν πακέτο δεδομένων του TWDR. Ποια τιμή θα γραφεί θα διευκρινιστεί αργότερα. Γράφοντας ένα 1 στο TWINT καθαρίζει τη σημαία. Το TWI δεν θα ξεκινήσει καμία λειτουργία καθόσον το TWINT bit στον TWCR είναι 1. Ακριβώς μετά τον καθαρισμό του TWINT από την εφαρμογή, το TWI θα ξεκινήσει την αποστολή του πακέτου των δεδομένων.
6. Όταν το πακέτο των δεδομένων έχει αποσταλεί, η σημαία TWINT στον TWCR γίνεται 1 και ο TWSR ενημερώνεται με έναν κωδικό κατάστασης που υποδηλώνει πως το πακέτο των δεδομένων επιτυχώς απεστάλη. Ο κωδικός αυτός κατάστασης επίσης φανερώνει εάν μια συσκευή slave αποδέχτηκε το πακέτο ή όχι.
7. Η εφαρμογή πρέπει στο σημείο αυτό να εξετάσει την τιμή του TWSR, για να επιβεβαιωθεί πως το πακέτο των δεδομένων απεστάλη επιτυχώς και πως η τιμή του ACK bit είναι όπως αναμενόταν. Εάν ο TWSR υποδεικνύει το αντίθετο η εφαρμογή μπορεί πάλι να καλέσει μια ρουτίνα σφάλματος. Υποθέτοντας πως ο κωδικός κατάστασης είναι όπως αναμενόταν, η εφαρμογή πρέπει να γράψει μια συγκεκριμένη τιμή TWCR, υποδεικνύοντας στο υλικό του TWI να αποστείλει μια συνθήκη STOP. Ποια τιμή θα γραφεί δεν ενδιαφέρει εδώ. Γράφοντας ένα 1 στο TWINT καθαρίζει την σημαία. Το TWI δεν θα ξεκινήσει καμία λειτουργία, καθόσον το TWINT bit στον TWCR είναι 1. Ακριβώς μετά τον καθαρισμό του

TWINT από την εφαρμογή, ο TWI θα ξεκινήσει την αποστολή της συνθήκης STOP. Σημειώνεται πως το TWINT δεν τίθεται 1 μετά τη συνθήκη STOP[31].

4.4.5.6.3 Προγραμματιζόμενη Σειριακή USART

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται το μπλοκ διάγραμμα του πομποδέκτη Σύγχρονης/Ασύγχρονης Επικοινωνίας.



ΣΧΗΜΑ 4.41 – ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ/ΑΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ USART[31]

Τα τμήματα που υποδεικνύονται με διακεκομμένη γραμμή αποτελούν τα τρία βασικά τμήματα του πομποδέκτη USART: τη Γεννήτρια Ρολογιού, τον Πομπό και τον Δέκτη. Οι καταχωρητές Ελέγχου χρησιμοποιούνται από όλες τις μονάδες.

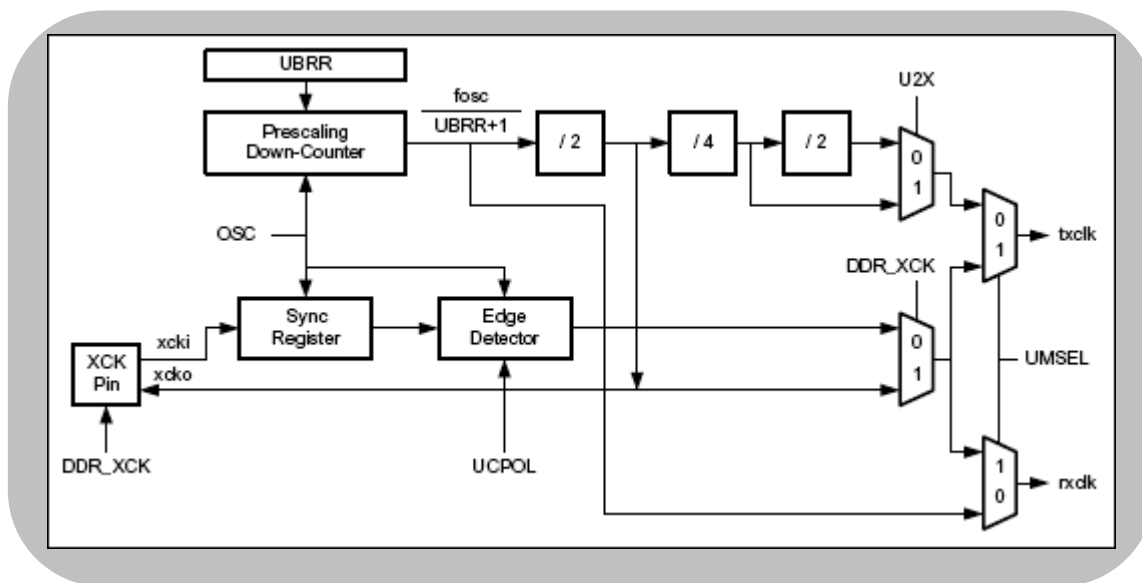
Η Γεννήτρια ρολογιού αποτελείται από την μονάδα λογικής συγχρονισμού, για το εξωτερικό ρολόι που χρησιμοποιείται κατά την σύγχρονη κατάσταση slave και τη γεννήτρια του ρυθμού συμβόλων (baud rate generator). Ο ακροδέκτης XCK (Transfer Clock),

χρησιμοποιείται μόνο κατά την κατάσταση σύγχρονης μετάδοσης (Synchronous Transfer mode).

Ο Πομπός αποτελείται από έναν buffer εγγραφής, έναν σειριακό καταχωρητή ολίσθησης, μια γεννήτρια ισοτιμίας και μονάδα ελέγχου λογικής για την υποστήριξη διαφορετικών σειριακών προτύπων. Ο buffer εγγραφής επιτρέπει μια συνεχή μετάδοση δεδομένων χωρίς καμία καθυστέρηση.

Ο Δέκτης είναι η πιο πολύπλοκη μονάδα του υποσυστήματος επικοινωνίας USART, λόγω του ρολογιού του και των μονάδων αποκατάστασης δεδομένων. Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται κατά την ασύγχρονη λήψη δεδομένων. Επιπροσθέτως των μονάδων αποκατάστασης, ο Δέκτης περιέχει έναν ελεγκτή ισοτιμίας, μια μονάδα ελέγχου λογικής, έναν καταχωρητή ολίσθησης και έναν δυο επιπέδων λήψης buffer (UDR). Ο Δέκτης υποστηρίζει τα ίδια σειριακά πρότυπα όπως και ο Πομπός και μπορεί να διακρίνει σφάλματα προτύπου και ισοτιμίας.

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστεί μόνο το τμήμα της γεννήτριας ρολογιού, που παράγει το ρολόι βάσης για τον Πομπό και τον Δέκτη. Ο πομποδέκτης USART υποστηρίζει τέσσερις καταστάσεις λειτουργίας ρολογιού. Την Normal Asynchronous, την Double Speed Asynchronous, την Master Synchronous και τέλος την Slave Synchronous κατάσταση. Το UMSEL bit στον Καταχωρητή C Ελέγχου και Κατάστασης του USART (Control and Status Register UCSRC) επιλέγει μεταξύ ασύγχρονης και σύγχρονης λειτουργίας. Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ένα μπλοκ διάγραμμα της λογικής της γεννήτριας ρολογιού.



ΣΧΗΜΑ 4.42 – ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΛΟΓΙΚΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΡΟΛΟΓΙΟΥ[31]

Ο καταχωρητής ρυθμού συμβόλων (USART Baud Rate Register-UBRR) και ο μετρητής προς τα κάτω λειτουργούν ως ένας προγραμματιζόμενος prescaler ή αλλιώς ως μια γεννήτρια ρυθμού συμβόλων (baud rate generator). Ο μετρητής προς τα κάτω, που λειτουργεί με το ρολόι του συστήματος (f_{osc}), φορτώνεται με την τιμή του UBRR κάθε φορά που ο μετρητής φτάνει στο μηδέν ή όταν ο καταχωρητής UBRR εγγράφεται. Ένας παλμός δημιουργείται κάθε φορά που ο μετρητής μηδενίζεται. Αυτό το ρολόι που προκύπτει είναι το ρολόι της γεννήτριας ρυθμού συμβόλων ($=f_{osc}/(UBRR+1)$). Συγκεκριμένα ο Πομπός διαιρεί το ρολόι αυτό δια 2, 8 ή 16 ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας. Αντίθετα το η έξοδος της γεννήτριας ρυθμού συμβόλων χρησιμοποιείται απευθείας από το ρολόι του Δέκτη και των μονάδων αποκατάστασης δεδομένων.

Στον επόμενο πίνακα περιέχονται οι εξισώσεις για τον υπολογισμό του ρυθμού συμβόλων (σε bits/second) και της τιμής UBRR για κάθε κατάσταση λειτουργίας.

Operating Mode	Equation for Calculating Baud Rate ⁽¹⁾	Equation for Calculating UBRR Value
Asynchronous Normal Mode (U2X = 0)	$BAUD = \frac{f_{osc}}{16(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{16BAUD} - 1$
Asynchronous Double Speed Mode (U2X = 1)	$BAUD = \frac{f_{osc}}{8(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{8BAUD} - 1$
Synchronous Master Mode	$BAUD = \frac{f_{osc}}{2(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{2BAUD} - 1$

ΣΧΗΜΑ 4.43 – ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΣΥΜΒΟΛΩΝ (σε bits/second) ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ UBRR ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ[31]

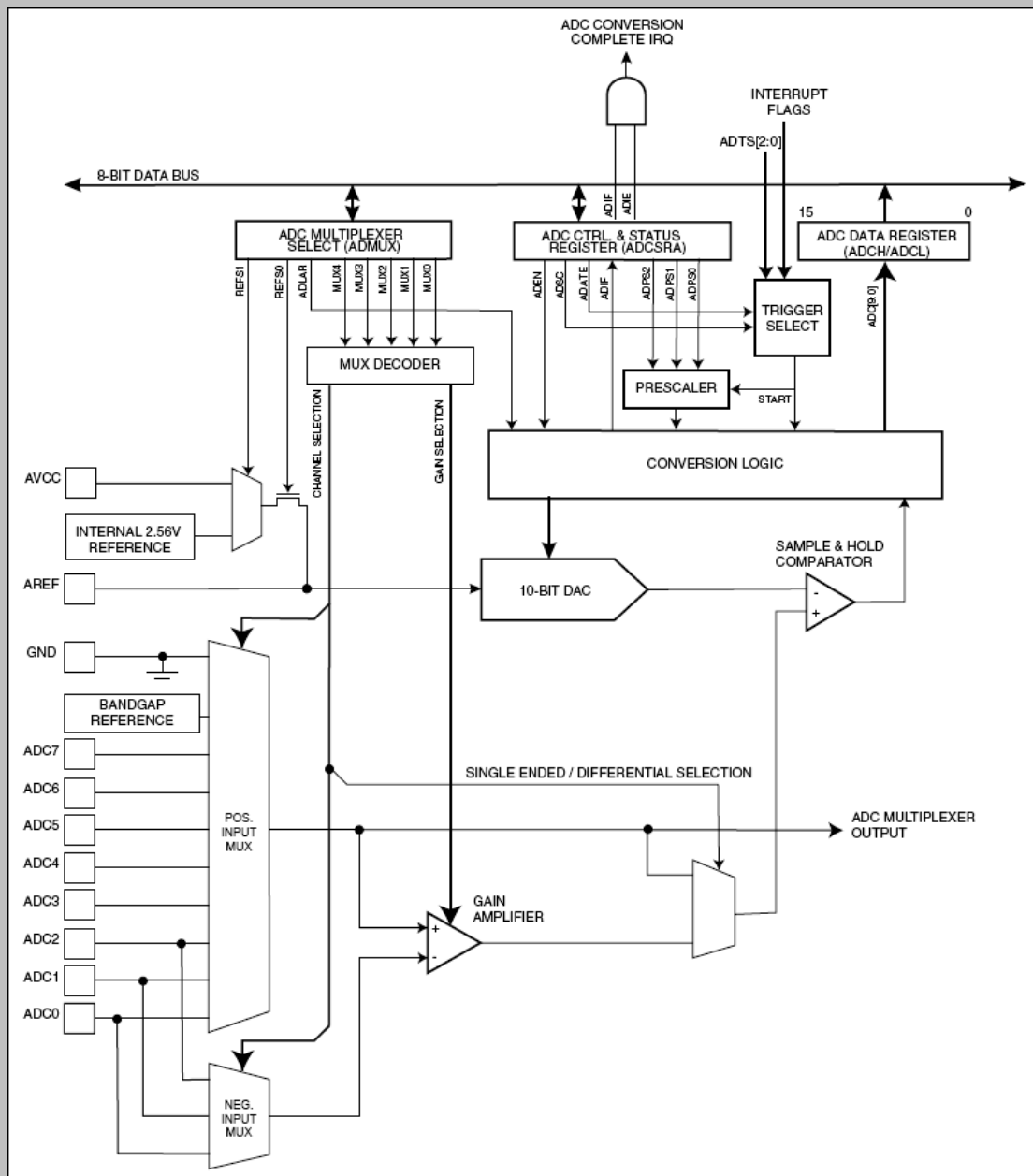
Στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιείται η κατάσταση Ασύγχρονης Κανονικής Κατάστασης λειτουργίας (Asynchronous Normal Mode - U2X=0) και με δεδομένη την εξωτερική διέγερση των $f_{osc}=11.0592\text{MHz}$ και τον επιλεγμένο ρυθμό συμβόλων $BAUD=19,2\text{k}$ προκύπτει $UBRR=35$. Για τις δεδομένες τιμές των εξωτερικών κρυστάλλων διεγέρσεως που υπάρχουν στο εμπόριο παρατηρείται μια διαφορά στον σχηματιζόμενο ρυθμό συμβόλων από τον επιθυμητό. Το σφάλμα αυτό υπολογίζεται από τη σχέση

$$\text{Error}[\%] = \left(\frac{\text{BaudRate}_{\text{Closest Match}}}{\text{BaudRate}} - 1 \right) \bullet 100\%$$

Και είναι τελικά στην συγκεκριμένη εφαρμογή 0.0%. Αυτός είναι και ο λόγος που επιλέχθηκε και η συγκεκριμένη εξωτερική διέγερση και όχι κάποια από τις εφικτές εσωτερικές συχνότητες χρονοισμού[31].

4.4.5.6.4 Οκτακάναλος 10-bit ADC

Ο ATmega32 εμπεριέχει όπως αναφέρθηκε, έναν 10-bit ADC διαδοχικής προσέγγισης. Ο μετατροπέας είναι συνδεδεμένος σε έναν αναλογικό οκτακάναλο πολυπλέκτη, που επιτρέπει 8 εισόδους τάσεως από τους ακροδέκτες της θύρας A (Port A). Οι τάσεις εισόδου έχουν ως αναφορά τα 0V (GND). Ο ADC περιέχει επίσης και ένα κύκλωμα Δειγματισμού και Συγκράτησης (Sample and Hold circuit) που διασφαλίζει πως η τάση εισόδου στον μετατροπέα κρατείται σε μια σταθερή στάθμη κατά τη διάρκεια της μετατροπής. Ένα μπλοκ διάγραμμα του ADC φαίνεται στο επόμενο σχήμα .



ΣΧΗΜΑ 4.44 – ΜΠΛΟΚ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ADC ΤΟΥ ATmega32[31]

Ο ADC μετατρέπει μια αναλογική είσοδο τάσης σε μια 10-bit τιμή μέσω διαδοχικών προσεγγίσεων. Η ελάχιστη τιμή αντιστοιχεί στην γείωση (GND) και η μέγιστη στην τάση του ακροδέκτη AREF πλην 1 LSB. Προαιρετικά η τάση AVCC ή μια εσωτερική τιμής 2.56V αναφοράς μπορεί να συνδεθεί στον ακροδέκτη AREF, γράφοντας στα REFSn bits του καταχωρητή. Το αναλογικό κανάλι εισόδου και το διαφορικό κέρδος επιλέγονται μέσω των MUX bits στον ADMUX. Κάθε ένας από τους ακροδέκτες εισόδου του ADC καθώς και η γείωση μπορούν να επιλεγθούν ως εισόδοι στον μετατροπέα. Επίσης μια επιλογή ακροδεκτών εισόδου μπορούν να επιλεγθούν ως θετικές και αρνητικές εισόδοι στον ενσωματωμένο διαφορικό ενισχυτή. Αυτός όμως δεν θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εφαρμογή.

Η μετατροπή ενεργοποιείται θέτοντας το ADC Enable bit (ADEN) στον καταχωρητή ADCSRA. Η τάση αναφοράς και το κανάλι εισόδου δεν θα εφαρμοστούν μέχρι το ADEN να γίνει 1. Ο ADC δεν καταναλώνει ισχύ καθόσον το ADEN είναι 0, άρα είναι προτεινόμενο να απενεργοποιείται ο ADC πριν εισέλθει ο μικροελεγκτής σε κατάσταση ύπνου για περιορισμό της κατανάλωσης ισχύος. Ο μετατροπέας ύστερα παράγει ένα 10-bit αποτέλεσμα, που παρουσιάζεται στους καταχωρητές δεδομένων ADCH και ADCL. Από προεπιλογή το αποτέλεσμα παρουσιάζεται δεξιά προσαρμοσμένο, αλλά μπορεί προαιρετικά να παρουσιαστεί προσαρμοσμένο στα αριστερά θέτοντας το ADLAR bit στον ADMUX. Εάν το αποτέλεσμα είναι προσαρμοσμένο στα αριστερά και δεν απαιτείται ακρίβεια μεγαλύτερη από 8-bit, είναι επαρκής η ανάγνωση του ADCH. Αλλιώς ο ADCL πρέπει να διαβαστεί πρώτα και ύστερα ο ADCH για να επιβεβαιωθεί πως τα περιεχόμενα των καταχωρητών δεδομένων ανήκουν στην ίδια μετατροπή. Αφού ο ADCL έχει διαβαστεί, η πρόσβαση στους καταχωρητές δεδομένων του ADC απαγορεύεται. Αυτό σημαίνει πως εάν ο ADCL έχει διαβαστεί και μια μετατροπή ολοκληρώνεται πριν ο ADCH διαβαστεί, ούτε ο καταχωρητής θα ενημερωθεί και το αποτέλεσμα της μετατροπής θα χαθεί. Όταν ο ADCH διαβαστεί, η πρόσβαση στους ADCH και ADCL αποκαθίσταται.

Ο μετατροπέας ADC έχει την δική του διακοπή, που μπορεί να ενεργοποιηθεί όταν μια μετατροπή ολοκληρωθεί. Όταν η πρόσβαση στους καταχωρητές δεδομένων είναι απαγορευμένη μεταξύ της ανάγνωσης των ADCH και ADCL, η διακοπή θα ενεργοποιηθεί ακόμα και αν το αποτέλεσμα χαθεί[31].

5.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε το κύριο δομικό στοιχείο του συστήματος είναι ο μικροελεγκτής που θα συντονίζει τις περιφερειακές συσκευές, ώστε να γίνεται να γίνεται η απαραίτητη δειγματοληψία του αισθητήρα και εν συνεχεία θα εφαρμόζει έναν αλγόριθμο για την επιτυχή ανίχνευση των πιθανών σταθμευμένων οχημάτων. Στο παρόν κεφάλαιο σκοπός είναι η μελέτη και σκιαγράφηση ενός αποδοτικού αλγόριθμου, ικανού να επιτελέσει την επιθυμητή διεργασία.

Στην πρώτη παράγραφο θα αναλυθεί ο θεωρητικός τρόπος ανίχνευσης ενός οχήματος μέσω ενός μαγνητικού αισθητήρα AMR και θα εξαχθούν οι αποφάσεις για τον κατάλληλο άξονα των μετρήσεων, καθώς και των πιο αποδοτικών θέσεων τοποθέτησης του συστήματος σε έναν χώρο στάθμευσης.

Εν συνεχεία θα παρουσιαστούν κάποιες πρώτες πειραματικές μετρήσεις της εξόδου του αισθητήρα, σχετικά με τη θέση του ως προς το αμάξωμα ενός τυπικού οχήματος. Αυτές είναι απαραίτητες για την αντίληψη της απόκρισης του αισθητήρα και χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατάστρωση του αλγορίθμου.

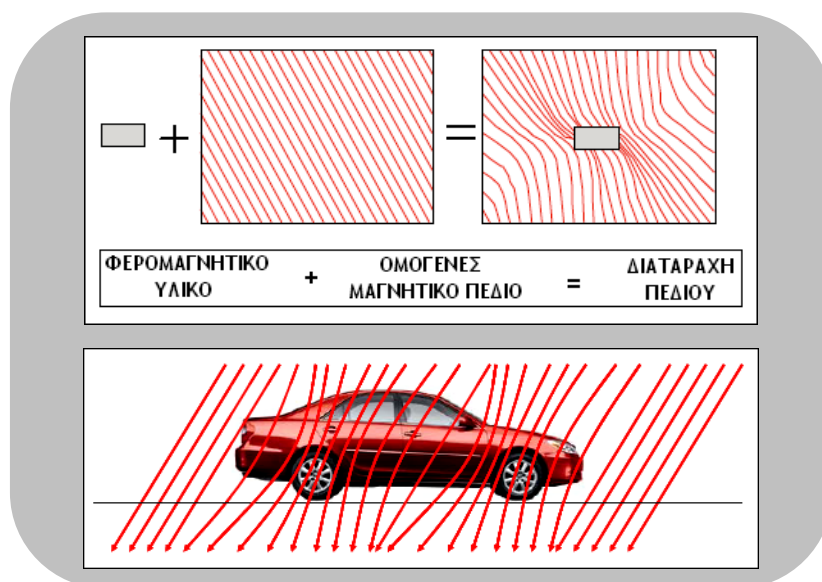
Το τρίτο και βασικότερο μέρος του παρόντος κεφαλαίου είναι η παρουσίαση του ίδιου του αλγορίθμου που επινοήθηκε, στο οποίο δίνεται ένα μπλοκ διάγραμμα του και προσδιορίζονται όλες οι καταστάσεις από τις οποίες αποτελείται.

Τέλος παρατίθενται κάποιες πρώιμες μετρήσεις από μια πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε, με σκοπό την επαλήθευση της λειτουργίας του αλγορίθμου.

5.2 Ανίχνευση οχημάτων μέσω διάταξης AMR

Όπως έχει αναφερθεί και στο δεύτερο κεφάλαιο επεξήγησης των τεχνολογιών ανίχνευσης οχημάτων, η αρχή της λειτουργίας των διατάξεων AMR στηρίζεται στη διατάραξη του μαγνητικού πεδίου της Γης. Το πεδίο αυτό μπορεί να θεωρηθεί ομογενές σε μια έκταση μερικών τετραγωνικών χιλιομέτρων, με μαγνητική επαγωγή σταθερής τιμής περίπου 0.5 Gauss. Ένα σύστημα επομένως βασισμένο σε αισθητήρα αυτής της τεχνολογίας θα αντιλαμβάνεται ένα επίπεδο πόλωσης, ανάλογα με την περιοχή που τοποθετείται και την κατεύθυνση του άξονα ευαισθησίας του, με εύρος τιμής κοντά στο μηδέν έως ± 0.7 gauss.

Δεδομένου του γεγονότος ότι τα οχήματα αποτελούνται από σημαντικές ποσότητες φερομαγνητικών υλικών (σίδηρο, ατσάλι, νικέλιο, κοβάλτιο κλπ.), παρατηρείται ως αποτέλεσμα μια διαταραχή του πεδίου είτε αυτό κινείται είτε βρίσκεται σταματημένο. Η διαταραχή αυτή οφείλεται στην κάμψη των αρχικά παράλληλων μαγνητικών γραμμών, αν το όχημα μοντελοποιηθεί σαν ένα σύνολο μαγνητικών διπόλων, που έχει ως συνέπεια την ανά διαστήματα δημιουργία πυκνωμάτων και αραιωμάτων. Ως αισθητήρας αντιλαμβάνεται τα πυκνώματα ως αύξηση της μαγνητικής επαγωγής και τα αραιώματα αντίστοιχα ως μείωση αυτής.



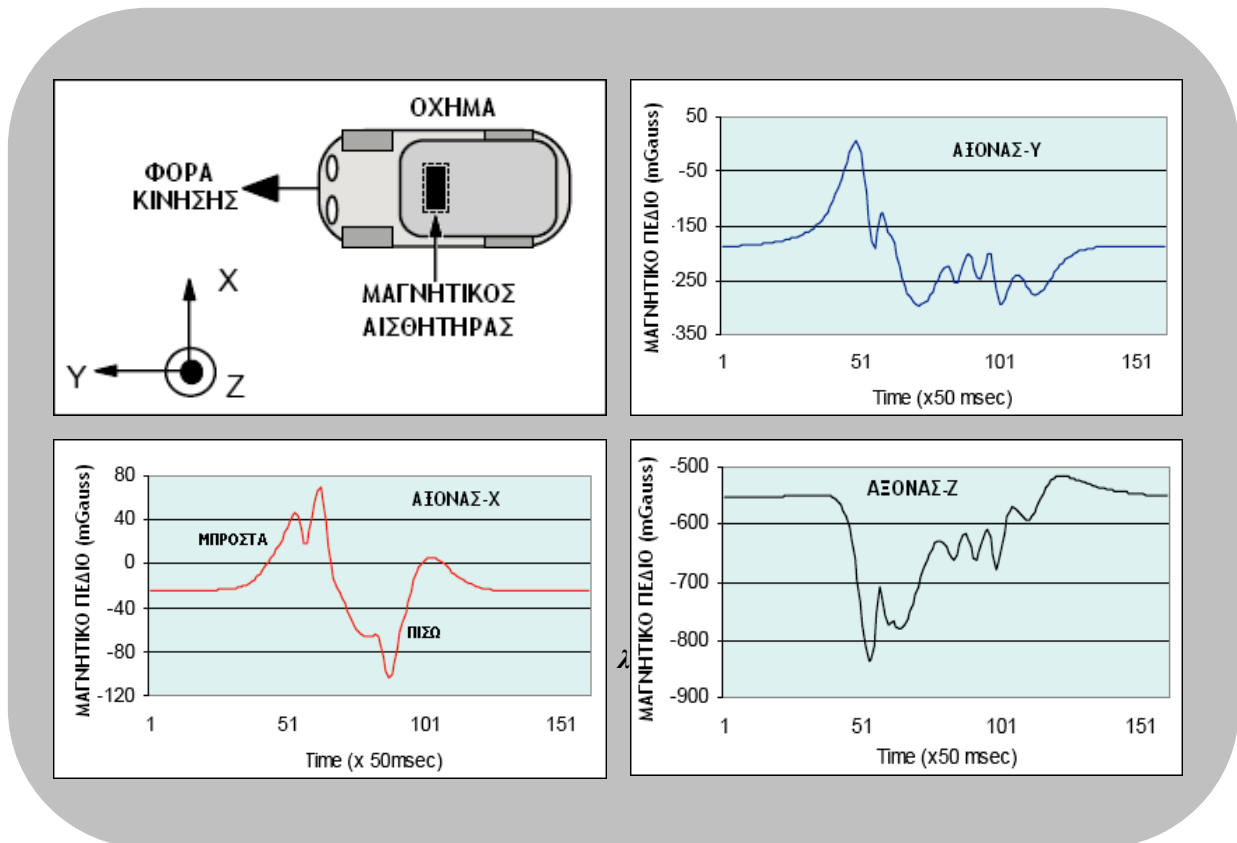
ΣΧΗΜΑ 5.1 - ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΟΜΟΓΕΝΟΥΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΕΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ, ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ [11,20]

Κάθε όχημα επομένως εισαγόμενο στην περιοχή ευαισθησίας του αισθητήριου συστήματος, θα προκαλέσει μια μεταβολή στο μαγνητικό πεδίο της Γης με ιδιαίτερη μορφή η οποία θα το χαρακτηρίζει μοναδικά. Η ιδιαιτερότητα αυτή θα οφείλεται στο ποσοστό χρησιμοποίησης στην κατασκευή του φερομαγνητικών υλικών και στις περιοχές που αυτά είναι συγκεντρωμένα. Τα υλικά αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, αυτά της ασθενούς (soft iron) και αυτά της ισχυρής (hard iron) μαγνήτισης. Τα πρώτα είναι υλικά που δύναται να συγκεντρώσουν μαγνητική ροή στο εσωτερικό τους, ενώ δεν έχουν απομένουσα ροή εισηγμένη στο παρελθόν. Αντιθέτως, τα υλικά ισχυρής μαγνήτισης έχουν ικανότητα συγκέντρωσης μαγνητικής ροής καθώς επίσης και διατήρησης αυτής.

Κατά κύριο λόγο βάσει στατιστικών δεδομένων, η μεγαλύτερη μάζα των ανιχνεύσιμων υλικών και επομένως οι μεγαλύτερες αποκλίσεις από το σημείο πόλωσης του ομογενούς μαγνητικού πεδίου της Γης, βρίσκονται στις περιοχές των αξόνων και της μηχανής του

οχήματος. Η χαρακτηριστική κυματομορφή που θα προκύψει, αποτελεί ουσιαστικά μια μαγνητική υπογραφή του οχήματος.

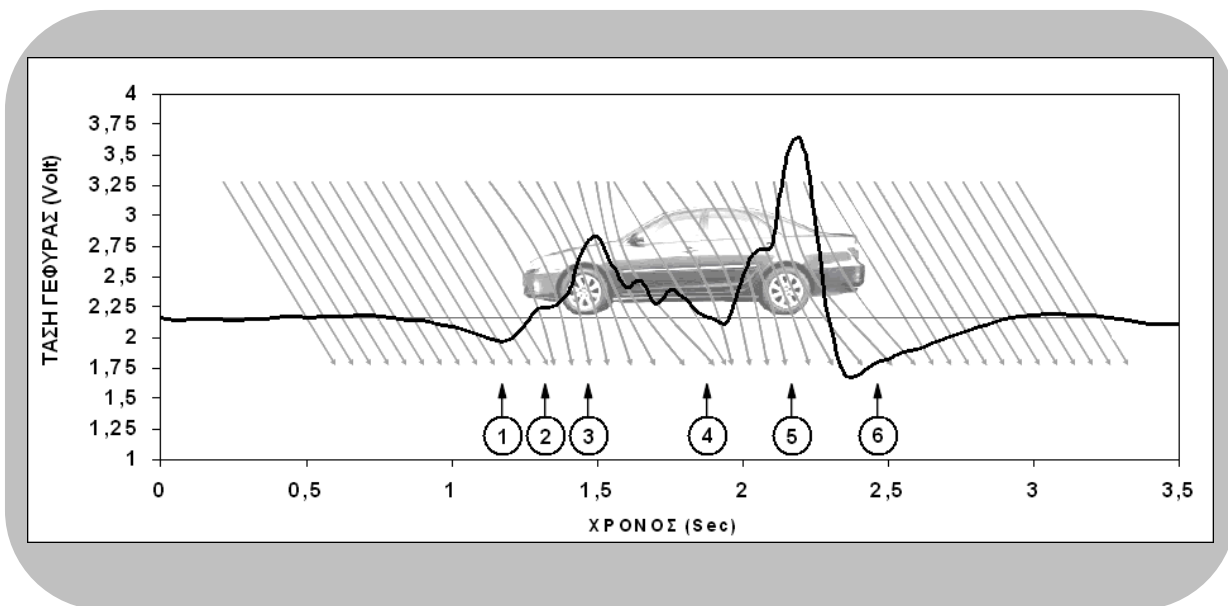
Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζονται η πειραματική διάταξη διέλευσης ενός οχήματος άνω ενός συστήματος μαγνητικού αισθητήρα τριών αξόνων. Οι κατεύθυνση των αξόνων επισημαίνεται και παρατίθενται οι μαγνητικές υπογραφές ενός οχήματος για κάθε έναν άξονα για εποπτική κατανόηση των ανωτέρω.



ΣΧΗΜΑ 5.2 - ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΑΝΩ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ ΣΤΟΥΣ ΤΡΕΙΣ ΑΞΟΝΕΣ [11]

Στην εφαρμογή που μελετάται για την ανίχνευση σταθμευμένου οχήματος, είναι αντιληπτό πως δεν απαιτείται παρακολούθηση της μεταβολής του μαγνητικού πεδίου της Γης και στους τρεις άξονες, αλλά η μαγνητική υπογραφή σε έναν από αυτούς θα ήταν αρκετή. Επειδή η φορά κίνησης του οχήματος (πρόσθια ή όπισθεν) δεν ενδιαφέρει και λόγω της σχεδόν κατακόρυφης διεύθυνσης του διανύσματος της έντασης με φορά προς το εσωτερικό της Γης, είναι πρόδηλη η επιλογή ως καταλληλότερου άξονα μετρήσεων αυτόν του z. Η φορά επίσης του άξονα ευαισθησίας (easy axis) του μαγνητικού αισθητήρα είναι προτιμότερο να ακολουθεί αυτή των δυναμικών γραμμών, ώστε η έξοδος του συστήματος (σε Volt πλέον) να είναι σε αντίθεση με αυτή του σχήματος 4.2 προσανατολισμένη στην θετική περιοχή.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρατίθεται μια μαγνητική υπογραφή πειραματικώς παραχθείσα (άξονας z), με στόχο την επισήμανση και αντιστοίχιση σε αυτή των περιοχών πυκνωμάτων και αραιωμάτων των δυναμικών γραμμών που οφείλονται όπως αναφέρθηκε στην αυξημένη ή μη ποσότητα φερομαγνητικών υλικών.



ΣΧΗΜΑ 5.3 - ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΥΠΟΓΡΑΦΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ-Z, ΩΣ ΠΡΟΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΜΕΙΩΜΕΝΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

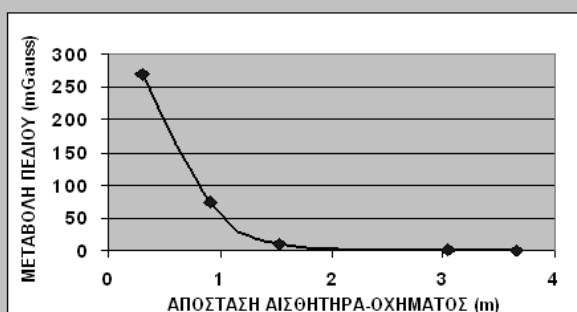
Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζεται επίσης το γεγονός πως η περισσότερη μάζα φερομαγνητικών υλικών συγκεντρώνεται στις περιοχές των αξόνων των τροχών και της μηχανής και επισημαίνονται συνολικά οι μεταβολές των δυναμικών γραμμών που έχουν ανάλογη επίδραση στην έξοδο του συστήματος. Η φορά επεξήγησης είναι από αριστερά προς τα δεξιά.

Σημειώνεται πρωτίστως πως σε περίπτωση μη προσέγγισης οχήματος στον αισθητήρα, αυτός θα αντιλαμβάνεται μόνο το ομογενές πεδίο της γης που θα πολώνει την έξοδο κατά ένα μικρό θετικό ποσό. Ο λόγος του πρόσημου της πόλωσης αυτής, όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, είναι ο προσανατολισμός του άξονα ευαισθησίας του συστήματος παράλληλα με αυτόν του υπάρχοντος πεδίου πόλωσης και μάλιστα με την ίδια φορά (κατακόρυφα προς το εσωτερικό της Γης).

1. Στην πρώτη περιοχή, λόγω της συσπείρωσης των δυναμικών γραμμών στο τμήμα της μηχανής, παρουσιάζεται αραίωση αυτών. Συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι μια ελαττωμένη τιμή μαγνητικής επαγωγής και επομένως τιμής τάσης ως προς τη βάση, αλλά κατά ένα μικρό ποσό.
2. Στην δεύτερη περιοχή η ύπαρξη μεταλλικών στοιχείων που απαρτίζουν το εσωτερικό του προφυλακτήρα έχει αποτέλεσμα την αρχή σύγκλισης των δυναμικών γραμμών, έτσι ώστε να αυξάνεται η μαγνητική επαγωγή και να παρατηρείται μια μικρή άνοδος της τάσης εξόδου του αισθητήρα.
3. Η τρίτη περιοχή είναι η μια από τις δύο πιο βασικές της συνολικής μαγνητικής υπογραφής. Στο τμήμα αυτό του οχήματος είναι συγκεντρωμένο μια σημαντική μάζα φερομαγνητικών υλικών που απαρτίζουν την μηχανή και τον πρόσθιο άξονα τροχών. Αποτέλεσμα είναι η έντονη σύγκλιση των δυναμικών γραμμών και μεταβολή της εξόδου ως προς την τιμή βάσης.
4. Στην τέταρτη περιοχή και το ενδιάμεσο τμήμα του οχήματος, βρίσκεται η καμπίνα των επιβατών. Τα υλικά που την απαρτίζουν είναι κατά κύριο λόγο μη μαγνητικά και επομένως αναμένεται αραίωση των δυναμικών γραμμών προς τους δύο άξονες. Η τάση εξόδου παρουσιάζει έντονη καμπή και πλησιάζει κοντά στην αρχική τιμή βάσης.

5. Στην πέμπτη περιοχή υφίσταται εκ νέου μια συσπείρωση των δυναμικών γραμμών λόγω του οπίσθιου άξονα και προφυλακτήρα. Στο συγκεκριμένο πείραμα από το οποίο προέρχεται και η ανωτέρω κυματομορφή, η άνοδος της εξόδου παρουσιάζει ακραία τιμή μεγαλύτερη από αυτή της πρώτης ανόδου. Το φαινόμενο αυτό είναι βέβαια τυχαίο και εξαρτάται από τα ιδιαίτερα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κάθε οχήματος. Μια πιθανή εξήγηση είναι η κατασκευή του δοχείου βενζίνης από μεταλλικό υλικό, καθώς και το ότι το όχημα ήταν μεσαίας κατηγορίας που έχει ως αποτέλεσμα ο οπίσθιος άξονας, προφυλακτήρας και ο χώρος αποσκευών να βρίσκονται κοντά μεταξύ τους. Συνήθως η μεγαλύτερη τιμή ανόδου παρατηρείται κοντά στην μηχανή στην περιοχή 3.
6. Κατά την έκτη περιοχή, οι δυναμικές γραμμές αποκλίνουν μεταξύ τους καθώς ακολουθούν το όχημα κατά τη διέλευσή του. Η ελαττωμένη επομένως μαγνητική επαγωγή οδηγεί σε μια σημαντική πτώση της τάσης του συστήματος και μάλιστα συνήθως κάτω της τιμής βάσης.

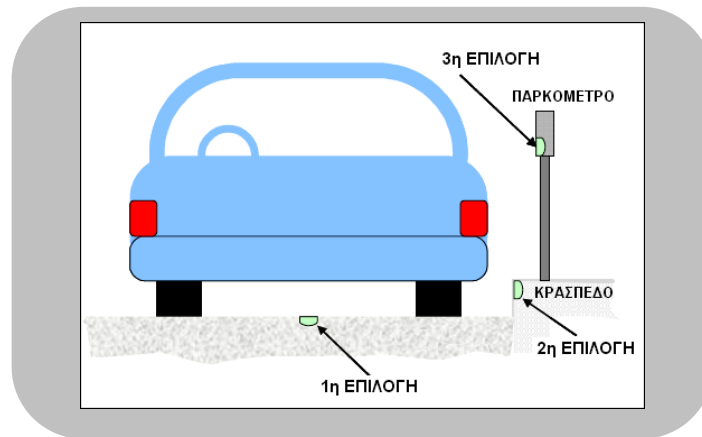
Ένα επιπλέον θέμα που κρίνεται σκόπιμο να σχολιαστεί, είναι το γεγονός της εξασθένησης του σήματος εξόδου του συστήματος σε συνάρτηση με την απόσταση από το όχημα. Είναι αναμενόμενο πως αν το όχημα βρίσκεται μερικά εκατοστά από τον αισθητήρα, όπως για παράδειγμα στην μέση της λωρίδας κίνησης και επιπροσθέτως στην επιφάνεια, τότε η μαγνητική υπογραφή θα είναι σαφώς πιο λεπτομερής και θα περιέχει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της δομής του εκάστοτε οχήματος. Ακόμα μακρύτερα, όπως το ένα μέτρο, η έξοδος ενδεχομένως να είναι το ένα δέκατο σε πλάτος εξαρτώμενη από το μέγεθος του οχήματος και η λεπτομερής μορφή αντικαθίσταται από ένα ομαλό κύρτωμα. Με την περεταίρω απομάκρυνση η έξοδος υποδεικνύει την κατεύθυνση από τη συγκέντρωση των δυναμικών γραμμών προς το διαχωρισμό τους με τελικό αποτέλεσμα την επιστροφή στο επίπεδο της τάσης βάσης.



Standoff Distance	Flux Density Shift
30 cm	270 milligauss
90 cm	75 milligauss
150 cm	10 milligauss
300 cm	2 milligauss
360 cm	<1 milligauss

ΣΧΗΜΑ 5.4 - ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΓΗΙΝΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΑΠΟ ΤΟ ΟΧΗΜΑ [20]

Επομένως ο σχεδιαστής εκμεταλλευόμενος το χαρακτηριστικό αυτό εξασθένησης και προσαρμόζοντας το ποσοστό και το είδος της μεταβολής στην δική του εφαρμογή, μπορεί να αποφασίσει το μέρος στο οποίο θα τοποθετηθεί το αισθητήριο σύστημα και σε ποια απόσταση. Στην συγκεκριμένη πραγματεία που η ανίχνευση πραγματοποιείται σε σταθμευμένα οχήματα και η κύρια εφαρμογή είναι σε χώρο στάθμευσης, το αρχικά φαινομενικό πρόβλημα της γρήγορης μείωσης της ένδειξης του συστήματος με την απόσταση είναι στην πραγματικότητα ένα πολύ θετικό στοιχείο σχεδίασης. Αποφεύγεται επομένως η εσφαλμένη καταμέτρηση οχήματος για την συγκεκριμένη θέση παρκαρίσματος, με μια πιθανή στάθμευση οχήματος σε μια άλλη γειτονική. Κάποιες πιθανές προτάσεις τοποθέτησης παρουσιάζονται ακολούθως για την περίπτωση μετρητή στάθμευσης.



ΣΧΗΜΑ 5.5 - ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΑΡΚΟΜΕΤΡΟΥ [20]

Επικεντρώνοντας επομένως στα χαρακτηριστικά του προβλήματος που εξετάζεται, οι δύο βασικές υποδείξεις που προέκυψαν είναι:

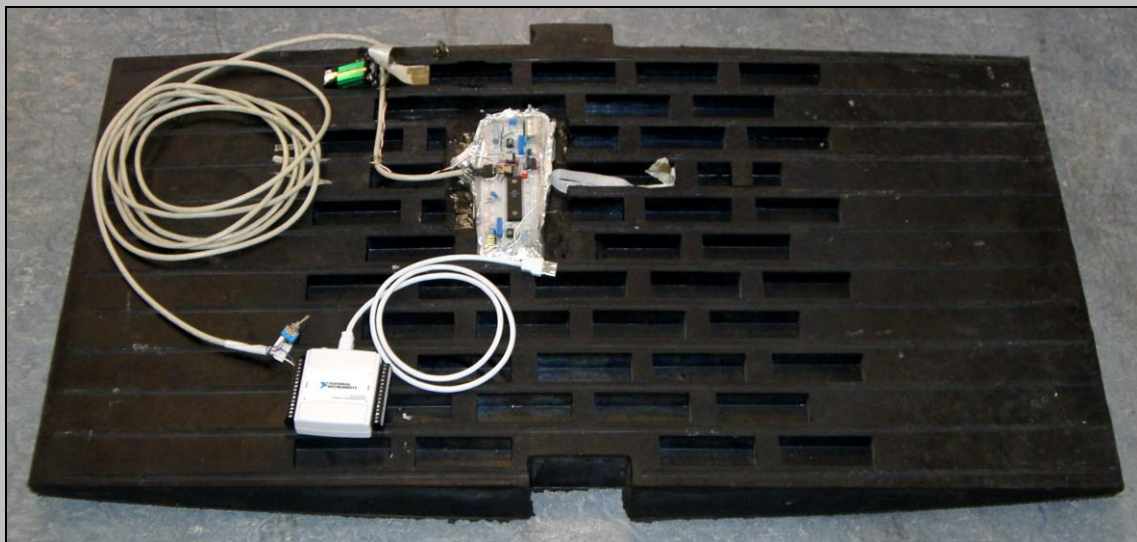
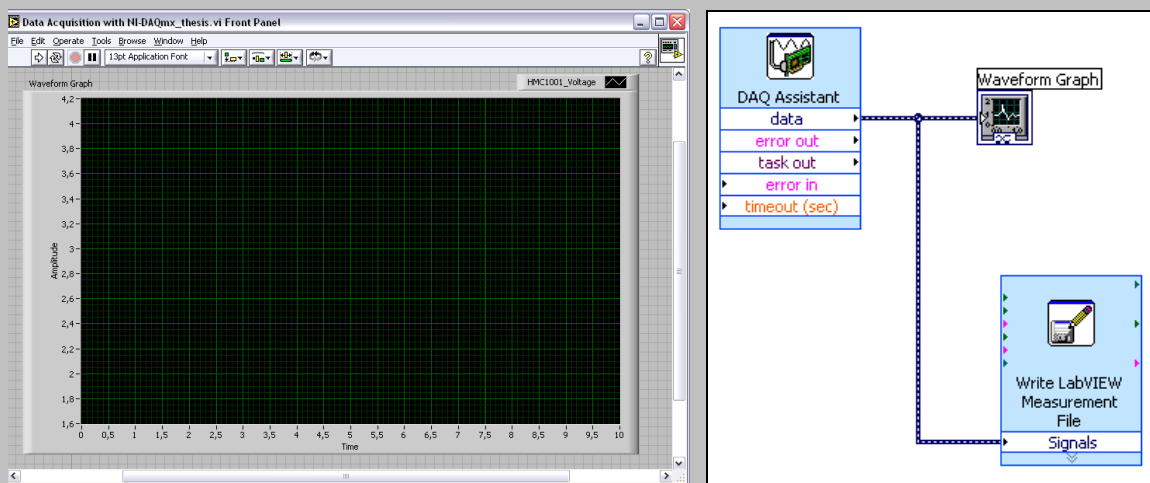
1. Το σύστημα θα περιέχει αισθητήρα μονού άξονα για περιορισμό του κόστους, αφού κάτι τέτοιο δεν αντιβαίνει με την αξιοπιστία του,
2. Ο άξονας ευαισθησίας του αισθητήρα, θα πρέπει να είναι σε κατακόρυφη θέση και στραμμένος προς το εσωτερικό τη Γης ώστε η μεταβολή στο πεδίο να οδηγεί σε θετική μεταβολή της εξόδου και να απορρίπτονται τυχόν μεταβολές από γειτονικά οχήματα
3. Η καταλληλότερη επιλογή τοποθέτησης είναι συγκολλημένος στην επιφάνεια του οδοστρώματος σε κατάλληλο περίβλημα, ώστε η απόσταση από το όχημα να είναι η μικρότερη δυνατή και η μεταβολή της εξόδου αντίστοιχα η μέγιστη. Επίσης η χωροθέτηση της προκύπτει παρατηρώντας μια θέση παρκαρίσματος από επάνω, σε μια νοητή ευθεία που χωρίζει στη μέση τη θέση κατά μήκος τεμνόμενη από δύο πιθανές κάθετες όσο το δυνατόν πιο κοντά στις περιοχές αξόνων των τροχών ενός μέσου οχήματος.



ΣΧΗΜΑ 5.6 - ΠΙΘΑΝΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΣΕ ΧΩΡΟ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

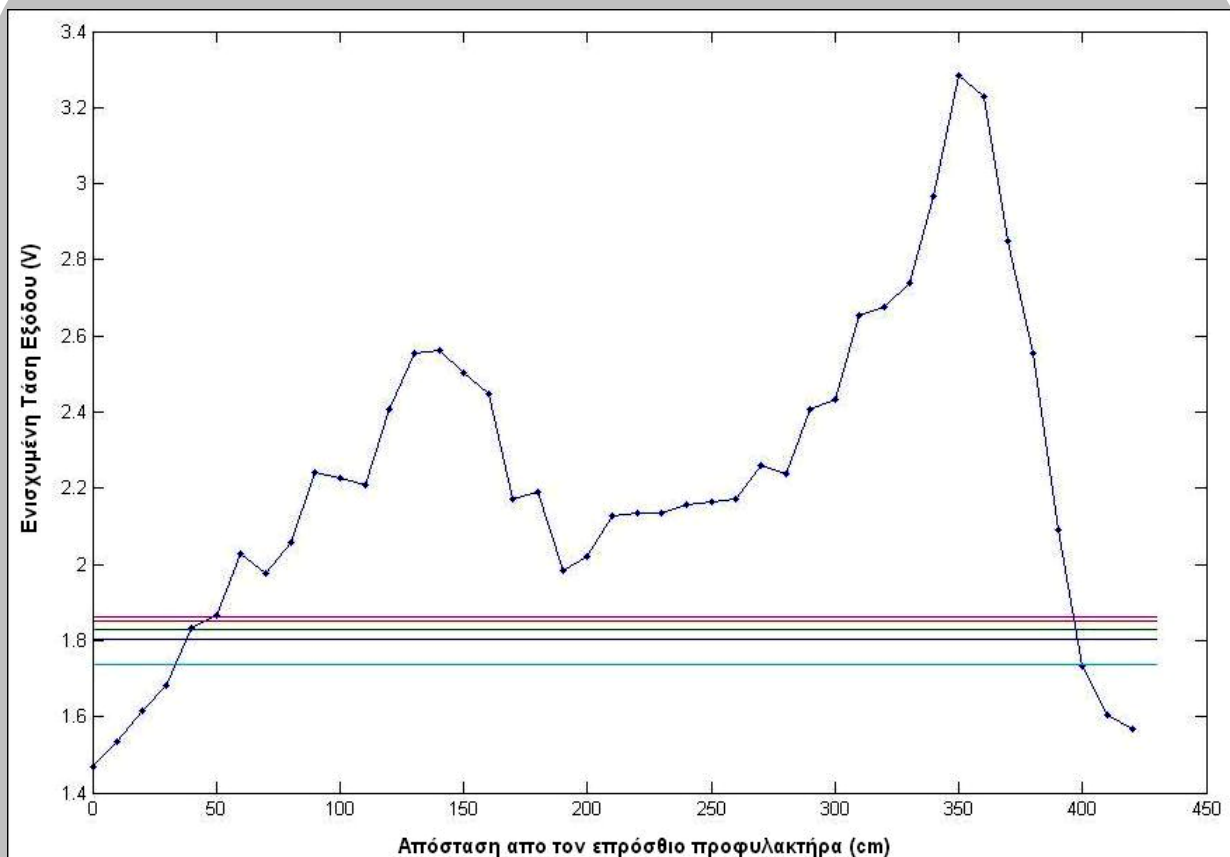
5.3 Προετοιμασία Αλγορίθμου

Για την προετοιμασία του αλγορίθμου, όπως αναφέρθηκε και στο εισαγωγικό σημείωμα του κεφαλαίου, συντέθηκε μια πειραματική διάταξη η οποία περιείχε μόνο τον αισθητήρα και το στάδιο της ενίσχυσης, το οποίο τότε είχε επιλεγεί με κέρδος 400. Ο μικροελεγκτής χρησιμοποιήθηκε μόνο για την δημιουργία των απαιτούμενων παλμών set και reset κατά την τροφοδότηση και μετά το πέρας 1.5 λεπτού. Για τη συλλογή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο LabVIEW της εταιρείας National Instruments σε συνδυασμό με το όργανο συλλογής NI USB-6009.



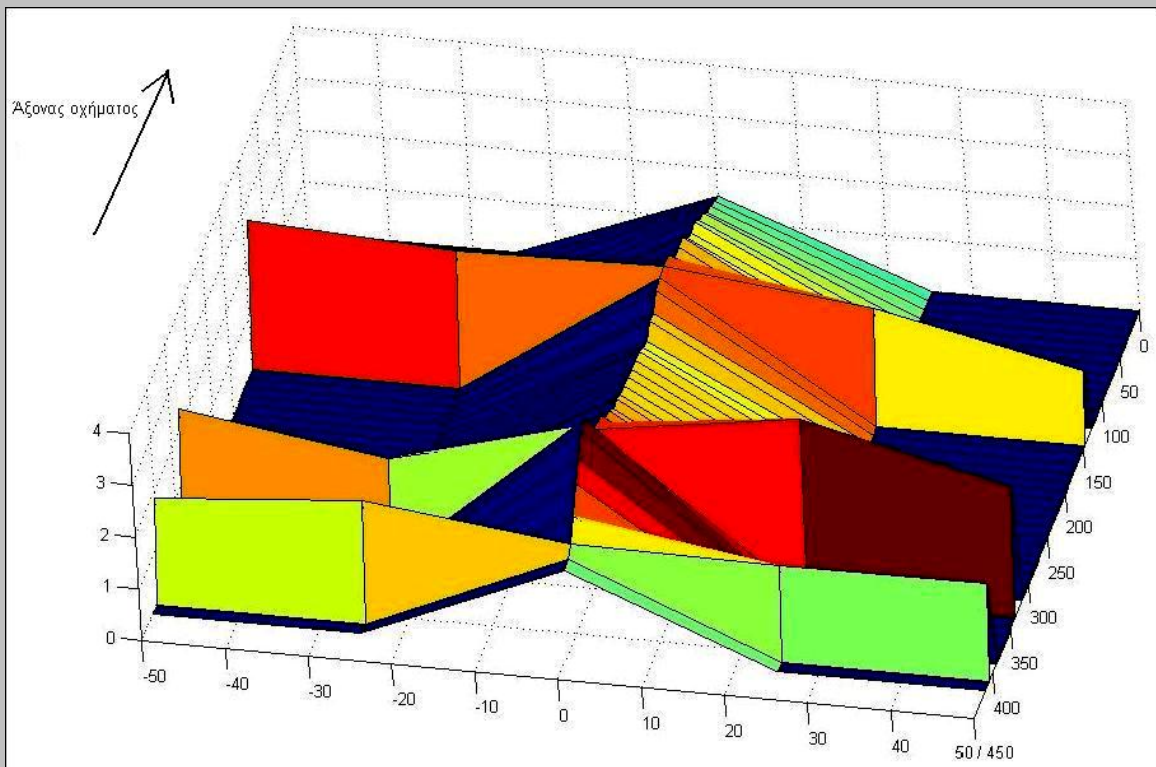
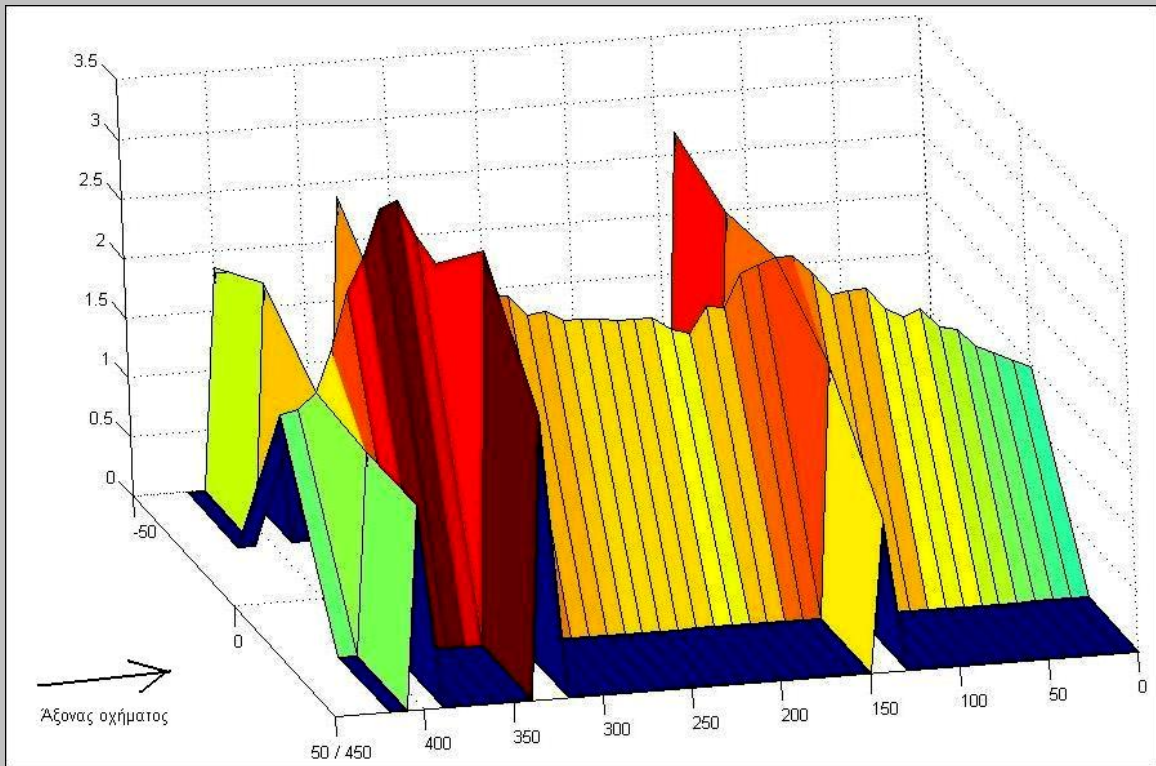
ΣΧΗΜΑ 5.7 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΓΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΑΜΑΞΩΜΑΤΟΣ, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΥΠΟΓΡΑΦΩΝ ΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΕΥΣΕΩΣ

Αρχικά ελήφθησαν οι ενισχυμένες τιμές εξόδου του αισθητήρα για διάφορα σημεία του οχήματος κατά τον άξονα παράλληλο προς το μήκος του και στο κέντρο. Τα σημεία αυτά ισαπέχον κατά 10cm μεταξύ τους. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε και σε τρεις άξονες κάθετους στον πρώτο στα σημεία που βρίσκονταν οι άξονες των τροχών και στο οπίσθιο μέρος. Σκοπός ήταν μια ικανοποιητική χαρτογράφηση της φερομαγνητικής μάζας του οχήματος, μέσω της μετρούμενης εντάσεως του μαγνητικού πεδίου. Παράλληλα ελήφθησαν και κάποιες τιμές της εξόδου του αισθητήρα απουσία οχήματος, ώστε να χωροθετηθεί η στάθμη ηρεμίας (BASELINE) στο σύνολο των προηγούμενων μετρήσεων. Η συνολική απεικόνιση των αποτελεσμάτων αυτών ήταν απαραίτητη για την για τη σύλληψη του ζητούμενου αλγορίθμου.



ΣΧΗΜΑ 5.8 - ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΕΞΟΔΟΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΜΗΚΟΥΣ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ

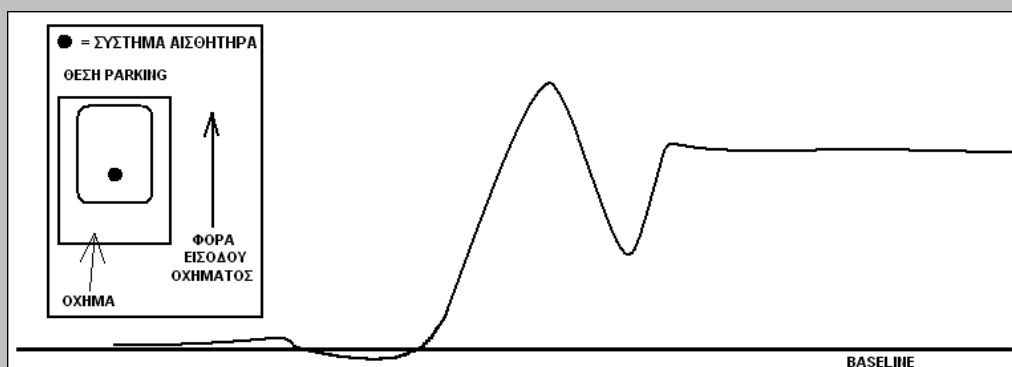
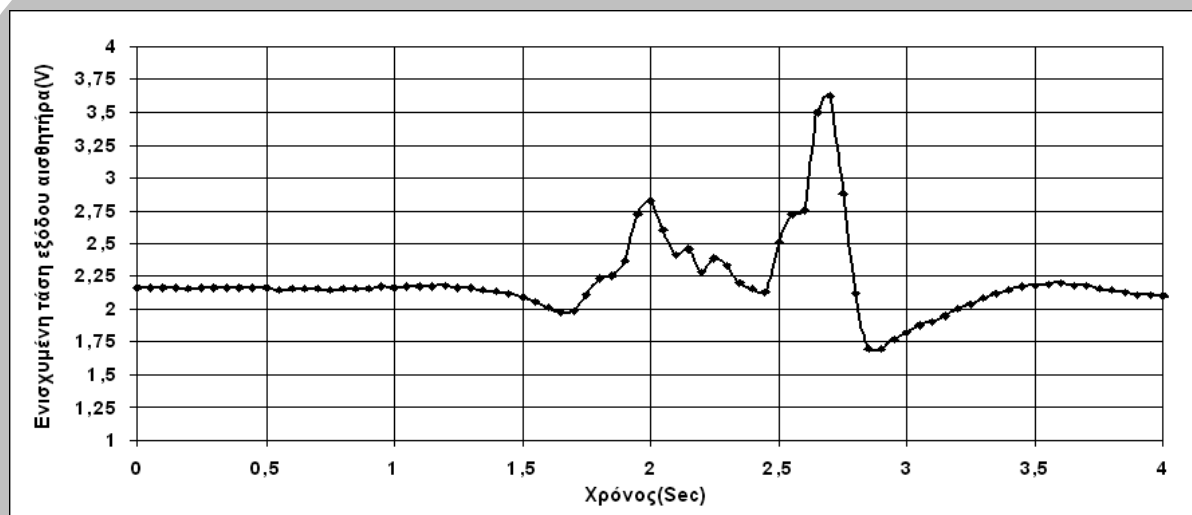
Οι μετρήσεις αυτές απεικονίζονται με τη βοήθεια του Matlab και τρισδιάστατα, ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση και των κάθετων στο μήκος του αμαξώματος αξόνων και γενικά να είναι πιο ευδιάκριτη η πραγματοποιηθείσα χαρτογράφηση.



ΣΧΗΜΑ 5.9 - ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΤΗΣ ΦΕΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Σημειώνεται πως ο κάθετος άξονας προς αυτόν του άξονα του οχήματος βαθμονομείται με το ποσοστό της θέσης του συγκεκριμένου σημείου ως προς το συνολικό πλάτος, ενώ η επιτευχθείσα χαρτογράφηση κρίνεται ικανοποιητική. Αυτό επαληθεύεται και από τις τρισδιάστατες απεικονίσεις, στις οποίες η μέγιστη τάση εξόδου του αισθητήρα στο πίσω τμήμα του οχήματος και προς τα δεξιά, συμπίπτει με το δοχείο καυσίμων.

Συμπληρωματικά με τις στατικές μετρήσεις ελήφθησαν και ποικίλες εν κινήσει του οχήματος, με σκοπό την παρατήρηση της μαγνητικής του υπογραφής κατά πλήρες πέρασμα του πάνω από το σύστημα συλλογής, αλλά και κατά τη διάρκεια στάθμευσης. Ως ρυθμός δειγματοληψίας ορίστηκε αυτός των 20Hz με χρονική διάρκεια συλλογής για κάθε μέτρηση τα 10sec. Άρα έχουμε συνολικά 200 δείγματα ανά μέτρηση. Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα Ford Focus 1.400cc και πως η τοποθέτηση του αισθητήρα ήταν με τον *sensitive axis* κάθετα προς το έδαφος και προς την άνω διεύθυνση (άξονας z). Τα γραφήματα των πειραματικών μαγνητικών υπογραφών σταθμεύσεως δεν θα παρουσιαστούν στο παρόν σημείο, αλλά κατά την παράγραφο πειραματικής επαλήθευσης του αλγορίθμου.



ΣΧΗΜΑ 5.10 - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΛΛΕΧΘΕΙΣΑΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΥΠΟΓΡΑΦΗΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΥΠΟΓΡΑΦΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΕΩΣ

Όπως παρατηρείται η μαγνητική υπογραφή του οχήματος εν κινήσει, προσομοιάζει με την απεικόνιση των μεμονωμένων σταθμών τάσεως ανά σημείο του άξονα μήκους που παρουσιάστηκε στο σχήμα 5.8 . Μια ομοιότητα ήταν αναμενόμενη καθώς ουσιαστικά οι δύο αυτές απεικονίσεις αποτελούν το ίδιο μετρούμενο μέγεθος με τη διαφορά πως η μια είναι σε πραγματικό χρόνο και εν κινήσει του οχήματος, ενώ η άλλη γίνεται τμηματικά. Πραγματοποιήθηκαν όμως και οι δύο μετρήσεις για πιο σαφή αποτελέσματα.

5.4 Επεξήγηση Αλγορίθμου Ανίχνευσης Σταθμευμένων Οχημάτων

Βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων που ελήφθησαν κατά την προετοιμασία του αλγορίθμου, είναι πλέον δυνατό να καταστρωθεί η δομή του και να είναι τελικά εφικτός ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή.

Η πιο απλή και γενική περίπτωση για ανίχνευση οχήματος είναι η πρώτη που αποτελεί ένα απλό πέρασμα χωρίς στάθμευση άνω του αισθητήρα. Αλγόριθμοι που έχουν συντεθεί σε άλλες εφαρμογές με γνώμονα τη σίγουρη διέλευση όλου του οχήματος, όπως η μέτρηση μέσης ταχύτητας ροής κυκλοφορίας, στηρίζονται στην ιδέα ενός δύο κατωφλίων. Ενός θετικότερου και με μεγάλη διαφορά σχετικά με την τιμή τάσης βάσης και ενός αντίθετου αρκετά αρνητικότερου αυτής. Με τη λογική αυτή, ανεξάρτητα της φοράς του οχήματος και επομένως της σειράς εμφάνισης του θετικού και αρνητικού μετώπου τάσης, ο αλγόριθμος έφτανε σε σημείο ημιδιέγερσης με το πρώτο μέτωπο και βεβαιωνόταν η ανίχνευση με την εμφάνιση του αντίθετου μετώπου.

Στην περίπτωση όμως του υπό μελέτη συστήματος που ζητούμενο είναι η ανίχνευση στάσης-στάθμευσης οχήματος στην περιοχή που ελέγχει το σύστημα, όπως παρατηρήθηκε από τα πειραματικά δεδομένα και παρουσιάζεται και στην ποιοτική μαγνητική υπογραφή στάθμευσης που δόθηκε ανωτέρω στο σχήμα 5.10, η μορφή της εξόδου είναι βέβαιο πως θα παρουσιάσει αρχικά μια σημαντική θετική απόκλιση συγκριτικά με την βάση (Baseline) η οποία εν συνεχεία θα μειωθεί για να καταλήξει σε μια περιοχή μεταξύ της ανώτερης τιμής και της τιμής βάσης. Το αρνητικό μέτωπο είναι πολύ μικρό ή απουσιάζει εντελώς στις περισσότερες περιπτώσεις. Επομένως η λογική του γενικότερου αλγορίθμου ανίχνευσης με συνδυασμό θετικού και αρνητικού κατωφλίου αναίρεται.

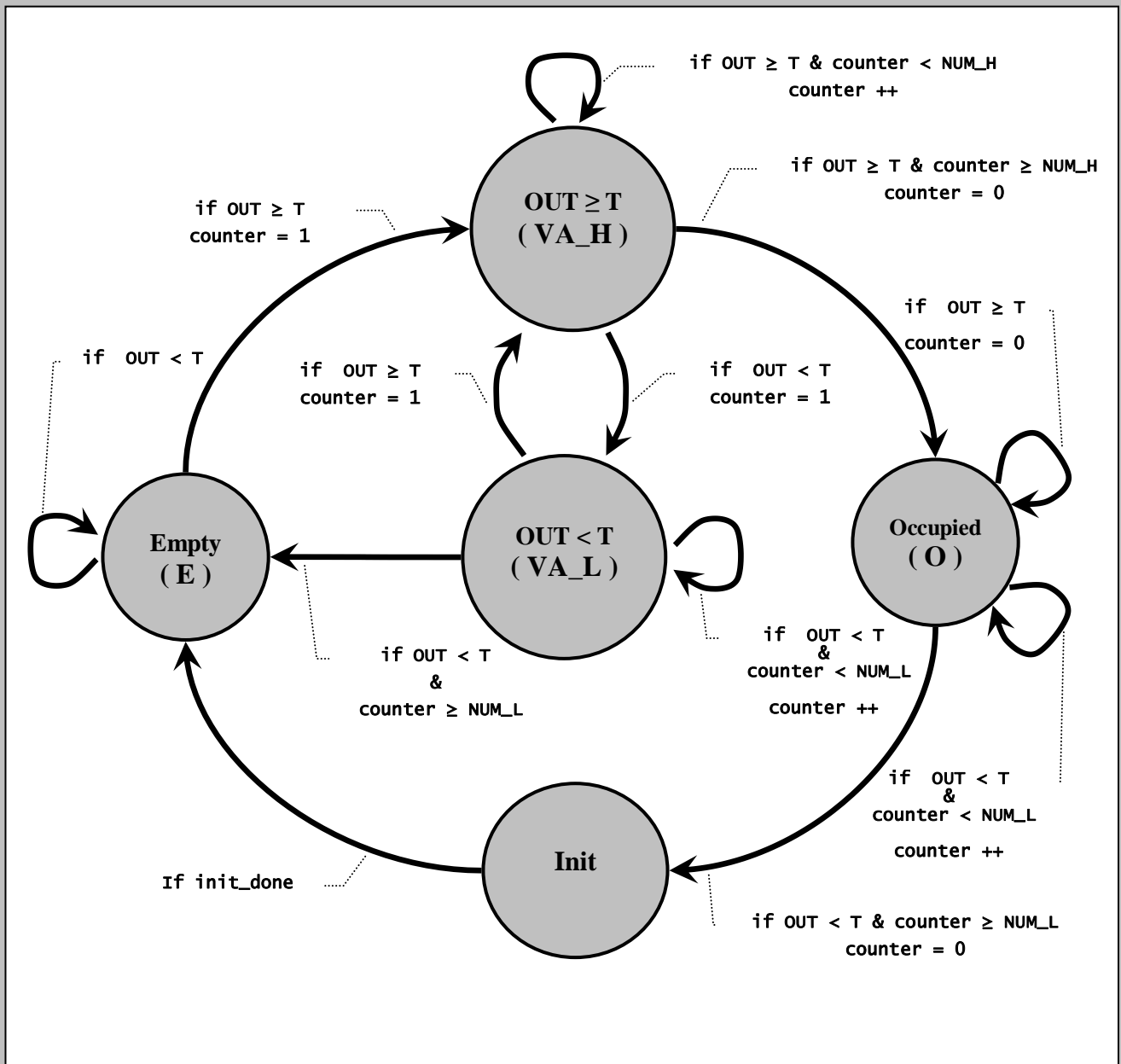
Από την προηγούμενη ανάλυση και τα συμπεράσματα που εξήχθηκαν, δεδομένου του γεγονότος πως τα ληφθέντα δεδομένα είναι τιμές τάσης, θα πρέπει βασικό κριτήριο να είναι η σύγκριση της εξόδου του αισθητήρα με ένα θετικό κατώφλι τάσης μεγαλύτερου αυτού της τιμής βάσης και αυξημένο συγκριτικά με αυτή τόσο ώστε να είναι δυνατόν να απορρίπτεται επιπλέον και ο θόρυβος του περιβάλλοντος χώρου. Επίσης επειδή το σύστημα αναφέρεται σε στάση του οχήματος άνω του αισθητήρα, κρίνεται αναγκαίο να ενσωματωθεί στον αλγόριθμο ως δεύτερο κριτήριο επιβεβαίωσης και ο χρόνος παραμονής στην εκάστοτε κατάσταση.

Σύμφωνα λοιπόν με τις προαναφερθείσες προδιαγραφές καταστρώνεται ο γράφος λειτουργίας του αλγορίθμου, που θα απαρτίζεται από δύο καταστάσεις που θα αντιστοιχούν στις περιοχές τάσης εξόδου του αισθητήρα, δυο που αποτελούν αυτές της άδειας και κατειλημμένης θέσης και μια μεταβατική αρχικοποίησης του συστήματος. Συγκεντρωτικά λοιπόν οι καταστάσεις λειτουργίας του συστήματος είναι οι εξής έξι:

1. **Init** (Αρχικοποίηση συστήματος - αρχή αλγορίθμου)
2. **Empty** (Θέση κενή - πιθανό τέλος του αλγορίθμου)
3. **VA_H** ($OUT \geq T$)
4. **VA_L** ($OUT < T$)
5. **Occupied** (θέση κατειλημμένη – πιθανό τέλος αλγορίθμου)

Η ονομασία των ενδιάμεσων καταστάσεων 3 και 4 προέρχεται από το γεγονός ότι αντιστοιχούν σε περιοχές υψηλής και χαμηλής συγκριτικά με το κατώφλι τάσης (Voltage Areas), ενώ το OUT συμβολίζει την έξοδο του αισθητήρα μετά την ενίσχυση.

- Τα κριτήρια για τη μετάβαση στις διάφορες καταστάσεις είναι δύο:
 - Α. Το επίπεδο τάσης της εξόδου του αισθητήρα που χρησιμοποιείται σε κάθε κατάσταση και
 - Β. ο χρόνος παραμονής στην εκάστοτε κατάσταση, που υλοποιείται μέσω counter και χρησιμοποιείται μόνο στις καταστάσεις VA.
- Βάσει των ανωτέρω υποδείξεων συντίθεται ο ακόλουθος γράφος του ζητούμενου αλγορίθμου.



ΣΧΗΜΑ 5.11 - ΓΡΑΦΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΣΕΩΣ ΣΤΑΘΜΕΥΜΕΝΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Το firmware του συστήματος και συνεπώς και ο ανωτέρω αλγόριθμος που ενσωματώνεται σε αυτό, υλοποιήθηκε σε γλώσσα C μέσω του compiler CodeVisionAVR της HP InfoTech που υποστηρίζει την οικογένεια μικροελεγκτών αρχιτεκτονικής AVR της Atmel. Η αυτόματη μετατροπή του προγράμματος από γλώσσα υψηλού επιπέδου σε assembly και ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή, πραγματοποιήθηκαν με χρήση του περιβάλλοντος ανάπτυξης AVR Studio 4 και του συστήματος ανάπτυξης STK500 της εταιρείας Atmel από την οποία προέρχεται και ο χρησιμοποιούμενος μικροελεγκτής Atmega32.



**ΣΧΗΜΑ 5.12 - ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
STK500 ΚΑΙ AVR STUDIO 4 ΤΗΣ ATMEL[v]**

Στο σημείο αυτό θα δοθεί μια συνοπτική περιγραφή των δύο βασικότερων τμημάτων του κώδικα. Το πρώτο είναι αυτό της συνάρτησης SystemInit και αντιστοιχεί στην κατάσταση αρχικοποίησης του συστήματος Init (σχήμα 5.11), ενώ το δεύτερο είναι η ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής που προέρχεται από την υπερχειλίση του χρησιμοποιούμενου 16-bit χρονιστή timer1 του μικροελεγκτή. Η ρουτίνα αυτή ουσιαστικά περιέχει ολόκληρο τον αλγόριθμο που παρουσιάστηκε ανωτέρω και η λογική χρησιμοποίησής της, είναι η επίτευξη της επιθυμητής συχνότητας δειγματοληψίας των 20Hz όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.4.5.6.1 .

5.4.1 Συνάρτηση αρχικοποίησης συστήματος SystemInit

Στην συνάρτηση SystemInit, όπως προειπώθηκε, πραγματοποιείται η απαραίτητη αρχικοποίηση του συστήματος πριν τη λήψη των δειγμάτων και εφαρμογή σε αυτών του αλγορίθμου ανίχνευσης. Συγκεντρωτικά οι λειτουργίες που επιτελούνται, παρουσιάζονται ακολούθως:

1. Δειγματοληψία της τάσης τροφοδοσίας V_{BAT} του συστήματος, με χρήση της σχηματισθείσας συνάρτησης Sample_Bat_Lev. Το δεδομένο αυτό αποτελεί σημαντική πληροφορία για τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας τροφοδότησης και υποδεικνύει τυχούσα ανάγκη αντικατάστασής της.
2. Εφαρμογή των απαραίτητων παλμών set/reset που επαναφέρουν τον μαγνητικό αισθητήρα στην κανονική κατάσταση λειτουργίας του, πριν από τη λήψη οποιασδήποτε μέτρησης. Η λειτουργία αυτή επιτελείται μέσω της συνάρτησης Set_Reset.
3. Υπολογισμός της πραγματικής τάσης που αντιστοιχεί στο μαγνητικό πεδίο της Γης (BASELINE), αφού τροφοδοτηθεί πρώτα το ενισχυτικό στάδιο μαζί με τον αισθητήρα. Συνάρτηση Calc_BSL.
4. Αποστολή στοιχείων αρχικοποίησης#1 (Battery level και BASELINE)
5. Υπολογισμός της απαραίτητης μεταβολής της θέσης του δρομέα του ψηφιακού ποτενσιόμετρου, από την αρχική στο 50% κατά την τροφοδοσία του, ώστε να

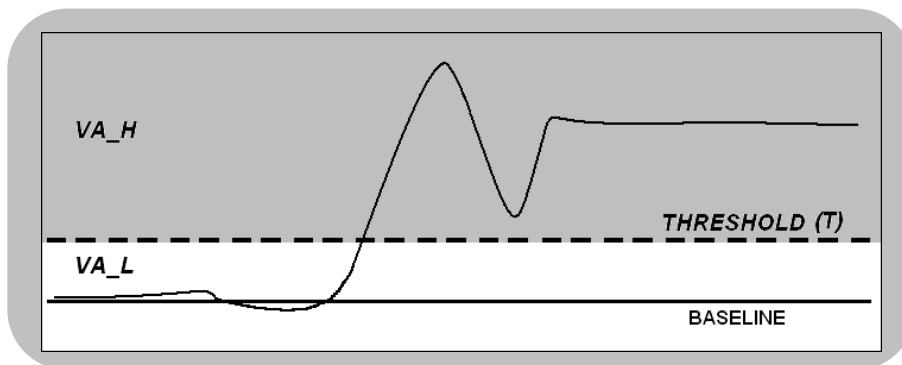
εξαλειφθεί το dc offset που δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο της Γης και να τοποθετηθεί η BASELINE όσο το δυνατόν πιο κοντά στην επιθυμητή τιμή στάθμης 512 (η μεσαία τιμή από τις 1024 στάθμες του 10bit ADC). Η τιμή αυτή αποστέλλεται μέσω του πρωτοκόλλου I2C στο ποτενσιόμετρο AD5242 το οποίο ρυθμίζεται ανάλογα και αποθηκεύεται επίσης στη μεταβλητή Wiper για παρουσίαση της. Η συνάρτηση ρύθμισης είναι η DC_Offset_Fix.

6. Επαναυπολογισμός της ρυθμισμένης τιμής της BASELINE για τον υπολογισμό των λειτουργικών κατωφλίων του αλγορίθμου, όπως επίσης και για επαλήθευση της λειτουργίας αντιστάθμισης. Επίσης με τη συνάρτηση Calc_BSL.
7. Υπολογισμός του κατωφλίου T που αποτελεί μια σταθερή προσαύξηση στην νέα τιμή της BASELINE.
8. Αποστολή στοιχείων αρχικοποίησης#2 (Wiper Value, Adjusted Baseline, Threshold_T).
9. Αρχικοποίηση των λογικών καταστάσεων παραμονής [E, VA_H, VA_L, OCC] στην τιμή [1,0,0,0] και μηδενισμός των επιμέρους μετρητών. Συνάρτηση StateInit.

Για πληρέστερη κατανόηση παρουσιάζεται ολόκληρος ο κώδικας (firmware) του συστήματος στο Παράρτημα της συγκεκριμένης μελέτης.

5.4.2 Ρουτίνα εξοπλήτσης της διακοπής από υπερχείλιση του timer1

Στην παράγραφο αυτή θα αναλυθεί η λειτουργία ανίχνευσης σταθμευμένου οχήματος με τη χρήση των κριτηρίων του κατωφλίου τάσης και του επιπλέον μετρητή παραμονής του συστήματος στην εκάστοτε κατάσταση VA που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται ένα ποιοτικό γράφημα του επιπέδου τάσης εξόδου ως προς το χρόνο και σημειώνονται σε αυτό οι περιοχές τάσης που σχηματίζονται από το επιλεγθέν κατώφλι. Η κυματομορφή αυτή αποτελεί μια αναμενόμενη μαγνητική υπογραφή στάθμευσης.



ΣΧΗΜΑ 5.13 - ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΑΣΗΣ ΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΕΠΙΛΕΧΘΕΝ ΚΑΤΩΦΛΙ Τ

Σε περίπτωση δείγματος μέσα στην γραμμοσκιασμένη περιοχή VA_H το όχημα θεωρείται παρόν άνω του αισθητήρα και εντός της ελεγχόμενης περιοχής στάθμευσης. Ένας μετρητής τότε αθροίζει τον αριθμό των δειγμάτων που συνέπεσαν στην ίδια περιοχή τάσης και αν υπερκεραστεί μια δεδομένη τιμή, που αντιστοιχεί ουσιαστικά σε χρόνο βάσει του ρυθμού δειγματοληψίας, η ανίχνευση στάθμευσης θεωρείται επιτυχής. Αλλιώς πραγματοποιείται μετάβαση στην κατάσταση λειτουργίας VA_L του συστήματος. Μετρητής υφίσταται και στις καταστάσεις VA_L και OCCUPIED, για την περίπτωση όμως που χρειάζεται επιβεβαίωση αναχώρησης ενός οχήματος από την ενδιαφερόμενη θέση.

Ακολουθεί μια περιγραφή του αλγορίθμου ανίχνευσης στάθμευσης όπως αυτός συναντάται στην ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής και ο οποίος αποτελείται κατά το πλείστον από καταστάσεις ελέγχου για τη λήψη αποφάσεων if-else. Μόλις το σύστημα τροφοδοτηθεί εκτελείται η συνάρτηση SystemInit ώστε να γίνουν οι προαναφερθείσες αρχικοποιήσεις, άρα το διάνυσμα καταστάσεων παραμονής [E, VA_H, VA_L, OCC] είτε είναι η πρώτη φορά εφαρμογής του αλγορίθμου είτε σε οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή έχει πάντα μια τιμή. Επειδή το σύστημα επιτρέπεται να είναι σε κάθε βήμα σε μια μόνο κατάσταση, το διάνυσμα αυτό έχει μια λογική μονάδα μόνο στην κατάσταση που είναι ενεργή στο παρόν βήμα και όλες οι άλλες είναι ανενεργές άρα και μηδενικές.

Εάν η παρούσα κατάσταση είναι η E τότε

- Με τιμή εξόδου του αισθητήρα $OUT < T$ (VA_L) το σύστημα παραμένει στην ίδια κατάσταση και ο μετρητής επανααρχικοποίησης αυξάνεται κατά 1. Ο έλεγχος του μετρητή αυτού τοποθετείται μέσα στο κυρίως πρόγραμμα και μάλιστα μέσα σε έναν ατέρμονα βρόγχο while(1) και οδηγεί σε εκ νέου αρχικοποίηση του συστήματος μετά από ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα παραμονής του συστήματος στην κατάσταση Empty.
- Εάν η OUT είναι στην VA_H, τότε πραγματοποιείται μετάβαση σε αυτή και ο μετρητής παραμονής σε αυτή αρχικοποιείται με 1.

Εάν η παρούσα κατάσταση είναι η VA_H τότε

- Εάν το νέο δείγμα (OUT) είναι στην ίδια περιοχή αλλά ο μετρητής παραμονής δεν έχει ξεπεράσει τον απαιτούμενο αριθμό επιτυχούς στάθμευσης NUM_H, τότε απλά ο μετρητής παραμονής αυξάνεται κατά 1.
- Εάν το δείγμα ανιχνευθεί στην περιοχή VA_L τότε προκαλείται μετάβαση στη κατάσταση αυτή και αρχικοποιείται ο μετρητής παραμονής σε αυτή με 1
- Αν επαναληφθεί δειγματισμός στην ίδια περιοχή και ο μετρητής παραμονής μόλις ξεπερνάει το όριο NUM_H τότε επιβεβαιώνεται η στάθμευση του οχήματος με μετάβαση στην κατάσταση OCC

Εάν η παρούσα κατάσταση είναι η VA_L τότε

- Αν δείγμα επίσης στην ίδια περιοχή αλλά ο μετρητής παραμονής είναι μικρότερος του αριθμού επιβεβαίωσης NUM_L, τότε υφίσταται παραμονή στην ίδια κατάσταση και αύξηση του μετρητή κατά 1
- Εάν OUT στην περιοχή VA_H, τότε πραγματοποιείται μετάβαση σε αυτή και αρχικοποίηση του μετρητή παραμονής σε τιμή 1
- Επανάληψη δείγματος εξόδου του αισθητήρα στην περιοχή VA_L σε συνδυασμό με τιμή μετρητή παραμονής στην κατάσταση αυτή μεγαλύτερο από το εισηγμένο όριο NUM_L, επιβάλει μετάβαση του συστήματος στην κατάσταση ελεύθερης θέσεως E. (Η κατάσταση VA_L επομένως χρησιμοποιείται κυρίως στην περίπτωση αύξησης της εξόδου του αισθητήρα από πιθανόν εξωγενή παράγοντα που δεν αποτελεί υπό στάθμευση όχημα και ουσιαστικά αφήνει αναλλοίωτη την απόφαση του συστήματος για κενή θέση στάθμευσης. Είναι πιθανόν όμως η μαγνητική υπογραφή ενός οχήματος να προκαλέσει μετάβαση στην κατάσταση αυτή, όμως είναι σίγουρο πως μετά την πρόσκαιρη πτώση της εξόδου του αισθητήρα αυτή θα επανέλθει στην περιοχή VA_H σε χρόνο μικρότερο από το όριο NUM_L από όπου θα ξεκινήσει μια νέα σειρά δειγμάτων για απόφαση επιτυχούς στάθμευσης).

Εάν η παρούσα κατάσταση είναι η OCC τότε

- Αν το νέο δείγμα είναι μέσα στην περιοχή VA_H, τότε το σύστημα απλά παραμένει στην κατάσταση χωρίς καμία επιπλέον λειτουργία
- Αν δειγματηθεί τάση εξόδου στην περιοχή VA_L αλλά ο μετρητής δεν έχει ξεπεράσει τον απαιτούμενο αριθμό επιτυχούς αναχώρησης NUM_L, τότε απλά ο μετρητής αναχώρησης αυξάνεται κατά 1.
- Αν επαναληφθεί δειγματισμός στην περιοχή VA_L και ο μετρητής αναχώρησης μόλις ξεπερνάει το όριο NUM_L τότε επιβεβαιώνεται η αναχώρηση του οχήματος με μετάβαση στην κατάσταση αρχικοποίησης Init.

Επιπροσθέτως, στη ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής από υπερχειλίση του timer1, περιέχεται πριν την έξοδο από αυτή και μια εντολή αποστολής στο κέντρο συλλογής δεδομένων των στοιχείων παρούσας κατάστασης παραμονής και δείγματος. Η συνεχής αποστολή των δεδομένων αυτών από ότι είναι αντιληπτό δεν είναι απαραίτητη σε μια κανονική κατάσταση λειτουργίας του συστήματος, αλλά μόνο στην περίπτωση ελέγχου της ορθής λειτουργίας του σε πειραματικό επίπεδο. Σε άλλη περίπτωση οι πληροφορίες που θα αποστέλλονταν θα ήταν μόνο αυτές κατά την αρχικοποίηση, για έλεγχο των λειτουργικών χαρακτηριστικών του συστήματος και πιθανή συντήρησή του, καθώς και μια όχι τόσο συχνή ένδειξη μεταξύ μόνο των δύο καταστάσεων στάθμευσης ή μη. Η συνολική διάρκεια λειτουργίας του υποσυστήματος επικοινωνίας θα ήταν σαφώς μικρότερη τότε, με αποτέλεσμα την οικονομικότερη ενεργειακά λειτουργία.

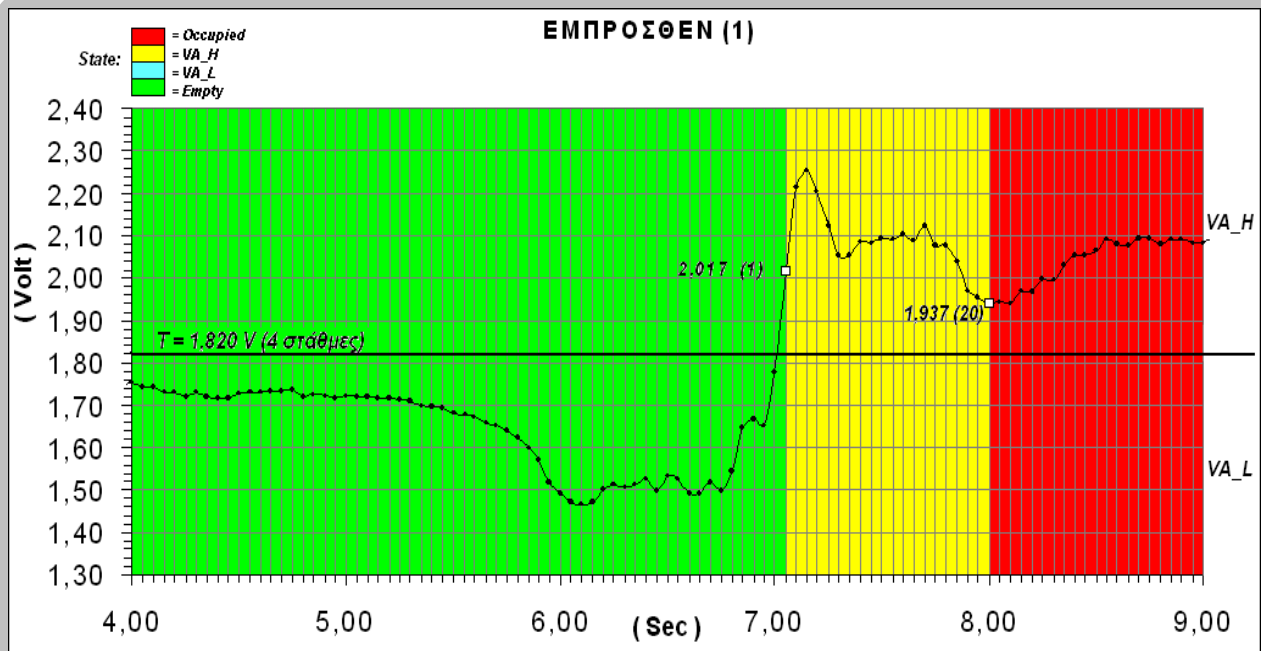
5.5 Επαλήθευση Αλγορίθμου

Κατά την προετοιμασία του αλγορίθμου, όπως αναφέρθηκε, ελήφθησαν και πειραματικά δείγματα μαγνητικών υπογραφών σταθμεύσεως. Σε αυτά τα δείγματα εφαρμόστηκε ο ανωτέρω αλγόριθμος για επιβεβαίωση και επαλήθευση της ορθής λειτουργίας του. Όπως θα παρατηρηθεί και από τα επόμενα γραφήματα, σε όλες τις περιπτώσεις ο αλγόριθμος απεφάνθη στάθμευση του οχήματος πράγμα σύμφωνο με την πραγματικότητα.

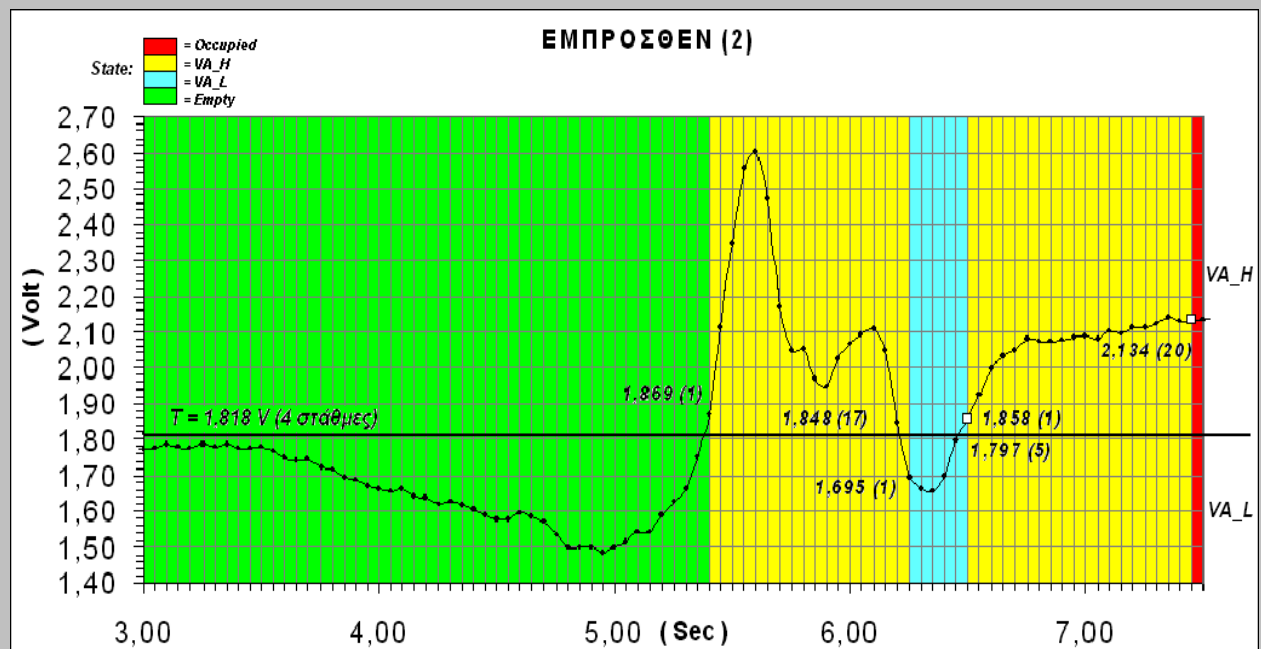
Τα κοινά δεδομένα που θεωρήθηκαν πριν την εκάστοτε εφαρμογή του, ήταν οι αριθμοί NUM_H, NUM_L με τιμές 20 και 10. Αυτές αντιστοιχούσαν σε χρόνους παραμονής 1 και 0.5 δευτερολέπτου αντίστοιχα στις καταστάσεις VA_H και VA_L. Οι χρόνοι αυτοί αποφασίστηκαν από τη γενική παρατήρηση των δειγμάτων μαγνητικών υπογραφών σταθμεύσεως και την εξαγωγή του συμπεράσματος πως ένα μέσος χρόνος στάθμευσης είναι 3-4 sec και ισχύουν και στον τελικό κώδικα του firmware.

Όσον αφορά το κατώφλι T δεν είχε αποφασιστεί ποια θα ήταν η σταθερή διαφορά του από την Baseline, άλλα αυτός ήταν και ο σκοπός αυτών των πρώτων πειραματικών μετρήσεων προετοιμασίας. Ο A/D που χρησιμοποιήθηκε κατά τις πρώτες αυτές μετρήσεις ήταν 8bit, άρα η κάθε στάθμη αντιστοιχούσε σε περίπου 20mV. Τελικά στον κώδικα του firmware η τιμή αυτή ορίστηκε (A/D πλέον 10bit → 1024 βήματα των 4,9mV) για το T=BSL+28, δηλαδή διαφορά 28 σταθμών που αντιστοιχούν σε περίπου 137mV από την Baseline (ο θόρυβος σε μια μέση περίπτωση δεν ξεπερνάει προς τα θετικά την Baseline περισσότερο από 80mV).

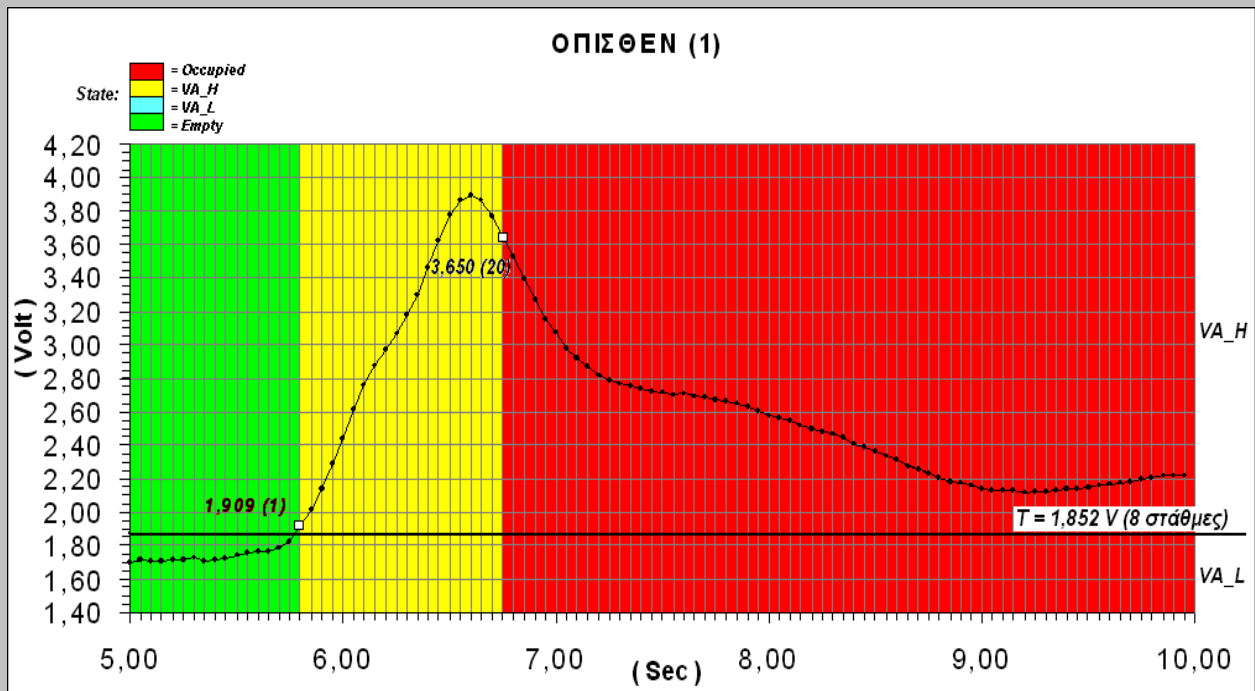
Τα αποτελέσματα αυτά παρατίθενται ακολούθως.



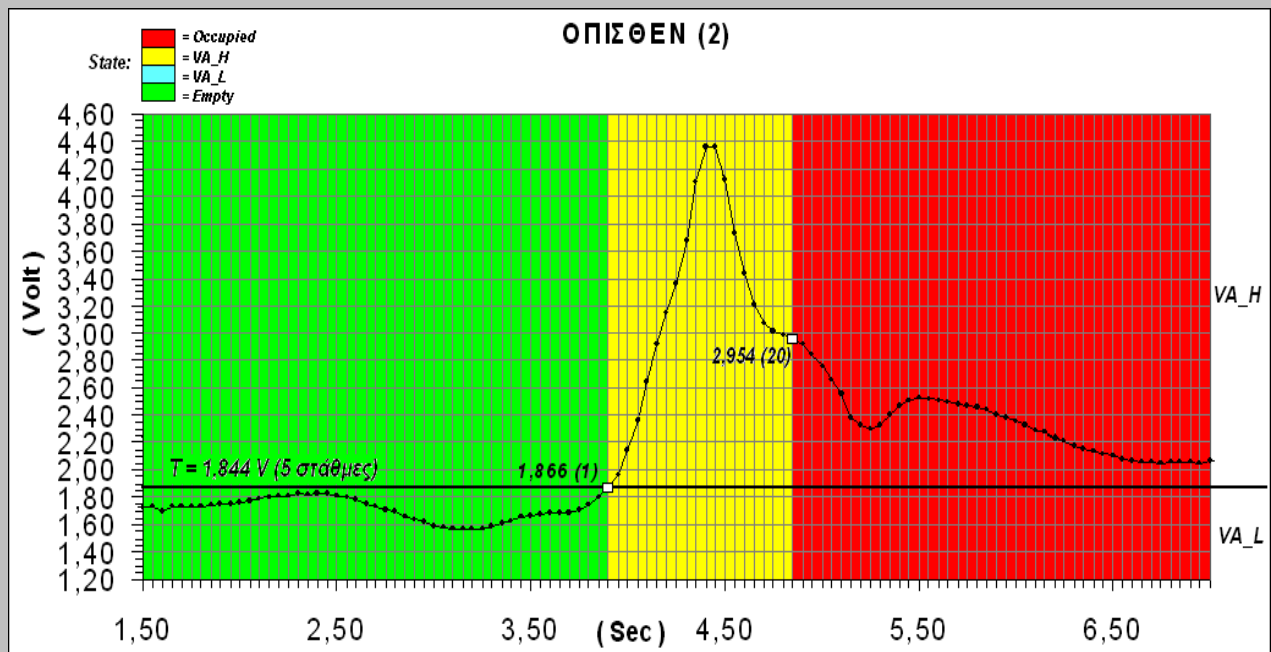
**ΣΧΗΜΑ 5.14 - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ
 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΕΩΣ#1**



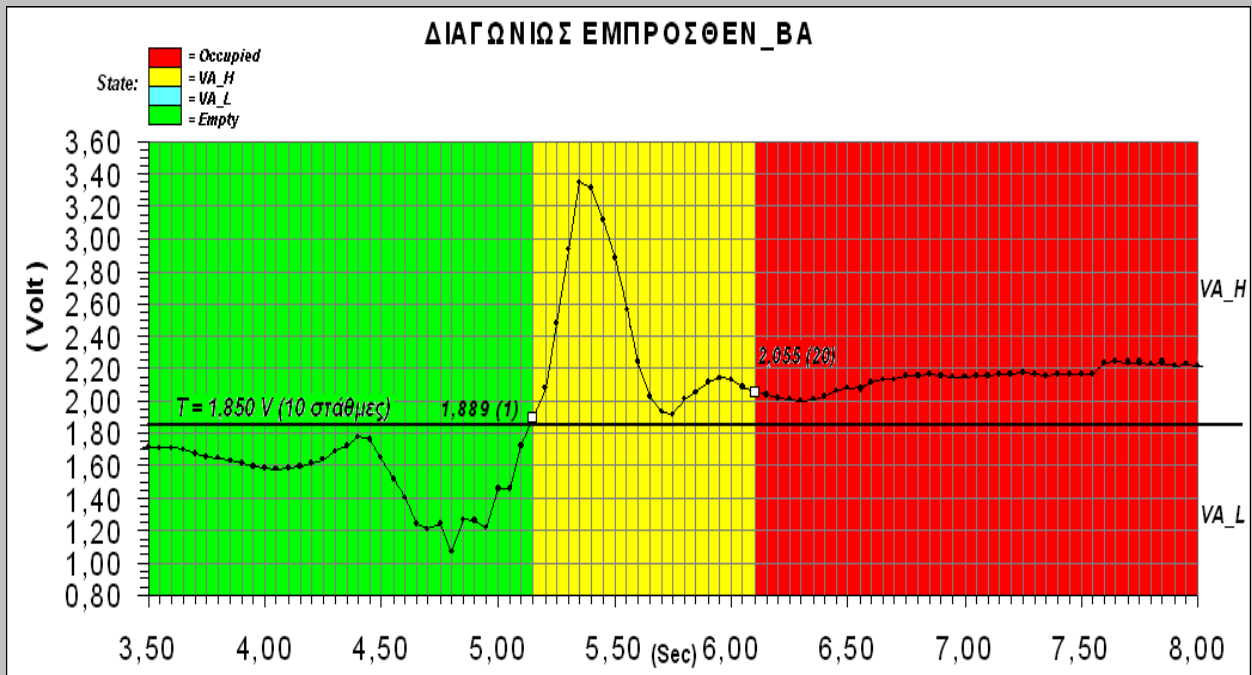
**ΣΧΗΜΑ 5.15 - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ
 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΕΩΣ#2**



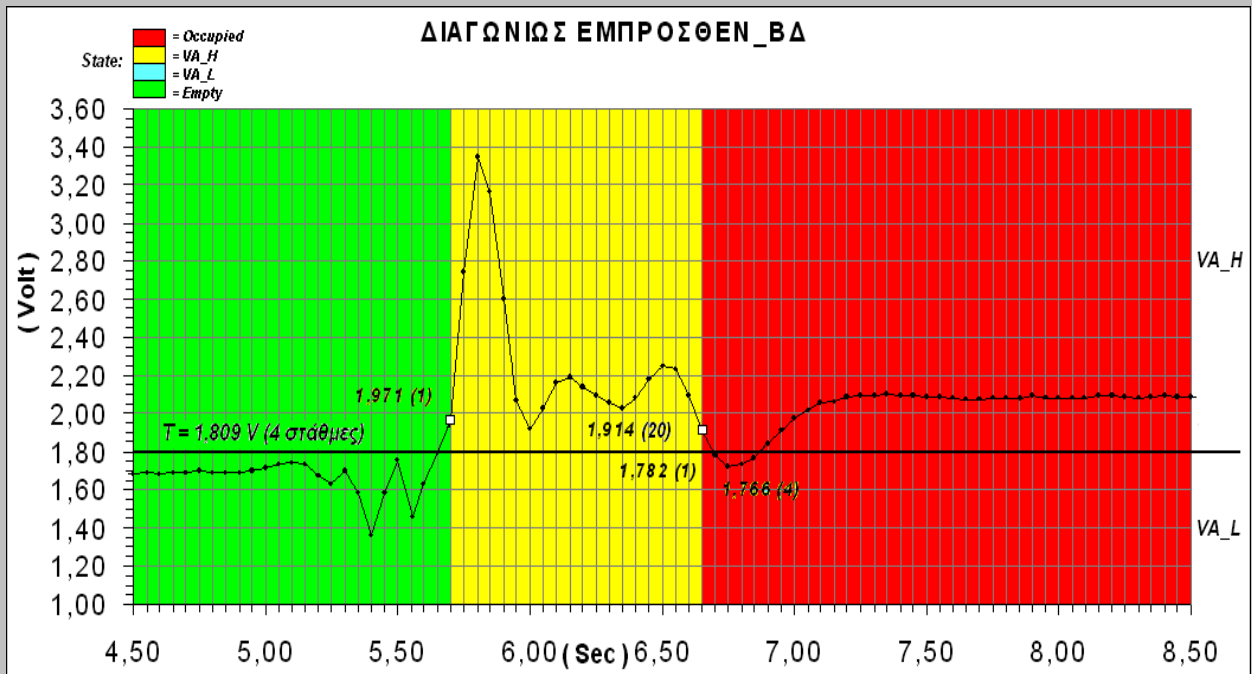
**ΣΧΗΜΑ 5.16 - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ
 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΕΩΣ#3**



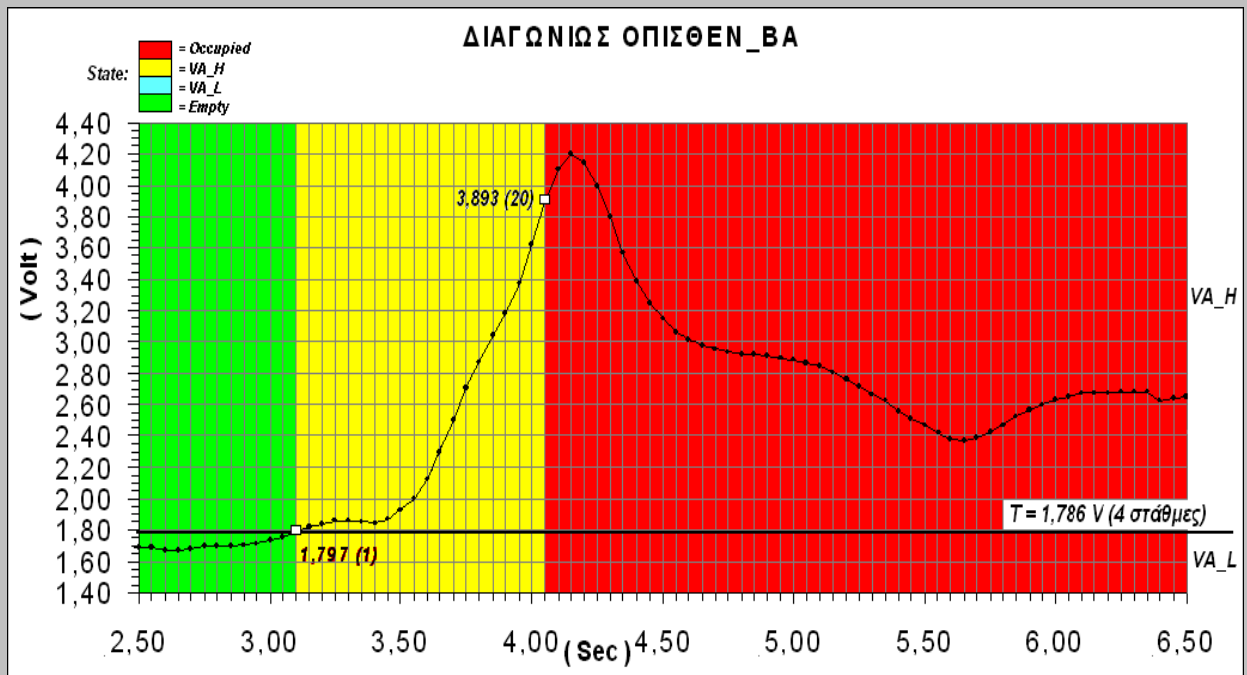
**ΣΧΗΜΑ 5.17 - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ
 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΕΩΣ#4**



**ΣΧΗΜΑ 5.18 - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ
ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΕΩΣ#5**



**ΣΧΗΜΑ 5.19 - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ
ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΕΩΣ#6**



**ΣΧΗΜΑ 5.20 - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ
 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΕΩΣ#7**

6.1 Κατασκευή πρωτοτύπου

Η σύνθεση του συστήματος, καθώς η λειτουργία των υποσυστημάτων του, αναλύθηκε επαρκώς στο τέταρτο κεφάλαιο. Στο πέμπτο επίσης επιβεβαιώθηκε η λειτουργία του αλγορίθμου και επομένως ο σκοπός της παρούσης ενότητας, είναι η σχεδίαση ενός πρωτότυπου συστήματος βασισμένου στις δοθείσες προδιαγραφές.

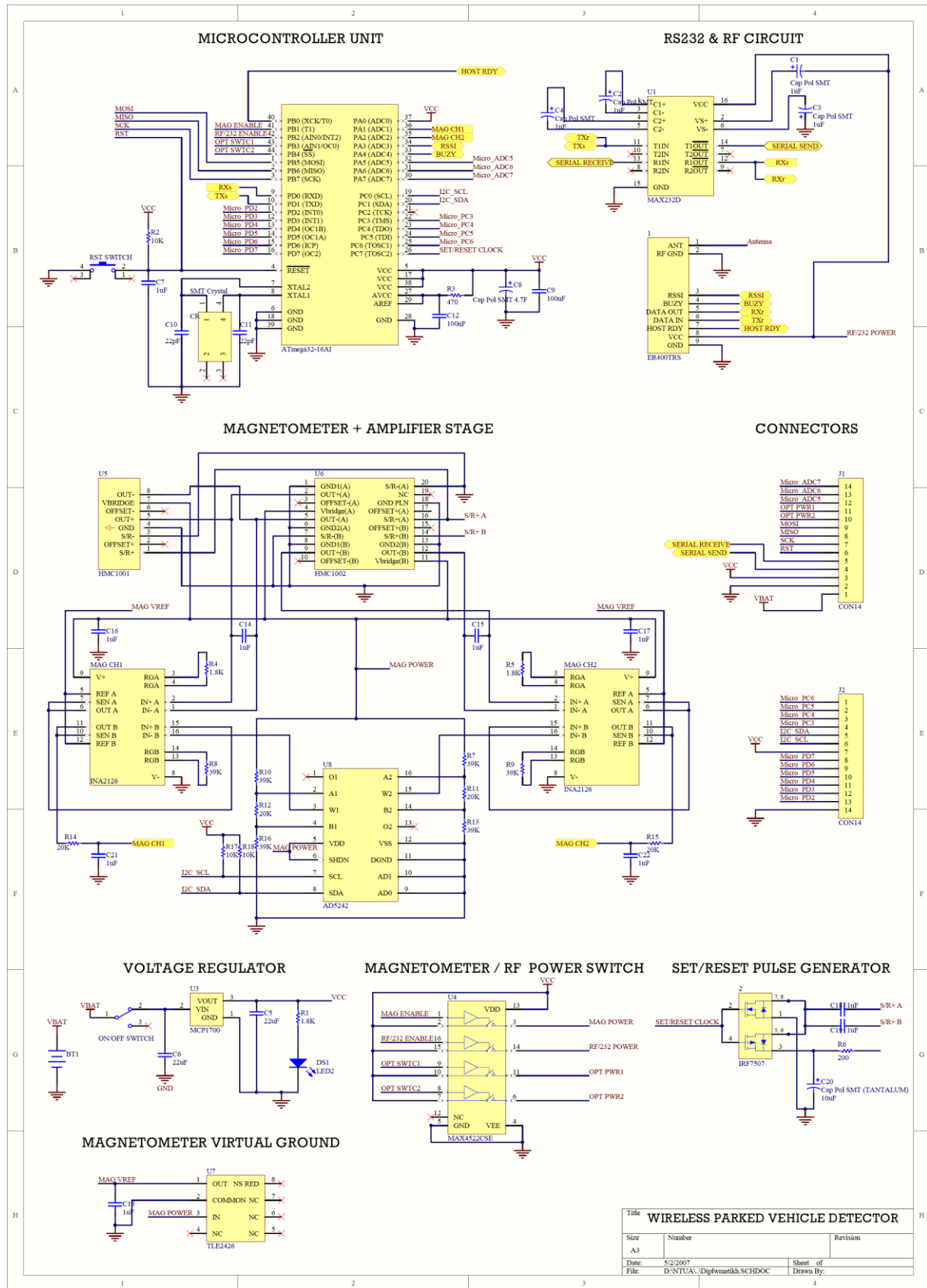
Από αυτές επισημαίνεται η χρήση στοιχείων SMD και οι όσο το δυνατόν μικρότερες διαστάσεις. Η υπόδειξη αυτή και το πιθανό περίβλημα που προτάθηκε στο κεφάλαιο 5, οδηγούν στην επιλογή σχεδίασης διπλής όψης και στις τελικές διαστάσεις 4.8x6.2 cm οι οποίες επιλέχθηκαν.

Για τη σχεδίαση χρησιμοποιήθηκε σχεδιαστικό πρόγραμμα CAD, το οποίο μετά τη σύνθεση του σχηματικού δίνει τη δυνατότητα στον σχεδιαστή να κατασκευάσει την πλακέτα (PCB) με τα χρησιμοποιηθέντα στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω εικονικών διαδρόμων για αποφυγή εσφαλμένων συνδέσεων, αλλά και για τη διευκόλυνση και απλοποίηση της σχεδίασης. Το επόμενο μέλημα του σχεδιαστή, είναι η επιλογή των επιθυμητών και εφικτών διαστάσεων της πλακέτας και η τοποθέτηση-χωροθέτηση των στοιχείων στην σχηματιζόμενη επιφάνεια. Η πιο δύσκολη διαδικασία και μάλιστα αυτή που απαιτεί τον περισσότερο χρόνο απασχόλησης, είναι η διασύνδεση των στοιχείων μέσω αγωγών (routing). Στη διασύνδεση το σχεδιαστικό λογισμικό χρησιμοποιεί κανόνες σχεδίασης, είτε προεγκατεστημένους από την εταιρεία, αλλά και με δυνατότητα τροποποίησης αυτών από το χρήστη. Μερικοί από αυτούς είναι το πλάτος των αγωγών διασύνδεσης, η ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση των χάλκινων δρόμων μεταξύ τους και οι διαστάσεις και το σχήμα των οπών διασύνδεσης των δύο επιφανειών της πλακέτας (VIAs). Με το πέρας του συνόλου της σχεδίασης εφαρμόζεται ένας έλεγχος συμμόρφωσης με τους κανόνες που έχουν τεθεί (Design Rules Check) και εμφανίζονται μηνύματα λάθους και υποδείξεις στις περιπτώσεις παραβίασης αυτών.

Σημειώνεται πως στην συγκεκριμένη σχεδίαση κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία SMT, αφενός πρέπει για το κάθε στοιχείο να σχεδιαστεί ένα σχηματικό ανάλογο του που να διατηρεί την αρίθμηση και την ονομασία των ακροδεκτών του, αφετέρου όμως πρέπει να αντιστοιχηθεί στο κάθε στοιχείο και το κατάλληλο αποτύπωμα (footprint) το οποίο να συμφωνεί με το πακέτο του στοιχείου και θα χρησιμοποιηθεί για την κόλληση του στην επιφάνεια της πλακέτας. Τα αποτυπώματα αυτά τυπώνονται μαζί με τις αγωγίμες διασυνδέσεις στις δύο επιφάνειες της πλακέτας, είναι συνήθως τυποποιημένα για τα διάφορα πακέτα των στοιχείων και περιέχονται σε αρχεία του προγράμματος. Βεβαίως αρκετά από αυτά δεν είναι διαθέσιμα και στην περίπτωση αυτή πρέπει να σχεδιαστούν μεμονωμένα βάσει των υποδείξεων και των διαστάσεων από τα datasheets του κατασκευαστή.

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε πριν από τη σύνθεση του τυπωμένου κυκλώματος και όλες οι απαραίτητες πληροφορίες ενσωματώθηκαν σε μια βιβλιοθήκη προσαρτημένη στην εν λόγω μελέτη (project) του 'Ασύρματου Ανιχνευτή Σταθμευμένου Οχήματος'.

Ακολουθεί το σχηματικό διάγραμμα του συστήματος, πάνω στο οποίο στηρίχθηκε και η κατασκευή του πρωτοτύπου.



ΣΧΗΜΑ 6.1 – ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

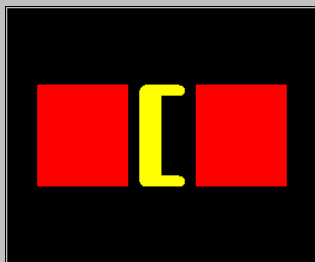
Βάσει του ανωτέρου σχηματικού συμπληρώνεται ένας κατάλογος (Bill Of Materials) των απαραίτητων υλικών που απαρτίζουν το πρωτότυπο κύκλωμα και είναι ο ακόλουθος.

Περιγραφή	Ποσότητα	Στοιχεία	Τύπος	Footprint	Ενδ. Τιμή(€)
LED	1	DS1	-	CC3216-1206	0.25
Capacitor	2	C10,C11	22pF	CC3216-1206	0.20x2 = 0.40
Capacitor	2	C12	100nF	CC3216-1206	0.38x2 = 0.76
Capacitor	14	C1,C2,C3,C4, C7,C13,C14,C15, C16,C17,C18,C19, C21,C22	1uF	CC3216-1206	0.28x14 = 3.92
Tantalum capacitor	2	C5,C6	22uF	CC3813-1505	2x0.88 = 1.76
Tantalum capacitor	1	C20	10uF	CC2513-1005	0.81
Tantalum capacitor	1	C8	4.7uF	CC2513-1005	1.19
Resistor	3	R1,R4,R5	1.8K	CR3216-1206	3x0.08 = 0.24
Resistor	6	R7,R8,R9, R10,R13,R16	39K	CR3216-1206	6x0.06 = 0.36
Resistor	4	R11,R12,R14,R15	20K	CR3216-1206	4x0.08 = 0.32
Resistor	3	R2,R17,R18	10K	CR3216-1206	3x0.06 = 0.18
Resistor	1	R3	470Ω	CR3216-1206	0.06
Resistor	1	R6	200Ω	CR3216-1206	0.06
Dual, Low-Power Instrumentation Amplifier (INA2126)	2	MAG CH1 MAG CH2	-	SO-G16	2x2.83 = 5.66
68-Bit AVR Microcontroller (ATmega32-16AU)	1	U2	-	44A	6.33
HEXFET Power MOSFET (IRF7507)	1	2	-	Micro8	2.04
PRECISION VIRTUAL GROUND (TLE2426)	1	U7	-	SO-G8	1.01
Dual EIA-232 Driver/Receiver (MAX232D)	1	U1	-	SO-G16	0.70
VOLTAGE REGULATOR (MCP1700)	1	U3	-	SOT-89	0.49
256-POSITION DIGITAL POTENTIOMETER (AD5242)	1	U8	-	SO-G16	6.53
SMT CRYSTAL (MA-506 11.0592M-C0) Epson Electronics America Inc.	1	CR	11.0592 MHz	Κατασκευά- στηκε	0.87
HMC1001	1	U5	-	OXI SMT	19.77
Single-Pole, Single-Throw Switch	1	ON/OFF SWITCH	-	SPST-2	3.27
Reset Switch	1	RST SWITCH	-	SPST-2	1.19
ER400TRS	1	1	-	-	35.54
Multicell Battery Holder	1	BT1	-	-	3.78
LITHIUM BUTTON CELL	2	-	3V	-	2x2.27 = 4.54
Σύνολο					102.03

ΣΧΗΜΑ 6.2 – ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ (B.O.M.)

Σε αυτή έχουν αναγραφεί και οι ενδεικτικές τιμές των στοιχείων κατά τη χρονική περίοδο που αυτά προμηθεύτηκαν. Έτσι σχηματίζεται μια εικόνα για το κόστος κατασκευής, γνωρίζοντας βεβαίως πως κατά την παρούσα υλοποίηση το τύπωμα και η συναρμολόγηση του κυκλώματος έγινε στον χώρο του εργαστηρίου και πως σε ένα εμπορικό σενάριο η προμήθεια των υλικών θα γινόταν σε πολύ μεγαλύτερη ποσότητα και σαφώς μικρότερο κόστος μονάδας.

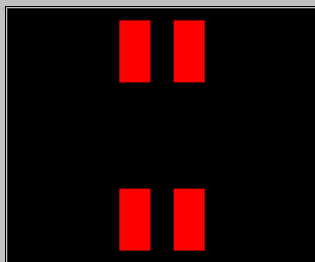
Στο σημείο αυτό συγκεντρώνονται και παρουσιάζονται τα χρησιμοποιηθέντα αποτυπώματα των στοιχείων, για περαιτέρω αντίληψη της μορφής των διαφόρων πακέτων των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων αλλά και των μεμονωμένων στοιχείων των οποίων τα αποτυπώματα σχεδιάστηκαν βάσει τεχνικών προδιαγραφών.



CR3216-1206

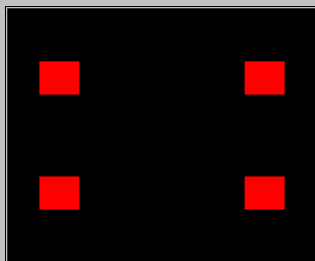
Chip Resistor; Body 3.2 x 1.6 mm (LxW typ)

(ομοίως για τους πυκνωτές 1206 αλλά με κωδικό CC3216-1206)



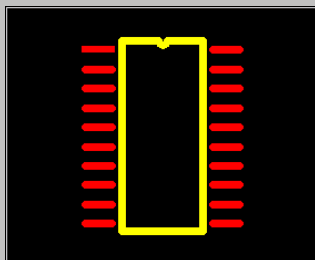
SMT Crystal

(Κατασκευάστηκε βάσει προδιαγραφών datasheet)



RESET SWITCH

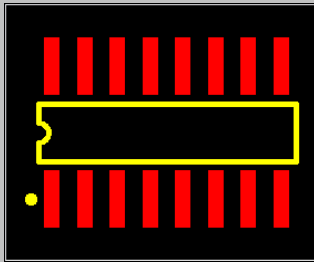
(Κατασκευάστηκε βάσει προδιαγραφών datasheet)



HMC1002

(Κατασκευάστηκε βάσει προδιαγραφών datasheet)

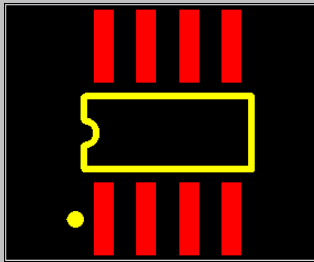
**ΣΧΗΜΑ 6.3 – ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΥΚΝΩΤΩΝ (1206)
ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΥ,
ΤΟΥ ΔΙΑΚΟΠΤΗ RESET ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ HMC1002**



SOIC 16

Small Outline; 16 Leads; Body Width 3.9 mm;
Pitch 1.27 mm

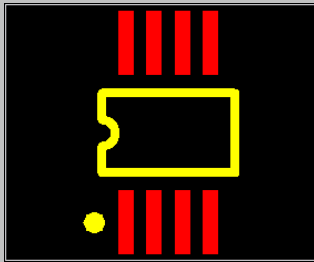
(Ίδιες προδιαγραφές παρατηρήθηκαν και στο SOIC16)



SO-G8

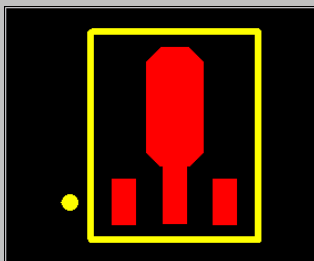
Small Outline; 8 Leads; Body Width 3.9 mm;
Pitch 1.27 mm

(Ίδιες προδιαγραφές παρατηρήθηκαν και στο SOIC8)



Micro8

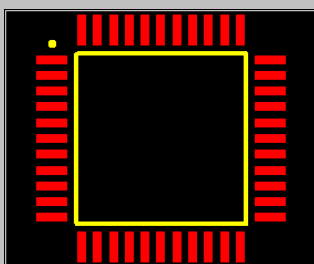
Shrink Small Outline; 8 Leads; Body Width 3 mm;
Pitch 0.65 mm



SOT-89

Body 4.7 x 4.5 mm, inc. leads (LxW max)

(Ίδιες προδιαγραφές παρατηρήθηκαν και στο SO-G3/Y1)



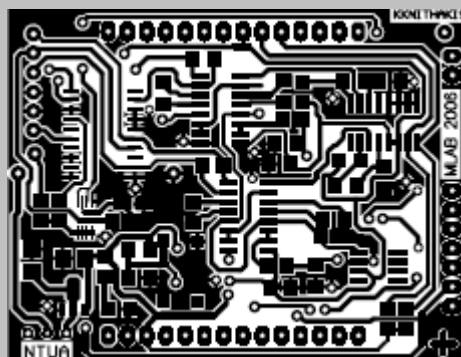
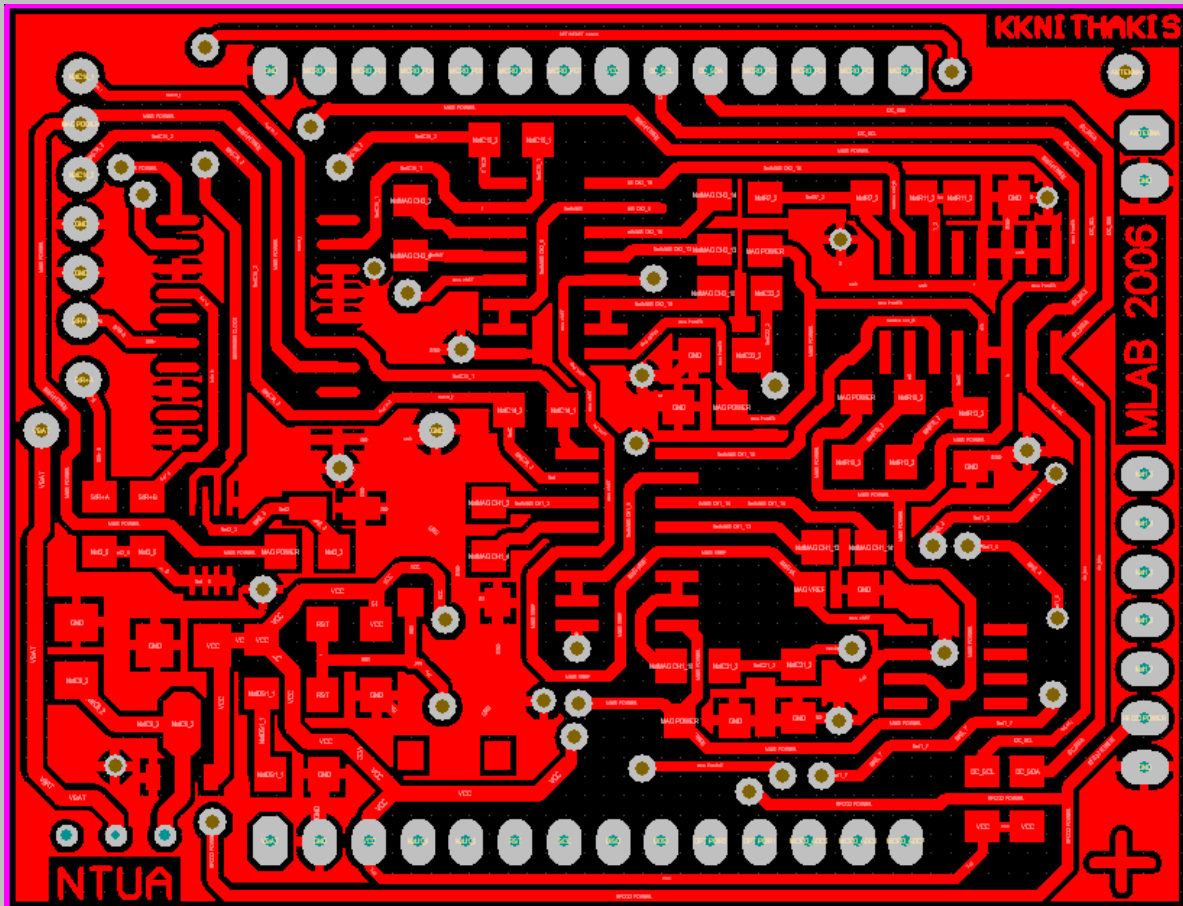
44A

QFP; 44 Leads; Body 10 x 10 mm; Pitch 0.8 mm

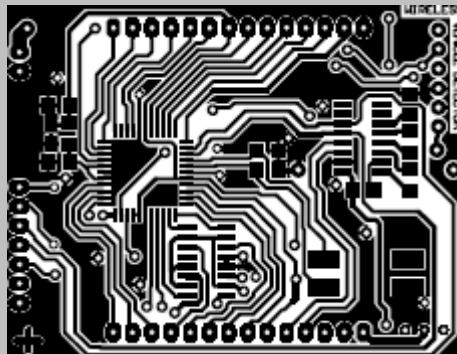
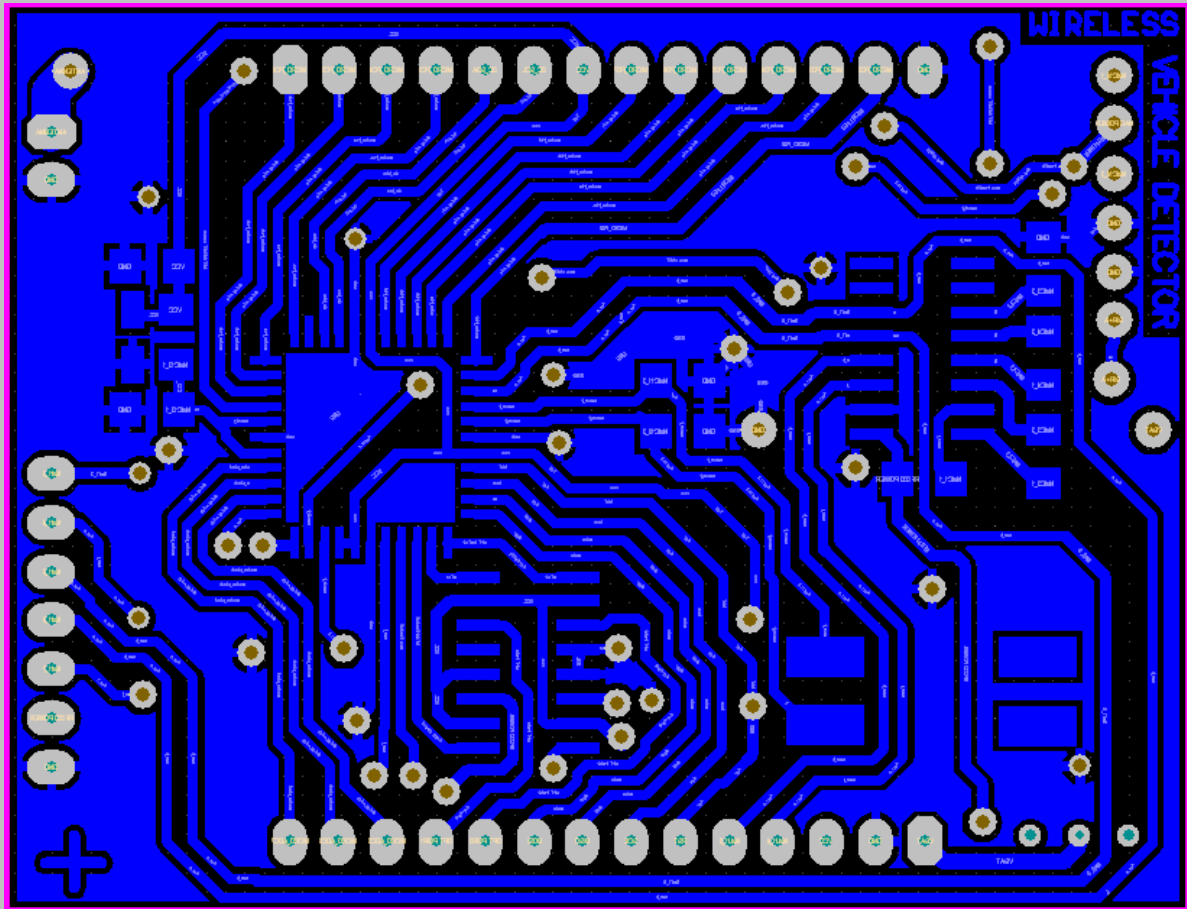
ΣΧΗΜΑ 6.4 – ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΑ ΠΑΚΕΤΩΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Σημειώνεται πως σε μερικούς πυκνωτές χρησιμοποιήθηκαν και μικρότερα και μεγαλύτερα αποτυπώματα, τα 1005 και 1505, ανάλογης μορφής με το 1206.

Υστερα της παρουσίασης όλων των στοιχείων που απαρτίζουν το κύκλωμα, παρατίθενται εικόνες της σχεδίασης του τυπωμένου κυκλώματος όπως αυτό συντέθηκε με το σχεδιαστικό πρόγραμμα. Συγκεκριμένα αμέσως παρακάτω παρουσιάζονται το επάνω και το κάτω στρώμα της πλακέτας διπλής όψης που αποτελεί και το πρότυπο σύστημα σε μεγέθυνση αλλά και σε φυσικό μέγεθος.



ΣΧΗΜΑ 6.5 – ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΠΑΝΩ ΟΨΗΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (Μεγέθυνση και φυσικό μέγεθος)



ΣΧΗΜΑ 6.6 – ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΩ ΟΨΗΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (Μεγέθυνση και φυσικό μέγεθος)

Σημείωση γίνεται στο γεγονός πως ενώ η κάτω όψη που παρατίθεται ανωτέρω είναι η ίδια με αυτήν που παρατηρείται στην πλακέτα, το σημείο ευθυγράμμισης (εδώ επιλέχθηκε ένας σταυρός) βρίσκεται αντιδιαμετρικά από τη θέση που παρατηρείται στην πάνω όψη. Αυτό συμβαίνει γιατί επιλέχθηκε σχεδίαση της κάτω όψης καθρεπτικά από ότι στην πραγματικότητα, λόγω της μεθόδου εκτύπωσης του σχηματικού στην επιφάνεια της πλακέτας δύο όψεων. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή που διδάχθηκε κατά την πορεία

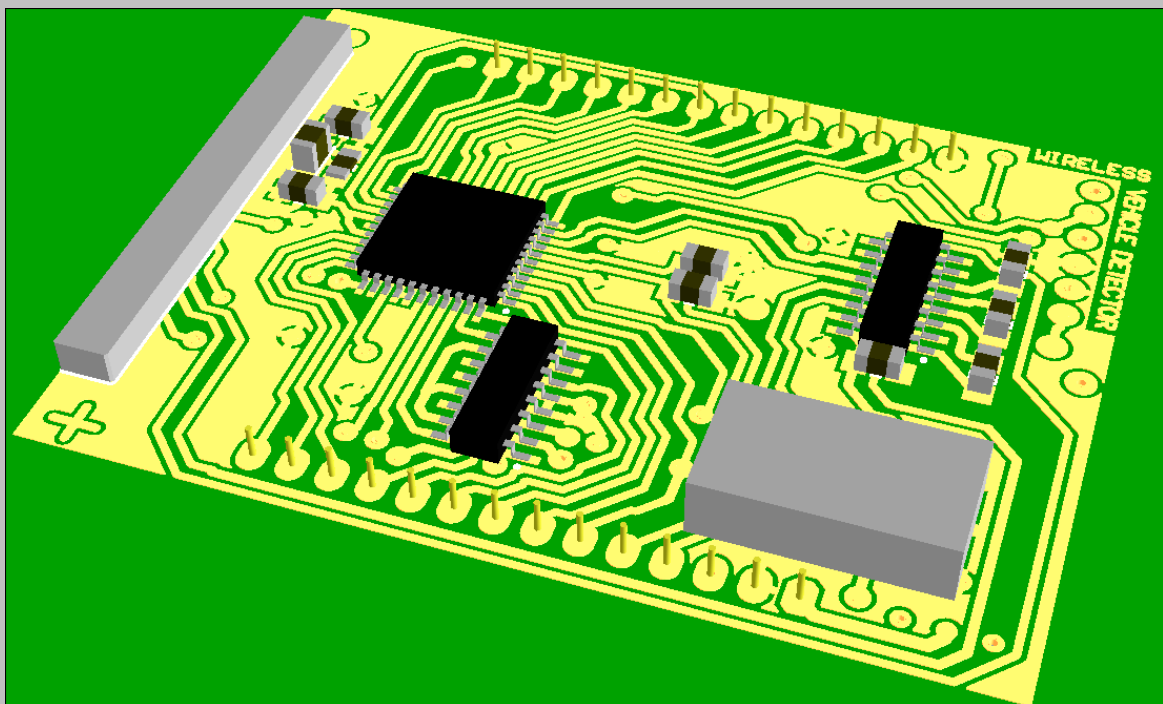
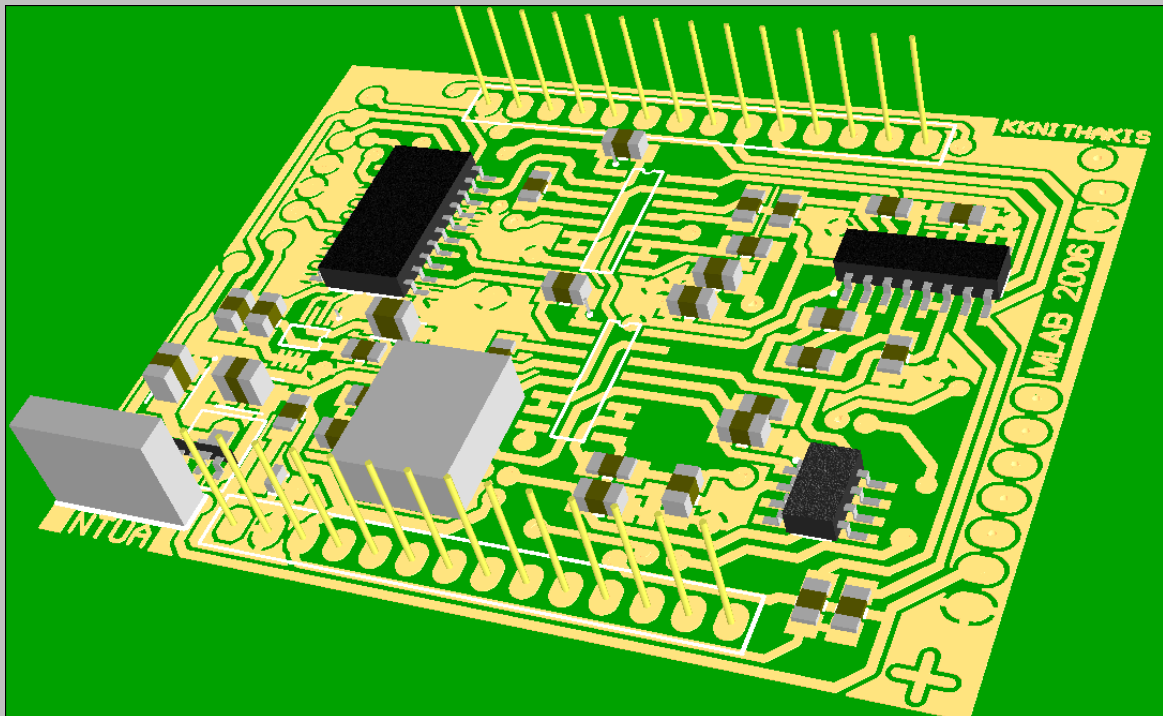
εργαστηριακού μαθήματος, το σχηματικό τυπώνεται αρχικά σε δύο διαφάνειες καθεκάστη για μια από τις δυο όψεις του κυκλώματος. Αυτές με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται για την εκτύπωση του σχηματικού στις δύο όψεις της επιχάλκωμένης πλακέτας που θα χρησιμοποιηθεί σαν υπόβαθρο. Η εκτύπωση γίνεται μέσω έκθεσης της πλακέτας σε κατάλληλη ακτινοβολία που ενεργοποιεί τη φωτοχημική ουσία με την οποία είναι επιχρισμένη όλη η πλακέτα. Με εμβάπτιση τέλος σε κατάλληλα οξέα παραμένει χαλκός μόνο στα επιθυμητά σημεία σχηματίζοντας το κύκλωμα που έχει σχεδιαστεί. Αν η κάτω όψη δεν ήταν τυπωμένη σε καθρεπτική μορφή, τότε πάχος του φύλλου της διαφάνειας θα ήταν ικανό για τη διάθλαση του φωτός σε τέτοιο βαθμό ώστε να εμφανιστούν δυσμορφίες στην τελική εκτύπωση.

Η πλακέτα τυπώθηκε στο Εργαστήριο Αισθητήρων ενώ η συναρμολόγηση και κόλληση των εξαρτημάτων πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μικροηλεκτρονικής. Ακολούθως παρουσιάζεται μια φωτογραφία από ένα στάδιο εκτύπωσης (πολλαπλής-έξι τεμάχια) της πλακέτας του πρότυπου συστήματος.



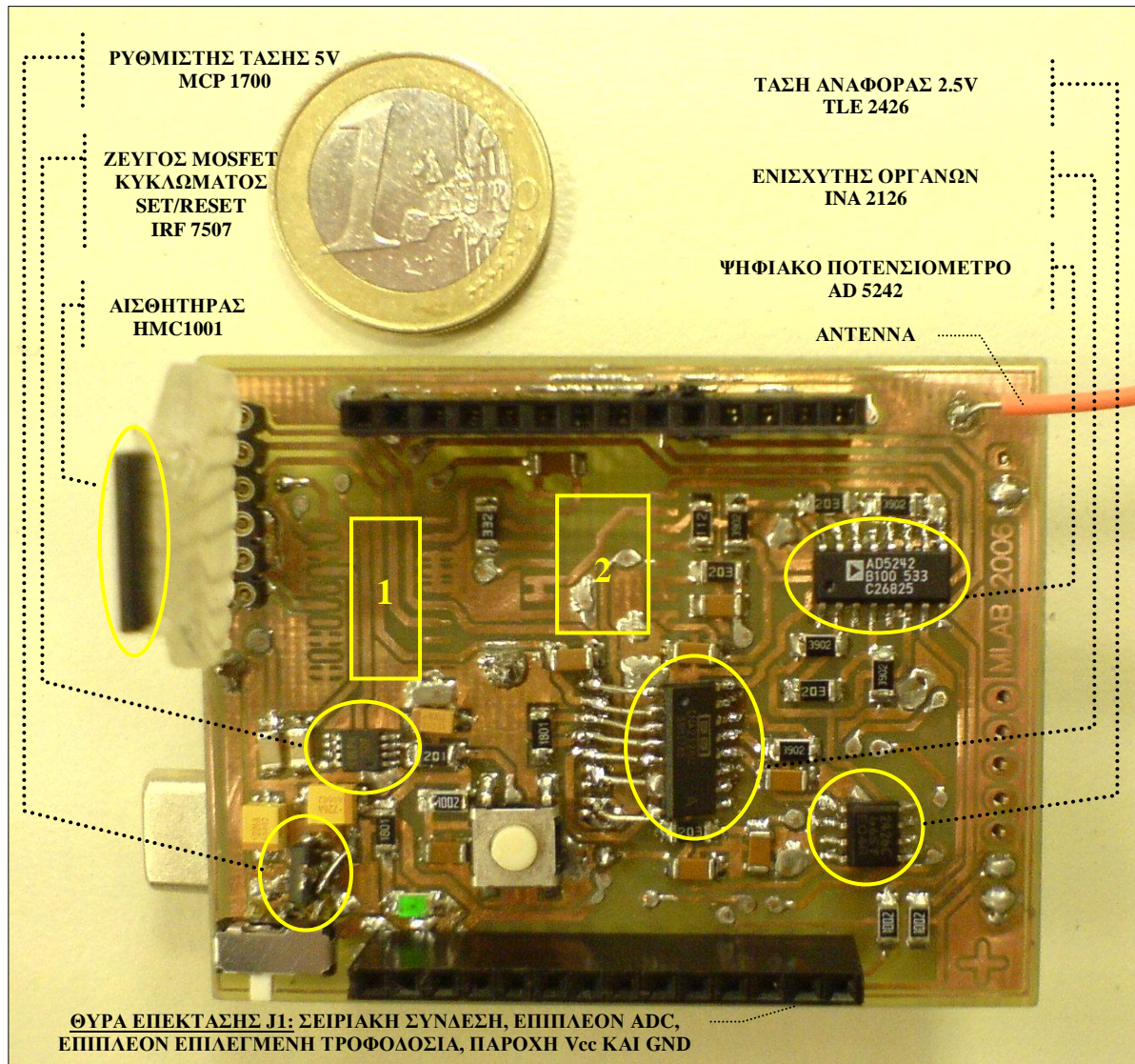
ΣΧΗΜΑ 6.7 – ΣΤΑΔΙΟ ΕΜΒΑΠΤΙΣΗΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΣΕ ΕΙΔΙΚΟ ΔΙΑΛΥΜΑ ΟΞΕΟΣ, ΓΙΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΜΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΧΑΛΚΟΥ.

Παρακάτω παρατίθενται και δύο απεικονίσεις σε τρισδιάστατη μορφή, της πλακέτας που πρόκειται να κατασκευαστεί. Οι όψεις αυτές αποτελούσαν μια επιπλέον σχεδιαστική δυνατότητα του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε κατά την σχεδίαση και βοήθησε στην προϊδέαση της τελικής μορφής του υπό κατασκευή συστήματος.



ΣΧΗΜΑ 6.8 – ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΕΙΚΟΝΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ. ΕΠΑΝΩ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΟΨΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ.

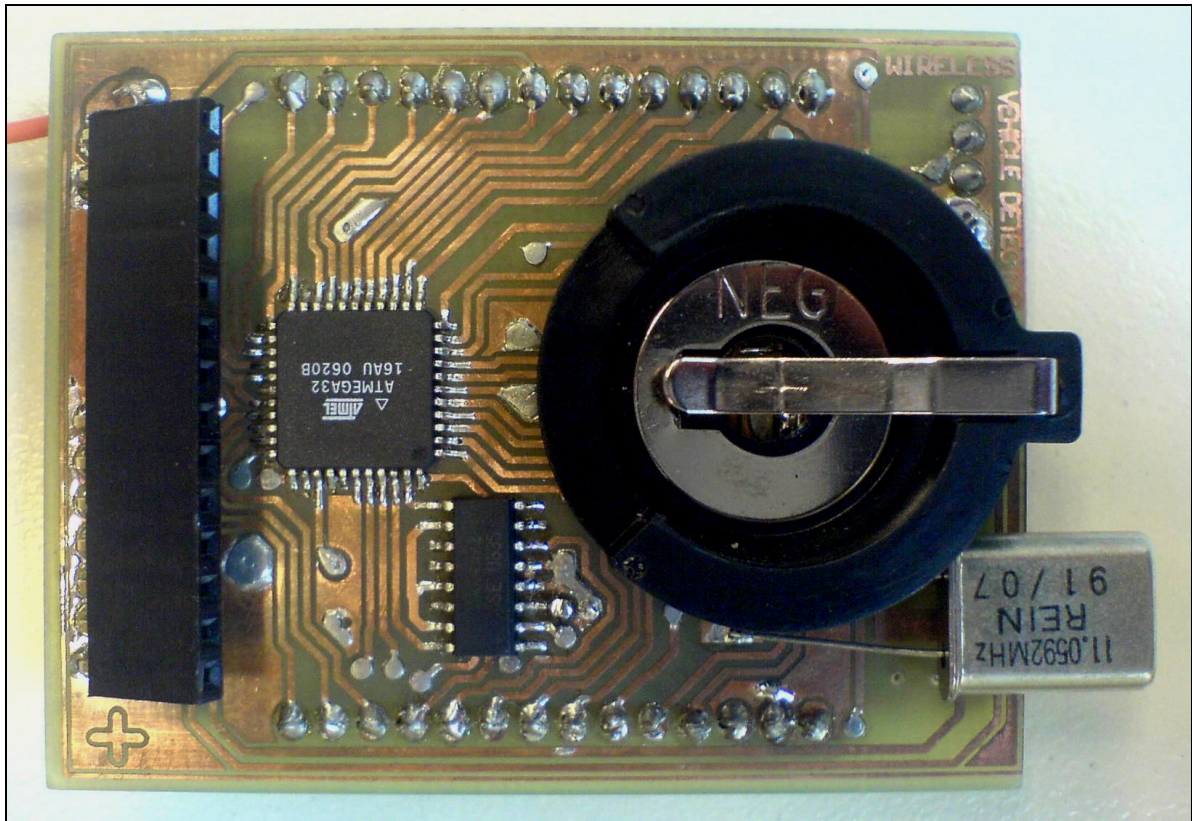
Στο σημείο αυτό επισυνάπτονται και μερικές φωτογραφίες της πραγματικής πρωτότυπης πλακέτας, όπως αυτή συνετέθη στο εργαστήριο.



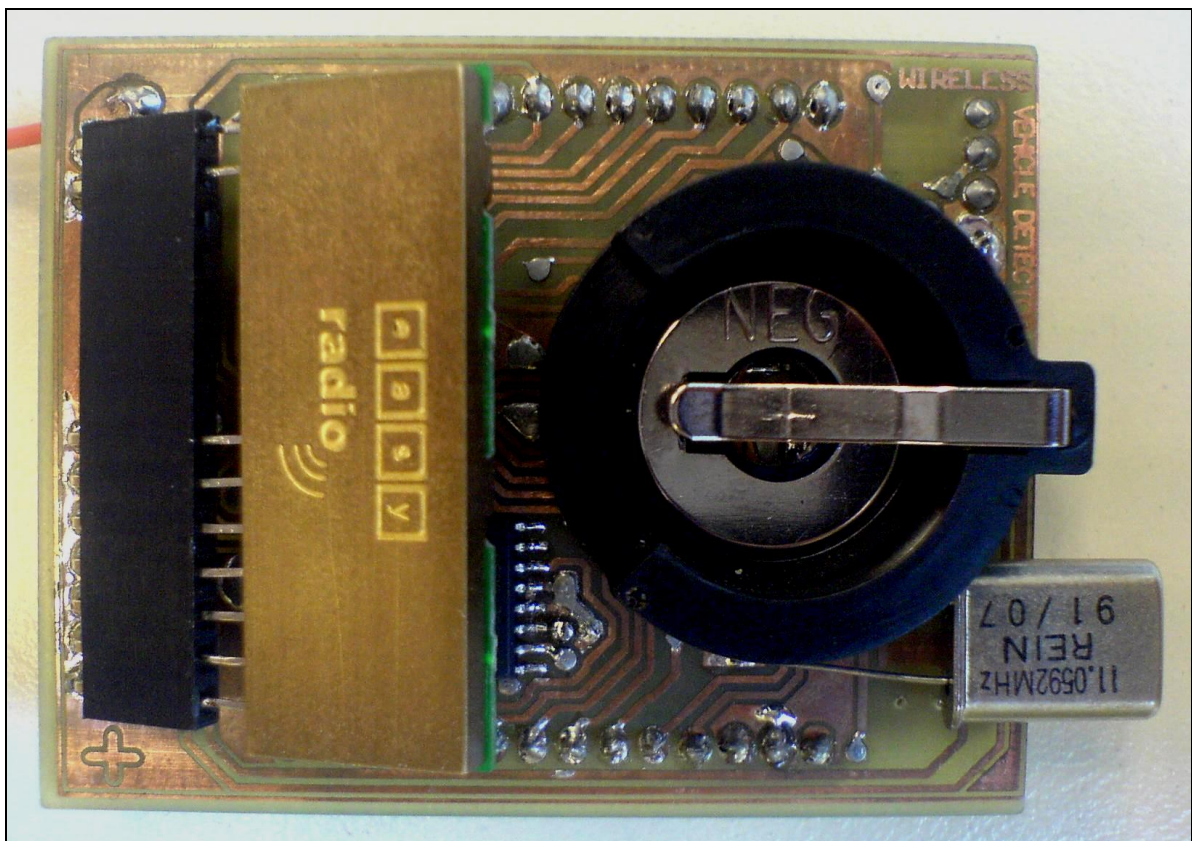
ΣΧΗΜΑ 6.9 –ΠΡΟΣΘΙΑ ΟΨΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ

Στην πρόσθια όψη παρατηρούνται έξι ολοκληρωμένα μαζί με τα στοιχεία διασύνδεσης τους στο συνολικό πρωτότυπο κύκλωμα. Αυτά είναι ο μαγνητικός αισθητήρας HMC 1001, το ζεύγος των MOSFET IRF 7507 που επιτελεί τη διεργασία των παλμών SET/RESET, ο ρυθμιστής τάσης MCP 1700 που τροφοδοτεί το όλο κύκλωμα με την απαραίτητη σταθερή τιμή τάσης των 5V, το ολοκληρωμένο παροχής της τάσης αναφοράς των 2.5V TLE 2426, το ψηφιακό ποτενσιόμετρο ρύθμισης της BASELINE κοντά στην τιμή των 2.5V AD5242 και τέλος ο ενισχυτής οργάνων INA 2126 που ενισχύει την έξοδο του μαγνητικού αισθητήρα για περεταίρω επεξεργασία της από τον μικροελεγκτή. Στις δύο θέσεις 1,2 που υποδεικνύονται με περίγραμμα, έχει προβλεφθεί μελλοντική επέκταση του συστήματος με εισαγωγή συγκεκριμένα στην θέση 1 διπλού μαγνητικού αισθητήρα HMC1002 και στη θέση 2 ένας επιπλέον ενισχυτής οργάνων INA 2126 για την ενίσχυση του νέου καναλιού.

Ακολουθούν δύο φωτογραφίες της οπίσθιας όψης της πλακέτας, μια χωρίς το υποσύστημα της ασύρματης διασύνδεσης και μια με αυτό. Ο λόγος είναι προφανής αφού το υποσύστημα συνδεόμενο σε ειδική θύρα υπερτίθεται του μικροελεγκτή Atmega32 και του ολοκληρωμένου τετραπλού αναλογικού διακόπτη MAX 4522.



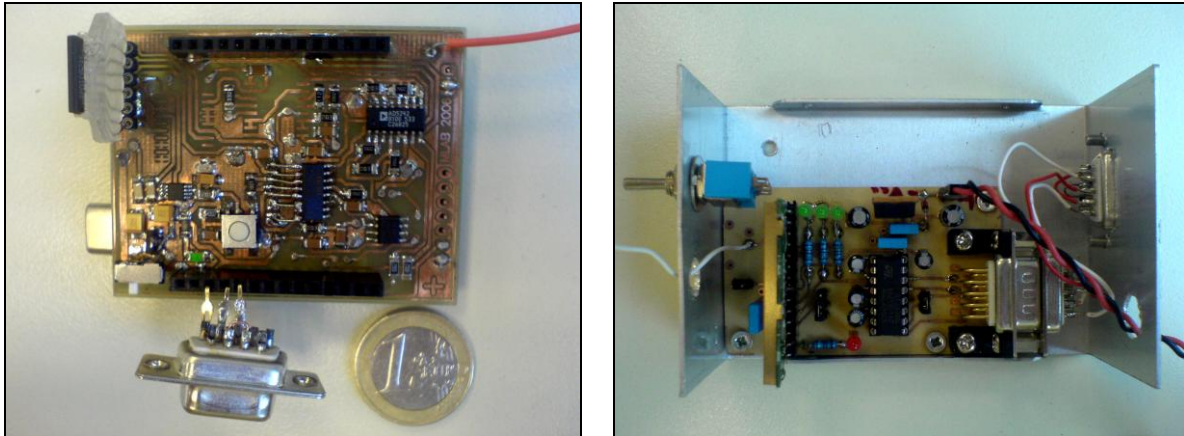
ΣΧΗΜΑ 6.10 – ΟΠΙΣΘΙΑ ΟΨΗ ΧΩΡΙΣ ΤΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ



ΣΧΗΜΑ 6.11 – ΟΠΙΣΘΙΑ ΟΨΗ ΜΕ ΤΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

Σημειώνεται επίσης πως κάτω από την ειδική θήκη της συστοιχίας των μπαταριών, βρίσκεται το ολοκληρωμένο MAX232D που επιτρέπει την σειριακή αλλά και την ασύρματη διασύνδεση του συστήματος, αφού διαμορφώνει καταλλήλως τα μηνύματα του μικροελεγκτή, καθώς επίσης και το ειδικό αποτύπωμα (footprint) προσθήκης εξωτερικού κρυστάλλου χρονισμού. Στο συγκεκριμένο πρωτότυπο δεν χρησιμοποιήθηκε κρύσταλλος σε SMT μορφή, καθώς την συγκεκριμένη χρονική διάρκεια της προμήθειας των εξαρτημάτων δεν ήταν διαθέσιμος.

Τέλος παρουσιάζεται δύο εικόνες που παρουσιάζουν η μια τη χρήση της θύρας επέκτασης για τη διασύνδεση του πρωτότυπου κυκλώματος σειριακά, και η άλλη τον πομποδέκτη που χρησιμοποιείται για τη λήψη των δεδομένων μέσω της θύρας RS232 ενός προσωπικού υπολογιστή. Ο πομποδέκτης αυτός είναι όμοιος με αυτόν που χρησιμοποιείται στο πρωτότυπο κύκλωμα και χωρίς αυτόν δεν θα ήταν δυνατή η ασύρματη επικοινωνία.



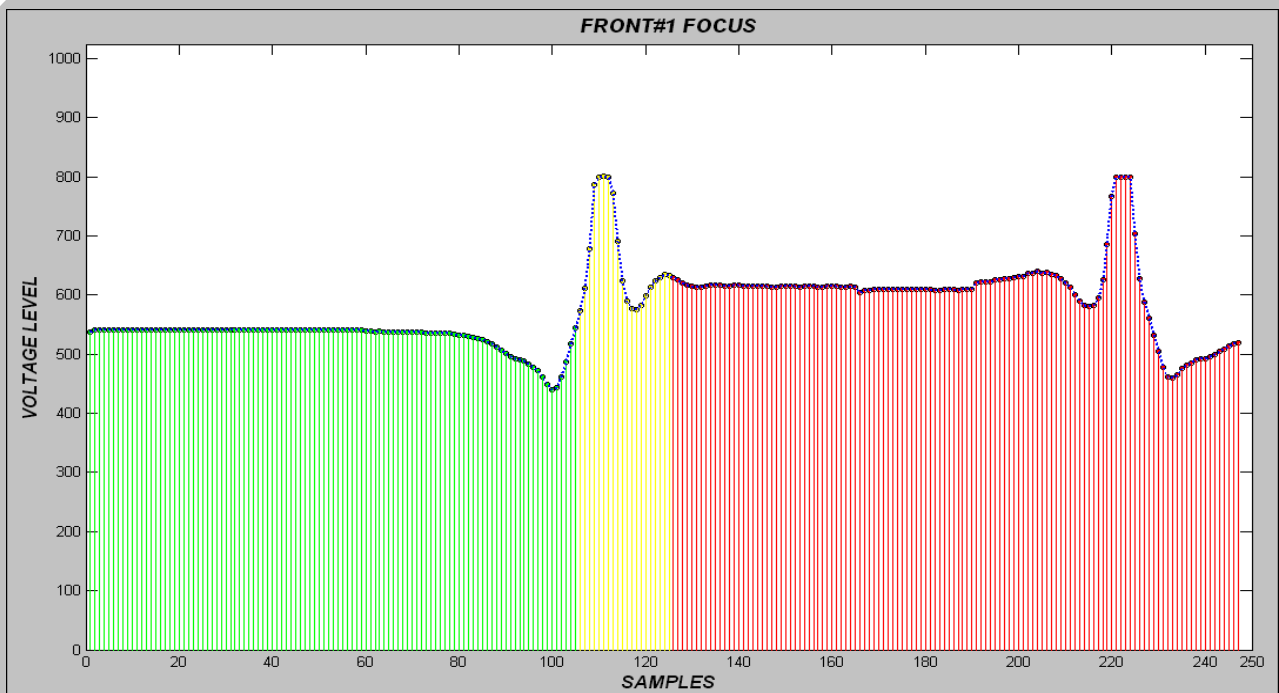
ΣΧΗΜΑ 6.12 – ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΘΥΡΑΣ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΣΕΙΡΙΑΚΑ ΜΕ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΚΑΙ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗΣ ΛΗΨΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΑ.

6.2 Πειραματικά αποτελέσματα – επαλήθευση υλοποίησης

Στο συγκεκριμένο σημείο το πρωτότυπο σύστημα που παρουσιάστηκε ανωτέρω, ύστερα από τα στάδια της κατασκευής και της δοκιμής της σωστής λειτουργίας του στο περιβάλλον του εργαστηρίου, τοποθετήθηκε σε χώρο στάθμευσης εντός του συγκροτήματος της Πολυτεχνειούπολης. Στόχος ήταν η επαλήθευση της ορθής λειτουργίας του συστήματος υπό πραγματικές συνθήκες στάθμευσης οχήματος, λαμβάνοντας ασύρματα τα δείγματα της εξόδου του αισθητήρα καθώς και τις αντίστοιχες καταστάσεις του αλγορίθμου στις οποίες βρίσκεται ανά πάσα στιγμή αυτό.

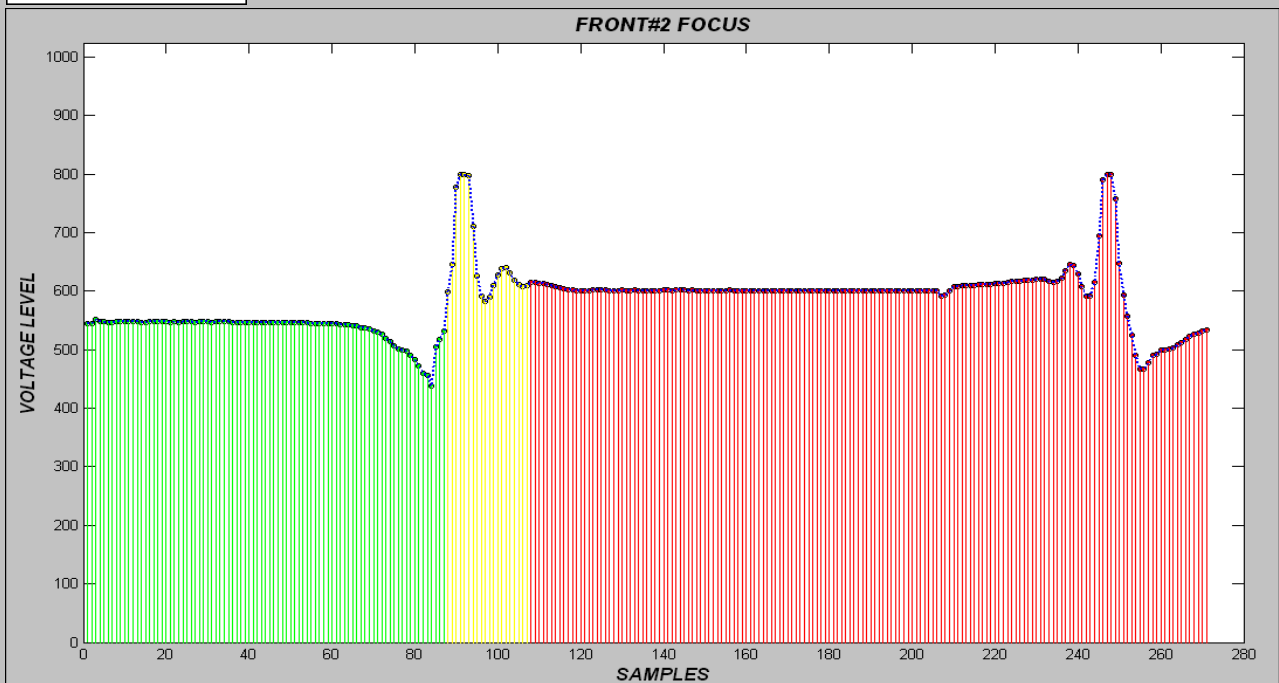
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα που προέκυψαν από τη στάθμευση τριών διαφορετικών οχημάτων και συνοδεύονται από τα απαραίτητα σχόλια. Τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένα Ford Focus μοντέλο του 2002, ένα Ford Fiesta του 2000 και μια Toyota Corolla του 1992. Αυτά θεωρείται ότι αποτελούν ένα ικανοποιητικό δείγμα καθώς ανήκουν στις συνήθως χρησιμοποιούμενες και πλέον εμπορικές κατηγορίες οχημάτων, την μικρή και την μεσαία.

6.2.1 Μετρήσεις από το όχημα Ford Focus



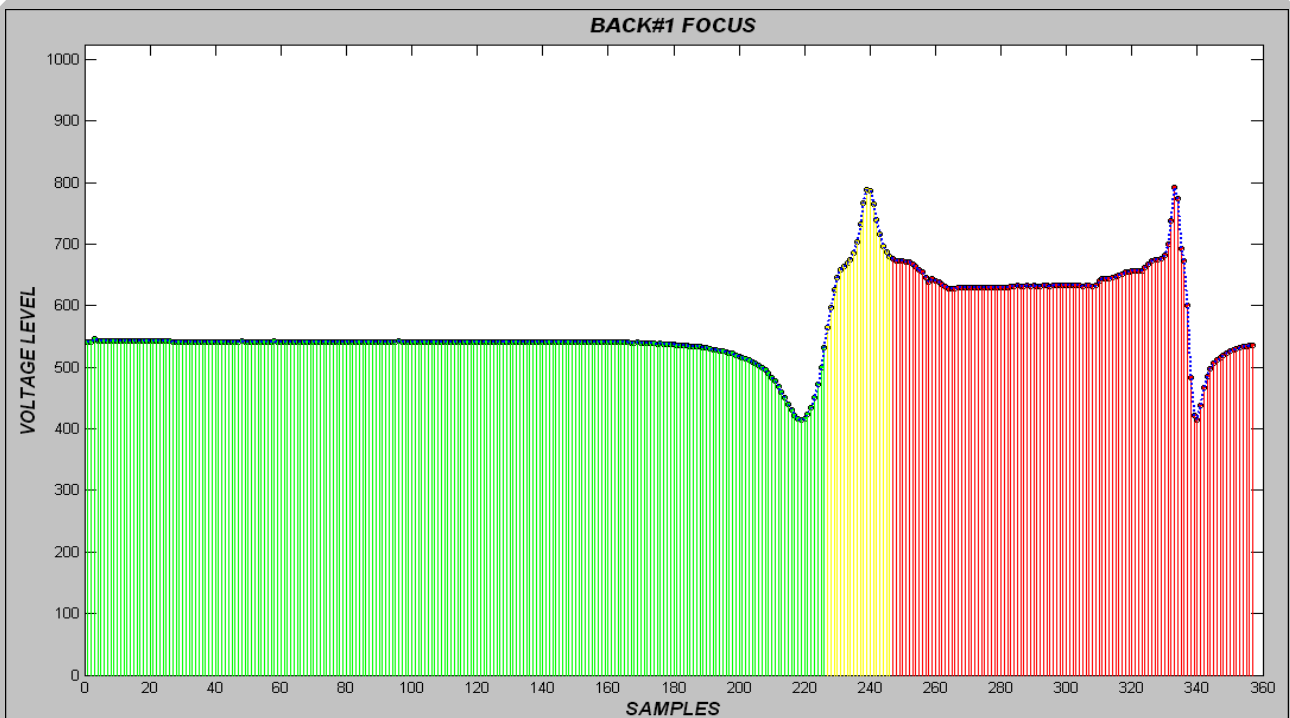
State:
█ = Occupied
█ = VA_H
█ = VA_L
█ = Empty

Initial Baseline: 308	Adjusted Baseline: 533
Wiper Value: 76	Threshold (T): 561



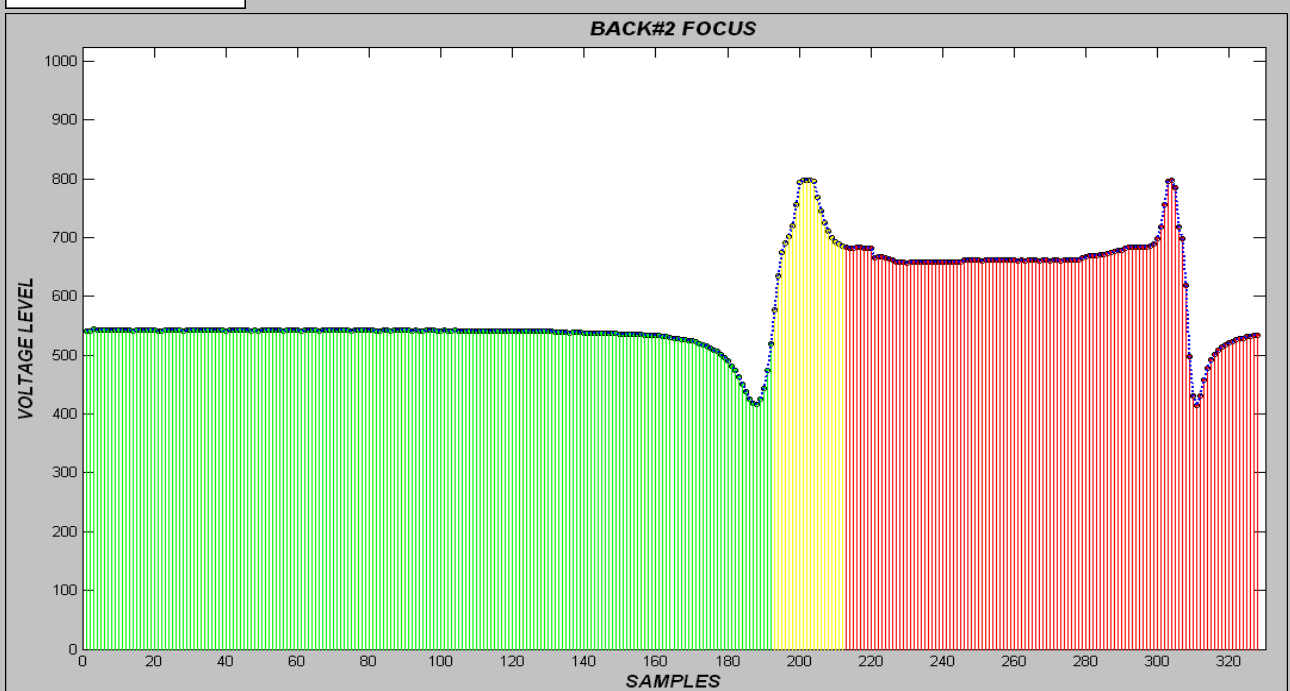
Initial Baseline: 300	Adjusted Baseline: 540
Wiper Value: 74	Threshold (T): 568

ΣΧΗΜΑ 6.13 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΑΝΑΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ FORD FOCUS. ΠΡΟΣΘΙΟ ΜΕΡΟΣ (ΔΥΟ ΔΟΚΙΜΕΣ)



State:
█ = Occupied
█ = VA_H
█ = VA_L
█ = Empty

Initial Baseline: 301	Adjusted Baseline: 535
Wiper Value: 75	Threshold (T): 563



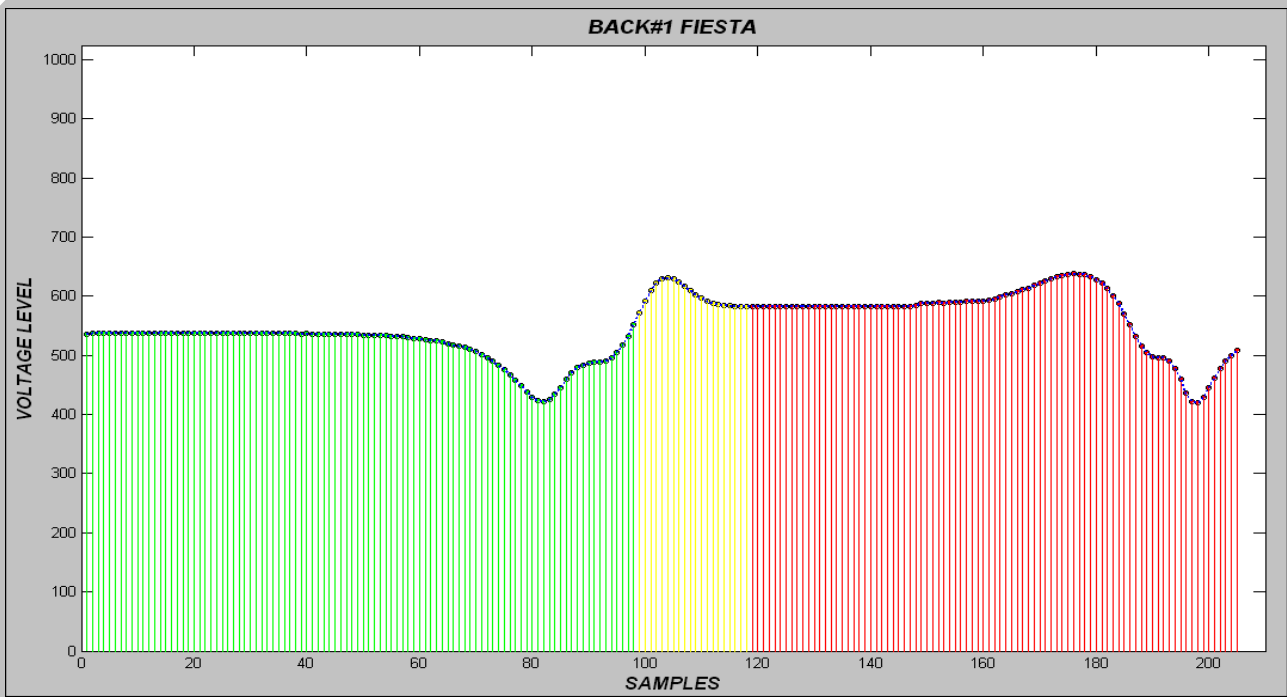
Initial Baseline: 303	Adjusted Baseline: 534
Wiper Value: 75	Threshold (T): 562

ΣΧΗΜΑ 6.14 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΑΝΑΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ FORD FOCUS. ΟΠΙΣΘΙΟ ΜΕΡΟΣ (ΔΥΟ ΔΟΚΙΜΕΣ)

6.2.2 Μετρήσεις από το όχημα Ford Fiesta

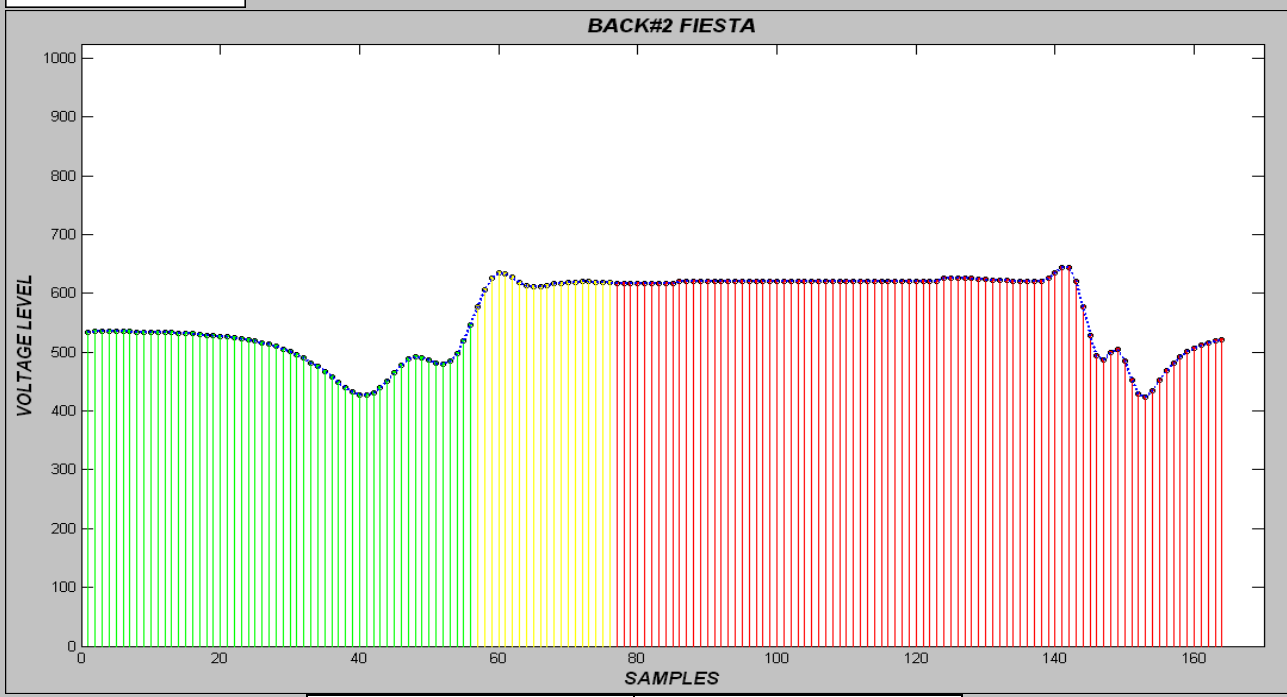


ΣΧΗΜΑ 6.15 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΑΝΑΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ FORD FIESTA. ΠΡΟΣΘΙΟ ΜΕΡΟΣ (ΔΥΟ ΔΟΚΙΜΕΣ)



State:
█ = Occupied
█ = VA_H
█ = VA_L
█ = Empty

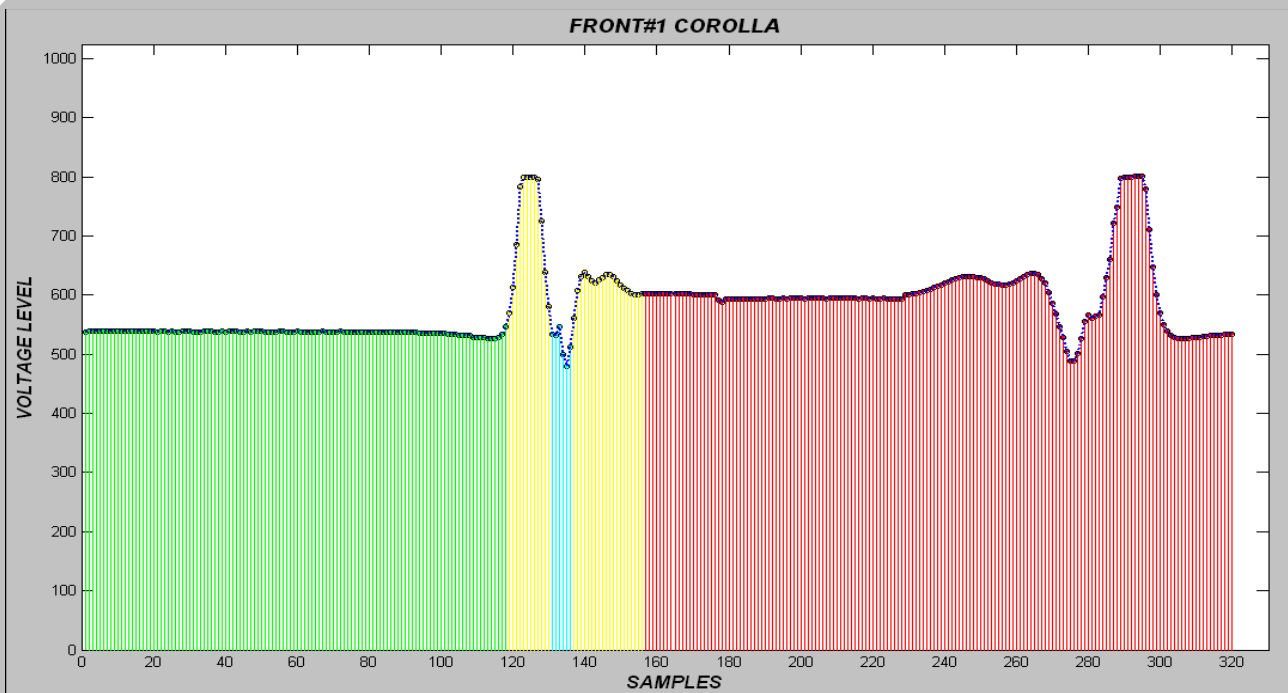
Initial Baseline: 323	Adjusted Baseline: 531
Wiper Value: 80	Threshold (T): 559



Initial Baseline: 322	Adjusted Baseline: 529
Wiper Value: 80	Threshold (T): 557

ΣΧΗΜΑ 6.16 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΑΝΑΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ FORD FIESTA. ΟΠΙΣΘΙΟ ΜΕΡΟΣ (ΔΥΟ ΔΟΚΙΜΕΣ)

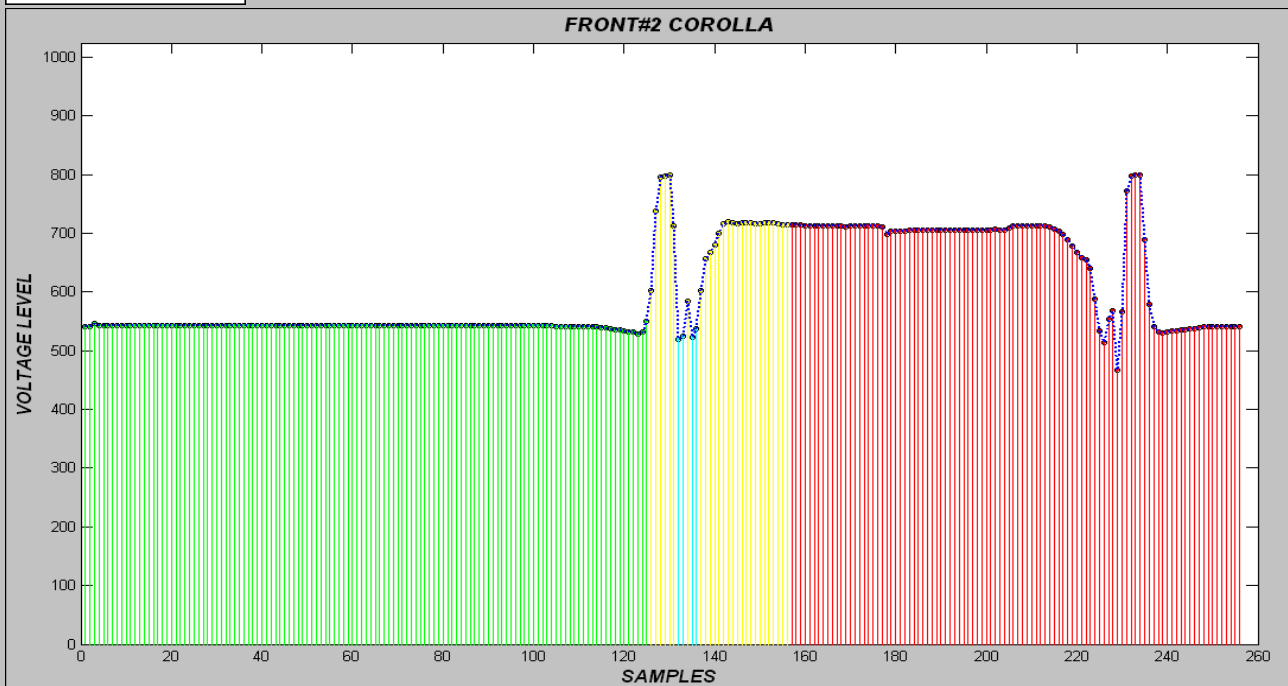
6.2.3 Μετρήσεις από το όχημα Toyota Corolla



State:

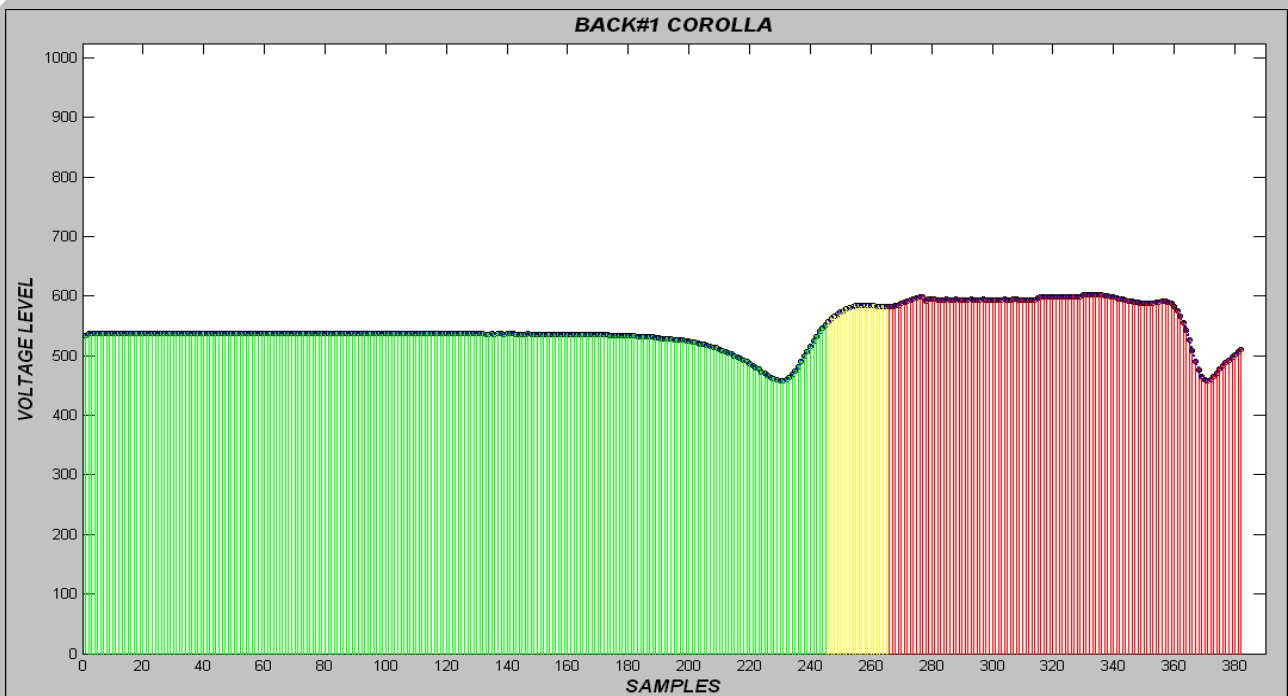
- █ = Occupied
- █ = VA_H
- █ = VA_L
- █ = Empty

Initial Baseline: 306	Adjusted Baseline: 531
Wiper Value: 76	Threshold (T): 559



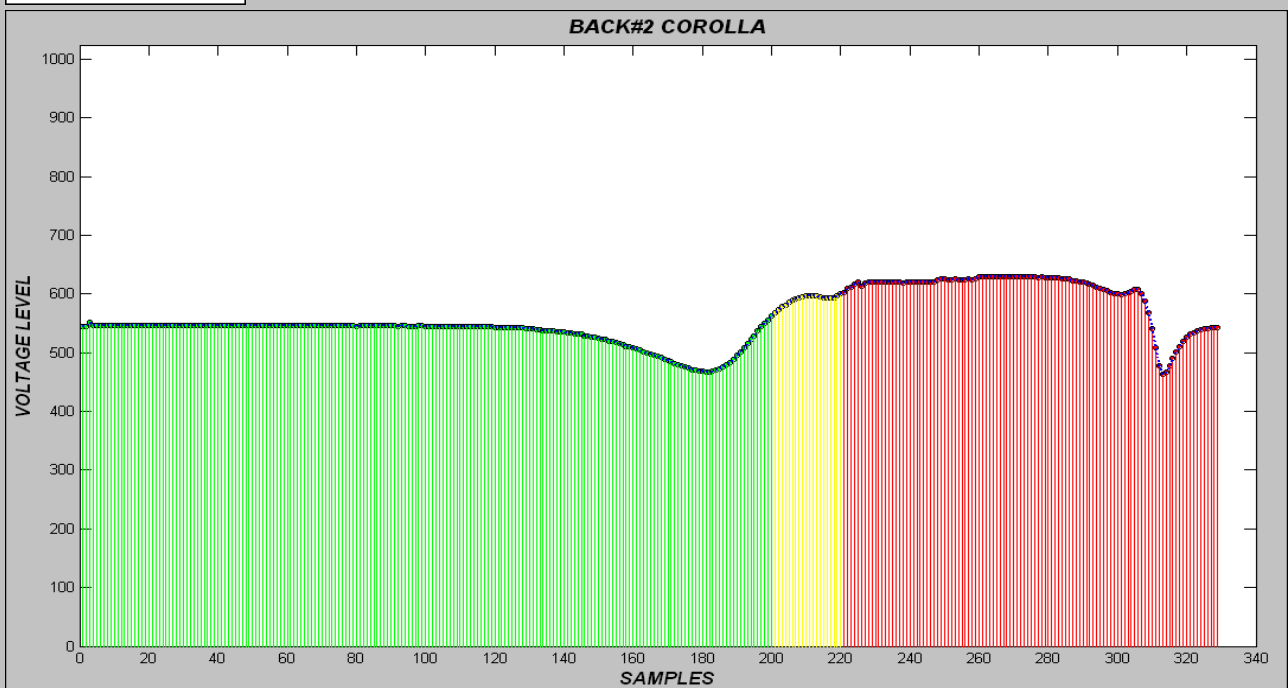
Initial Baseline: 304	Adjusted Baseline: 531
Wiper Value: 76	Threshold (T): 559

ΣΧΗΜΑ 6.17 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΑΝΑΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ TOYOTA COROLLA. ΠΡΟΣΘΙΟ ΜΕΡΟΣ (ΔΥΟ ΔΟΚΙΜΕΣ)



State:
█ = Occupied
█ = VA_H
█ = VA_L
█ = Empty

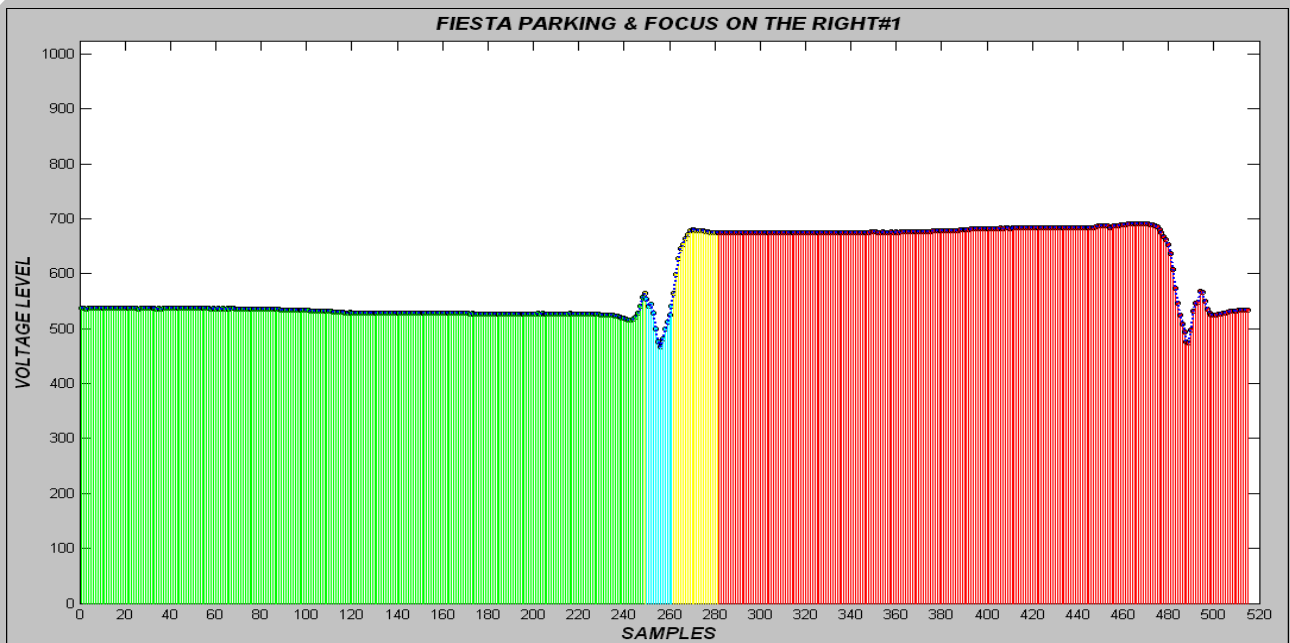
Initial Baseline: 321	Adjusted Baseline: 529
Wiper Value: 80	Threshold (T): 557



Initial Baseline: 315	Adjusted Baseline: 538
Wiper Value: 78	Threshold (T): 566

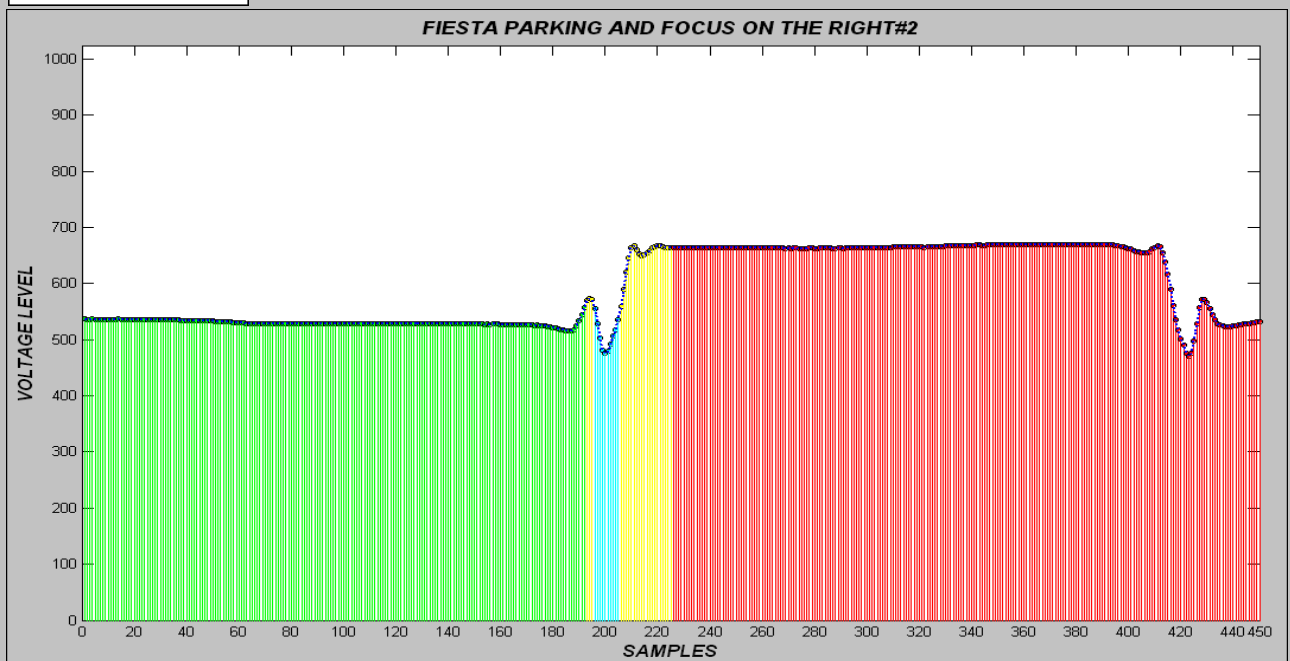
ΣΧΗΜΑ 6.18 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΑΝΑΧΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ TOYOTA COROLLA. ΟΠΙΣΘΙΟ ΜΕΡΟΣ (ΔΥΟ ΔΟΚΙΜΕΣ)

6.2.4 Μετρήσεις στην ενδιαφερόμενη θέση στάθμευσης, με ύπαρξη σταθμευμένου οχήματος ή κίνηση σε γειτνιάζουσα θέση



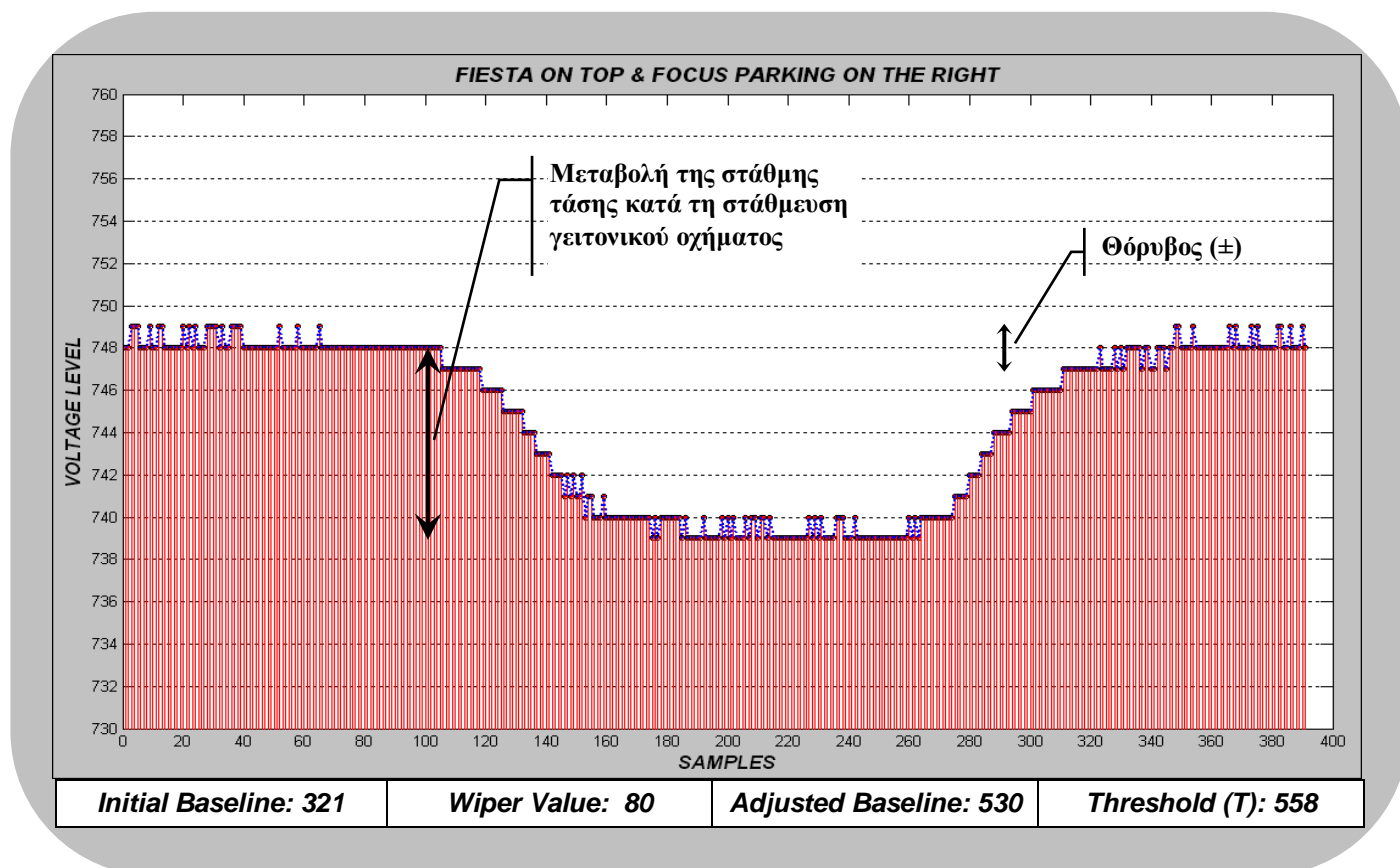
State:
■ = Occupied
■ = VA_H
■ = VA_L
■ = Empty

Initial Baseline: 321	Adjusted Baseline: 530
Wiper Value: 80	Threshold (T): 558



Initial Baseline: 336	Adjusted Baseline: 531
Wiper Value: 83	Threshold (T): 559

ΣΧΗΜΑ 6.19 – ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ ΤΟΥ FORD FIESTA ΣΤΗΝ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΜΕΝΗ ΘΕΣΗ, ΕΝΩ ΤΟ FORD FOCUS ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΑΘΜΕΥΜΕΝΟ ΣΕ ΔΙΠΛΑΝΗ ΘΕΣΗ



ΣΧΗΜΑ 6.20 – ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ ΤΟΥ FORD FOCUS ΣΕ ΔΙΠΛΑΝΗ ΘΕΣΗ, ΕΝΩ ΤΟ FORD FIESTA ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΑΘΜΕΥΜΕΝΟ ΣΤΗΝ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΜΕΝΗ ΘΕΣΗ

6.2.5 Παρατηρήσεις

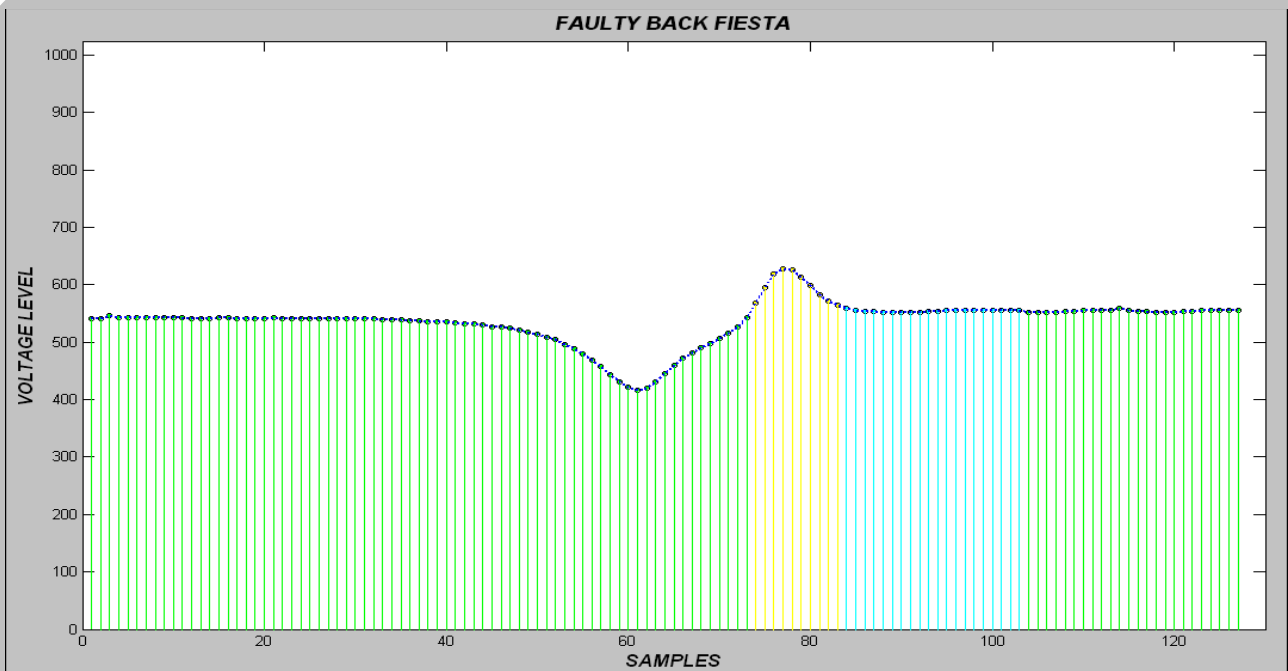
Στις ενότητες 6.2.1-3 παρατηρείται πως ο αλγόριθμος κρίνεται επιτυχής ως προς τη λειτουργία ανίχνευσης της σταθμεύσεως ενός οχήματος. Τα αποτελέσματα ήταν τα αναμενόμενα και για τα τρία διαφορετικά οχήματα, καθώς εμφανίστηκαν όλες οι προσχεδιασμένες καταστάσεις του αλγορίθμου και πάρθηκαν οι σωστές αποφάσεις με πρώτη και ουσιαστική αυτή της στάθμευσης και τελική της αναχώρησης του οχήματος. Σε κάθε σχεδιάγραμμα επομένως παρατηρείται πέρασ αυτού σε κατάσταση κατηλειμένης θέσης, καθώς μετά την ανίχνευση 20 δειγμάτων κάτω του κατωφλίου μεταβαίνει το σύστημα σε κατάσταση αρχικοποίησης με επαναυπολογισμό των μεγεθών της baseline και του κατωφλίου. Η επακόλουθη κατάσταση του συστήματος σε Empty είναι τότε δεδομένη και ξεκινάει μια νέα σειρά μετρήσεων για νέα ανίχνευση στάθμευσης.

Οι μετρήσεις τις ενότητας 6.2.4 αποτελούν και τις πιο ουσιαστικές, καθώς αποδεικνύουν πως το σύστημα αποκρίνεται με αξιοπιστία και σε περιπτώσεις ύπαρξης οχήματος σε γειτονική θέση. Τα αποτελέσματα δείχνουν ορθή λειτουργία είτε το γειτονικό όχημα είναι από προηγούμενος σταθμευμένο, είτε υπάρχει κίνηση αυτού κατά τη διάρκεια μιας επιτυχημένης ανίχνευσης στάθμευσης.

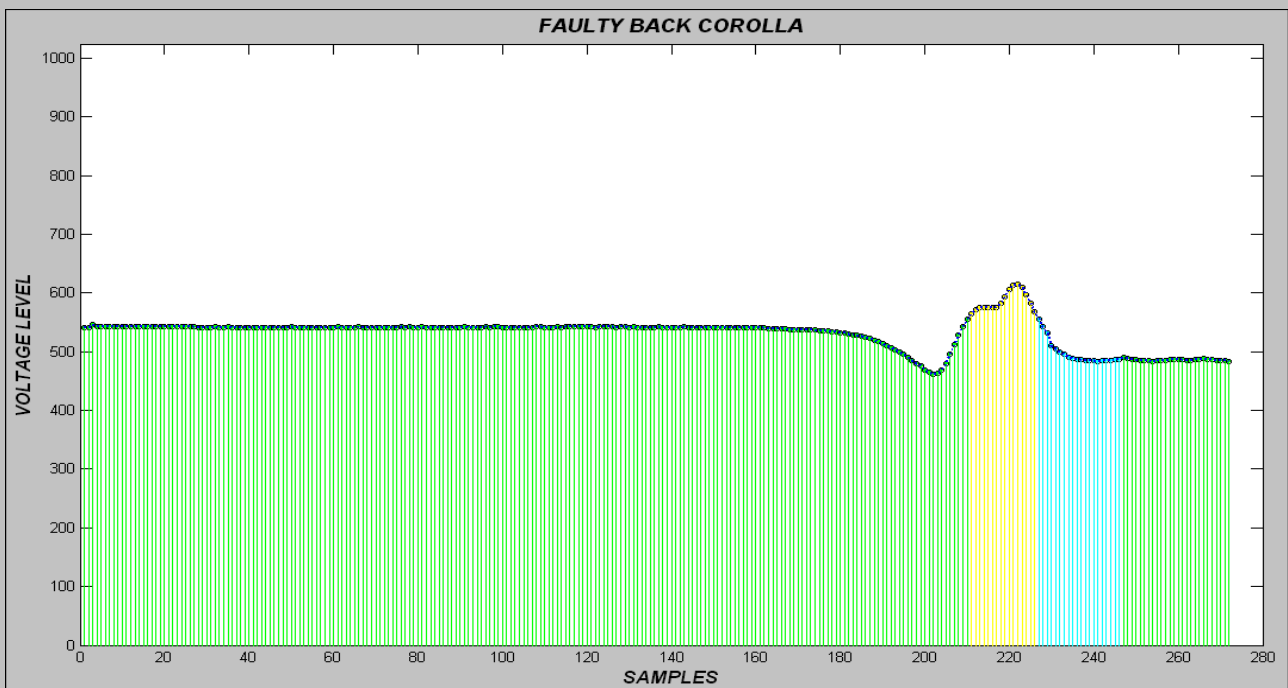
Ο θόρυβος που παρατηρείται στα ψηφιακώς μετατρεμμένα δείγματα του σχήματος λεπτομέρειας 6. είναι ± 1 στάθμη τάσης, ενώ το κατώφλι όπως προειπώθηκε απέχει από τη baseline 28 στάθμες. Η περίπτωση επομένως εσφαλμένης απόκρισης στάθμευσης κατά την απουσία οχήματος αποκλείεται.

Τέλος η μεταβολή της στάθμης τάσης κατά τη στάθμευση του γειτονικού οχήματος είναι μόλις εννέα στάθμες, που σε ποσοστό ως προς την αρχική τιμή των 748 σταθμών στην οποία ήταν σταθεροποιημένη η στάθμευση αποτελεί το 1.2% αυτής. Η μεταβολή αυτή κρίνεται χαμηλή ώστε να προκαλέσει μετάβαση του συστήματος σε μια άλλη κατάσταση.

6.2.6 Ελαττωματικές Μετρήσεις



Initial Baseline: 318	Adjusted Baseline: 534
Wiper Value: 79	Threshold (T): 562



Initial Baseline: 318	Adjusted Baseline: 534
Wiper Value: 79	Threshold (T): 562

ΣΧΗΜΑ 6.21 – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΙΚΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ FORD FIESTA ΚΑΙ TOYOTA COROLLA. ΠΡΟΣΘΙΟ ΜΕΡΟΣ

Παρατηρήσεις: Τα ανωτέρως παρατιθέμενα σχεδιαγράμματα, αποτελούν δυο ελαττωματικά σετ μετρήσεων καθώς τα δύο οχήματα στάθμευσαν στην ενδιαφερόμενη θέση, χωρίς όμως το σύστημα να τα ανιχνεύσει επιτυχώς. Το γεγονός όμως αυτό δεν είναι ανησυχητικό καθώς θα μπορούσε να αποφευχθεί με καλύτερη χωροθέτηση του συστήματος. Αυτό που συμβαίνει στην ουσία, είναι πως το όχημα στάθμευσε σε σημείο κατά το οποίο οι άξονες του και επομένως οι ζώνες που περικλείουν τη μεγαλύτερη ποσότητα φερομαγνητικής μάζας βρίσκονταν σε τέτοια απόσταση από τον αισθητήρα, ώστε να μην είναι δυνατόν να εμφανιστεί ικανοποιητική μεταβολή της τάσης εξόδου της γέφυρας Wheatstone που περικλείει. Το φαινόμενο αυτό βέβαια είναι και επιθυμητό, καθώς επιτρέπει την απόρριψη γειτονικών φερομαγνητικών υλικών. Αν λοιπόν το σύστημα είχε τοποθετηθεί πιο κοντά στα άκρα της θέσης σταθμεύσεως, η πιθανότητα εσφαλμένης μέτρησης θα ήταν σαφώς πιο ελαττωμένη.

7.1 Συμπεράσματα

Καταλήγοντας η σχεδίαση και υλοποίηση του συστήματος κρίνεται επιτυχής. Η λειτουργία του όπως παρουσιάστηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο οδήγησε απροβλημάτιστα στα επιθυμητά αποτελέσματα με ελάχιστες εξαιρέσεις σφαλμάτων, τα οποία δύναται να εξαλειφθούν απλά με καλύτερη χωροθέτηση του συστήματος στην υπό έλεγχο περιοχή. Αν εξακολουθήσει το σύστημα να κρίνεται ανεπαρκές για επιτυχή ανίχνευση, μια πιθανή βελτίωση του θα ήταν η προσεκτική μείωση της στάθμης του κατωφλίου ώστε αυτό να γίνει πιο ευαίσθητο. Η μεταβολή αυτή πραγματοποιείται μόνο με το λογισμικό και μάλιστα θα μπορούσε με μια μικρή προσθήκη στο firmware να γίνει και ασύρματα. Ο αλγόριθμος επομένως λειτουργεί εύστοχα, απαρτιζόμενος από το μικρότερο δυνατό αριθμό καταστάσεων ώστε να παραμένει σε χαμηλά επίπεδα η πολυπλοκότητά του.

Όσον αφορά τη σχεδίαση του συστήματος, οι προδιαγραφές που είχαν τεθεί παρατηρείται πως πληρούνται όλες, ώστε μια εμπορική μορφή του δεν θα απέιχε πολύ από το πρωτότυπο που παρουσιάστηκε. Η επιτυχία της σχεδίασης κυρίως στοχεύεται στην χρησιμοποίηση SMT υλικών, που επιτρέπει τις κατά δύναμη πιο συγκρατημένες διαστάσεις του συστήματος και διατηρεί χαμηλά την κατανάλωση ισχύος. Χρησιμοποιούμενη επομένως μια μπαταρία μεγάλης χωρητικότητας θα απέδιδε διάρκεια ζωής στο σύστημα ανάλογη με αυτή που είχε προταθεί στις προδιαγραφές, όπερ σημαίνει της τάξης μερικών χρόνων πριν την αντικατάστασή της και γενικά επιτακτικής συντήρησης του συστήματος.

Σχετικά με την ανθεκτικότητα του συστήματος, διαφαίνεται πως αυτή είναι αυξημένη βάσει των προδιαγραφών των ολοκληρωμένων και γενικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ σε συνδυασμό με το περίβλημα που είχε προταθεί σχεδιασμένο από μέρος του να αντέχει σε αντίξοες καιρικές συνθήκες αλλά και καταπονήσεις από τη συχνή διέλευση οχημάτων, καταλήγει σε μια λύση που δεν απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτηση και προφύλαξή της.

Τέλος το κόστος της όλης διάταξης είναι σχετικά συγκρατημένο και όπως έχει σχολιαστεί και προηγουμένως μια μαζική παραγωγή του θα κατέληγε σε μια πολύ προσιτή και ανταγωνιστική συσκευή.

7.2 Προτάσεις για βελτίωση

Το σύστημα όπως παρουσιάστηκε, βάσει προδιαγραφών, αποτελεί μια ολοκληρωμένη λύση. Εμπεριέχει και το τμήμα των απαραίτητων ηλεκτρονικών για τη συλλογή δεδομένων από τον αισθητήρα, τον πυρήνα που αποτελείται από τον μικροεπεξεργαστή και επιτελεί όλες τις απαραίτητες λειτουργίες και βεβαίως την επεξεργασία των δεδομένων, ενώ επίσης επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον μέσω ασύρματης ζεύξης. Όλα αυτά σε συνδυασμό με την σχεδίασή του βάσει υλικών επιφανειακής στήριξης, το καθιστά πολύ ανταγωνιστικό λόγω των επιτυχημένων μικρών διαστάσεων του.

Οι προτάσεις επομένως για βελτίωσή του είναι περιορισμένες. Αυτές θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στην επέκταση του συστήματος, πράγμα το οποίο έχει προβλεφθεί, ουσιαστικά σε έναν κόμβο αισθητήρων (sensor node). Με τις επιπλέον παροχές τάσεις που βρίσκονται σε αναμονή από το voltage switch όπως επίσης και τις εναπομείναντες θύρες εισόδου στον A/D, θα μπορούσαν να προστεθούν κατάλληλοι αισθητήρες και το σύστημα πλέον να αποτελεί έναν σταθμό συλλογής δεδομένων με ενδεχόμενες προγραμματισμένες αποφάσεις και ενέργειες. Αισθητήρες τέτοιου τύπου θα μπορούσαν να είναι ένα επιταχυνσιόμετρο, ένα μικρόφωνο ή ακόμα και ένας αισθητήρας φωτός. Η επέκταση του είναι απλή με επιπλέοντες πλακέτες ιδίων διαστάσεων που θα τοποθετούνταν και συνδέονταν στις κατάλληλες θύρες διασύνδεσης. Η διαφοροποίηση έπειτα θα επεκτεινόταν στο λογισμικό με το οποίο είναι προγραμματισμένος ο μικροελεγκτής και βέβαια είναι μια διεργασία γρήγορη και χωρίς ιδιαίτερη πολυπλοκότητα.

Ένας τέτοιος κόμβος αισθητήρων, του οποίου η χρησιμότητα είναι προφανής, θα μπορούσε επιπλέον να προγραμματιστεί με τέτοιον τρόπο ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία του με γειτονικούς πανομοιότυπους κόμβους. Τα δεδομένα του όπως και αυτά του υπολοίπου συνόλου θα μπορούσαν να συγκεντρώνονται σε έναν σταθμό συλλογής δεδομένων ασύρματα και αυτός με τη σειρά του θα μπορούσε να ελέγχει πιθανούς σηματοδότες ελέγχου κυκλοφορίας ή να ενημερώνει για την κυκλοφοριακή κατάσταση ενός τμήματος κυκλοφοριακής ζώνης. Επιπλέον εμπεριέχοντες οι κόμβοι αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας, θα μπορούσαν να πληροφορούν μέσω κατάλληλων οπτικών πινάκων τους οδηγούς για την κατάσταση του οδοστρώματος και θα τους υποδείκνυαν περιπτώσεις κινδύνου και απαραίτητες ενέργειες για την αποφυγή ατυχημάτων.

Μια τελευταία ιδέα θα ήταν ενσωμάτωση στο κεντρικό σύστημα ενός υποσυστήματος το οποίο θα περιείχε φωτοβολταϊκό στοιχείο και κατάλληλη συστοιχία επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Η επιμέρους λειτουργία του υποσυστήματος αυτού θα ήταν η εναλλακτική φόρτιση-εκφόρτιση των μπαταριών με τον βέλτιστο τρόπο, ενώ συνολικά θα απάλλασσε τον σχεδιαστή από την έγνοια για πηγή ενέργειας και εξοικονόμησή της, με τελική συνέπεια τις λιγότερο τακτικές ενέργειες συντήρησής του.

Αναφορές

Δημοσιευμένες Εργασίες – Επιστημονικά Άρθρα:

1. **‘A New Perspective on Magnetic Field Sensing’** ,
Michael J. Caruso , **Tamara Bratland** , Honeywell, SSEC , www.ssec.honeywell.com
Dr. Carl H. Smith, Robert Schneider, Nonvolatile Electronics, Inc., www.nve.com
(new_pers.pdf)
2. **‘Wireless Sensor Networks: Seamless computing across the physical and digital worlds’**, **Feng Zhao** , Networked Embedded Computing Group , Microsoft Research
<http://research.microsoft.com/zhao>
(Feng zhao-MSRA_FacultySummit_nov04_p.pdf)
3. **‘Vehicle Detection Station Device White Paper’**
Wilbur Smith Associates/IBI Group
(sclmc_item_3.0.pdf)
4. **‘Detector Technology Evaluation’**
Dr. Peter T. Martin, Associate Professor , University of Utah
(MPC03-154.pdf)
5. **‘A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems’**
Southwest Technology Development Institute (SWTDI) ,
New Mexico State University (NMSU)
(vdstits.pdf)
6. **‘Data Collection Technologies for Road Management’**
Christopher R. Bennett , Alondra Chamorro , Chen Chen , Hernan de Solminihac ,
Gerardo W. Flintsch
East Asia Pacific Transport Unit
The World Bank
Washington, D.C.
(2005_data_collection_technologies.pdf)
7. **‘Weigh-In-Motion System’**
Subsurface Sensing Lab, UH
(pro-09.pdf)
8. **‘Ασύρματη Συσσκευή Ανίχνευσης και Εύρεσης Μέσης Ταχύτητας Οχημάτων’**
Χαρίλαος Α. Μουσσούλης , Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός
Υπολογιστών Ε.Μ.Π.
(charilaos_moussoulis.pdf)

9. **‘Vehicle Detection by Sensor Network Nodes’**
 Jiagen(Jason) Ding
 UNIVERSITY of CALIFORNIA at BERKELEY
 (03Fall_jiagenThesis_EE.pdf)

10. **‘ADVANCED PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEMS:
 THE STATE OF THE ART , UPDATE 2000’**
 U.S. Department of Transportation , **Federal Transit Administration**
 (13583.pdf)

11. **‘Vehicle Detection and Compass Applications using AMR Magnetic Sensors’**
Michael J. Caruso , Lucky S. Withanawasam
 Honeywell, SSEC
www.ssec.honeywell.com
 (amr.pdf)

12. **‘Low Noise Magnetic Field Sensor Low Noise Magnetic Field Sensor and Their
 Unique Applications and Their Unique Applications’**
Hong Wan
 Honeywell International Inc
 (Wan.pdf)

13. **‘A Review of Magnetic Sensors’ ,**
JAMES E. LENZ, MEMBER IEEE
 PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 78, NO. 6, JUNE 1990
 (00056910.pdf)

14. **‘Novel Ferromagnetic Micromechanical Magnetometers’**
Henry Hung Yang , Master of Science thesis
 UNIVERSITY OF CALIFORNIA, Los Angeles
 (judylab_masters_2003_yang.pdf)

15. **‘Magnetic Field Measurement’**
Steven A. Macintyre
 CRC Press LLC
<http://www.engnetbase.com>
 (macintyre.pdf)

16. **PROTON MAGNETOMETER**
L. HUGGARD, B.Sc.
 Practical Electronics Oct. 1970, Copyright © Wimbourne Publishing

17. **‘Fibre Optic Magnetic Field Sensors Utilizing Iron Garnet Materials’**
Hans Sohlström ,
 ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 Instrumentation Laboratory
 STOCKHOLM
 (hanssdoc2.pdf)

- 18. 'Magnetoresistive Sensors'**
H. Hauser, G. Stangl, W. Fallmann, R. Chabicovsky, K. Riedling
Institut für Industrielle Elektronik und Materialwissenschaften TU Wien,
Gusshausstrasse 27/366, A-1040 Vienna, Austria
(Hauser.pdf)
- 19. 'Magnetoresistive Sensors for Nondestructive Evaluation'**
Albrecht Jander, Oregon State University
Carl Smith, Robert Schneider , NVE Corporation
Copyright © 2005, NVE Corporation
(SPIE10_Magnetoresistive_Sensors_for_Nondestructive_Evaluation.pdf)
- 20. Application Note – AN218 'Vehicle Detection Using AMR Sensors'**
Honeywell International Inc.
©2005 Honeywell International Inc.
www.honeywell.com
(an218.pdf)
- 21. Application Note – AN213 'SET/RESET FUNCTION FOR MAGNETIC SENSORS'**
Honeywell International Inc.
©2005 Honeywell International Inc.
www.honeywell.com
(an213.pdf)
- 22. '1- and 2-Axis Magnetic Sensors HMC1001 / 1002 HMC1021 / 1022'**
Honeywell International Inc.
(HMC1001-2_1021-2.pdf)
- 23. 'IRF7509 HEXFET® Power MOSFET'**
International Rectifier
www.irf.com
- 24. 'MicroPOWER INSTRUMENTATION AMPLIFIER Single and Dual Versions' INA126,INA2126**
BURR BROWN
<http://www.burr-brown.com/>
(INA2126_datasheet.pdf)
- 25. 'TLE2426, TLE2426Y THE 'RAIL SPLITTER' PRECISION VIRTUAL GROUND'**
Texas Instruments
www.ti.com
(tle2426.pdf)
- 26. 'I2C® Compatible 256-Position Digital Potentiometers AD5241,AD5242'**
Analog Devices
www.analog.com
(AD5241_42.pdf)

27. **‘Maxim +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers MAX220–MAX249**
 Maxim
www.maxim-ic.com
 (MAX220-MAX249.pdf)
28. **‘Easy-Radio ER400TRS Transceiver LPRS Data Sheet’**
 Low Power Radio Solutions Ltd England
<http://www.lprs.co.uk>
<http://www.easy-radio.co.uk>
29. **‘MCP1700 Low Quiescent Current LDO’**
 Microchip Technology Inc.
<http://www.microchip.com>
30. **‘Quad, Low-Voltage, SPST Analog Switches MAX4521/MAX4522/MAX4523’**
 Maxim Integrated Products, Inc.
www.maxim-ic.com
31. **‘8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash ATmega32 , ATmega32L’**
 Atmel Corporation
www.atmel.com
 (doc2503.pdf)

Πρακτικές Εφαρμογές – Υπάρχουσες Εταιρίες:

- I. **Sensys Networks Inc** ,  , S240 Parking System Benefits.

www.sensysnetworks.com

(parking.pdf)

- II. **Bircher Reglomat AG** ,  , ‘Installation of Inductive loop’

(04-00BIAMDO-LD-installationofinductiveloop-page5to8.pdf)

- III. **Weiss-Electronic GmbH** ,  , ‘Loop Installation Manual’

<http://www.weiss-electronic.de>

(Schleifenverl_BE_21_070305.pdf)

(IRD90x2_BE_33_111104_vorab.pdf)

(RD2002_94_BE_13_150704.pdf)

IV. THERMOCOAX , 

‘THE PIEZO-ELECTRIC SENSOR VIBRACOAX®’

www.thermocoax.com

(E017-0_Vibracoax.pdf)

V. **JAMAR** Technologies, Inc. , 
www.jamartech.com

VI. **NOPTEL**
www.noptel.fi

(nop_traffic_3.pdf)

VII. **RTMS™ Remote Traffic Microwave Sensor**
A Multi-zone, True-presence Microwave Radar
SAS-1 Acoustic Sensor
Distributed by INTERNATIONAL ROAD DYNAMICS INC.
www.irdinc.com

(RTMS_X3_IRD.pdf)

(SAS-1_IRD.pdf)

(non-itrusive.pdf)

VIII. **Image Sensing Systems, Inc.**
URL: <http://www.imagesensing.com/>
URL: <http://www.autoscope.com/>

IX. **TagMaster AB** 
Kronborgsgränd ,1S-164 87 Kista , Sweden
URL: <http://www.tagmaster.com/>

Διευθύνσεις INTERNET:

- i. <http://electronics.howstuffworks.com/index.htm>
- ii. <http://www.roadtraffic-technology.com/>
- iii. <http://www.loopsealant.com/>
- iv. <http://www.wikipedia.org/>
- v. <http://www.atmel.com>

Παράρτημα:

Firmware Μικροελεγκτή

```

/*****
This program was produced by the
CodeWizardAVR V1.24.0 Standard
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2003 HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.ro
e-mail:office@hpinfotech.ro

Project : Parking
Version : 0.5
Date    : 23/9/2006
Author  : KKNITHAKIS
Company : NTUA
Comments:

Chip type      : ATmega32
Program type   : Application
Clock frequency : 11.0952 MHz
Memory model   : Small
External SRAM size : 0
Data Stack size : 512
*****/

#include <mega32.h>
#include <global.h>
#include <delay.h>
#include <i2c_maz.h>
#include <stdio.h>
//#include <snap_uart_maz.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x00

// Declare your global variables here
unsigned int      Sample;
unsigned char     Sample_8bit;
unsigned int      Slave_addr;
unsigned int      i;
unsigned char     OutL @0x60;
unsigned char     OutH @0x61;
unsigned int      Out @0x60;
unsigned char     Bat_Level;
unsigned char     Wiper;
unsigned char     Thres=28;
unsigned int      T;
unsigned int      NUM_H=20;          //20*50msec=1000msec delay in VA_H
unsigned int      NUM_L=20;          //20*50msec=1000msec delay in VA_L
unsigned int      BSL;
unsigned long int Temp;
//Parking Detection Algorithm Global Variables
unsigned char     E;
unsigned char     VA_H;
unsigned char     VA_L;
unsigned char     OCC;
unsigned int      counter;
unsigned int      E_Init=2400;      //counter limit to initialize after
6000*50ms=5min
unsigned int      counter2;         //counter
unsigned char     State;
// local data buffer
unsigned char     localBuffer[2];

```



```

u08 AD5242_set_RDAC(u08 deviceAddr, u08 length, u08* data)
//Based on i2cMasterSendNI
{
    u08 retval = I2C_OK;

    // disable TWI interrupt
    cbi(TWCR, TWIE);

    // send start condition
    i2cSendStart();
    i2cWaitForComplete();

    // send device address with write
    i2cSendByte( deviceAddr & 0xFE );
    i2cWaitForComplete();

    // check if device is present and live
    if( inb(TWSR) == TW_MT_SLA_ACK)
    {
        // send data
        while(length)
        {
            i2cSendByte( *data++ );
            i2cWaitForComplete();
            length--;
        }
    }
    else
    {
        // device did not ACK it's address,
        // data will not be transferred
        // return error
        retval = I2C_ERROR_NODEV;
    }
    // transmit stop condition
    // leave with TWEA on for slave receiving
    i2cSendStop();
    while( !(inb(TWCR) & BV(TWSTO)) );
    // enable TWI interrupt
    sbi(TWCR, TWIE);
    return retval;
}

// Read the AD conversion result (10 bit)
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;
    // Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
}

// Read the 8 most significant bits
// of the AD conversion result
unsigned char read_adc_8bit(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;

```

```

// Start the AD conversion
ADCSRA|=0x40;
// Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCH;
}

void Turn_on_Mag_Ch(void)
{
//Power-up
    PORTB.1=1;                //Power Magnetic Channel 1
    delay_ms(10);
}

void Turn_off_Mag_Ch(void)
{
    PORTB.1=0;                //Turn off Magnetic Channel 1
}

unsigned int Sample_Mag_Ch(unsigned char channel)
{
    ADCSRA.7=1;                //Power AD
    delay_us(30);

//Sample and turn off A/D
    Sample = read_adc(channel);
    ADCSRA.7 = 0;                //Turn off AD for power saving
    return Sample;
}

void Set_Reset(void)
{
// Set/Reset Pulse Generator
    PORTC.7=0;                //Reset Pulse
    delay_us(30);                //Wait 30 microsec
    PORTC.7=1;                //Set Pulse
}

unsigned char Sample_Bat_Lev(void)
{
    ADCSRA.7=1;                //Power AD
    delay_us(30);

//Sample and turn off A/D
    Sample_8bit = read_adc_8bit(0);
    ADCSRA.7 = 0;                //Turn off AD for power saving
    return Sample_8bit;
}

void Turn_On_RF_Serial(void)
{
    PORTB.2=1;                //Power RF/Serial
    delay_ms(10);
}

```

```

void Turn_Off_RF_Serial(void)
{
    PORTB.2=0;          //Turn off RF/Serial
}

void Opt_Power_1(void)
{
//Power-up
    PORTB.3=1;          //Power on

    delay_ms(10);

    PORTB.3=0;          //Turn off
}

void Opt_Power_2(void)
{
//Power-up
    PORTB.4=1;          //Power on

    delay_ms(10);

    PORTB.4=0;          //Turn off
}

unsigned int Calc_BSL(void)
{
    unsigned int baseline;
    unsigned long int Sum;
    Sum=0;
    ADCSRA.7=1;          //Power AD
    delay_us(30);

    for (i=0; i<256; i++)
    {
        Sample = read_adc(1);
        Sum = Sum + Sample;
        delay_us(3800);
    }
    ADCSRA.7 = 0;          //Turn off AD for power saving
    baseline = Sum>>8;    //shift right 8 bits (256 = 2^8)
    Sum = 0;

    return baseline;
}

unsigned char DC_Offset_Fix(void)
{
    int Offset;
    unsigned char W_Fix;

    Offset=512-BSL;
    W_Fix=Offset/5;

    if (Offset>0)
        Wiper=127-W_Fix;
}

```

```

    if (Offset<0)
    Wiper=127+W_Fix;

    //Set the AD5242/RDAC1 to Wiper Value
        Slave_addr=89;
        localBuffer[0]=0;
        localBuffer[1]=Wiper;
        AD5242_set_RDAC(Slave_addr,2,localBuffer);

    return Wiper;
}

void StateInit(void)
{
E=1;
VA_H=0;
VA_L=0;
OCC=0;
counter=0;
counter2=0;
}

void SystemInit(void)
{
// Global disable interrupts
#asm("cli")

Bat_Level=Sample_Bat_Lev();    //Sample the battery level

Turn_on_Mag_Ch();
Set_Reset();
BSL=Calc_BSL();    //Calculate Baseline
Turn_off_Mag_Ch();

Turn_On_RF_Serial();
printf("System Initializing... \r");
printf("System Status: \r");
printf("Battery Level:%4u \r",Bat_Level);
printf("Baseline:%4u \r",BSL);
Turn_Off_RF_Serial();
Turn_on_Mag_Ch();
Set_Reset();
Wiper=DC_Offset_Fix(); //Remove Offset by adjusting digital potentiometer
BSL=Calc_BSL();    //Re-Calculate Baseline
Turn_off_Mag_Ch();
T=BSL+Thres;    //Calculate Thresholds
Turn_On_RF_Serial();
printf("Wiper Value:%4u \r",Wiper);
printf("Adjusted Baseline:%4u \r",BSL);
printf("Threshold (T):%4u \r",T2);
Turn_Off_RF_Serial();
StateInit();    //Initialize States

// Global enable interrupts
#asm("sei")
}

//Interrupt Service Routines -----

```

```

// Timer 1 overflow interrupt service routine
interrupt [TIM1_OVF] void timer1_ovf_isr(void)
{
// Reinitialize Timer 1 value
TCNT1H=0xDE;
TCNT1L=0x40;
Turn_on_Mag_Ch();

//Set the AD5242/RDAC1 to Precalculated Wiper Value (DC_Offset_Fix)
Slave_addr=89;
localBuffer[0]=0;
localBuffer[1]=Wiper;
AD5242_set_RDAC(Slave_addr,2,localBuffer);

delay_ms(20);

Out=Sample_Mag_Ch(1); //Sample Magnetic Channel 1
Turn_off_Mag_Ch();
Turn_On_RF_Serial();

Opt_Power_1();
Opt_Power_2();

//Parking Detection Algorithm -----
if (E==1) //ARXIKI KATASTASI (E=EMPTY)
{
if (Out<T)
{
E=1;
counter2=counter2+1; //increase re-init counter
State=1;
}
else if (Out>=T)
{
VA_H=1;
E=0;
State=3;
counter=1;
}
}
else if (VA_H==1) //KATASTASI VA_H (OUT>=T)
{
if ((Out>=T)&&(counter<NUM_H))
counter=counter+1;
State=3;
else if (Out<T)
{
VA_L=1;
VA_H=0;
State=2;
counter=1;
}
else if ((Out>=T)&&(counter>=NUM_H))
{
OCC=1;
VA_H=0;
counter=0;
State=4;
}
}
}

```

```

else if (VA_L==1) //KATASTASI VA_L (OUT<T)
{
    if ((Out<T)&&(counter<NUM_L))
        counter=counter+1;
        State=2;
    else if (Out>=T)
    {
        VA_H=1;
        VA_L=0;
        counter=1;
        State=3;
    }
    else if ((Out<T)&&(counter>=NUM_L))
    {
        E=1;
        VA_L=0;
        State=1;
    }
}

else if (OCC==1) //KATASTASI O (=OCCUPIED)
{
    if (Out>=T)
        counter=0;
        State=4;
    else if ((Out<T)&&(counter<NUM_L))
    {
        counter=counter+1;
        State=4;
    }
    else if ((Out<T)&&(counter>=NUM_L))
    {
        OCC=0;
        counter=0;
        SystemInit();
        E=1;
    }
}

//Message printing
printf("%1u \t %4u \r", State, Out);
Turn_Off_RF_Serial();
}

void main(void)
{
// Declare your local variables here

// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;

```

```

// Port B initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=Out Func3=Out Func2=Out Func1=Out
Func0=Out
// State7=T State6=T State5=T State4=0 State3=0 State2=0 State1=0 State0=0
PORTB=0x00;
DDRB=0x1F;

// Port C initialization
// Func7=Out Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In
Func0=In
// State7=1 State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTC=0x80;
DDRC=0x80;

// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 172,800 kHz
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: On
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x03;
TCNT1H=0xDE;
TCNT1L=0x40;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 2 Stopped
// Mode: Normal top=FFh
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

```

```

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
// Analog Comparator Output: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 172,800 kHz
// ADC Voltage Reference: AREF pin
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=0x86;

// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: On
// USART Transmitter: On
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud rate: 19200
UCSRA=0x00;
UCSRB=0x18;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x23;

// initialize i2c
i2cInit();

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x04;

SystemInit();
// Global enable interrupts
#asm("sei")

while (1)
{
    if (counter2==E_Init)
        SystemInit();
};
}

```