



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

**Ασύρματη Συσκευή Ανίχνευσης και
Εύρεσης Μέσης Ταχύτητας Οχημάτων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χαρίλαος Α. Μουσούλης

Επιβλέπων : Ιωάννης Ν. Αβαριτσιώτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2005



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

Ασύρματη Συσκευή Ανίχνευσης και Εύρεσης Μέσης Ταχύτητας Οχημάτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χαρίλαος Α. Μουσούλης

Επιβλέπων : Ιωάννης Ν. Αβαριτσιώτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 9^η Μαρτίου 2005.

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

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

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

Αθήνα, Μάρτιος 2005

.....
Χαρίλαος Α. Μουσούλης

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

Copyright © Χαρίλαος Α. Μουσούλης, 2005

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

Ο σκοπός της εργασίας αυτής ήταν ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός συστήματος, το οποίο θα τοποθετηθεί εντός του οδοστρώματος, στη μέση μιας λωρίδας κυκλοφορίας, και θα δίνει στοιχεία για τον αριθμό και τη μέση ταχύτητα των οχημάτων που διέρχονται πάνω από αυτό.

Η ανίχνευση των οχημάτων και η εύρεση της μέσης ταχύτητάς τους γίνεται με μαγνητικούς αισθητήρες AMR, οι οποίοι παρέχουν μετρήσεις της διακύμανσης της έντασης του γήινου μαγνητικού πεδίου, που οφείλεται στα φερομαγνητικά υλικά των οχημάτων. Η επεξεργασία των σημάτων, ο χειρισμός των περιφερειακών συσκευών και οι υπολογισμοί γίνονται με τη χρήση μικροελεγκτή.

Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να στέλνει τα δεδομένα μέσω ασύρματης ζεύξης σε κάποιο σταθμό ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να γίνεται άμεση αξιολόγηση των κυκλοφοριακών συνθηκών της περιοχής που μελετάται. Εκτός της ασύρματης ζεύξης μπορεί να γίνει απευθείας σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω της σειριακής θύρας που διαθέτει το σύστημα.

Το σύστημα είναι μικρό σε μέγεθος, παρέχει αξιόπιστες μετρήσεις και καταναλώνει σχετικά χαμηλή ενέργεια, αφού σαν πηγή τροφοδοσίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια απλή μπαταρία.

Λέξεις – Κλειδιά

Ανιχνευτής, Όχημα, Κυκλοφορία, Ταχύτητα, Ασύρματη Ζεύξη, Σειριακή Θύρα, Προσωπικός Υπολογιστής, Μαγνητικοί Αισθητήρες, Ένταση, Γήινο Μαγνητικό Πεδίο, Μικροελεγκτής.

Abstract

The purpose of this thesis was the design and construction of a wireless vehicle speed detector. The detector is to be permanently installed in the road surface, in order to provide data concerning the number and the average speed of the passing vehicles.

The vehicle detection and the average speed calculation are based on the outputs of two AMR magnetic sensors. These sensors measure the disturbance of the earth's magnetic field, which is caused by the ferromagnetic materials of the vehicle. The signal processing, the control of peripheral devices and the calculations are being done by a microcontroller.

The detector has the ability to transmit the data through a wireless RF connection to a base station, periodically. As a result, a real time evaluation of traffic conditions can take place. Besides the wireless radio-frequency connection, the device can be directly connected to a personal computer through the serial port.

The whole system is relatively small, provides reliable data and is battery powered.

KeyWords

Detector, Vehicle, Wireless, Radio Frequency, Real Time, Traffic, Personal Computer, Serial Port, AMR Magnetic Sensor, Earth Magnetic Field, Microcontroller.

Πρόλογος

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μικροηλεκτρονικής της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π. Αποτελεί το τέλος ενός κύκλου που ξεκίνησε πριν από πέντε χρόνια περίπου, όταν για πρώτη φορά πέρασα το κατώφλι της Σχολής. Οι προσωπικές θυσίες και στερήσεις κατά τη διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής ήταν πολλές, η αγάπη όμως προς το αντικείμενο της Σχολής, η χαρά της γνώσης, η δημιουργικότητα και οι ισχυρές φιλίες που αναπτύχθηκαν σε αυτό το διάστημα, είναι αξίες αναντικατάστατες που μου έδωσαν το κουράγιο να συνεχίσω με το ίδιο πάθος μέχρι το τέλος.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Αβαριτσιώτη για την αμέριστη συμπαράσταση, τη συνεχή καθοδήγηση και τις πολύτιμες επιστημονικές γνώσεις που μου προσέφερε απλόχερα. Επίσης ευχαριστώ τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Γεώργιο Μαζαράκη για τις πολύτιμες συμβουλές του και την ηθική συμπαράσταση που μου παρείχε καθόλη τη διάρκεια της εργασίας. Αισθάνομαι ιδιαίτερα τυχερός και ευγνώμων που είχα την τιμή να φιλοξενηθώ για έξι μήνες σε ένα περιβάλλον όπως αυτό του Εργαστηρίου Μικροηλεκτρονικής, το οποίο απαρτίζεται κατά τη γνώμη μου από πολύ αξιόλογα άτομα, τόσο ως προς το ήθος τους, όσο και ως προς την επιστημονική τους κατάρτιση.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου, που στάθηκαν δίπλα μου δίνοντάς μου κουράγιο και δύναμη όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερα τους καλούς μου φίλους κ. Β. Κουρμπάνη και κ. Χ. Πουλιάση για τα σαββατοκύριακα και τα βράδια που μου αφιέρωσαν, βοηθώντας με στις μετρήσεις.

Μετά τιμής

Χαρίλαος Μουσουλής

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ	13
2.1	Εισαγωγή	13
2.2	Τεχνολογίες Ανιχνευτών Τοποθέτησης Εντός Οδοστρώματος	13
2.2.1	Βρόγχος Επαγωγής (Inductive Loop)	13
2.2.2	Μαγνητικοί Ανιχνευτές	14
2.2.3	Πνευματικός Σωλήνας (Pneumatic Road Tube)	15
2.2.4	Πιεζοηλεκτρικοί ανιχνευτές	16
2.2.5	Weigh-in-Motion (WIM) ανιχνευτές	17
2.3	Τεχνολογίες Ανιχνευτών Τοποθέτησης Εκτός Οδοστρώματος	20
2.3.1	Ενεργοί και Παθητικοί Υπέρυθροι Ανιχνευτές	20
2.3.2	Ραντάρ Μικροκυμάτων	22
2.3.3	Παθητικοί Ακουστικοί Ανιχνευτές και Ανιχνευτές Υπερήχων	22
2.3.4	Επεξεργαστές Εικόνas και Βίντεο (Video Image Processing, VIP)	24
2.3.5	Ανιχνευτές που χρησιμοποιούν συνδυασμό τεχνολογιών	24
2.4	Άλλες τεχνολογίες παρακολούθησης κυκλοφορίας	25
2.4.1	Γεωγραφικό Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (Global Positioning System, GPS)	25
2.4.2	Τεχνολογία Αυτόματης Ταυτοποίησης Οχήματος	26
2.4.3	Τεχνολογία Αυτόματης Εύρεσης Θέσεως Οχήματος	26
2.5	Σύγκριση Τεχνολογιών – Επιδράσεις λόγω κλιματολογικών και κυκλοφοριακών συνθηκών	27
2.5.1	Βρόγχος επαγωγής	28
2.5.2	Μαγνητικοί ανιχνευτές	28
2.5.3	Ανιχνευτές πνευματικού σωλήνα	28
2.5.4	Ενεργοί υπέρυθροι ανιχνευτές	28
2.5.5	Παθητικοί υπέρυθροι ανιχνευτές	29
2.5.6	Ραντάρ μικροκυμάτων	29
2.5.7	Ανιχνευτές Υπερήχων	29
2.5.8	Παθητικοί ακουστικοί ανιχνευτές	29
2.5.9	Ανιχνευτές τεχνολογίας VIP (Video Image Processing)	30
2.5.10	Συγκεντρωτικός πίνακας επιρροής περιβαλλοντικών και κυκλοφοριακών συνθηκών	31
2.5.11	Συμπεράσματα – Επιλογή τεχνολογίας ανιχνευτή	32
3	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	33
3.1	Εισαγωγή	33
3.2	Τεχνολογία Μαγνητικών Αισθητήρων	33
3.3	Μαγνητικοί αισθητήρες χαμηλού πεδίου	34
3.3.1	Αισθητήρες SQUID	34
3.3.2	Πηνία αναζήτησης (search-coils)	35
3.3.3	Άλλοι αισθητήρες χαμηλού πεδίου	35
3.4	Αισθητήρες γήινου μαγνητικού πεδίου	35
3.4.1	Flux-Gate Μαγνητόμετρο	35
3.4.2	Αισθητήρες μαγνητοεπαγωγής (magnetoinductive sensors)	36
3.4.3	Αισθητήρες ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης	37
3.5	Μαγνητικοί αισθητήρες ισχυρού πεδίου (>10 Gauss)	39

3.5.1	Διακόπτες Reed (Reed Switches)	39
3.5.2	Αισθητήρες που βασίζονται στην δύναμη Lorentz	39
3.5.3	Αισθητήρες γιγάντιας μαγνητοαντίστασης (Giant Magnetoresistive, GMR)	40
3.6	Επιλογή μαγνητικού αισθητήρα	41
3.6.1	Εφαρμογές του AMR αισθητήρα στην ανίχνευση οχημάτων και εύρεση ταχύτητας	41
4	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	44
4.1	Εισαγωγή	44
4.2	Προδιαγραφές Συστήματος	44
4.3	Δομή του συστήματος	45
4.4	Ανάλυση υποσυστημάτων	45
4.4.1	Υποσύστημα Αισθητήρων	45
4.4.2	Ενίσχυση της τάσης εξόδου των αισθητήρων	49
4.4.3	Υποσύστημα RF	50
4.4.4	Σειριακή Επικοινωνία	54
4.5	Ο Μικροελεγκτής PIC16F876	55
4.5.1	Γενικά χαρακτηριστικά των μικροελεγκτών PIC της MICROCHIP	56
4.5.2	Ο πυρήνας του PIC16F876	57
4.5.3	Περιφερειακά του PIC16F876	57
4.5.4	Ειδικά χαρακτηριστικά	58
4.5.5	Αρχιτεκτονική του PIC16F876	58
4.5.6	Ρολόι – Χρονισμός – Κύκλος Εντολής	59
4.5.7	Διακοπές (Interrupts)	59
4.5.8	Χρονιστές (Timers)	60
4.5.9	Θύρες Εισόδου/Εξόδου	61
4.5.10	Πομποδέκτης Σύγχρονης/Ασύγχρονης Επικοινωνίας (USART)	63
4.5.11	Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analog to digital converter)	64
5	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ	68
5.1	Εισαγωγή	68
5.2	Επιλογή ρυθμού δειγματοληψίας για την ανίχνευση οχημάτων	68
5.3	Μέτρηση ταχύτητας	69
5.3.1	Απόσταση αισθητήρων και ρυθμός δειγματοληψίας για μέτρηση ταχύτητας οχήματος	69
5.4	Αλγόριθμοι	72
5.4.1	Αλγόριθμος αρχικοποίησης συστήματος	72
5.4.2	Αλγόριθμος ανίχνευσης οχήματος	74
5.4.3	Αλγόριθμος εύρεσης μέσης ταχύτητας	77
5.4.4	Αλγόριθμος αποστολής δεδομένων μέσω της ασύρματης ζεύξης	78
5.5	Επιλογή Γλώσσας Προγραμματισμού του Μικροελεγκτή	80
5.5.1	Επιλογή μεταγλωττιστή C	82
6	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	84
6.1	Κατασκευή κυκλώματος	84
6.2	Μετρήσεις στο δρόμο	88
6.2.1	Ανάλυση Μαγνητικής Υπογραφής Οχήματος	94

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	10
6.2.2 Μετρήσεις μέσης ταχύτητας	96
7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ	98
7.1 Συμπεράσματα	98
7.2 Προτάσεις για βελτίωση	98
8 ΑΝΑΦΟΡΕΣ	100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΤΟΥ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	101
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΤΗΣ ΤΥΠΩΜΕΝΗΣ ΠΛΑΚΕΤΑΣ	103
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΑΡΧΕΙΟ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ	105
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΚΩΔΙΚΑΣ (FIRMWARE) ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ΓΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΥΠΟΓΡΑΦΗΣ	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: ΚΩΔΙΚΑΣ (FIRMWARE) ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ΓΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΕΥΡΕΣΗ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	115

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχής αύξηση του αριθμού των αυτοκινήτων, ειδικά στα μεγάλα αστικά κέντρα, αποτελεί την αιτία πολλών προβλημάτων, όπως είναι η επιβάρυνση της αισθητικής όψης των πόλεων, η μόλυνση του περιβάλλοντος, αναπνευστικά προβλήματα σε ευπαθείς ομάδες πληθυσμού κ.ά. Η δυσκολία δημιουργίας νέων οδικών αρτηριών στο εσωτερικό των πόλεων, λόγω κυρίως της άναρχης δόμησης, έχει οδηγήσει στην αναζήτηση εναλλακτικών τρόπων για τον έλεγχο και τη διαχείριση της κυκλοφορίας, με σκοπό τη διευκόλυνση των οδηγών αλλά και την επίτευξη καλύτερων συνθηκών διαβίωσης του αστικού πληθυσμού.

Μία σημαντική προσπάθεια προς την κατεύθυνση αυτή, αποτελεί η δημιουργία του Δυναμικού Χάρτη Κυκλοφορίας της Αθήνας [1], από το Εργαστήριο Σιδηροδρομικής και Μεταφορών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ [2]. Ο χάρτης αυτός είναι καταχωρημένος σε ειδική ιστοσελίδα του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής [3], η οποία είναι προσβάσιμη από κάθε ενδιαφερόμενο μέσω του διαδικτύου. Αποτελεί το προϊόν μιας πολύχρονης σταδιακής ανάπτυξης τμημάτων ενός σύνθετου πειραματικού προτύπου που ονομάζεται Ολοκληρωμένο Περιβάλλον Οδικών Μεταφορών (IRTE- Integrated Road Transport Environment), το οποίο στοχεύει στην θέσπιση ενός Ευρωπαϊκού Συστήματος Ανοικτής Αρχιτεκτονικής για την καθολική αντιμετώπιση του προβλήματος της αστικής κυκλοφορίας και έχει χρηματοδοτηθεί από το 2^ο, 3^ο και 4^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο E&T της 13^{ης} Γεν. Διεύθυνσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Τα δεδομένα που παρέχονται από το δυναμικό χάρτη κυκλοφορίας, προέρχονται από τον υπολογιστή του Κέντρου Σηματοδότησης του ΥΠΕΧΩΔΕ. Ο υπολογιστής αυτός συλλέγει πληροφορίες σχετικά με την κυκλοφορία σε διακόσια περίπου σημεία της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας με τη βοήθεια ανιχνευτών κυκλοφορίας (φωρατών) που αποτελούνται από επαγωγικούς βρόγχους (βλ. επόμενο κεφάλαιο), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε ειδικά κατασκευασμένη εγκοπή – συνήθως σχήματος τετραγώνου ή παραλληλόγραμμου – στο οδόστρωμα. Τα στοιχεία που συλλέγονται αφορούν μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου και κατάληψης κυκλοφορίας. Τα πρώτα αναφέρονται στις διελεύσεις οχημάτων μέσα στο χρονικό διάστημα 90 sec (διάρκεια ενός κύκλου σηματοδότησης), ενώ τα δεύτερα στην ένταση της κυκλοφορίας, δηλαδή στο συνολικό χρόνο (μετρούμενο σε χιλιοστά του δευτερολέπτου) που μέσα στο ίδιο χρονικό διάστημα υπήρχε παρουσία οχήματος πάνω από το φωρατή είτε κινούμενου είτε σε στάση.

Τα δεδομένα που παρουσιάζει η ιστοσελίδα ανανεώνονται κάθε πέντε λεπτά, παρέχοντας άμεση και έγκαιρη ενημέρωση στους χρήστες για τις κυκλοφοριακές συνθήκες στους κεντρικούς δρόμους. Η χρήση όμως επαγωγικών βρόγχων δεν παρέχει άλλες πολύτιμες πληροφορίες όπως

για παράδειγμα τη μέση ταχύτητα των οχημάτων και τον ακριβή αριθμό τους. Επιπλέον, η χάραξη του οδοστρώματος για την τοποθέτηση των βρόγχων καθώς και η ανάγκη εγκατάστασης μιας επιπλέον συσκευής ελέγχου για κάθε βρόγχο (βλ. επόμενο κεφάλαιο), αποτελούν σημαντικά μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Η συσκευή που κατασκευάστηκε, αποτελεί μία εναλλακτική πρόταση για τον έλεγχο και τη διαχείριση της κυκλοφορίας, αφού τα χαρακτηριστικά της την καθιστούν ιδιαίτερα πρακτική και εύχρηστη. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν μαγνητικοί αισθητήρες για την ανίχνευση των οχημάτων και την εύρεση της ταχύτητάς τους. Οι υπολογισμοί γίνονται με τη βοήθεια ενός δημοφιλούς μικροελεγκτή, του PIC16F876 της Microchip. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του συστήματος είναι η αυτονομία, καθώς δεν υπάρχει η ανάγκη εξωτερικής τροφοδότησης και σύνδεσης με κάποια άλλη συσκευή μέσω καλωδίων, αφού χρησιμοποιεί ασύρματη επικοινωνία για την αποστολή των δεδομένων καθώς και το μικρό του μέγεθος (περίπου 20 εκατοστά μήκος και 10 εκατοστά πλάτος).

Η επιλογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας κατασκευής δικαιολογείται στα κεφάλαια που ακολουθούν, στα οποία γίνεται αναλυτική παρουσίαση και αξιολόγηση των υπαρχουσών τεχνολογιών ανιχνευτών και αισθητήρων μαγνητικού πεδίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τεχνολογίες ανιχνευτών που χρησιμοποιούνται σήμερα. Πραγματοποιείται περιγραφή της αρχής λειτουργίας και των δυνατοτήτων της κάθε τεχνολογίας και δίνονται τα κυριότερα πεδία εφαρμογής της [4]. Στο τελευταίο μέρος του κεφαλαίου γίνεται μία σύγκριση των τεχνολογιών που περιγράφηκαν και αναφέρονται τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η κάθε τεχνολογία, είτε αυτά οφείλονται στις κλιματολογικές και κυκλοφοριακές συνθήκες είτε σε άλλους παράγοντες. Στη συνέχεια, με βάση τα παραπάνω δεδομένα, γίνεται η επιλογή της τεχνολογίας ανιχνευτή στην οποία θα βασιστεί το κύκλωμα που θα κατασκευαστεί.

2.2 Τεχνολογίες Ανιχνευτών Τοποθέτησης Εντός Οδοστρώματος

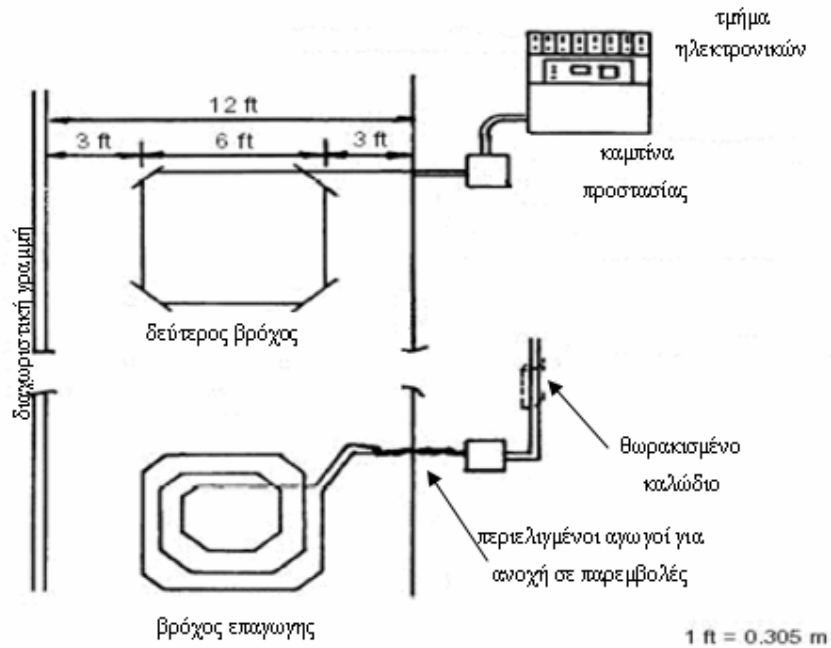
2.2.1 Βρόγχος Επαγωγής (Inductive Loop)

Τα βασικά μέρη ενός βρόχου επαγωγής είναι:

- Ο ταλαντωτής ανίχνευσης, ο οποίος αποτελεί την πηγή ενέργειας του ανιχνευτή
- Το καλώδιο σύνδεσης με το ηλεκτρονικό κύκλωμα
- Μονωμένο καλώδιο μήκους ενός ή περισσότερων κυκλικών ή ορθογωνικών βρόγχων, το οποίο τοποθετείται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του οδοστρώματος.

Όταν ένα όχημα περάσει πάνω από το κομμάτι του οδοστρώματος όπου είναι τοποθετημένος ο βρόγχος ή όταν σταματήσει στο σημείο αυτό, η αυτεπαγωγή του βρόχου μειώνεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συχνότητα ταλάντωσης. Η παρουσία ενός αυτοκινήτου διαπιστώνεται όταν η αύξηση της συχνότητας είναι τέτοια ώστε να ξεπεραστεί ένα συγκεκριμένο κατώφλι που ορίζεται κατά τη ρύθμιση ευαισθησίας του συστήματος.

Ένα σκαρίφημα του συστήματος του βρόχου επαγωγής φαίνεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 2.1). Στο σχήμα αυτό περιλαμβάνεται και ένας δεύτερος βρόγχος, ο οποίος χρησιμεύει στην εύρεση της ταχύτητας του διερχόμενου οχήματος.



Σχήμα 2.1: Σκαρίφημα εγκατάστασης βρόγχου επαγωγής

Υπάρχουν τρεις τύποι βρόγχου επαγωγής, οι οποίοι σχετίζονται με τη μέθοδο εγκατάστασής του στο οδόστρωμα. Η εγκατάσταση του πρώτου τύπου γίνεται με χάραξη του οδοστρώματος, τοποθέτηση του βρόγχου και επανασφάλτωση. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η προστασία του βρόγχου από δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Ο δεύτερος τύπος βρόγχου τοποθετείται κατά την κατασκευή του οδοστρώματος και παρέχει και αυτός ικανοποιητική αντοχή. Ο τρίτος τύπος δεν τοποθετείται μέσα στο οδόστρωμα, αλλά το μονωμένο καλώδιο εισάγεται σε σωλήνα PVC ο οποίος διατηρεί το σχήμα του και το προστατεύει από φθορές. Οι βρόγχοι αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται συνήθως σε αερογέφυρες.

2.2.2 Μαγνητικοί Ανιχνευτές

Οι μαγνητικοί ανιχνευτές μετρούν τη διατάραξη του γήινου μαγνητικού πεδίου που οφείλεται στα μεταλλικά μέρη των οχημάτων. Οι δύο βασικοί τύποι μαγνητικών ανιχνευτών είναι το επαγωγικό μαγνητόμετρο και το fluxgate μαγνητόμετρο δύο αξόνων.

Το επαγωγικό μαγνητόμετρο, γνωστό και ως μαγνητόμετρο πηνίου αναζήτησης (search coil magnetometer), αποτελείται από μία περιέλιξη γύρω από ένα φερομαγνητικό πυρήνα μεγάλης διαπερατότητας. Στα άκρα του πηνίου αναπτύσσεται τάση όταν υπάρχει διατάραξη των μαγνητικών γραμμών. Οι ανιχνευτές αυτού του τύπου, για να λειτουργήσουν σωστά, απαιτούν συνήθως ελάχιστη ταχύτητα οχήματος 5-8 km/h.

Το fluxgate μαγνητόμετρο δύο αξόνων συνήθως αποτελείται από ένα πρωτεύον τυλίγμα, δύο δευτερεύοντα τυλίγματα και από το μαλακό φερομαγνητικό πυρήνα μεγάλης διαπερατότητας. Ο ανιχνευτής αυτός μετράει τις διακυμάνσεις στον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα του γήινου μαγνητικού πεδίου.

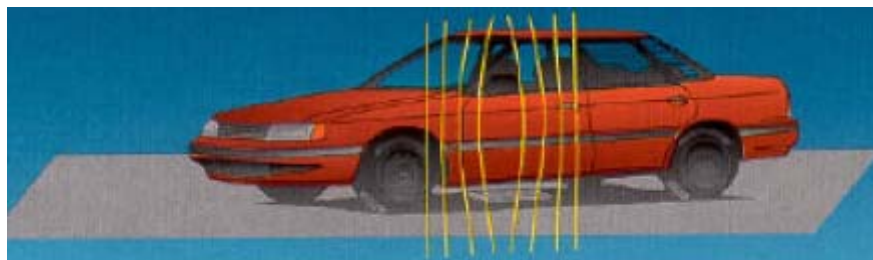
Όταν η παραχθείσα τάση στα άκρα των τυλιγμάτων υπερβεί ένα ορισμένο κατώφλι, το σύστημα αποφαίνεται ότι πραγματοποιήθηκε διέλευση οχήματος. Είναι ακόμη δυνατή η ανίχνευση σταθμευμένων οχημάτων στην περιοχή παρακολούθησης, διότι τα μεταλλικά τους μέρη προκαλούν μεταβολή της έντασης του μαγνητικού πεδίου που μετράται. Οι επόμενες εικόνες δείχνουν τη παραμόρφωση των μαγνητικών γραμμών του γήινου πεδίου κατά το πέρασμα ενός οχήματος μέσα από την περιοχή ανίχνευσης.



Εικόνα 2.2: Συμπίεση μαγνητικών γραμμών



Εικόνα 2.3: Σύγκλιση μαγνητικών γραμμών



Εικόνα 2.4: Απόκλιση μαγνητικών γραμμών

2.2.3 Πνευματικός Σωλήνας (Pneumatic Road Tube)

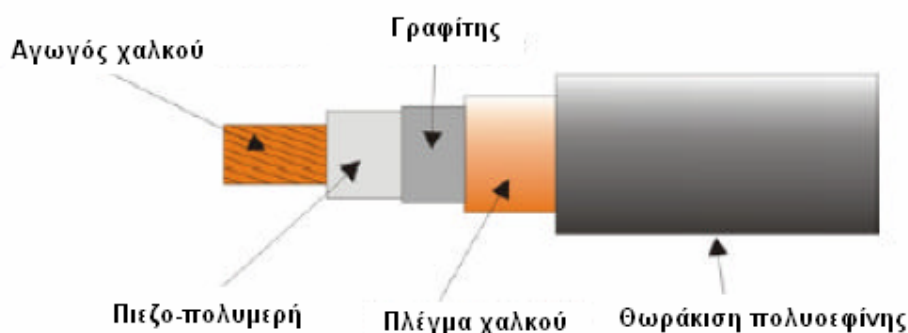
Αποτελεί τον πρώτο ανιχνευτή διέλευσης οχημάτων που τοποθετείται εντός του οδοστρώματος και εφευρέθηκε το 1920. Χάρη στην απλότητα της σχεδίασής του και το μικρό του κόστος, χρησιμοποιείται ευρέως ακόμα και σήμερα. Όταν διέρχεται ένα όχημα από πάνω του, λόγω της ασκούμενης πίεσης δημιουργούνται ριπές πεπιεσμένου αέρα που μεταφέρονται μέσω ελαστικών σωλήνων. Οι ριπές αυτές κλείνουν ειδικούς διακόπτες, οι οποίοι παράγουν ηλεκτρικούς παλμούς σηματοδοτώντας τη διέλευση οχήματος. Οι ανιχνευτές αυτοί μπορούν να μετρήσουν συχνότητα διέλευσης, ταχύτητα και να προσδιορίσουν το είδος του οχήματος, υπολογίζοντας τις αποστάσεις μεταξύ των αξόνων του.

2.2.4 Πιεζοηλεκτρικοί ανιχνευτές

Το πιεζοηλεκτρικό είναι ένα ειδικά επεξεργασμένο υλικό το οποίο έχει την ιδιότητα να μετατρέπει τη κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Όταν ένα όχημα διέρχεται πάνω από τον ανιχνευτή, το πιεζοηλεκτρικό υλικό παράγει τάση ανάλογη με το βάρος του οχήματος. Το υλικό παράγει τάση μόνο όταν υπάρχει μεταβολή στην δύναμη που του ασκείται, οπότε δεν συνίσταται για την ανίχνευση σταματημένων οχημάτων.

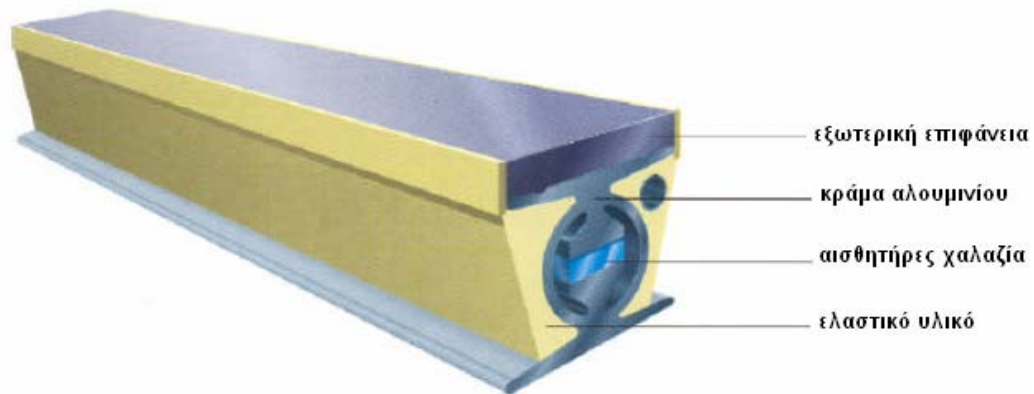
Οι πιεζοηλεκτρικοί ανιχνευτές μπορούν να υπολογίσουν τη ροή κυκλοφορίας, το είδος των οχημάτων, τη ταχύτητα και το βάρος τους. Κατατάσσουν τα οχήματα μετρώντας την απόσταση και τον αριθμό των αξόνων τους. Για να υπολογιστούν ταχύτητες απαιτείται η χρήση περισσότερων από ενός ανιχνευτών. Συνήθως όμως χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της κυκλοφοριακής ροής και κυριότερα για τη μέτρηση βάρους μεγάλων οχημάτων.

Το πιεζοηλεκτρικό υλικό συνήθως αποτελείται από μοριακές αλυσίδες πολυμερών, κεραμικά ή κρυστάλλους (π.χ. χαλαζία). Οι πιεζοαγωγοί είναι συνήθως ομοαξονικοί με πυρήνα από κάποιο μέταλλο, πιεζοηλεκτρικό υλικό και ένα εξωτερικό μεταλλικό στρώμα. Ένας τυπικός πιεζοαγωγός φαίνεται στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 2.5).



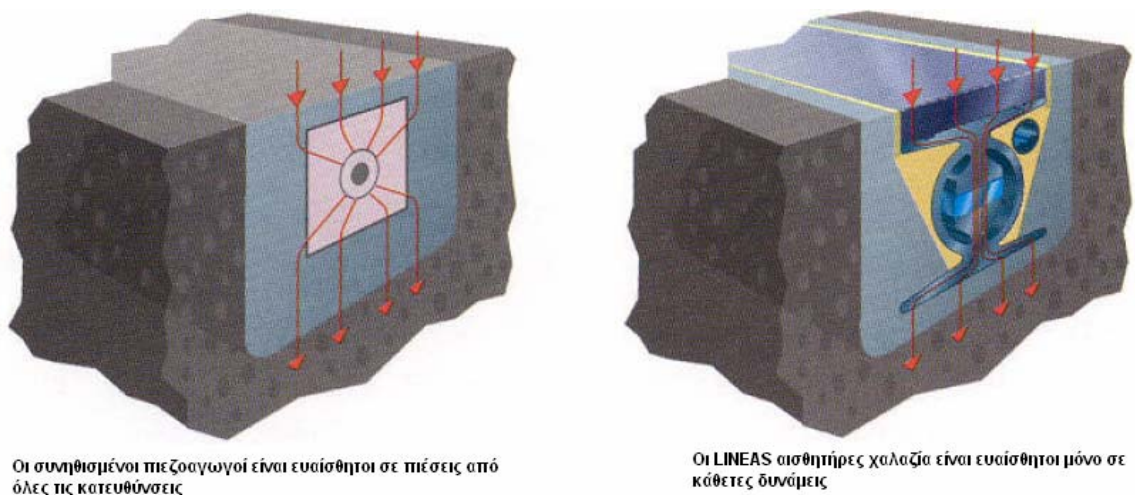
Εικόνα 2.5: Δομή πιεζοαγωγού

Η Kistler Instruments Corporation έχει αναπτύξει τον LINEAS αισθητήρα που βασίζεται σε κρύσταλλο χαλαζία για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6: Αισθητήρας πιεζοηλεκτρικής τεχνολογίας LINEAS

Ο χαλαζίας αποτελεί υλικό με πολύ καλά χαρακτηριστικά, όπως γραμμική απόδοση και σταθερότητα σε μεταβαλλόμενες εξωτερικές συνθήκες. Ο αισθητήρας που βασίζεται σε κρύσταλλο χαλαζία υπερτερεί σε σχέση με αυτόν που χρησιμοποιεί πιεζοηλεκτρικό υλικό καθώς, χάρη στη μονωμένη αντίσταση που διαθέτει, έχει τη δυνατότητα να μετράει και στατικές καταστάσεις. Ο ανιχνευτής LINEAS είναι καλύτερος σε σύγκριση με τους κλασικούς πιεζοαγωγούς, διότι δεν επηρεάζεται από τις θερμοκρασιακές συνθήκες, έχει μεγαλύτερο εύρος μετρήσεων και χαμηλότερο κόστος συντήρησης. Ακόμη, ενώ οι πιεζοηλεκτρικοί ανιχνευτές αντιδρούν και στις πλάγιες δυνάμεις που παράγονται από τους τροχούς των οχημάτων, ο LINEAS αντιδρά μόνο στις κατακόρυφες, παρέχοντας μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις του. Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 2.7) συγκρίνεται η συνηθισμένη τεχνολογία πιεζοαγωγών με τους αισθητήρες χαλαζία LINEAS.



Οι συνηθισμένοι πιεζοαγωγοί είναι ευαίσθητοι σε πιέσεις από όλες τις κατευθύνσεις

Οι LINEAS αισθητήρες χαλαζία είναι ευαίσθητοι μόνο σε κάθετες δυνάμεις

Εικόνα 2.7: Σύγκριση υπάρχουσών τεχνολογιών [4]

2.2.5 Weigh-in-Motion (WIM) ανιχνευτές

Οι WIM αποτελούν συστήματα ανίχνευσης που τοποθετούνται στο οδόστρωμα και μετράνε τη δύναμη που ασκεί ένα όχημα σε αυτά. Η κύρια μέτρηση που λαμβάνεται είναι το βάρος και

ειδικότερα αυτό που αντιστοιχεί σε κάθε τροχό. Η καταπόνηση του οδοστρώματος, κυρίως από φορτηγά, δημιουργεί την ανάγκη εφαρμογής μέτρων πρόληψης και ελέγχου, γεγονός που έχει οδηγήσει στην ευρεία χρήση των ανιχνευτών WIM. Οι WIM έχουν μάλιστα αποδειχτεί περισσότερο ακριβείς από τις κλασικές στατικές μεθόδους μέτρησης βάρους.

Οι τέσσερις σημαντικότερες τεχνολογίες WIM είναι οι εξής:

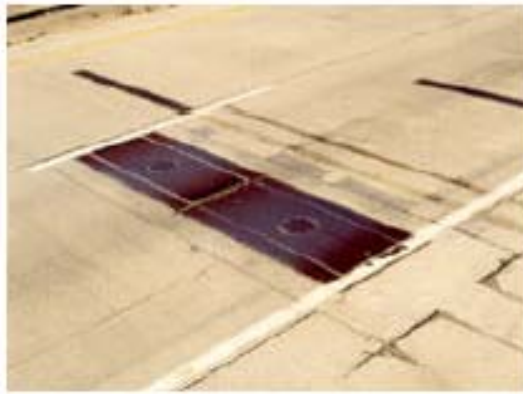
- Η τεχνολογία της εύκαμπτης πλάκας (bending plate)
- Η πιεζοηλεκτρική
- Η τεχνολογία load cell
- Ο υπολογισμός χωρητικότητας (capacitance)

Μια σχετικά νέα τεχνολογία είναι οι οπτικές ίνες που βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο.

Οι ανιχνευτές τύπου WIM προσφέρουν όλες τις δυνατότητες των περισσότερων ανιχνευτών, βασιζόμενοι στον αριθμό και τις αποστάσεις μεταξύ των αξόνων και στο ισοδύναμο φορτίο μονού άξονα (Equivalent Single Axle Loading) με το οποίο επιβαρύνεται το οδόστρωμα κατά τη διέλευση βαρέων οχημάτων. Όταν η τοποθέτησή τους είναι μόνιμη, πολλές φορές συνοδεύονται από διπλούς βρόχους επαγωγής οι οποίοι υπολογίζουν το μήκος και την ταχύτητα των οχημάτων, ενώ οι ανιχνευτές WIM συλλέγουν πληροφορίες για το βάρος τους.

Το σύστημα εύκαμπτης πλάκας (bending plate) χρησιμοποιεί μια μεταλλική πλάκα, η οποία έχει στο κάτω μέρος της μετρητές ταχύσεως. Οι μετρητές αυτοί παράγουν σήματα ανάλογα με την παραμόρφωση της πλάκας όταν βρίσκεται υπό φορτίο. Το σύστημα καταγράφει τα σήματα αυτά και υπολογίζει το δυναμικό φορτίο, δίνοντας στοιχεία για το βάρος και την ταχύτητα του οχήματος.

Τα συστήματα WIM τύπου load cell (Εικόνα 2.8) αποτελούνται συνήθως από δύο διατάξεις για κάθε λωρίδα κυκλοφορίας, σε κάθε μία από τις οποίες είναι τοποθετημένα δύο ή περισσότερα load cells. Η αρχή λειτουργίας τους ταυτίζεται με αυτή της εύκαμπτης πλάκας. Πολλά συστήματα αυτού του τύπου υπολογίζουν ξεχωριστά το βάρος της δεξιάς και της αριστερής πλευράς του άξονα του οχήματος και στη συνέχεια προσθέτουν τις δύο αυτές μετρήσεις για να βρεθεί το συνολικό βάρος του άξονα.



Εικόνα 2.8: Ανιχνευτής WIM τύπου load cell

Το σύστημα WIM στρώματος χωρητικότητας (Εικόνα 2.9) συνήθως αποτελείται από δύο ή περισσότερες μεταλλικές αγώγιμες πλάκες, οι οποίες περιέχουν ίσα αλλά αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Όταν ένα όχημα διέρχεται πάνω από το στρώμα χωρητικότητας, το διάκενο μεταξύ των πλακών μειώνεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται η χωρητικότητα. Η μεταβολή της χωρητικότητας καταγράφεται και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του βάρους. Για την κατασκευή του στρώματος χωρητικότητας χρησιμοποιείται ανοξείδωτο ατσάλι, ορείχαλκος, αλουμίνιο, πολυουρεθάνιο, λάστιχο κ.ά.



Εικόνα 2.9: Σύστημα WIM στρώματος χωρητικότητας

Οι ανιχνευτές οπτικών ινών αποτελούν ένα σημαντικό ανταγωνιστή των κλασικών ανιχνευτών WIM καθώς έχουν χαμηλό κόστος, μεγάλη ακρίβεια και παρουσιάζουν ανοχή σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Η πίεση που ασκείται από τους άξονες των οχημάτων μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά των ινών, όπως για παράδειγμα το δείκτη διάθλασης, την ανισοτροπία καθώς και την γεωμετρία. Οι μεταβολές αυτές υπολογίζονται μέσω αισθητήρων οπτικών ινών.

Οι αισθητήρες οπτικών ινών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στους αισθητήρες ενδογενών μεταβολών (intrinsic fiber-optics sensors) και στους αισθητήρες εξωγενών μεταβολών (extrinsic fiber-optics sensors). Οι αισθητήρες της πρώτης κατηγορίας μετρούν τις μεταβολές στην ένταση του φωτός, οι οποίες οφείλονται στην άμεση φυσική επαφή των οπτικών ινών με ένα

αντικείμενο. Από την άλλη πλευρά, οι αισθητήρες της δεύτερης κατηγορίας χρησιμοποιούν διαμορφωμένα σήματα που δεν επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες και βασίζονται σε μεθόδους ελέγχου μετάδοσης. Κατά συνέπεια, υπάρχουν διαφορές στην ακρίβεια, την κατανάλωση ισχύος και στον αριθμό των μερών που απαιτεί ο ανιχνευτής.

Η εγκατάσταση των οπτικών αισθητήρων είναι μία σχετικά εύκολη διαδικασία. Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 2.10) φαίνεται ένας εγκατεστημένος ανιχνευτής οπτικών ινών.



Εικόνα 2.10: Φορητός ανιχνευτής οπτικών ινών

2.3 Τεχνολογίες Ανιχνευτών Τοποθέτησης Εκτός Οδοστρώματος

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι ενεργοί και παθητικοί υπέρυθροι ανιχνευτές, τα ραντάρ μικροκυμάτων, υπερήχων, οι παθητικοί ακουστικοί ανιχνευτές και αυτοί που βασίζονται στην επεξεργασία εικόνας και βίντεο. Οι ενεργοί υπέρυθροι, τα ραντάρ μικροκυμάτων και υπερήχων είναι ενεργοί ανιχνευτές που εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα προς ένα στόχο και μετράνε την ισχύ του ανακλώμενου κύματος. Οι παθητικοί υπέρυθροι, ακουστικοί και αυτοί που βασίζονται στην επεξεργασία εικόνας και βίντεο αποτελούν παθητικούς ανιχνευτές που μετράνε την ενέργεια που εκπέμπει ένα αντικείμενο ή αναλύουν την εικόνα της περιοχής παρακολούθησης.

2.3.1 Ενεργοί και Παθητικοί Υπέρυθροι Ανιχνευτές

Οι υπέρυθροι ανιχνευτές (Εικόνα 2.11) λειτουργούν στην περιοχή των 100 έως 105 GHz. Η ανίχνευση των οχημάτων γίνεται μέσω της επεξεργασίας του σήματος που προκύπτει από τη μετατροπή της ληφθήσας ενέργειας.



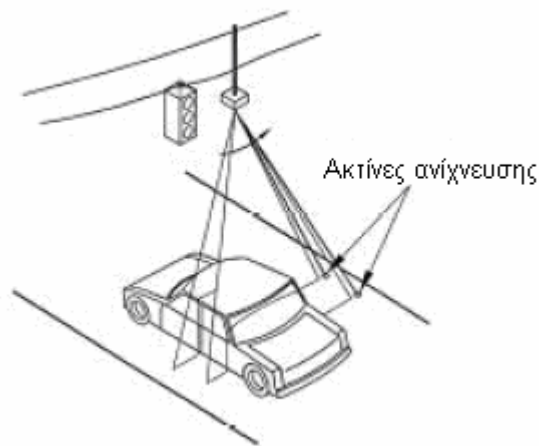
ASIM IR 254



Siemens PIR-1

Εικόνα 2.11: Παθητικοί υπέρυθροι ανιχνευτές

Ο ενεργός ανιχνευτής εκπέμπει μη ορατή υπέρυθρη ακτινοβολία χαμηλής ισχύος μέσω διόδων led ή υψηλής ισχύος μέσω διόδων laser σε μια συγκεκριμένη περιοχή και μετράει το χρόνο επιστροφής του ανακλώμενου κύματος. Η μέτρηση μικρότερου χρόνου επιστροφής υποδηλώνει την ύπαρξη ενός οχήματος. Η μέτρηση της ταχύτητας του οχήματος επιτυγχάνεται με τη σύγκριση των χρόνων επιστροφής δύο ή περισσότερων ακτίνων. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται οι δέσμες laser στην περιοχή ανίχνευσης (Εικόνα 2.12).



Εικόνα 2.12: Γεωμετρία των ακτίνων ανίχνευσης.

Όλα τα αντικείμενα εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία, η ισχύς της οποίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία της επιφάνειάς τους, το μέγεθος και το υλικό τους. Οι παθητικοί ανιχνευτές μετρούν τη διαφορά ανάμεσα στην εκπεμπόμενη από το οδόστρωμα και το όχημα ακτινοβολία.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες ανιχνευτών. Η πρώτη περιλαμβάνει τους ανιχνευτές που χρησιμοποιούν έναν ή περισσότερους αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας αλλά δεν είναι σε θέση να χωρίσουν σε pixels τα αντικείμενα που βρίσκονται στην περιοχή ανίχνευσης. Η άλλη

κατηγορία περιλαμβάνει τους ανιχνευτές που έχουν αυτή την ικανότητα καθώς αποτελούνται από διαδιάστατες συστοιχίες ανιχνευτών. Όπως είναι φανερό, οι ανιχνευτές της δεύτερης κατηγορίας είναι περισσότερο ακριβείς και αποτελεσματικοί.

2.3.2 Ραντάρ Μικροκυμάτων

Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου. Οι συχνότητες των μικροκυμάτων εκτείνονται από το 1 μέχρι τα 30 GHz. Οι περισσότεροι ανιχνευτές χρησιμοποιούν μικροκύματα συχνότητας 10.525 GHz.

Υπάρχουν δύο τύποι ανιχνευτών μικροκυμάτων (Εικόνα 2.13): οι μικροκυματικοί ανιχνευτές Doppler και οι ανιχνευτές συνεχούς κύματος διαμόρφωσης συχνότητας (Frequency-modulated Continuous Wave, FMCW).



Εικόνα 2.13: Ραντάρ μικροκυμάτων

Οι μικροκυματικοί ανιχνευτές Doppler εκπέμπουν χαμηλής ισχύος ακτινοβολία στην περιοχή παρακολούθησης. Το φαινόμενο Doppler ως γνωστόν, είναι η ολίσθηση συχνότητας που προκύπτει από τη σχετική κίνηση μεταξύ του πομπού ακτινοβολίας και του δέκτη. Αν ο πομπός και ο δέκτης είναι ακίνητοι, δεν υπάρχει ολίσθηση συχνότητας. Αν ο πομπός πλησιάζει το δέκτη, τότε έχουμε αύξηση της συχνότητας, ενώ αν απομακρύνεται από αυτόν, έχουμε μείωση της συχνότητας. Το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιείται για την ανίχνευση οχημάτων καθώς, κατά την κίνησή τους, τα κύματα που ανακλώνται στην επιφάνειά τους παρουσιάζουν διαφορετική συχνότητα από την εκπεμπόμενη. Μέσω της διαφοράς των συχνοτήτων είναι δυνατός ο υπολογισμός και της ταχύτητας του διερχόμενου οχήματος.

Οι ανιχνευτές FMCW 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 γνωρίζει αν πέρασε όχημα από την περιοχή παρακολούθησης. Επιπλέον, λόγω της περιοδικότητας των συχνοτήτων των κυμάτων είναι δυνατή η εύρεση της ταχύτητας του οχήματος.

2.3.3 Παθητικοί Ακουστικοί Ανιχνευτές και Ανιχνευτές Υπερήχων

Οι ανιχνευτές αυτού του τύπου άρχισαν να χρησιμοποιούνται στα μέσα της δεκαετίας του 1950 κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

Οι ανιχνευτές υπερήχων (Εικόνα 2.14) έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν παρουσία, συχνότητα, τύπο και ταχύτητα διερχομένων οχημάτων. Είναι ενεργοί ακουστικοί αισθητήρες και μπορούν να εκπέμψουν ηχητικά κύματα στις ζώνες παρακολούθησης σε συχνότητες από 20 μέχρι 300 kHz. Χρησιμοποιούνται δύο βασικές τεχνολογίες: η εκπομπή παλμών και η εκπομπή συνεχών κυμάτων. Τα ανακλώμενα σήματα αναλύονται και επεξεργάζονται με βάση το φαινόμενο Doppler.



TC 30



Lane King

Εικόνα 2.14: Ανιχνευτές υπερήχων

Οι παθητικοί ακουστικοί ανιχνευτές (Εικόνα 2.15) μετρούν την ακουστική ενέργεια ή τους ήχους που παράγονται από τις διάφορες πηγές θορύβου ενός οχήματος. Η ληφθήσα ενέργεια αυξάνεται όταν το όχημα εισέρχεται στην περιοχή παρακολούθησης και μειώνεται όταν βγαίνει από αυτήν. Επομένως, ανάλογα με τα επίπεδα του θορύβου, το σύστημα καταλαβαίνει εάν κάποιο όχημα έχει διασχίσει την περιοχή παρακολούθησης.



SmarTek SAS-1



SmartSonic TSS-1

Εικόνα 2.15: Παθητικοί ακουστικοί ανιχνευτές

2.3.4 Επεξεργαστές Εικόνας και Βίντεο (Video Image Processing, VIP)

Η τεχνική αυτή άρχισε να χρησιμοποιείται στις Η.Π.Α. στα μέσα της δεκαετίας του 1970. Στη συνέχεια, παράλληλες έρευνες διεξήχθησαν στην Ιαπωνία, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γερμανία, τη Σουηδία και τη Γαλλία. Τα συστήματα VIP (Video Image Processing) πρόσφατα άρχισαν να κυκλοφορούν στην αγορά ως ξεχωριστές συσκευές και όχι ως κάρτες επέκτασης για προσωπικούς υπολογιστές. Με αυτόν τον τρόπο λύθηκαν προβλήματα εργονομίας και αυτονομίας.

Τα σύγχρονα συστήματα VIP (Εικόνα 2.16) παρέχουν πληροφορίες για την κυκλοφορία, αναλύοντας αυτόματα εικόνες της περιοχής παρακολούθησης. Ένα τυπικό σύστημα αποτελείται από μία ή περισσότερες βιντεοκάμερες, ηλεκτρονικά κυκλώματα επεξεργασίας εικόνας που βασίζονται σε μικροελεγκτή και ειδικό λογισμικό για την εξαγωγή και παρουσίαση των κυκλοφοριακών συνθηκών και δεδομένων. Ανάμεσα στα χαρακτηριστικά των VIP συστημάτων είναι η δυνατότητα παρακολούθησης πολλών λωρίδων και ζωνών, το μεγάλο εύρος της περιοχής παρακολούθησης, η εργονομία και η ποικιλία των παρεχόμενων πληροφοριών.



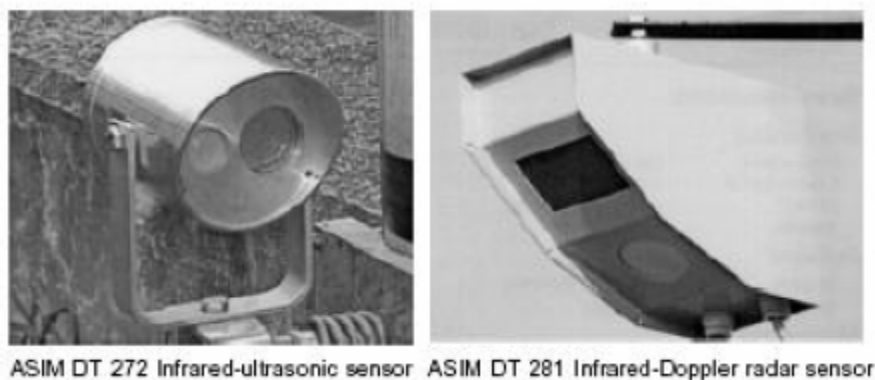
Εικόνα 2.16: Ανιχνευτής VIP

Η κύρια λειτουργία των συστημάτων VIP είναι η μέτρηση των αλλαγών σε διαδοχικές εικόνες (frames) από τη βιντεοσκόπηση μιας περιοχής. Η περιοχή αυτή σαρώνεται από μια συστοιχία ασπρόμαυρων αισθητήρων, με αποτέλεσμα η διέλευση ενός οχήματος να προκαλεί μεταβολές στα επίπεδα του γκρι σε ορισμένα pixels της εικόνας. Οι μεταβολές αυτές αναλύονται, ώστε να αποφασιστεί αν προκλήθηκαν από διερχόμενο όχημα και σε περίπτωση που οφείλονται σε άλλους λόγους, π.χ. καιρικούς ή λόγω φωτισμού, παραβλέπονται.

2.3.5 Ανιχνευτές που χρησιμοποιούν συνδυασμό τεχνολογιών

Ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα ή προβλήματα εξαλείφονται με τη χρήση συνδυασμού δύο ή περισσότερων από τις τεχνολογίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, σε μία συσκευή. Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 2.17) φαίνονται συσκευές που συνδυάζουν την παθητική υπέρυθη με την τεχνολογία υπερήχων ή το ραντάρ που βασίζεται στο φαινόμενο Doppler. Ο συνδυασμός παθητικής υπέρυθρης με την τεχνολογία υπερήχων αυξάνει την ακρίβεια εύρεσης της συχνότητας και της παρουσίας οχημάτων καθώς και του υπολογισμού του ύψους τους και της

μεταξύ τους απόστασης. Ο συνδυασμός παθητικού υπέρυθρου και ραντάρ Doppler εξαλείφει τους περιορισμούς των επιμέρους συστημάτων και βελτιώνει τις επιδόσεις στην ανίχνευση, την εύρεση της συχνότητας διέλευσης, της ταχύτητας και του τύπου του οχήματος. Επιπρόσθετα, ενώ οι παθητικοί υπέρυθροι ανιχνευτές δεν μετρούν ταχύτητα με μεγάλη ακρίβεια και οι μικροκυματικοί ανιχνευτές δεν αντιλαμβάνονται σταματημένα οχήματα, ο συνδυασμός τους έχει ως αποτέλεσμα ένα πλήρες σύστημα ανίχνευσης.



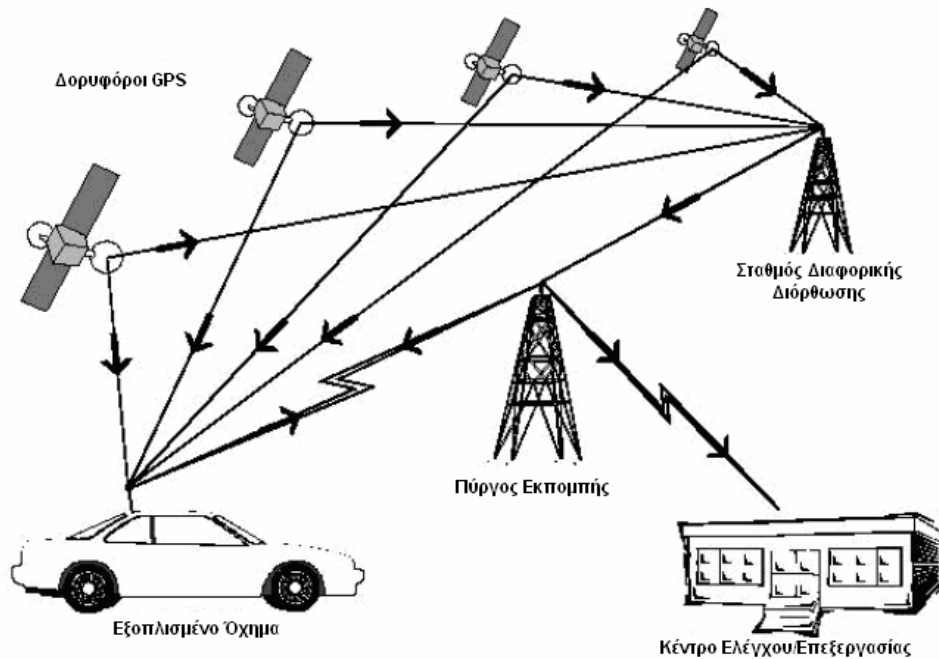
Εικόνα 2.17: Ανιχνευτές που χρησιμοποιούν και υπέρυθρη ακτινοβολία

2.4 Άλλες τεχνολογίες παρακολούθησης κυκλοφορίας

Πολλές ακόμα μέθοδοι για τη συλλογή κυκλοφοριακών δεδομένων βρίσκονται υπό έρευνα. Ανάμεσα σε αυτές περιλαμβάνονται μέθοδοι που χρησιμοποιούν το Γεωγραφικό Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS), την τεχνολογία αυτόματης ταυτοποίησης οχήματος (Automatic Vehicle Identification, AVI) και την τεχνολογία αυτόματης εύρεσης θέσεως οχήματος (Automatic Vehicle Location). Αυτές οι μέθοδοι απαιτούν την τοποθέτηση ειδικής συσκευής στα οχήματα. Ακόμη, ερευνώνται μέθοδοι που χρησιμοποιούν εικόνες από δορυφόρους.

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

Το GPS αναπτύχθηκε αρχικά από το Υπουργείο Αμύνης των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Ο αρχικός του στόχος ήταν η ανίχνευση και η πλοήγηση στρατιωτικών πλοίων, αεροπλάνων και οχημάτων μέσω δορυφόρων που βρίσκονταν σε ύψος 12500 μιλίων από την επιφάνεια της γης. Μέσω του συστήματος των 24 δορυφόρων είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η ακριβής θέση, ταχύτητα και κατεύθυνση ενός αντικειμένου. Οι δυνατότητες πλοήγησης που προσφέρει το GPS έχουν χρησιμοποιηθεί και από τις βιομηχανίες που ασχολούνται με τη μαζική μεταφορά. Για το σκοπό αυτό τα οχήματα εξοπλίζονται με δέκτες GPS που λαμβάνουν τα σήματα από τους δορυφόρους και οι συντεταγμένες θέσης αποστέλλονται στο κέντρο ελέγχου, όπου προκύπτουν τα κυκλοφοριακά δεδομένα (Εικόνα 2.18).



Εικόνα 2.18: Αρχιτεκτονική συστήματος δορυφορικής ανίχνευσης οχημάτων

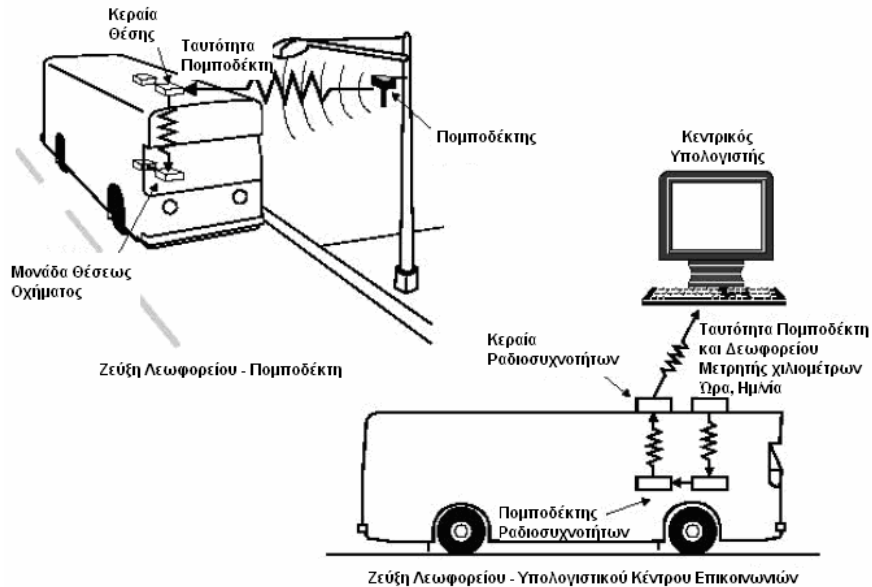
2.4.2 Τεχνολογία Αυτόματης Ταυτοποίησης Οχήματος

Η τεχνολογία αυτόματης ταυτοποίησης οχήματος (Automatic Vehicle Identification, AVI) χρησιμοποιήθηκε αρχικά στην ηλεκτρονική χρέωση διοδίων. Η τεχνολογία αυτή απαιτεί οχήματα με ειδικούς πομποδέκτες, κεραιές επικείμενες στον δρόμο για την ασύρματη επικοινωνία και συσκευές αποθήκευσης δεδομένων.

Ο πομποδέκτης που βρίσκεται στο όχημα επικοινωνεί με τους παρακείμενους στο δρόμο συλλέκτες δεδομένων. Η ισχύς των εκπεμπόμενων σημάτων είναι χαμηλή ώστε να περιορίζεται σε ακτίνα δύο λωρίδων. Η εκπομπή των σημάτων μπορεί να είναι συνεχής ή να ενεργοποιείται κατά την ανίχνευση ραδιοσημάτων συγκεκριμένης συχνότητας. Τα ραδιοσήματα αυτά παράγονται από πομποδέκτες που είναι τοποθετημένοι σε κομβικά σημεία και είναι χαμηλής ισχύος ώστε να μην δημιουργούν ανεπιθύμητες παρεμβολές.

2.4.3 Τεχνολογία Αυτόματης Εύρεσης Θέσεως Οχήματος

Η τεχνολογία αυτόματης εύρεσης θέσεως οχήματος (Automatic Vehicle Location, AVL) χρησιμοποιείται κυρίως από εταιρίες παραδόσεως πακέτων. Τα οχήματα των εταιριών είναι εξοπλισμένα με συσκευές που επικοινωνούν με δέκτες τοποθετημένους σε επιλεγμένα σημεία ώστε να καταγράφεται η θέση και η κατάστασή τους. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος φαίνεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 2.19).



Σχήμα 2.19: Αρχή λειτουργίας AVL

Τα πρωτεύον δεδομένο στο σύστημα αυτό είναι ο χρόνος μετακίνησης των οχημάτων, έτσι ώστε να υπολογίζεται ο χρόνος άφιξης των πακέτων στους προορισμούς τους. Είναι δυνατόν όμως να υπολογιστεί και η ταχύτητα των οχημάτων.

2.5 Σύγκριση Τεχνολογιών – Επιδράσεις λόγω κλιματολογικών και κυκλοφοριακών συνθηκών

Οι επιδόσεις των παραπάνω τεχνολογιών έχουν άμεση σχέση με τις περιβαλλοντικές και κυκλοφοριακές συνθήκες της περιοχής παρακολούθησης. Έτσι, για παράδειγμα, οι δυνατοί άνεμοι, η καθίζηση του οδοστρώματος, η θερμοκρασία, η σκίαση και το φως επηρεάζουν την επίδοση πολλών ανιχνευτών διαφορετικής τεχνολογίας. Η μείωση της επίδοσης, αν και δεν είναι σημαντική, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά την επιλογή ενός ανιχνευτή, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία των δεδομένων που προσφέρει, κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες καιρού και κυκλοφορίας. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τις επιδόσεις είναι ο ακουστικός θόρυβος, η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, η μέθοδος εγκατάστασης και οι εργοστασιακές ρυθμίσεις.

Η βροχόπτωση και χιονόπτωση μπορούν να μειώσουν την ορατότητα για τα συστήματα VIP και να δυσχεράνουν την ανίχνευση των μικροκυμάτων. Ο άνεμος μπορεί να προκαλέσει μετατόπιση της θέσεως του ανιχνευτή ή να προκαλέσει ταλαντώσεις, ειδικά όταν οι ανιχνευτές είναι τοποθετημένοι σε ψηλά και εκτεθειμένα σημεία. Ταλάντωση είναι δυνατόν να προκληθεί και λόγω της διέλευσης βαρέων οχημάτων. Η μείωση ακρίβειας της ανίχνευσης μπορεί να προκληθεί από εξαιρετικά υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες. Στην περίπτωση των VIP ανιχνευτών, η έλλειψη ικανοποιητικού φωτισμού δεν επιτρέπει τη σωστή ανίχνευση των

οχημάτων, ενώ όσον αφορά στους παθητικούς ακουστικούς ή υπερηχητικούς ανιχνευτές, ο ακουστικός θόρυβος του περιβάλλοντος πρέπει να είναι σε χαμηλά επίπεδα.

Η ακριβής ανίχνευση όπως αναφέρθηκε, εξαρτάται και από τις ιδιαίτερες κυκλοφοριακές συνθήκες της περιοχής παρακολούθησης. Η κυκλοφοριακή συμμόρφωση που μπορεί να οδηγήσει σε συχνές στάσεις και εκκινήσεις των οχημάτων και σε αρκετά χαμηλές ταχύτητες είναι δυνατόν να προκαλέσει λανθασμένα αποτελέσματα ανιχνευτών ορισμένων τεχνολογιών.

Στη συνέχεια εξετάζεται ξεχωριστά κάθε τεχνολογία ως προς το βαθμό και τον τρόπο που επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές και κυκλοφοριακές συνθήκες.

2.5.1 Βρόγχος επαγωγής

Ο βρόγχος επαγωγής (inductive loop) δεν επηρεάζεται από δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Παρόλα αυτά, τα εκχιονιστικά μηχανήματα είναι δυνατόν να του προκαλέσουν βλάβες. Επηρεάζεται όμως από τις κυκλοφοριακές και τις θερμοκρασιακές συνθήκες. Υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν διαστολή της ασφάλτου, με συνέπεια τη δυσλειτουργία των βρόγχων επαγωγής, ενώ η διέλευση οχημάτων με χαμηλές ταχύτητες είναι δυνατό να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση του αριθμού τους.

2.5.2 Μαγνητικοί ανιχνευτές

Οι ανιχνευτές που βασίζονται στη μέτρηση του γήινου μαγνητικού πεδίου δεν επηρεάζονται από την κακοκαιρία και παρουσιάζουν ικανοποιητική συμπεριφορά σε συνθήκες έντονης κυκλοφορίας.

2.5.3 Ανιχνευτές πνευματικού σωλήνα

- Συνθήκες βροχής ή χιονιού είναι απαγορευτικές για τη χρήση ανιχνευτών αυτού του τύπου.
- Οι διακόπτες αέρα των πνευματικών σωλήνων είναι ευαίσθητοι στις μεταβολές της θερμοκρασίας.
- Αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην ανίχνευση οχημάτων που κινούνται σε χαμηλές ταχύτητες και υπάρχει η περίπτωση εσφαλμένης καταγραφής όταν ένα όχημα σταματήσει ακριβώς στο σημείο τοποθέτησής τους.

2.5.4 Ενεργοί υπέρυθροι ανιχνευτές

Οι ενεργοί υπέρυθροι ανιχνευτές επηρεάζονται από τη βροχή και το χιόνι καθώς τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μικρού μήκους κύματος αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα διαλείψεων και συγκεκριμένα απωλειών ενέργειας και σκεδάσεως όταν διέρχονται από βροχοπυρήνες και παγοκρυστάλλους. Επιπρόσθετα το βρεγμένο οδόστρωμα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ανακλαστικής ικανότητας του δρόμου, με συνέπεια την αδυναμία αυτορύθμισης

των ανιχνευτών. Επίσης, έχει παρατηρηθεί αύξηση στον αριθμό των μετρούμενων οχημάτων λόγω ανάκλασης των κυμάτων στους παγοκρυστάλλους.

2.5.5 Παθητικοί υπέρυθροι ανιχνευτές

Οι ανιχνευτές αυτοί δεν εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες και με κατάλληλο λογισμικό στη μονάδα επεξεργασίας δεδομένων μπορούν να λειτουργήσουν ικανοποιητικά σε συνθήκες έντονης κυκλοφορίας.

2.5.6 Ραντάρ μικροκυμάτων

- Τα ραντάρ που βασίζονται στο φαινόμενο Doppler δεν είναι σε θέση να ανιχνεύσουν ακίνητα οχήματα. Κατά συνέπεια, η βεβαρημένη κυκλοφορία επηρεάζει την απόδοση των ραντάρ αυτού του τύπου.
- Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές εμφανίζονται όταν οι ανιχνευτές λειτουργούν σε περιοχές που καλύπτονται από ραντάρ μεγάλης ισχύος. Το γεγονός αυτό καθιστά απαγορευτική τη χρήση ραντάρ μικροκυμάτων σε αεροδρόμια.

2.5.7 Ανιχνευτές Υπερήχων

Ο ακουστικός θόρυβος σε μεσαίες ή υψηλές συχνότητες μπορεί να παρεμποδίσει την ορθή λειτουργία των ανιχνευτών υπερήχων. Το φαινόμενο αυτό, είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί μέσω κατασκευαστικών τεχνικών, ώστε το πεδίο παρατήρησης να είναι σχετικά μικρό και να ελαχιστοποιείται η ανεπιθύμητη παρεμβολή.

2.5.8 Παθητικοί ακουστικοί ανιχνευτές

- Όπως και με τους υπόλοιπους ανιχνευτές που λόγω της τεχνολογίας τους έχουν αρκετά μικρό πεδίο παρακολούθησης, το χιόνι προκαλεί προβλήματα κατά την εκτίμηση του αριθμού των διερχόμενων οχημάτων. Αυτό συμβαίνει διότι η ύπαρξη χιονιού στο οδόστρωμα αναγκάζει τους οδηγούς να οδηγούν κάνοντας ελιγμούς, με αποτέλεσμα να βγαίνουν από τη λωρίδα κυκλοφορίας και κατά συνέπεια από τη μικρή ζώνη ανίχνευσης της συσκευής.
- Ορισμένες συσκευές (π.χ. η Smartsonic TSS-1) παρουσιάζουν αποκλίσεις 13% έως και 15% κατά τη λειτουργία σε συνθήκες αρκετά χαμηλών θερμοκρασιών [4]. Σε διασταυρώσεις, η χαμηλή θερμοκρασία προκάλεσε υπερεκτίμηση του αριθμού των οχημάτων.
- Ο αισθητήρας SAS-1 παρουσίασε ανακριβείς μετρήσεις σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η ανακρίβεια είναι δυνατόν να αυξηθεί έως και 50% ανάλογα με τα τοπολογικά δεδομένα της περιοχής παρακολούθησης.

- Ο ακουστικός θόρυβος και σε αυτήν την περίπτωση δυσχεραίνει τη λειτουργία των ανιχνευτών.

2.5.9 Ανιχνευτές τεχνολογίας VIP (Video Image Processing)

Η ακρίβεια των ανιχνευτών VIP εξαρτάται από τον άνεμο, τη θερμοκρασία και τις συνθήκες φωτισμού.

- Η έντονη βροχόπτωση και χιονόπτωση μειώνει την ορατότητα των συστημάτων. Η αντανάκλαση των αντικειμένων λόγω βρεγμένου οδοστρώματος επηρεάζει και αυτή την επίδοση των ανιχνευτών. Ο ανιχνευτής VideoTrak για παράδειγμα παρουσίασε εσφαλμένη μέτρηση παρουσίας και ταχύτητας οχημάτων κατά την διάρκεια βροχόπτωσης [4]. Ο ανιχνευτής Traficon, τοποθετημένος σε ύψος δεκαπέντε μέτρων παρουσίασε υποεκτίμηση της ταχύτητας των μετρούμενων οχημάτων κατά την διάρκεια χιονόπτωσης [4].
- Λανθασμένη ανίχνευση οχημάτων μπορεί να συμβεί και λόγω της κρυσταλλοποίησης των καυσαερίων λόγω παγετού.
- Οι συνθήκες φωτισμού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, παίζουν σημαντικό ρόλο κατά την ανίχνευση των οχημάτων. Τα περισσότερα σφάλματα λαμβάνουν χώρα κατά τη δύση του ηλίου και τις βραδινές ώρες. Επιπρόσθετα, η αντανάκλαση του φωτός των προβολέων των οχημάτων στο οδόστρωμα, μπορεί να «ξεγελάσει» τους ανιχνευτές και να προκαλέσει υπερεκτίμηση των μετρηθέντων οχημάτων (Εικόνα 2.20).



Εικόνα 2.20: Η διαγραμμισμένη περιοχή αποτελεί κατά τον ανιχνευτή ένα κινούμενο όχημα

Οι σκιές (Εικόνα 2.21) και η άμεση έκθεση στο ηλιακό φως (Εικόνα 2.22), μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένες εκτιμήσεις. Για την αντιμετώπιση των φαινομένων αυτών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποδοτικότεροι αλγόριθμοι και να προστατευτεί η κάμερα με την προσθήκη φίλτρων.



Εικόνα 2.21: Άμεση έκθεση σε ηλιακό φως



Εικόνα 2.22: Σκίαση λόγω αερογέφυρας

Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει η ανάλυση της λαμβανόμενης εικόνας από την κάμερα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανάλυση, τόσο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή και κατά συνέπεια μειώνεται η πιθανότητα λανθασμένης ανίχνευσης.

2.5.10 Συγκεντρωτικός πίνακας επιρροής περιβαλλοντικών και κυκλοφοριακών συνθηκών

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 1) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των ανιχνευτών της κάθε τεχνολογίας.

Πίνακας 1. Επιπτώσεις περιβάλλοντος/ κυκλοφοριακών συνθηκών (x: Δεν υπάρχουν, √: Υπάρχουν)

Τύπος Ανιχνευτή	Περιβάλλον				Κυκλοφορία	
	Βροχόπτωση/ Χιονόπτωση	Δυνατός Άνεμος	Θερμοκρασία	Φωτισμός	Συχνή Ροή	Αραιή Ροή
Βρόγχος Επαγωγής	√	√	x	√	√	√
Μαγνητικός	√	x	x	x	x	x
Πνευματικός Σωλήνας	√	√	x	√	x	√
Ενεργός Υπέρυθρος	x	√	√	√	√	√
Παθητικός Υπέρυθρος	√	√	√	√	√	√
Μικροκυμάτων	√	√	√	√		√
Υπερήχων	√	√	√	√	√	√
Παθητικός Ακουστικός	x	√	x	√	x	√
VIP	x	x	x	x	√	√

2.5.11 Συμπεράσματα – Επιλογή τεχνολογίας ανιχνευτή

Από την παραπάνω ανάλυση μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα και τις επιδόσεις των σημερινών τεχνολογιών. Παρόλα αυτά, πρέπει να αναφερθεί ότι ο έντονος ανταγωνισμός και η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας, μπορεί να ανατρέψει τα σημερινά δεδομένα. Επίσης, είναι γεγονός ότι ακόμα και ανάμεσα σε ανιχνευτές που χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία, εμφανίζονται συχνά μεγάλες διαφορές στις επιδόσεις και τις δυνατότητες. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως το διαφορετικό λογισμικό, η ποιότητα των υλικών κ.ά. Επιπλέον, όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα των συσκευών, τόσο αυξάνεται και το κόστος τους (π.χ. οι ανιχνευτές VIP). Για το λόγο αυτό, προτιμάται η χρήση των ανιχνευτών που τοποθετούνται εντός του οδοστρώματος.

Παρατηρώντας τον προηγούμενο πίνακα (Πίνακας 1), διαφαίνονται τα πλεονεκτήματα των ανιχνευτών που χρησιμοποιούν μαγνητικούς αισθητήρες, σε σχέση με τους υπόλοιπους ανιχνευτές που τοποθετούνται εντός του οδοστρώματος. Προβλήματα λόγω έντονης ή αραιής κυκλοφορίας, που εντοπίστηκαν σε κάποιους ανιχνευτές, είναι επιλύσιμα μέσω της τροποποίησης του λογισμικού που χρησιμοποιείται. Επιπρόσθετα, το μικρό κόστος των αισθητήρων του γήινου μαγνητικού πεδίου στους οποίους βασίζονται οι συσκευές, επιτρέπει την ενσωμάτωση ζεύγους αισθητήρων που καθιστά δυνατή τη μέτρηση ταχύτητας οχήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

3.1 Εισαγωγή

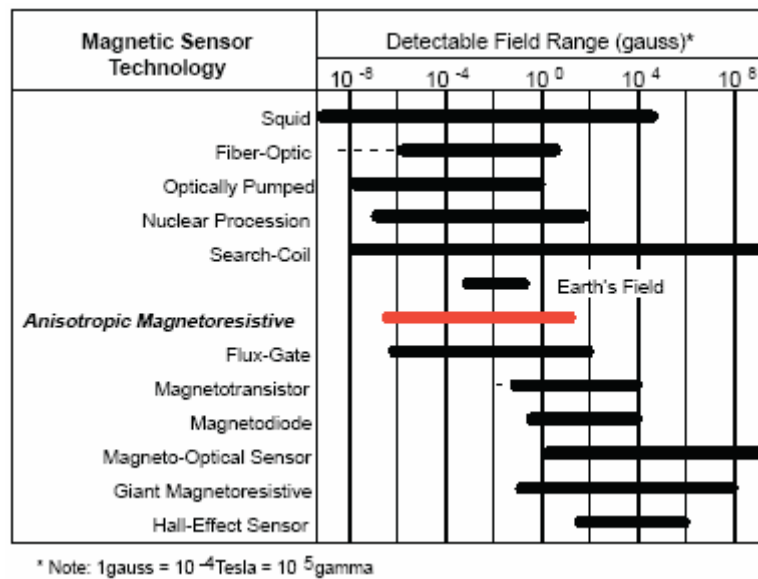
Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται οι υπάρχουσες τεχνολογίες μαγνητικών αισθητήρων [5], ώστε να επιλεγεί αυτή που θα χρησιμοποιηθεί στον ανιχνευτή. Αρχικά παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τους μαγνητικούς αισθητήρες και στη συνέχεια αναλύεται η αρχή λειτουργίας της κάθε τεχνολογίας, ενώ παράλληλα αναφέρονται και οι συνηθέστερες εφαρμογές της. Με βάση τα στοιχεία αυτά, στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται η επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας.

3.2 Τεχνολογία Μαγνητικών Αισθητήρων

Οι μαγνητικοί αισθητήρες διαφέρουν από τους περισσότερους αισθητήρες στο ότι χρησιμοποιούνται για την έμμεση μέτρηση του μεγέθους που ενδιαφέρει. Αντίθετα, αισθητήρες οι οποίοι παρακολουθούν μεγέθη όπως τη θερμοκρασία, την πίεση ή τη ροή παρέχουν μία μέτρηση, η οποία περιγράφει άμεσα το επιθυμητό μέγεθος. Οι μαγνητικοί αισθητήρες αντιλαμβάνονται μεταβολές ή διακυμάνσεις σε μαγνητικά πεδία, από τις οποίες προκύπτουν συμπεράσματα για την κατεύθυνση, παρουσία, περιστροφή ή τη γωνία της πηγής διατάραξης σε σχέση με τον άξονα ευαισθησίας τους.

Το σήμα εξόδου των αισθητήρων του μαγνητικού πεδίου απαιτεί επεξεργασία για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Το γεγονός αυτό καθιστά δυσκολότερη τη χρήση τους, όμως τα παραγόμενα δεδομένα είναι ακριβή και αξιόπιστα, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη φυσικής επαφής με το μετρούμενο αντικείμενο.

Οι μαγνητικοί αισθητήρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το εύρος του μετρήσιμου μαγνητικού πεδίου. Έτσι, διακρίνονται σε αισθητήρες χαμηλής, μεσαίας και υψηλής έντασης μαγνητικού πεδίου. Στην ανάλυση που ακολουθεί, οι αισθητήρες που αντιλαμβάνονται διακυμάνσεις μικρότερες του ενός μικροGauss χαρακτηρίζονται ως αισθητήρες χαμηλού πεδίου, εκείνοι με εύρος ανάμεσα στο ένα μικροGauss και τα δέκα Gauss χαρακτηρίζονται ως αισθητήρες γήινου μαγνητικού πεδίου, ενώ αυτοί που αντιλαμβάνονται πεδία μεγαλύτερα από δέκα Gauss, αναφέρονται ως αισθητήρες μεγάλου μαγνητικού πεδίου. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 3.1) φαίνεται το εύρος των μετρήσεων που λαμβάνουν αισθητήρες διαφορετικής τεχνολογίας.



Εικόνα 3.1: Εύρος μετρήσεων κάθε τεχνολογίας [6]

Το μαγνητικό πεδίο περιγράφεται από δύο παράγοντες: την ένταση και τη φορά του. Έτσι, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αισθητήρας ο οποίος μετράει μόνο την ένταση (scalar sensor) ή αισθητήρας που μετράει την ένταση μόνο της συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου (omnidirectional sensor), η οποία είναι παράλληλη με τον άξονα ευαισθησίας του (sensitive axis). Ο άξονας αυτός καθορίζεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά (datasheet) και εξαρτάται από τη μέθοδο κατασκευής και την αρχή λειτουργίας του αισθητήρα. Υπάρχουν ακόμα αισθητήρες που αντιλαμβάνονται και την κατεύθυνση του πεδίου (bidirectional sensors) και αισθητήρες που συνδυάζουν όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά, παρέχοντας μετρήσεις για δύο ή και τρεις άξονες. Τέλος, μερικοί έχουν ενσωματωμένα κατώφλια, ώστε να παράγουν έξοδο, μόνο όταν οι μετρηθείσες τιμές υπερβαίνουν τα κατώφλια αυτά.

Στη συνέχεια ακολουθεί αναλυτικότερη περιγραφή των μαγνητικών αισθητήρων ανάλογα με την ένταση του πεδίου που μπορούν να μετρήσουν.

3.3 Μαγνητικοί αισθητήρες χαμηλού πεδίου

Οι αισθητήρες αυτοί είναι συνήθως ογκώδεις και ακριβοί σε σύγκριση με τους αισθητήρες των άλλων κατηγοριών. Κατά τη χρήση τους, πρέπει να συνυπολογίζεται η επιρροή του γήινου μαγνητικού πεδίου, το οποίο με τις καθημερινές του διακυμάνσεις είναι πιθανό να οδηγήσει τον αισθητήρα εκτός του δυνατού εύρους μετρήσεων.

Οι κυριότερες εφαρμογές εντοπίζονται στην βιοϊατρική τεχνολογία και τα στρατιωτικά συστήματα παρακολούθησης.

3.3.1 Αισθητήρες SQUID

Ο πιο ευαίσθητος αισθητήρας χαμηλού πεδίου είναι ο αισθητήρας SQUID (Superconducting Quantum Interference Device). Πρωτοεμφανίστηκε γύρω στο 1962 και το εύρος μετρήσεων του

είναι εντυπωσιακά μεγάλο· είναι ικανός να αντιληφθεί πεδία έντασης από μερικά femtoTesla (10^{-15} Tesla) μέχρι και 9 Tesla. Το γεγονός αυτό, τον καθιστά ιδανικό για βιοϊατρικές εφαρμογές, αφού το νευρομαγνητικό πεδίο του ανθρώπινου εγκεφάλου έχει ένταση της τάξεως των μερικών femtoTesla. Για λόγους σύγκρισης, αναφέρεται ότι το γήινο μαγνητικό πεδίο κυμαίνεται περίπου στα 50 μικροtesla. Οι αισθητήρες SQUID απαιτούν ψύξη στη θερμοκρασία του ηλίου υγρής φάσης (τέσσερις βαθμοί Kelvin), γίνεται όμως έρευνα για την ανάπτυξη συσκευών που θα λειτουργούν σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες.

3.3.2 Πηνία αναζήτησης (search-coils)

Η αρχή λειτουργίας του μαγνητόμετρου με πηνίο αναζήτησης βασίζεται στο νόμο επαγωγής του Faraday, ο οποίος ορίζει ότι η τάση που επάγεται σε ένα πηνίο είναι ανάλογη με τη μεταβολή του μαγνητικού πεδίου στο πηνίο αυτό. Η επαγόμενη τάση προκαλεί ρεύμα, η ένταση του οποίου είναι ανάλογη με τη συχνότητα αλλαγής της κατεύθυνσης του πεδίου. Η ευαισθησία του πηνίου αναζήτησης εξαρτάται από τη μαγνητική διαπερατότητα του πυρήνα του, το μέσο στο οποίο βρίσκεται και τον αριθμό των ελιγμάτων του.

Τα πηνία αναζήτησης λειτουργούν μόνο όταν τοποθετηθούν σε ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο ή κατά την κίνησή τους σε ένα πεδίο σταθερής έντασης. Λόγω του γεγονότος αυτού, δεν είναι σε θέση να αντιληφθούν στατικά ή αργά μεταβαλλόμενα πεδία και κατά συνέπεια δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση σταματημένων οχημάτων. Εξαιτίας όμως του μικρού τους κόστους και της ευκολίας κατασκευής τους, συναντώνται ευρέως σε συσκευές ελέγχου της κυκλοφορίας.

3.3.3 Άλλοι αισθητήρες χαμηλού πεδίου

Άλλες τεχνολογίες αισθητήρων χαμηλού πεδίου είναι η τεχνολογία εξασθένησης πυρήνα (nuclear precession), η οπτική τεχνολογία (optically pumped) και η τεχνολογία οπτικών ινών. Οι αισθητήρες που βασίζονται στις παραπάνω τεχνολογίες χρησιμοποιούνται κυρίως σε εργαστήρια και σε βιοϊατρικές εφαρμογές λόγω της υψηλής ακρίβειάς τους αλλά και του μεγάλου κόστους κατασκευής.

3.4 Αισθητήρες γήινου μαγνητικού πεδίου

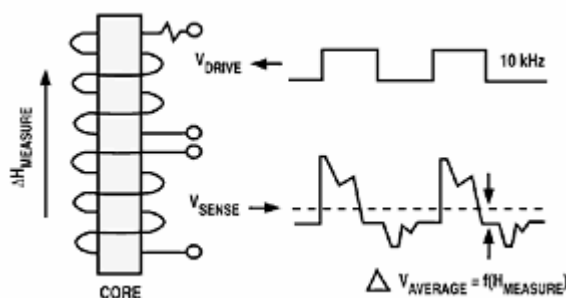
Το εύρος των αισθητήρων αυτών που συνήθως κυμαίνεται ανάμεσα σε κάποια milligauss και ορισμένες δεκάδες gauss, τους καθιστά ιδανικούς για χρήση στον προσδιορισμό προσανατολισμού (ηλεκτρονικές πυξίδες), στην ανίχνευση οχημάτων και στα όργανα αυτόματης διόρθωσης της πορείας αεροσκαφών και πλοίων.

3.4.1 Flux-Gate Μαγνητόμετρο

Το μαγνητόμετρο flux-gate είναι ο πιο διαδεδομένος αισθητήρας στα συστήματα πλοήγησης. Αναπτύχθηκε γύρω στο 1928 και βρήκε εφαρμογή στην ανίχνευση υποβρυχίων.

Χρησιμοποιήθηκε επίσης για τη δημιουργία γεωφυσικών απεικονίσεων και την από αέρος μαγνητική χαρτογράφηση.

Ο πιο κοινός τύπος flux-gate μαγνητόμετρου είναι η συσκευή δεύτερης αρμονικής (Εικόνα 3.2), η οποία αποτελείται από ένα πρωτεύον και ένα δευτερεύον πηνίο γύρω από ένα φερομαγνητικό πυρήνα υψηλής διαπερατότητας. Η μαγνητική επαγωγή του πυρήνα μεταβάλλεται όταν ασκείται ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 3.2: Αρχή λειτουργίας του flux-gate μαγνητόμετρου δεύτερης αρμονικής [5]

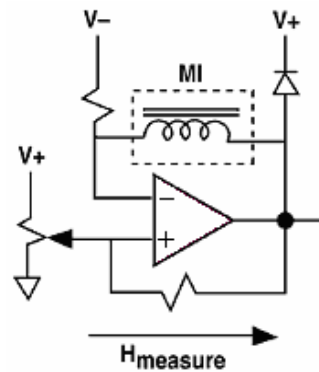
Αρχικά εισάγεται ένα σήμα οδήγησης ορισμένης συχνότητας στο πρωτεύον τύλιγμα, το οποίο προκαλεί την ταλάντωση του πυρήνα ανάμεσα στα σημεία κόρου. Η ταλάντωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός σήματος στο δευτερεύον τύλιγμα, το πλάτος του οποίου είναι ανάλογο με τη διαπερατότητα του πυρήνα. Για να βρεθεί η τιμή του μαγνητικού πεδίου, το σήμα εξόδου του δευτερεύοντος πηνίου διέρχεται από έναν αποδιαμορφωτή φάσης και ένα βαθυπερατό φίλτρο.

Εναλλακτικά, μπορεί να εξετασθεί το πόσο εύκολα οδηγείται ο πυρήνας σε κόρο, λόγω της αλλαγής της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του. Η αλλαγή στις ιδιότητες του πυρήνα εξαρτάται άμεσα από το επιβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.

Ένα καλά σχεδιασμένο flux-gate μαγνητόμετρο μπορεί να αντιληφθεί μαγνητικό πεδίο εντάσεως μερικών δεκάδων μικροGauss καθώς και να υπολογίσει την ένταση και την κατεύθυνση στατικών μαγνητικών πεδίων. Οι συσκευές που χρησιμοποιούν αυτού του είδους τους αισθητήρες είναι συνήθως αρκετά ογκώδεις.

3.4.2 Αισθητήρες μαγνητοεπαγωγής (magnetoinductive sensors)

Η τεχνολογία των αισθητήρων αυτών είναι σχετικά καινούρια, αφού η πρώτη πατέντα κατοχυρώθηκε το 1989. Η διάταξη του αισθητήρα είναι σχετικά απλή (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3: Διάταξη αισθητήρα μαγνητοεπαγωγής [5]

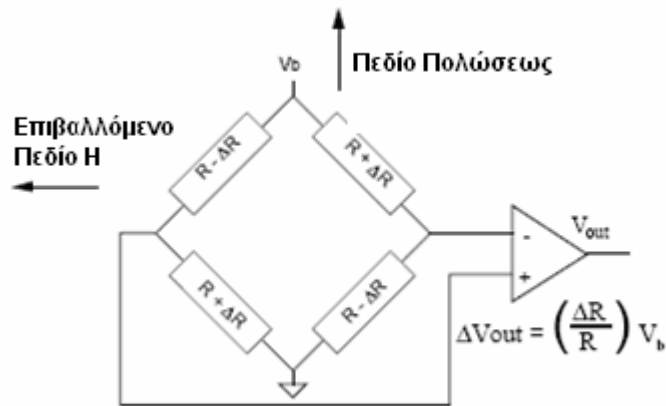
Το βασικό μέρος του αισθητήρα είναι ένα πηνίο γύρω από φερομαγνητικό πυρήνα, η διαπερατότητα του οποίου αλλάζει ανάλογα με τις διακυμάνσεις της έντασης του γήινου μαγνητικού πεδίου. Το πηνίο αποτελεί το επαγωγικό κομμάτι ενός L/R ταλαντωτή. Η συχνότητα του ταλαντωτή, η οποία είναι προφανώς ανάλογη του επιβαλλόμενου πεδίου, μετριέται στην έξοδο του διαφορικού ενισχυτή (Εικόνα 3.3), αφού πρώτα επιλεγούν οι τιμές των αντιστάσεων ώστε ο ενισχυτής να λειτουργεί στη γραμμική περιοχή. Η περιστροφή του αισθητήρα κατά 90 μοίρες σε σχέση με το μετρούμενο μαγνητικό πεδίο μπορεί να προκαλέσει ακόμα και διπλασιασμό στη συχνότητα του ταλαντωτή.

Ο αισθητήρας αυτός μπορεί να συνδυαστεί με ένα μικροελεγκτή, σχηματίζοντας έτσι έναν απλό στο σχεδιασμό, χαμηλής ισχύος και κόστους ανιχνευτή. Ένα ακόμη προτέρημα του αισθητήρα είναι ότι τα επιτρεπτά όρια θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι -20 έως 70 βαθμοί κελσίου. Δυστυχώς όμως, η αυτοματοποιημένη συναρμολόγηση και η ευθυγράμμιση του άξονα ευαισθησίας είναι αρκετά δύσκολες λόγω των μικρών διαστάσεων του αισθητήρα.

3.4.3 Αισθητήρες ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης

Η μεταβολή της αντίστασης στα φερομαγνητικά μέταλλα, λόγω διακυμάνσεων του μαγνητικού πεδίου, παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1986 από τον William Thompson και αργότερα από τον Λόρδο Κέλβιν. Η ανακάλυψη αυτή, χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία αισθητήρα, όταν εμφανίστηκε η τεχνολογία εναπόθεσης λεπτών στρωμάτων (thin film technology), περισσότερα από 100 χρόνια αργότερα. Οι εφαρμογές των αισθητήρων AMR (anisotropic magnetoresistive) είναι ποικίλλες: χρησιμοποιούνται για την ανάγνωση μαγνητικών δίσκων δεδομένων, στην αυτοκινητοβιομηχανία, στη ναυσιπλοΐα και την αεροπλοΐα, στους ανιχνευτές οχημάτων και στους αισθητήρες ρεύματος.

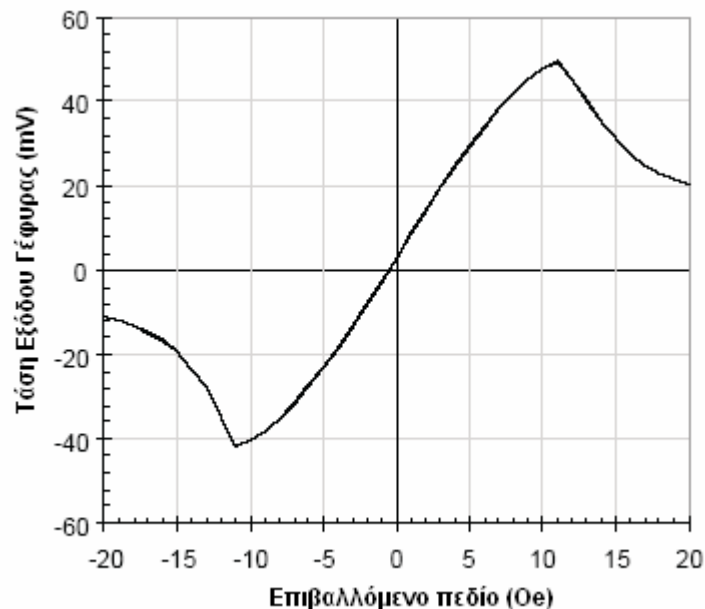
Οι αισθητήρες AMR είναι ικανοί να μετρήσουν τόσο τη γραμμική όσο και τη γωνιακή απόκλιση από το γήινο μαγνητικό πεδίο. Συνήθως αποτελούνται από λεπτά στρώματα κράματος νικελίου-σιδήρου (permalloy) τα οποία εναποτίθενται σε ένα δισκίο πυριτίου. Με κατάλληλη χάραξη, οι διατάξεις αυτές συμπεριφέρονται σαν αντιστάσεις οι τιμές των οποίων μεταβάλλονται μέχρι και 2% ή 3% όταν βρεθούν σε κάποιο μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 3.4: Τυπική διάταξη αισθητήρα AMR [7]

Μια τυπική διάταξη (Εικόνα 3.4) αποτελείται από τέσσερις τέτοιες αντιστάσεις, οι οποίες σχηματίζουν μια γέφυρα Wheatstone, ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση τόσο της έντασης, όσο και της κατεύθυνσης του μαγνητικού πεδίου κατά μήκος ενός άξονα. Το εύρος ζώνης είναι συνήθως 1 έως 5 MHz. Η απόκριση στις μεταβολές του πεδίου είναι αρκετά γρήγορη και δεν περιορίζεται από πηνία ή συχνότητες ταλάντωσης, όπως σε άλλες τεχνολογίες.

Οι αισθητήρες AMR κατασκευάζονται σε δισκία πυριτίου και παράγονται σε μορφή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, γεγονός που καθιστά εύκολη τη διασύνδεσή τους με άλλα κυκλώματα και συσκευές. Διακρίνονται επίσης από την υψηλή ευαισθησία τους, το μικρό μέγεθος και την ανοχή σε θόρυβο (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5 Συνάρτηση μεταφοράς αισθητήρα τύπου AMR [6]

3.5 Μαγνητικοί αισθητήρες ισχυρού πεδίου (>10 Gauss)

Οι περισσότεροι βιομηχανικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν ως πηγή μαγνητικού πεδίου μόνιμους μαγνήτες, οι οποίοι μαγνητίζουν ή πολώνουν φερομαγνητικά υλικά που βρίσκονται κοντά τους. Οι αισθητήρες πρέπει να μετρούν το συνολικό πεδίο που δημιουργείται γύρω τους, το οποίο είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό της γης, χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος να καταστραφούν ή να απορυθμιστούν. Οι αισθητήρες που έχουν αυτήν τη δυνατότητα είναι οι διακόπτες reed (reed switches), εκείνοι που βασίζονται στη δύναμη Lorentz και οι αισθητήρες γιγάντιας μαγνητοαντίστασης (Gigantic Magnetoresistive, GMR sensors).

3.5.1 Διακόπτες Reed (Reed Switches)

Ο διακόπτης reed μπορεί να θεωρηθεί ως ο απλούστερος μαγνητικός αισθητήρας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο βιομηχανικό έλεγχο. Αποτελείται από ένα ζεύγος ελαστικών φερομαγνητικών επαφών, οι οποίες είναι τοποθετημένες σε ένα αεροστεγώς κλεισμένο δοχείο, που περιέχει αδρανές αέριο. Όταν επιβάλλεται μαγνητικό πεδίο με διεύθυνση παράλληλη στο μεγάλο άξονα των επαφών, οι επαφές μαγνητίζονται και έλκονται με αποτέλεσμα τη δημιουργία βραχυκυκλώματος και το κλείσιμο του διακόπτη.

Οι διακόπτες reed δεν χρειάζονται συντήρηση και είναι αρκετά ανθεκτικοί. Τα τυπικά τους χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν ρεύμα εντάσεως 0.1 - 0.2A και τάση 100-200V κατά το άνοιγμα και κλείσιμό τους. Η διάρκεια ζωής των επαφών είναι 10^6 έως 10^7 χρήσεις στα 10 mA. Επιπλέον, οι διακόπτες είναι διαθέσιμοι με επαφές αρχικά ανοιχτές ή κλειστές και κλάσεως C.

Το χαμηλό κόστος, η ευκολία χρήσης, η αξιοπιστία και η μηδενική κατανάλωση ισχύος καθιστούν τους διακόπτες reed αρκετά δημοφιλείς σε πολλές εφαρμογές. Με την προσθήκη ενός μικρού μόνιμου μαγνήτη, προκύπτει εύκολα ένας διακόπτης προσεγγισιμότητας ο οποίος χρησιμοποιείται συχνά σε συστήματα ασφάλειας, για την ανίχνευση παραβιάσεων θυρών ή παραθύρων. Ο διακόπτης αυτός ενεργοποιείται όταν ένας δεύτερος μαγνήτης που είναι τοποθετημένος στο κινούμενο μέρος, βρεθεί σε μικρή απόσταση. Οι διακόπτες reed απολαμβάνουν ευρείας χρήσης και στην αυτοκινητοβιομηχανία.

3.5.2 Αισθητήρες που βασίζονται στην δύναμη Lorentz

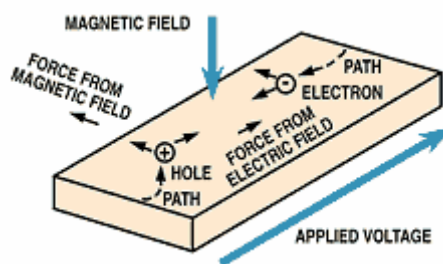
Υπάρχουν πολλοί αισθητήρες οι οποίοι βασίζονται στην δύναμη Lorentz ή στο φαινόμενο Hall, που ασκείται σε φορτισμένους φορείς ενός ημιαγωγού. Η εξίσωση της δύναμης Lorentz ορίζει την δύναμη \underline{F}_L που ασκείται σε ένα σωματίδιο φορτίου q το οποίο κινείται με ταχύτητα \underline{v} σε μαγνητικό πεδίο μαγνητικής επαγωγής \underline{B} :

$$\underline{F}_L = q (\underline{v} \times \underline{B})$$

Αφού τα μεγέθη \underline{F}_L , \underline{v} , \underline{B} είναι διανυσματικά, περιγράφονται πλήρως από το πλάτος και την φορά τους. Η δύναμη Lorentz είναι ανάλογη με το εξωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων της ταχύτητας και της μαγνητικής επαγωγής, άρα είναι κάθετη και στα δύο. Επομένως, για ένα θετικά φορτισμένο σωματίδιο, η δύναμη έχει την κατεύθυνση ενός δεξιόστροφου κοχλία, με

φορά από την κατεύθυνση του \underline{v} προς την κατεύθυνση του \underline{B} . Η επιτάχυνση του σωματιδίου λόγω της δύναμης Lorentz είναι πάντα κάθετη στην ταχύτητά του και επομένως όταν δεν υπάρχουν άλλες δυνάμεις, η πορεία του σωματιδίου διαγράφει μία καμπύλη στο εσωτερικό του μαγνητικού πεδίου.

Το φαινόμενο Hall αποτελεί συνέπεια της δύναμης Lorentz σε ημιαγώγιμα υλικά. Όταν επιβάλλεται διαφορά τάσης κατά μήκος του υλικού, φορείς φορτίων αρχίζουν να ρέουν. Αν, παράλληλα, υπάρχει μαγνητικό πεδίο με φορά κάθετη στο υλικό, οι φορείς ρεύματος κατευθύνονται στις πλαϊνές πλευρές λόγω της δύναμης Lorentz. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού μεταξύ των πλευρών που είναι κάθετες στις πλευρές της επιβαλλόμενης τάσης. Η διαφορά αυτή του δυναμικού ονομάζεται τάση Hall (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.6: Ανάλυση δυνάμεων σε ημιαγώγιμο υλικό [5]

Οι απλούστεροι αισθητήρες που βασίζονται στη δύναμη Lorentz είναι οι μαγνητοαντιστάσεις, οι οποίες χρησιμοποιούν ημιαγωγούς όπως τον InSb ή InAs. Οι αισθητήρες που βασίζονται στο φαινόμενο Hall χρησιμοποιούν πυρίτιο με φορείς n-τύπου, όταν απαιτείται χαμηλό κόστος ή GaAs για μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες λόγω του μεγαλύτερου ενεργειακού διακένου. Επίσης, υλικά ημιαγωγών όπως το InAs ή InSb χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο, λόγω της δυνατότητας ύπαρξης περισσότερων φορέων σε σχέση με τους αισθητήρες Hall πυριτίου, γεγονός που βελτιώνει την ευαισθησία και ανεβάζει την απόκριση συχνότητας σε τιμές άνω των 10-20kHz, στις οποίες περιορίζεται η τεχνολογία πυριτίου.

3.5.3 Αισθητήρες γιγάντιας μαγνητοαντίστασης (Giant Magnetoresistive, GMR)

Στους αισθητήρες ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης (AMR) είδαμε ότι η τιμή της αντίστασης μπορεί να αλλάξει 2 έως και 3% παρουσία μαγνητικού πεδίου. Στην περίπτωση των γιγάντιων μαγνητοαντιστάσεων η μεταβολή είναι δυνατόν να φτάσει ακόμα και στο 70%. Οι αντιστάσεις αυτές αποτελούνται από λεπτά στρώματα φερομαγνητικών υλικών τα οποία χωρίζονται από ένα λεπτό στρώμα μη-μαγνητικού αγωγίμου υλικού.

Η τιμή της αντίστασης έχει άμεση σχέση με τον προσανατολισμό των μαγνητικών φορέων από τους οποίους αποτελούνται τα φερομαγνητικά υλικά. Όταν τα δύο στρώματα έχουν παράλληλους φορείς, τότε περιέχουν λιγότερα διασκορπισμένα στοιχεία και κατά συνέπεια, οι ελεύθερες διαδρομές για τους φορείς ρεύματος είναι μεγαλύτερες και ισοδύναμα η αντίσταση που παρουσιάζουν είναι μικρότερη. Στρώματα με αντίρροπους φορείς παρουσιάζουν

μεγαλύτερο διασκορπισμό στα δομικά τους στοιχεία και συνεπώς μεγαλύτερη αντίσταση (Εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.7: Αρχή λειτουργίας μαγνητοαντιστάσεων (GMR)

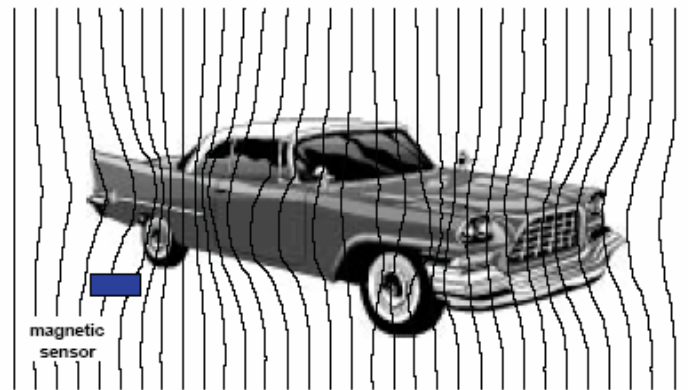
Επειδή το συνολικό πλάτος των φερομαγνητικών στρωμάτων πρέπει να είναι μικρότερο από αυτό που χρειάζονται τα ηλεκτρόνια για την κίνησή τους, πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας στρωμάτων πάχους μικρότερου από δέκα νανόμετρα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η τεχνολογία GMR ανακαλύφθηκε σχετικά πρόσφατα, παράλληλα με την ανάπτυξη των συστημάτων εναπόθεσης λεπτών στρώματων (thin film deposition systems).

3.6 Επιλογή μαγνητικού αισθητήρα

Το σχεδιαζόμενο σύστημα έχει στόχο την ανίχνευση διερχόμενων οχημάτων και την εύρεση του μέσου όρου της ταχύτητάς τους. Μετά από τη σύγκριση των χαρακτηριστικών των παραπάνω αισθητήρων, επιλέχθηκε ο αισθητήρας ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης (AMR).

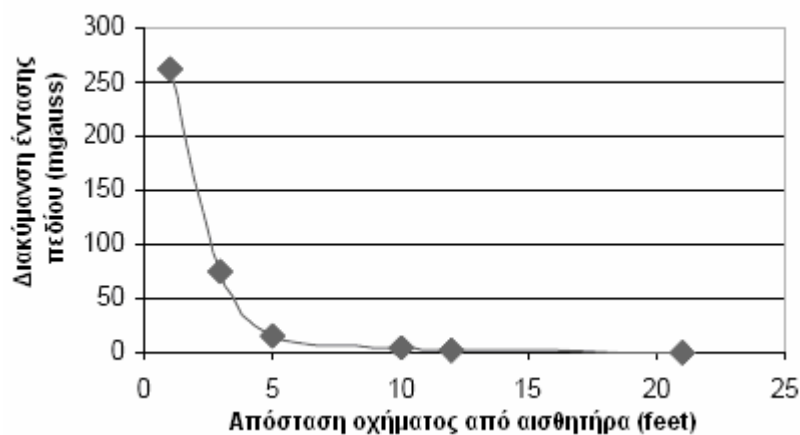
3.6.1 Εφαρμογές του AMR αισθητήρα στην ανίχνευση οχημάτων και εύρεση ταχύτητας

Το γήινο μαγνητικό πεδίο μπορεί να θεωρηθεί ομοιόμορφο σε μια περιοχή ορισμένων τετραγωνικών χιλιομέτρων, όπου δεν υπάρχουν φερομαγνητικά υλικά. Η είσοδος ενός φερομαγνητικού αντικειμένου, όπως είναι ένα αυτοκίνητο, προκαλεί μια τοπική αλλοίωση στο πεδίο, ανεξάρτητα από το αν το αντικείμενο κινείται ή όχι (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8: Αλλοίωση του γήινου μαγνητικού πεδίου λόγω παρουσίας οχήματος [6]

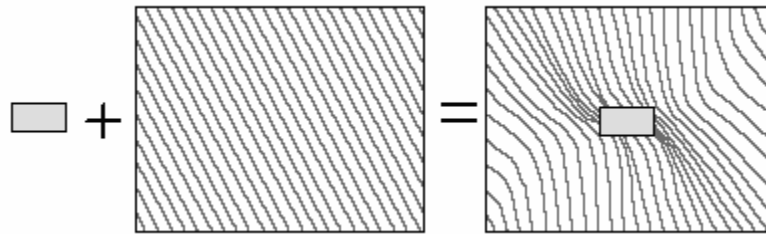
Οι AMR αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν την αλλοίωση αυτή. Οι εφαρμογές ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα είναι πολλές. Για παράδειγμα, ο αισθητήρας μονού άξονα μπορεί να ανιχνεύσει την παρουσία ενός αυτοκινήτου αλλά και την κατεύθυνσή του. Η μέγιστη απόσταση για μια επιτυχημένη μέτρηση μεταξύ του αισθητήρα και του αυτοκινήτου, μπορεί να φτάσει και τα 15 μέτρα, ανάλογα με το σιδηρομαγνητικό του φορτίο. Η μετρούμενη μεταβολή στην ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι ανάλογη με την απόσταση του αισθητήρα από το όχημα (Εικόνα 3.9)



Εικόνα 3.9: Ένταση πεδίου συναρτήσει απόστασης οχήματος

Το γεγονός αυτό καθιστά τον αισθητήρα μονού άξονα ιδανικό για τη διαπίστωση πληρότητας ενός χώρου στάθμευσης ή για την αυτόματη λειτουργία της μπάρας ασφαλείας σε σιδηροδρομικές διαβάσεις. Με τη χρήση δύο αισθητήρων είναι δυνατή εκτός από την ανίχνευση και τον προσδιορισμό του προσανατολισμού του οχήματος, η εύρεση της ταχύτητάς του.

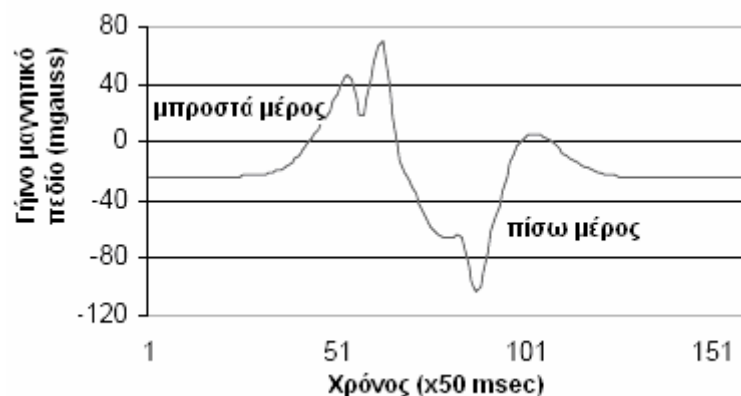
Ένα μεγάλο φερομαγνητικό αντικείμενο, όπως είναι ένα αυτοκίνητο, μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν ένα σύνολο μαγνητικών διπόλων. Τα δίπολα αυτά αλλοιώνουν την ομοιομορφία του γήινου μαγνητικού πεδίου (Εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.10: Αλλοίωση ομογενούς μαγνητικού πεδίου λόγω εισόδου φερομαγνητικού υλικού[6]

Οι αλλοιώσεις αυτές (πύκνωση και αραιώση των μαγνητικών γραμμών) είναι συνήθως περισσότερο έντονες λόγω του κινητήρα και των αξόνων του οχήματος, αλλά και από τυχόν ισχυρά σιδηρομαγνητικά υλικά που βρίσκονται στο όχημα. Η παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου, όπως δίνεται από την έξοδο του αισθητήρα, είναι διαφορετική για κάθε όχημα. Το γεγονός αυτό παρέχει τη δυνατότητα κατάταξης των διερχόμενων οχημάτων, μέσω των μαγνητικών υπογραφών τους.

Στην επόμενη εικόνα δίνεται ενδεικτικά η μαγνητική υπογραφή ενός οχήματος, όπως λαμβάνεται στην έξοδο του αισθητήρα AMR (Εικόνα 3.11).



Εικόνα 3.11: Μαγνητική υπογραφή οχήματος

Για την εύρεση της ταχύτητας του οχήματος πρέπει να χρησιμοποιηθούν δύο αισθητήρες. Αφού ληφθεί η μαγνητική υπογραφή από τον κάθε αισθητήρα, με σύγκριση των χρονικών τιμών όπου εμφανίζονται οι μέγιστες (ή οι ελάχιστες) τιμές της έντασης του μετρούμενου πεδίου, λόγω της διέλευσης του οχήματος, μπορεί να βρεθεί η ταχύτητά του. Για να υπολογιστεί όμως η ταχύτητα με ικανοποιητική ακρίβεια, το κύκλωμα πρέπει να βρίσκεται κάτω από το όχημα (δηλαδή μέσα στο οδόστρωμα) και η απόσταση των αισθητήρων να μην είναι πολύ μικρή. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι καθοριστικές για το μέγεθος του σχεδιαζόμενου κυκλώματος, διότι πρέπει να είναι αρκετά μικρό ώστε να είναι εύκολη η τοποθέτησή του αλλά παράλληλα οι μαγνητικοί αισθητήρες να απέχουν τόσο, ώστε οι μετρήσεις που λαμβάνονται να είναι αξιόπιστες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται λεπτομερής περιγραφή των συστημάτων από τα οποία αποτελείται ο ανιχνευτής. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο μικροελεγκτή, ο οποίος αποτελεί την καρδιά της συσκευής, αφού συντονίζει τη λειτουργία των περιφερειακών συσκευών και εκτελεί τους απαραίτητους αλγόριθμους για την ανίχνευση των οχημάτων και τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητάς τους.

4.2 Προδιαγραφές Συστήματος

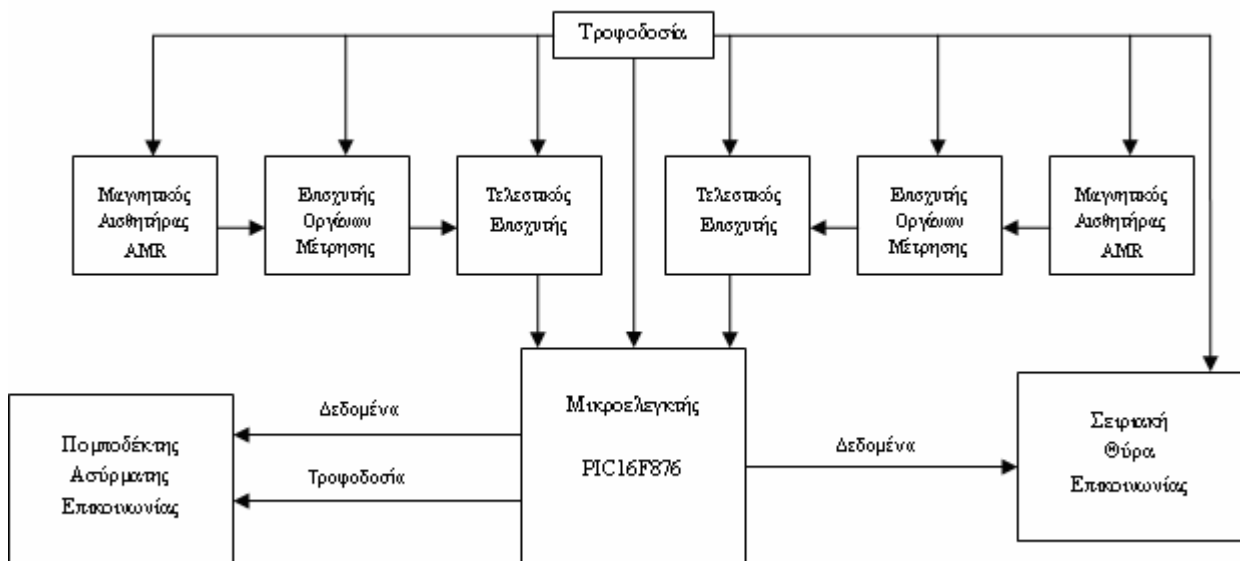
Το σύστημα ανίχνευσης διερχόμενων οχημάτων και εύρεσης μέσου όρου ταχύτητας σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Να είναι μικρό σε μέγεθος, αφού θα τοποθετηθεί σε μία λωρίδα κυκλοφορίας και η εγκατάστασή του θα πρέπει να γίνει με την ελάχιστη δυνατή επιβάρυνση του οδοστρώματος.
- Να είναι αυτόνομο. Το σύστημα τροφοδοτείται με μια απλή μπαταρία των 9Volt, η οποία προσφέρει μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Να ανιχνεύει οχήματα που περνούν από πάνω του και να βρίσκει το μέσο όρο της ταχύτητάς τους, στέλνοντας τα αποτελέσματα μέσω ασύρματης ζεύξης ή σειριακής θύρας σε ένα φορητό υπολογιστή ή κάποιον άλλο σταθμό συλλογής δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
- Να λειτουργεί σωστά υπό συνθήκες βεβαρημένης κυκλοφορίας.
- Να παρέχει αξιόπιστα δεδομένα ανεξάρτητα από τις θερμοκρασιακές ή καιρικές συνθήκες.
- Να ρυθμίζεται αυτόματα κατά την εγκατάσταση, ώστε να μην επηρεάζεται από μόνιμα σιδηρομαγνητικά αντικείμενα που υπάρχουν στην περιοχή ανίχνευσης.

4.3 Δομή του συστήματος

Το σύστημα αποτελείται από δύο μαγνητικούς αισθητήρες γήινου μαγνητικού πεδίου AMR, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στα άκρα της πλακέτας, μια σειριακή θύρα για επικοινωνία με ηλεκτρονικό υπολογιστή και έναν πομποδέκτη για την ασύρματη ζεύξη με ηλεκτρονικό υπολογιστή ή κάποιο άλλο σύστημα συλλογής δεδομένων

Το κεντρικό μέρος του συστήματος είναι ο μικροελεγκτής PIC16F876 της εταιρίας Microchip. Ο ρόλος του μικροελεγκτή είναι να συλλέγει τις μαγνητικές υπογραφές από τους δύο αισθητήρες, να τις μετατρέπει σε ψηφιακά σήματα και στη συνέχεια, εκτελώντας κάποιους αλγόριθμους, να αποφασίζει αν κάποιο όχημα πέρασε από τη ζώνη ανίχνευσης και αν ναι, ποιά ήταν η ταχύτητά του. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται και υπολογίζεται ο μέσος όρος της ταχύτητας των οχημάτων που ανιχνεύτηκαν σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Ο αριθμός των οχημάτων και η μέση ταχύτητά τους μεταφέρεται στη συνέχεια στο υποκύκλωμα σειριακής επικοινωνίας και τον πομποδέκτη ασύρματης ζεύξης. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται περιοδικά, ώστε να επιτυγχάνεται η ενημέρωση για τις κυκλοφοριακές συνθήκες της ζώνης ανίχνευσης του συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Η δομή του συστήματος φαίνεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 4.1).

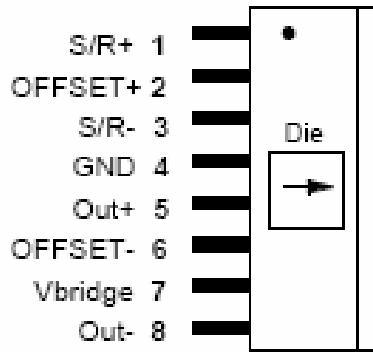


Σχήμα 4.1: Μπλοκ διάγραμμα συστήματος

4.4 Ανάλυση υποσυστημάτων

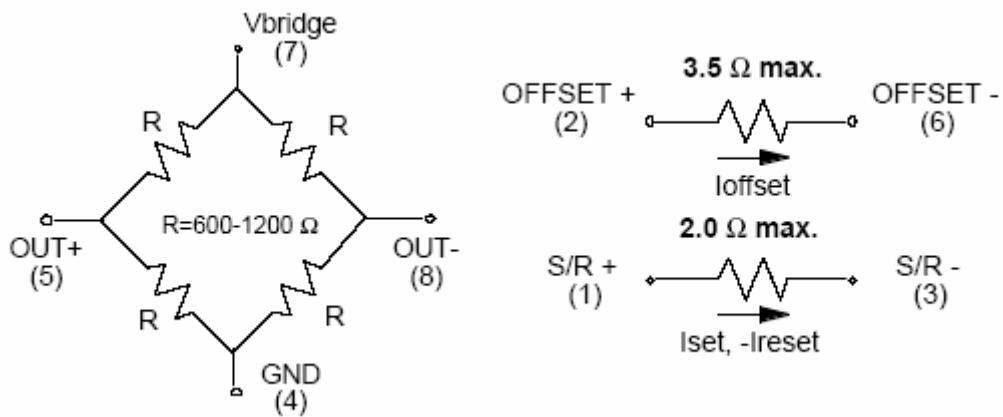
4.4.1 Υποσύστημα Αισθητήρων

Το υποσύστημα αποτελείται από δύο αισθητήρες γραμμικού μαγνητικού πεδίου τύπου ανισοτροπικής μικροαντίστασης. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες HMC1001 της Honeywell [8].



Εικόνα 4.2: Ο αισθητήρας HMC1001. Το βέλος δείχνει την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου που προκαλεί θετική τάση εξόδου [8]

Η λειτουργία των αισθητήρων βασίζεται στην αρχή της γέφυρας Wheatstone. Η δομή των αισθητήρων και ο τρόπος σύνδεσής τους φαίνεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 4.3).

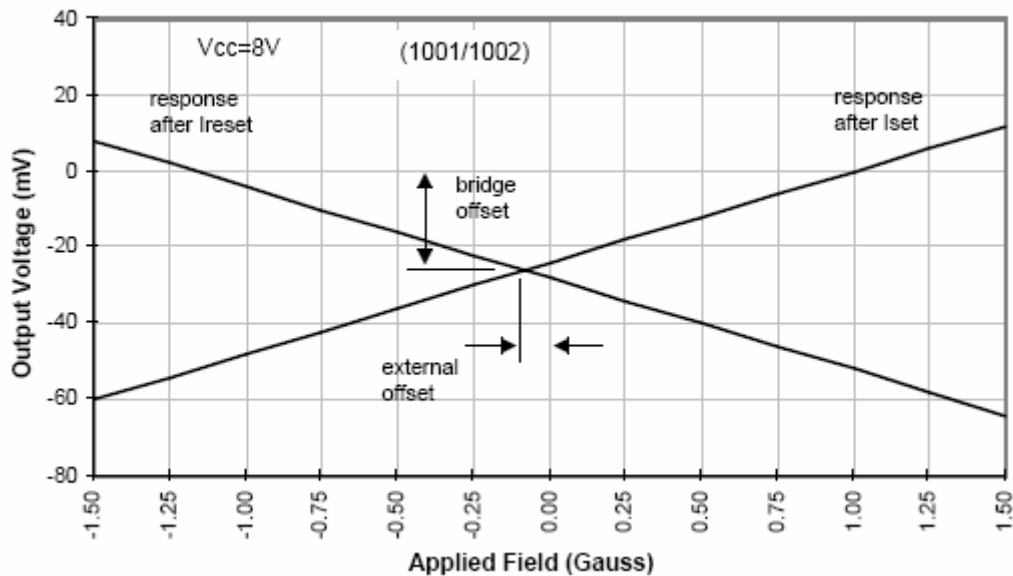


Σχήμα 4.3: Δομή και τρόπος σύνδεσης του αισθητήρα HMC1001 της Honeywell [8]

Για τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου αρκεί η τροφοδότηση της γέφυρας με τάση τιμής έως 10 Volt. Επιπλέον, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3, περιλαμβάνονται δύο ακόμα υποκύκλωμα, το υποκύκλωμα Offset και το υποκύκλωμα Set/Reset.

4.4.1.1 Υποκύκλωμα Offset

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 4.4) φαίνεται η σχέση της τάσης εξόδου με το επιβαλλόμενο στον αισθητήρα HMC1001 μαγνητικό πεδίο.



Εικόνα 4.4: Τάση εξόδου του αισθητήρα συναρτήσει του επιβαλλόμενου πεδίου [8]

Στην Εικόνα 4.4 φαίνεται καθαρά η απόδοση του αισθητήρα ανάλογα με την τιμή του επιβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου. Διακρίνεται επίσης μια απόκλιση στον κατακόρυφο άξονα της τάξης των -25mV στη τάση εξόδου της γέφυρας. Αυτή οφείλεται κυρίως στην αδυναμία κατασκευής πανομοιότυπων αντιστάσεων στη γέφυρα. Η απόκλιση αυτή μπορεί να εξαλειφθεί με την τοποθέτηση μιας αντίστασης παράλληλα σε κάποιο κλάδο της γέφυρας ώστε οι δύο εξοδοί (out+ και out-) να αποκτήσουν μηδενική διαφορά τάσης. Για τη σωστή ρύθμιση του αισθητήρα, η προσθήκη και οι μετρήσεις πρέπει να γίνουν σε περιβάλλον με μηδενική ένταση μαγνητικού πεδίου.

Η απόκλιση που παρατηρείται στον οριζόντιο άξονα είναι δυνατό να οφείλεται στην παρουσία ενός φερομαγνητικού αντικειμένου κοντά στον αισθητήρα ή σε κάποιο ανεπιθύμητο μαγνητικό πεδίο που παρεμβάλλεται στο υπό μέτρηση μαγνητικό πεδίο. Η μείωση της απόκλισης μπορεί να επιτευχθεί με τη διέλευση συνεχούς ρεύματος από τους ακροδέκτες offset.

Συμπερασματικά, τα οφέλη που προσφέρει το υποκύκλωμα Offset είναι τα ακόλουθα:

- Είναι δυνατόν να αγνοηθεί ένα ανεπιθύμητο μαγνητικό πεδίο.
- Η ρύθμιση για μηδενική τάση εξόδου της γέφυρας όταν δεν υπάρχει διέγερση από το περιβάλλον, κάτι το οποίο δεν εξασφαλίζεται κατά την κατασκευή του αισθητήρα.
- Η αυτόματη ρύθμιση του κέρδους της γέφυρας, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής.

Παρόλα αυτά, στη συγκεκριμένη εφαρμογή δεν χρησιμοποιείται το υποκύκλωμα Offset, διότι οι αποκλίσεις στην τάση εξόδου της γέφυρας λόγω ανεπιθύμητων μαγνητικών πεδίων, λαμβάνονται υπόψη κατά τους υπολογισμούς που γίνονται στο μικροελεγκτή.

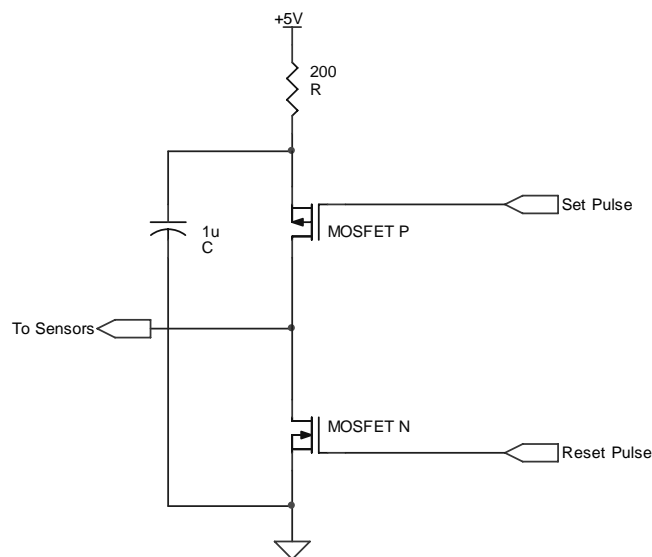
4.4.1.2 Υποκύκλωμα Set/Reset

Κατά την κατασκευή των αισθητήρων, επιλέγεται η κατεύθυνση κατά την οποία η μεταβολή του υπό μέτρηση μαγνητικού πεδίου έχει ως αποτέλεσμα τη μέγιστη δυνατή μεταβολή στην τιμή των αντιστάσεων της γέφυρας. Η εφαρμογή όμως ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου, η ένταση του οποίου υπερβαίνει τα 10 gauss, μπορεί να διαταράξει η να αντιστρέψει την πολικότητα της μαγνήτισης των αντιστάσεων και κατά συνέπεια να αλλάξει τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα. Για την αποκατάσταση της ορθής λειτουργίας του αισθητήρα είναι αναγκαία η στιγμιαία επιβολή ενός ισχυρού μαγνητικού πεδίου. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζεται ένας παλμός ισχυρής έντασης ρεύματος Set ή Reset. Η πολικότητα του σήματος εξόδου της γέφυρας εξαρτάται από τον τύπο του παλμού που θα εισέλθει στο υποκύκλωμα μέσω των ανάλογων ακροδεκτών του αισθητήρα.

Τα οφέλη του κυκλώματος set/reset είναι τα παρακάτω:

- Η υψηλή ευαισθησία κατά τη λειτουργία του αισθητήρα.
- Η αντιστροφή της πολικότητας του σήματος εξόδου του αισθητήρα, αν αυτό είναι επιθυμητό.
- Η βελτίωση της γραμμικότητας και η μείωση της εξάρτησης από τη θερμοκρασία.

Το κύκλωμα που κατασκευάστηκε για τη δημιουργία των παλμών set/reset φαίνεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5: Κύκλωμα δημιουργίας Set/Reset παλμών

Κάθε 10 δευτερόλεπτα ο μικροελεγκτής αλλάζει την κατάσταση μιας θύρας εξόδου του, ώστε να στέλνει έναν παλμό reset στο παραπάνω κύκλωμα διάρκειας περίπου 28μsec. Περίπου 1 μsec μετά την αρχή του reset παλμού, αλλάζει την κατάσταση μιας ακόμη θύρας εξόδου του, ώστε να σταλεί ένας παλμός set, διάρκειας περίπου 6μsec. Πριν τους αισθητήρες έχουν τοποθετηθεί

πυκνωτές με χωρητικότητα $0.1\mu\text{F}$ ο καθένας, ώστε οι δύο εναλλαγές του δυναμικού στην έξοδο του κυκλώματος με τα MOSFET να προκαλούν αρχικά έναν αρνητικό παλμό (reset pulse), ο οποίος αντιστρέφει την πολικότητα των αισθητήρων και στη συνέχεια ένα θετικό παλμό (set pulse), ο οποίος επαναφέρει στους αισθητήρες στο σωστό προσανατολισμό. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η εφαρμογή των δύο αυτών παλμών είναι απαραίτητη για την ορθή λειτουργία του κυκλώματος γιατί επαναφέρει την ευαισθησία στα επιθυμητά υψηλά επίπεδα.

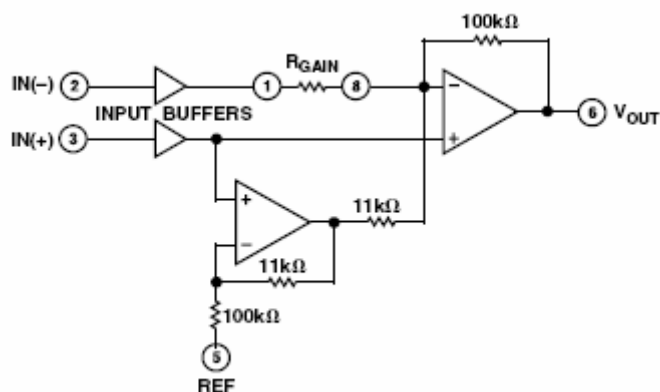
4.4.2 Ενίσχυση της τάσης εξόδου των αισθητήρων

Η γέφυρα τροφοδοτείται με τάση 5 Volt και σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κατασκευαστή, αν η ευαισθησία έχει την τυπική τιμή των 3.2mV/V/gauss , η έξοδος της γέφυρας αναμένεται να είναι 16mV/gauss ή $16\text{nV}/\mu\text{gauss}$. Η διέλευση ενός αυτοκινήτου μικρομεσαίας κατηγορίας προκαλεί κατά προσέγγιση διαταραχή στο γήινο μαγνητικό πεδίο 250 mgauss [6], οπότε αναμένεται η έξοδος της γέφυρας να έχει τάση περίπου 4mV . Η τάση αυτή είναι αρκετά μικρή για να εισαχθεί στο μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analog to digital converter) του μικροελεγκτή, οπότε η ενίσχυσή της είναι απαραίτητη.

Το κομμάτι της ενίσχυσης αποτελείται από δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο βασίζεται στον ενισχυτή οργάνων μέτρησης AMP04b της εταιρίας Analog Devices [9], ενώ το δεύτερο σε έναν απλό τελεστικό ενισχυτή JFET της εταιρίας Texas Instruments [10].

4.4.2.1 Πρώτο στάδιο ενίσχυσης – Ο ενισχυτής AMP04b (Analog Devices)

Ο ενισχυτής οργάνων μέτρησης AMP04b (instrumentation amplifier) της εταιρίας Analog Devices χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη τιμή του λόγου απόρριψης κοινού σήματος (CMRR), την ευκολία ρύθμισης του κέρδους του, που κυμαίνεται από 1 μέχρι 1000, μέσω μόνο μίας εξωτερικής αντίστασης (Εικόνα 4.6). Ένα ακόμη πλεονέκτημα του ενισχυτή είναι ότι για την τροφοδοσία του απαιτείται ρεύμα έντασης $700\mu\text{A}$.



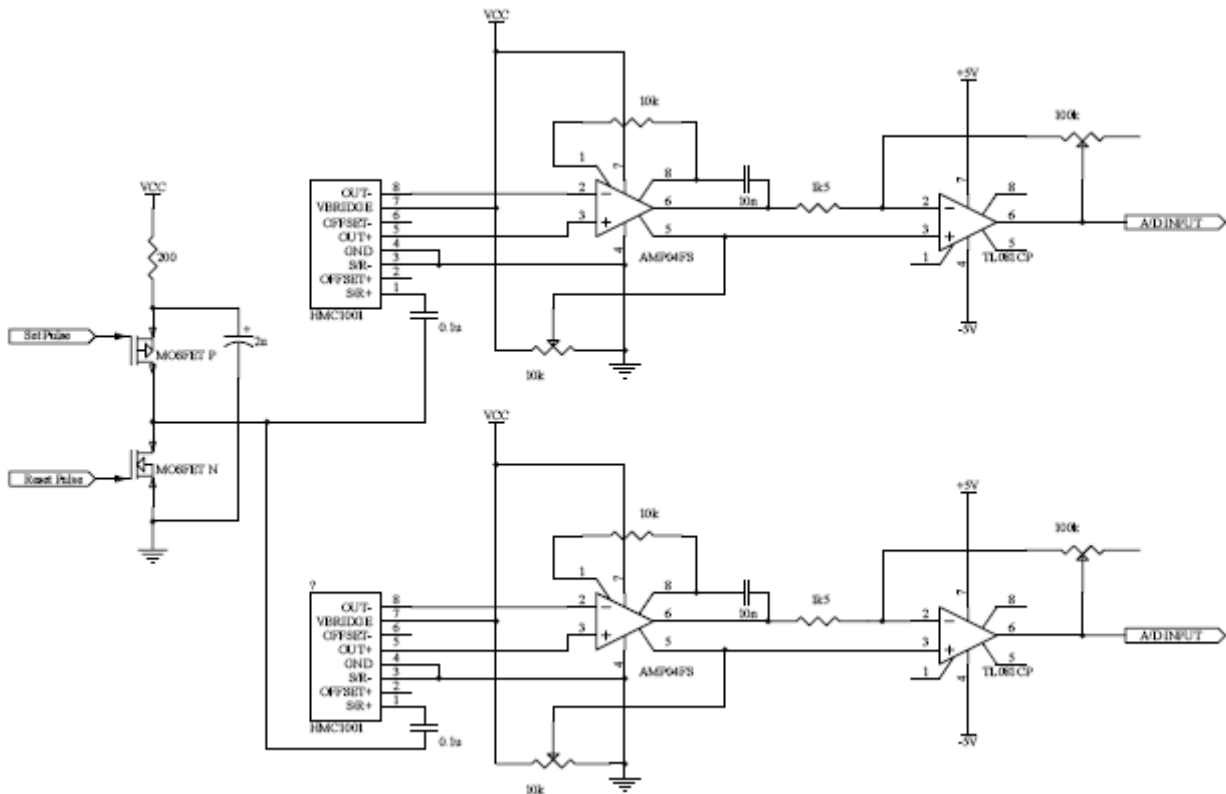
Εικόνα 4.6: Μπλοκ διάγραμμα του ενισχυτή AMP04b [9]

Για τις ανάγκες του συστήματος, το κέρδος του ενισχυτή ρυθμίζεται ώστε να έχει την τιμή 10. Η τάση αναφοράς ρυθμίζεται μέσω ποτενσιόμετρου να έχει την τιμή 2.5Volt ώστε η τάση εξόδου του ενισχυτή να κυμαίνεται σε τιμές με βάση τα 2.5Volt . Επομένως, θετική διαφορική τάση

εισόδου έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση τάσεως μεγαλύτερης των 2.5Volt στην έξοδο του ενισχυτή, ενώ αρνητική διαφορική τάση οδηγεί στην εμφάνιση τάσεως μικρότερης των 2.5Volt στην έξοδο του ενισχυτή. Για τιμή απολαβής 10, ο λόγος απόρριψης κοινού σήματος είναι περίπου 70dB, τιμή αρκετά ικανοποιητική.

4.4.2.2 Δεύτερο στάδιο ενίσχυσης – Τελεστικός ενισχυτής JFET TL081CP

Η έξοδος του πρώτου σταδίου ενίσχυσης συνδέεται με το δεύτερο στάδιο που αποτελείται από έναν απλό τελεστικό ενισχυτή JFET, τον TL081CP της εταιρίας Texas Instruments, σε αναστρέφουσα συνδεσμολογία. Για τη ρύθμιση του κέρδους χρησιμοποιείται ένα ποτενσιόμετρο. Η τιμή που επιλέχθηκε είναι τα 35k Ω , οπότε το σήμα ενισχύεται κατά 35 φορές στο στάδιο αυτό. Συνολικά και από τα δύο στάδια το σήμα ενισχύεται 350 φορές, με αποτέλεσμα στην έξοδο 5.6V/gauss. Το κύκλωμα των δύο ενισχυτών υλοποιείται δύο φορές, μία για κάθε αισθητήρα. Συνολικά το υποσύστημα των αισθητήρων, μαζί με το κύκλωμα Set/Reset και τα στάδια της ενίσχυσης φαίνονται στην Εικόνα 4.7.



Εικόνα 4.7: Υποσύστημα αισθητήρων

4.4.3 Υποσύστημα RF

Για την ασύρματη ζεύξη μεταξύ του μικροελεγκτή και του συστήματος συλλογής δεδομένων χρησιμοποιούνται δύο πομποδέκτες (transceivers) Easy-Radio ER400TRS της LPRS (Εικόνα 4.8). Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των δύο πομποδεκτών, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, φτάνει τα 250 μέτρα όταν υπάρχει οπτική επαφή (line of sight).

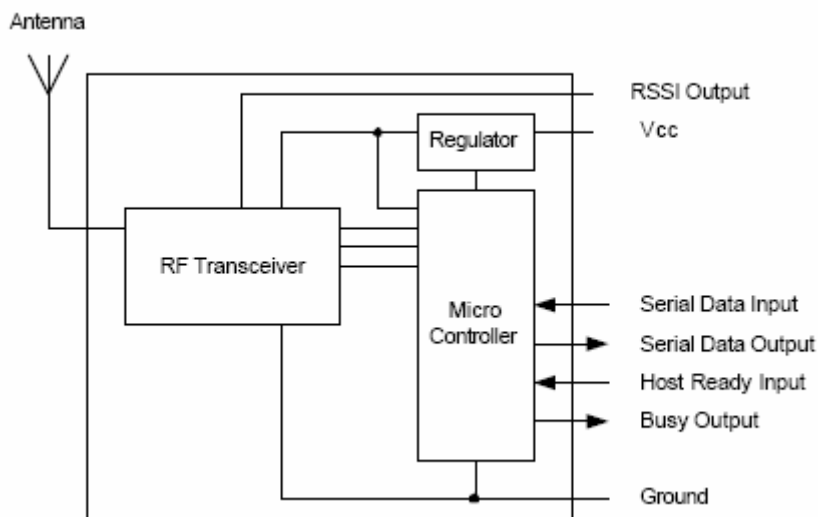


Εικόνα 4.8: Ο πομποδέκτης ER400TRS [11]

Ο κάθε πομποδέκτης λειτουργεί σε συχνότητα 433MHz στα 3.6Volt και διατίθεται ως ένα ολοκληρωμένο, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του συνολικού όγκου της συσκευής. Επιπλέον διαθέτει σταθεροποιητή τάσης, ώστε οι δυνατές τιμές της τάσης τροφοδοσίας να κυμαίνονται ανάμεσα στα 3.6 και τα 5.5 Volt. Η τροφοδοσία πρέπει όμως να είναι απαλλαγμένη από θόρυβο και η μέγιστη κυμάτωσή της να μην υπερβαίνει τα 25mV.

4.4.3.1 Χαρακτηριστικά

Ο πομποδέκτης ER400TRS αποτελεί ένα πλήρες σύστημα χαμηλής ισχύος, το οποίο περιλαμβάνει εκτός από το τμήμα της ραδιοζεύξης, ένα μικροελεγκτή και ένα σταθεροποιητή τάσης (Σχήμα 4.9).



Σχήμα 4.9: Μπλοκ διάγραμμα του πομποδέκτη ER400TRS [11]

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 στην οποία είναι αποθηκευμένες ρυθμίσεις για ορισμένες τυποποιημένες μεθόδους εγκατάστασης και χρησιμοποίησης του πομποδέκτη. Μια σημαντική ιδιότητα του μικροελεγκτή είναι ότι απαλλάσσει το χρήστη από την αφαίρεση του θορύβου στο λαμβανόμενο σήμα, αφού είναι σε θέση να το φιλτράρει και να το απομονώσει.

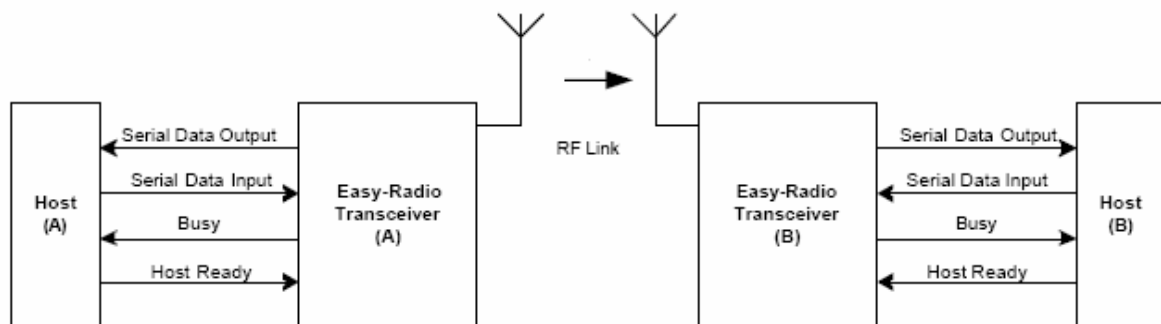
Η σειριακή είσοδος και έξοδος λαμβάνει και στέλνει σύμβολα με ρυθμό 19200 Baud, ενώ υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι και 192 bytes δεδομένων, πριν αυτά ενθυλακωθούν σε πακέτα κατάλληλα για ασύρματη μετάδοση και σταλούν.

Στο σύστημα συλλογής δεδομένων, το οποίο μπορεί να είναι μια μνήμη ή ένας κεντρικός υπολογιστής, βρίσκεται ο πομποδέκτης που λαμβάνει τα δεδομένα που μεταδίδονται και τα αποκωδικοποιεί, τοποθετώντας τα σε έναν καταχωρητή. Με αυτόν τον τρόπο τα δεδομένα είναι έτοιμα για αποθήκευση ή επεξεργασία.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη επεξεργασία και λήψη, γεγονός όμως που δεν προβληματίζει, διότι στη συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται μόνο εκπομπή προς το σύστημα συλλογής δεδομένων.

4.4.3.2 Ενσωμάτωση στο υπόλοιπο σύστημα

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 4.10) απεικονίζεται το μπλοκ διάγραμμα της σύνδεσης των πομποδεκτών για την ασύρματη μετάδοση και λήψη των πληροφοριών.



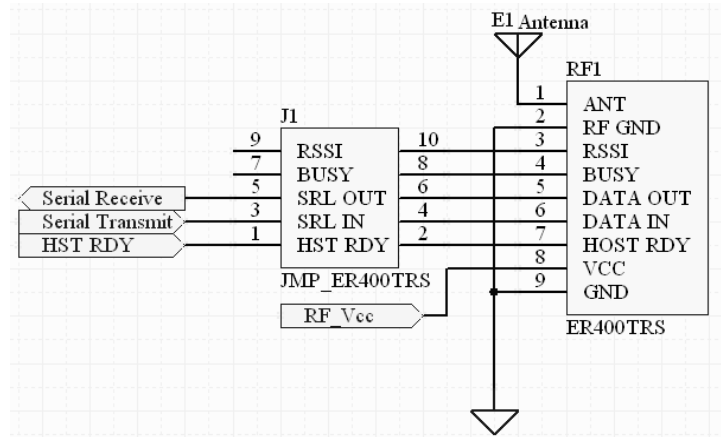
Σχήμα 4.10: Μπλοκ διάγραμμα της σύνδεσης των πομποδεκτών [11]

4.4.3.3 Μετάδοση δεδομένων – Σύνδεση με τον μικροελεγκτή

Αρχικά επιχειρήθηκε η προσθήκη ανεξάρτητης τροφοδοσίας, σταθεροποιημένης στα 5Volt, για τη λειτουργία του πομποδέκτη. Όμως, όπως διαπιστώθηκε, η συνεχής λειτουργία του πομποδέκτη είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ισχυρών ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, οι οποίες επηρέαζαν το μετρούμενο από τους αισθητήρες μαγνητικό πεδίο. Τα αποτελέσματα που συλλέχτηκαν για τον αριθμό των οχημάτων και τη μέση ταχύτητά τους δεν ανταποκρίνονταν στην πραγματικότητα και κατά συνέπεια η λειτουργία της συσκευής κρίθηκε αναξιόπιστη.

Η λύση που τελικά χρησιμοποιήθηκε είναι η τροφοδότηση του πομποδέκτη μόνο κατά τη διάρκεια που είναι αναγκαία η λειτουργία του, δηλαδή όταν ο αριθμός και ο μέσος όρος της ταχύτητας των οχημάτων που έχουν υπολογιστεί από τον μE , είναι έτοιμα προς αποστολή μέσω του συστήματος σύγχρονης-ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας (USART). Τότε αλλάζει η κατάσταση του ακροδέκτη εξόδου C3 του μE σε υψηλή, δηλαδή αποκτά τάση 5V (Σχήμα 4.11).

Το απαιτούμενο ρεύμα κατά την μετάδοση δεδομένων από τον πομποδέκτη έχει μέγιστη τιμή τα 23mA, ενώ το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να δώσει μία έξοδος του μE είναι 25mA. Επομένως, ο πομποδέκτης λειτουργεί ικανοποιητικά όταν τροφοδοτείται από μία έξοδο του μικροελεγκτή, χωρίς να επηρεάζει την απόδοση του συστήματος.



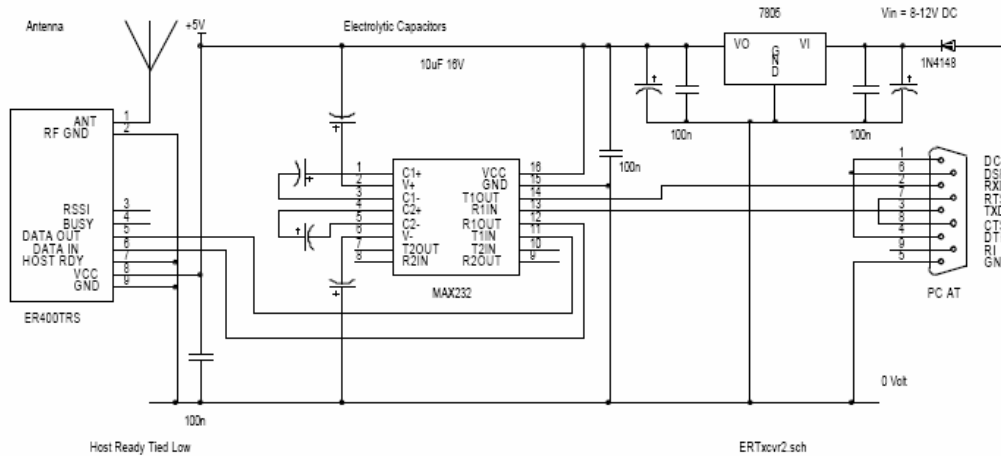
Σχήμα 4.11: Σύνδεση RF πομποδέκτη με μικροελεγκτή

Για τη σύνδεση του πομποδέκτη με την έξοδο του συστήματος σύγχρονης-ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας δεν απαιτείται η χρήση ενδιάμεσου σταδίου. Ο πομποδέκτης μπορεί να συνδεθεί άμεσα με τις κατάλληλες θύρες του μικροελεγκτή, όπως φαίνεται και στο προηγούμενο σχήμα (Σχήμα 4.11).

4.4.3.4 Λήψη δεδομένων – Σύνδεση με το σύστημα συλλογής δεδομένων

Ως σύστημα συλλογής δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Η απεικόνιση των ληφθέντων δεδομένων στην οθόνη του υπολογιστή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός προγράμματος που συνοδεύει το πακέτο λογισμικού CCS PIC C Compiler, το οποίο παρουσιάζει σε ASCII μορφή τα δεδομένα που συλλέγονται από τη θύρα RS232 του υπολογιστή. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα με παρόμοιες δυνατότητες, όπως το Hyperterminal των λειτουργικών συστημάτων Microsoft Windows.

Για τη σύνδεση με τη θύρα RS232 του υπολογιστή απαιτείται η μεσολάβηση ενός ολοκληρωμένου MAX232, το οποίο παρέχει τα κατάλληλα επίπεδα τάσης (+/- 12V) στο σήμα. Το κύκλωμα που υλοποιήθηκε για τη σύνδεση φαίνεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 4.12).



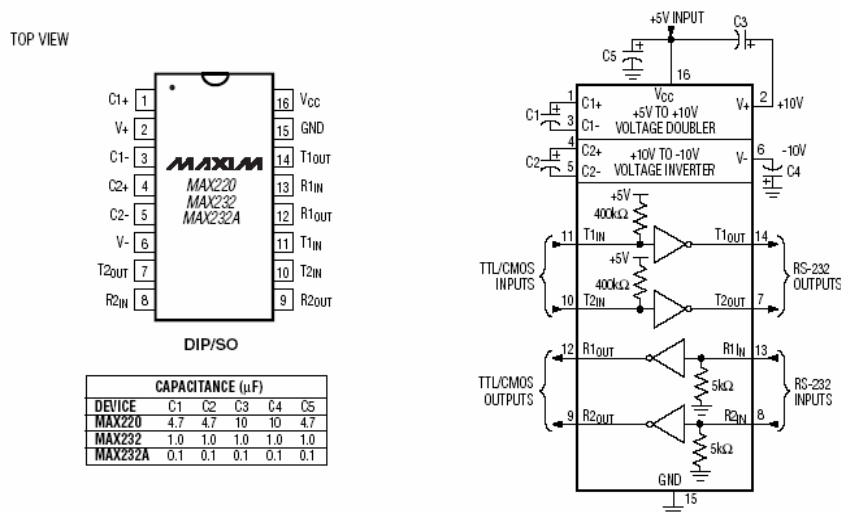
Σχήμα 4.12: Κύκλωμα σύνδεσης πομποδέκτη με PC μέσω της θύρας RS232 [11]

4.4.4 Σειριακή Επικοινωνία

Για λόγους πληρότητας, έχει ενσωματωθεί στο σύστημα μια έξοδος για απευθείας σύνδεση με τη σειριακή θύρα RS232 του υπολογιστή. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να αντιμετωπιστούν πιθανά προβλήματα της ασύρματης ζεύξης καθώς και τυχόν βλάβες του κυκλώματος. Για την οδήγηση της εξόδου χρησιμοποιείται το ολοκληρωμένο MAX232 της Maxim Integrated Products [12].

4.4.4.1 Το ολοκληρωμένο MAX232

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 (Εικόνα 4.13).



Εικόνα 4.13: Η δομή και ο τρόπος σύνδεσης του MAX232 [12]

4.4.4.2 Μετατροπείς τάσης

Το ολοκληρωμένο MAX232 περιέχει δύο μετατροπείς τάσης, οι οποίοι παράγουν +10Volt και -10Volt (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.

4.4.4.3 Οδηγοί RS-232

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 δυσκολότερες δυνατές συνθήκες. Αυτές ορίζονται ως ένα φορτίο της τάξης τουλάχιστον των $3k\Omega$ και τάσης τροφοδοσίας τα 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.

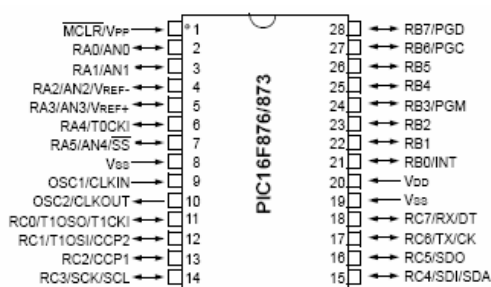
4.4.4.4 Δέκτες RS-232

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 $5k\Omega$. Οι ιδιότητα αυτή ενισχύει σημαντικά την ανθεκτικότητα του ολοκληρωμένου.

4.5 Ο Μικροελεγκτής PIC16F876

Ο μικροελεγκτής αποτελεί αναμφισβήτητα την καρδιά του συστήματος, αφού είναι υπεύθυνος για τη σωστή λειτουργία των υποσυστημάτων και εκτελεί πολύπλοκες διαδικασίες και πράξεις.

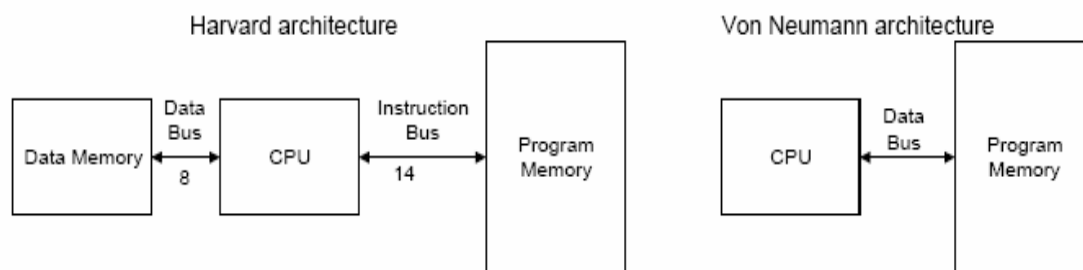


Εικόνα 4.14: Ο μικροελεγκτής PIC16F876 [13]

Αν και οι μικροελεγκτές PIC της εταιρίας MICROCHIP είναι αρκετά διαδεδομένοι και συναντούνται σε πολλές εφαρμογές του εμπορίου, η αναφορά στην αρχιτεκτονική τους (και ειδικότερα στην αρχιτεκτονική του PIC16F876) καθώς και στα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τους κρίνεται απαραίτητη για την πληρότητα της παρουσίασης.

4.5.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μικροελεγκτών PIC της MICROCHIP

Οι μικροελεγκτές PIC (Peripheral Interface Controller) ανήκουν στην οικογένεια των 8-bit μικροελεγκτών της εταιρίας Microchip και βασίζονται στην αρχιτεκτονική Harvard. Η αρχιτεκτονική Harvard μαζί με την Von-Neumann είναι οι βασικότερες αρχιτεκτονικές των σύγχρονων μικροϋπολογιστικών συστημάτων. Η αρχιτεκτονική Harvard σε συνδυασμό με την αρχιτεκτονική RISC (Reduced Instruction Set Computer) υπερτερεί σε σύγκριση με τη Von-Neumann, διότι εξασφαλίζει υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας και υψηλότερη απόδοση.



Εικόνα 4.15: Αρχιτεκτονική Harvard και Von-Neumann

Η αρχιτεκτονική Harvard διαφοροποιείται από την Von-Neumann στην ύπαρξη διαφορετικού διαύλου για τη μεταφορά δεδομένων (data bus) από αυτόν που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των εντολών (instruction bus). Επιπλέον υπάρχουν δύο διαφορετικές μνήμες, η μνήμη δεδομένων (data memory) και η μνήμη προγράμματος (program memory). Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας, καθώς ταυτόχρονα με την εκτέλεση κάποιας εντολής είναι δυνατόν να εγγράφεται ή να διαβάζεται η μνήμη προγράμματος.

Ένα ακόμη προτέρημα της αρχιτεκτονικής Harvard είναι ότι υπάρχει η δυνατότητα οι εντολές να έχουν διαφορετικό μήκος σε δυαδικά ψηφία από τα δεδομένα. Το πλήθος των εντολών οδηγεί στην επιλογή του κατάλληλου μήκους της λέξης εντολής, ώστε να είναι δυνατή η κωδικοποίηση της εντολής σε μία μόνο λέξη. Ανάλογα με το μήκος της εντολής που χρησιμοποιείται, οι μικροελεγκτές PIC χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Βασική (Base-Line) με μήκος λέξης εντολής τα 12 bit.
- Μεσαία (Mid-Range) με μήκος λέξης εντολής τα 14 bit.
- Προηγμένη (High-End) με μήκος λέξης εντολής τα 16 bit.

Ο μικροελεγκτής PIC16F876 ανήκει στη Mid-Range κατηγορία και απαιτεί την εκμάθηση μόνο 35 εντολών μίας λέξης. Οι περισσότερες εντολές του εκτελούνται σε ένα μόνο κύκλο μηχανής,

εκτός από αυτές που αλλάζουν τη ροή του προγράμματος, οι οποίες εκτελούνται σε δύο κύκλους μηχανής.

Η δομή του PIC16F876 μπορεί να διακριθεί σε τρία βασικά μέρη: Τον πυρήνα (core), τα περιφερειακά (peripherals) και τα ειδικά χαρακτηριστικά (special features).

4.5.2 Ο πυρήνας του PIC16F876

Τα σημαντικότερα δομικά στοιχεία του πυρήνα είναι:

- Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (central processing unit, CPU)
- Το Ρολόι
- Η Μονάδα Συνεχούς Διοχέτευσης Εντολών (Instruction Pipeling)
- Η Αριθμητική Λογική Μονάδα (Arithmetic Logic Unit, ALU)
- Η μνήμη προγράμματος (Program Memory) τύπου FLASH μεγέθους 8K x 14 λέξεων.
- Η μνήμη δεδομένων RAM (Data Memory) μεγέθους 368 x 8 bytes.
- Η μνήμη δεδομένων EEPROM (EEPROM Data Memory) μεγέθους 256 x 8 bytes.
- Η Στοίβα (Stack) βάθους 8 επιπέδων.
- Ο καταχωρητής Μετρητή Προγράμματος (Program Counter, PC), Εργασίας (Working Register, W), Κατάστασης (STATUS Register).

Μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες του πυρήνα είναι η εξυπηρέτηση των διακοπών (Interrupts), οι οποίες στο συγκεκριμένο μικροελεγκτή μπορούν να προκληθούν από 13 πηγές.

4.5.3 Περιφερειακά του PIC16F876

Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής διαθέτει πληθώρα περιφερειακών, όπως:

- Τρεις χρονιστές (Timer0, Timer1, Timer2), οι δύο εκ των οποίων είναι 8-bit (Timer0 και Timer2) και ο άλλος είναι 16-bit (Timer1)
- Τρεις πόρτες Εισόδου/Εξόδου (PortA, PortB, PortC)
- Πομποδέκτη σύγχρονης/ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Trasmmitter, USART)
- Μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό μήκους 10 bit με πέντε κανάλια εισόδου (Analog to Digital Module)

- Σύγχρονη σειριακή πόρτα (Master Synchronous Serial Port, MSSP)

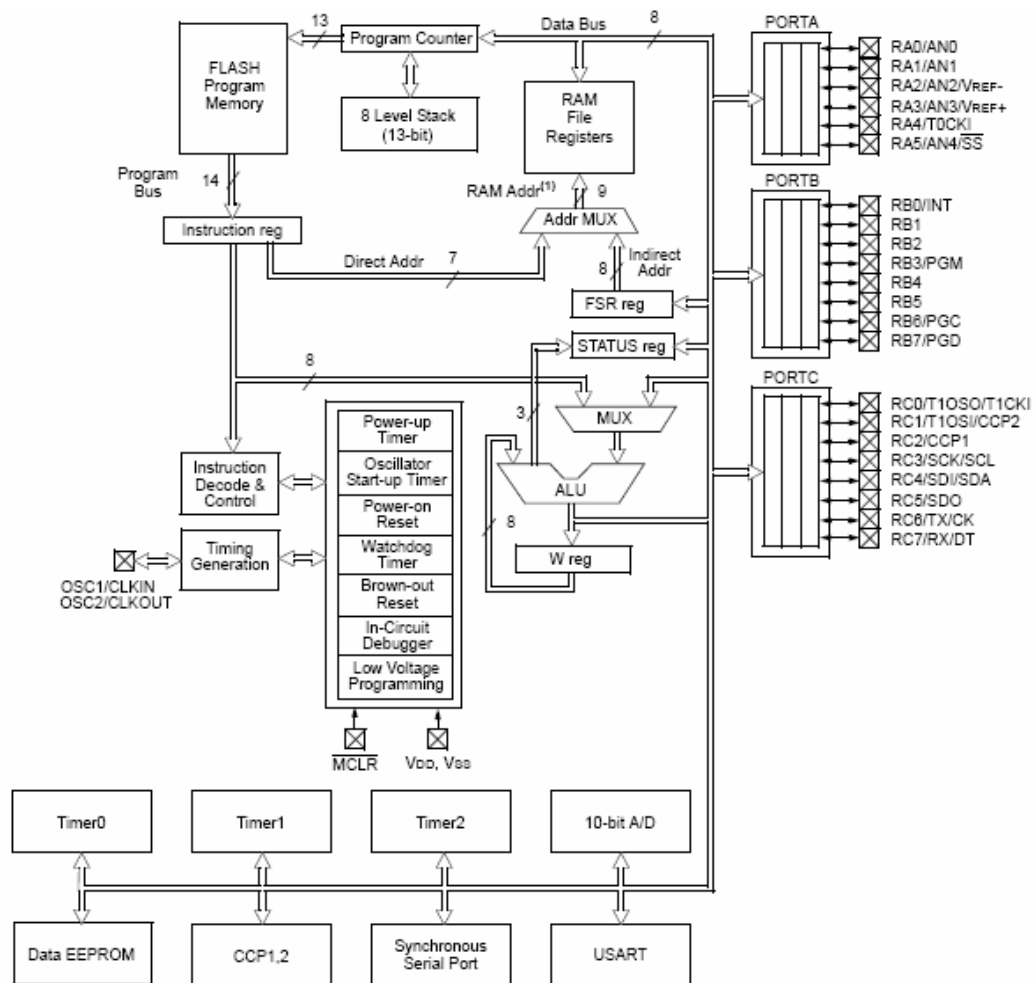
4.5.4 Ειδικά χαρακτηριστικά

Ορισμένα ειδικά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τον PIC16F876 από άλλους μικροελεγκτές της ίδιας κατηγορίας, είναι τα εξής:

- Η ύπαρξη Μετρητή Επιτήρησης (Watchdog Timer, WDT) με ενσωματωμένο RC ταλαντωτή για αξιόπιστη λειτουργία
- Ο ενσωματωμένος σειριακός προγραμματιστής (In-Circuit Serial Programmer, ICSP) μέσω δύο ακροδεκτών

4.5.5 Αρχιτεκτονική του PIC16F876

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 4.16), διακρίνονται τα σημαντικότερα μέρη του μικροελεγκτή, όπως η αριθμητική μονάδα (Arithmetic Logic Unit, ALU), η μνήμη, τα περιφερειακά, κ.ά.



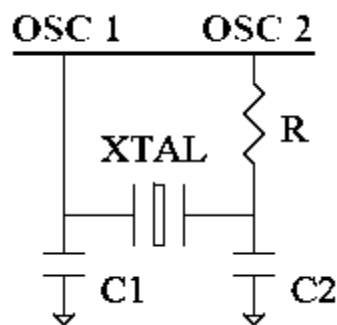
Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

Εικόνα 4.16: Μπλοκ διάγραμμα του μικροελεγκτή PIC16F876 [13]

Στη συνέχεια αναλύονται τα βασικά μέρη και οι λειτουργίες του μικροελεγκτή στις οποίες βασίστηκε η σχεδίαση της συσκευής.

4.5.6 Ρολόι – Χρονισμός – Κύκλος Εντολής

Η ταχύτητα του μικροελεγκτή εξαρτάται από τη συχνότητα ταλάντωσης του ταλαντωτή που συνδέεται στους ακροδέκτες OSC1 και OSC2. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε κρύσταλλος με ταλάντωση στα 4MHz και η σύνδεση έγινε σύμφωνα με το σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.17).



Σχήμα 4.17: Κύκλωμα εξωτερικού χρονισμού του μικροελεγκτή

Μέσω του κρυστάλλου παράγονται παλμοί με συχνότητα 4MHz. Οι παλμοί αυτοί διαιρούνται σε τέσσερις παλμούς ίσης διάρκειας, οι οποίοι χρησιμοποιούνται από το μικροελεγκτή για το χρονισμό του. Οι τέσσερις παλμοί αποτελούν έναν κύκλο εντολής (ή κύκλο μηχανής). Αυτό σημαίνει ότι για να εκτελεστεί μία εντολή, απαιτείται χρόνος ίσος με $4/4\text{MHz}$, δηλαδή 1 μsec . Ενώ για την εκτέλεση μιας εντολής απαιτείται ένας κύκλος μηχανής (εκτός από τις εντολές άλματος, όπου απαιτούνται δύο κύκλοι), για την ανάκλησή της απαιτείται ένας ακόμη κύκλος. Έτσι, συνολικά απαιτούνται δύο κύκλοι μηχανής, όμως λόγω της μονάδας συνεχούς διοχέτευσης εντολών που διαθέτει ο μικροελεγκτής, τελικά απαιτείται μόνο ένας κύκλος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η συνολική διάρκεια μιας εντολής (διάρκεια ανάκλησης και εκτέλεσης) να είναι ίση με 1 μs .

4.5.7 Διακοπές (Interrupts)

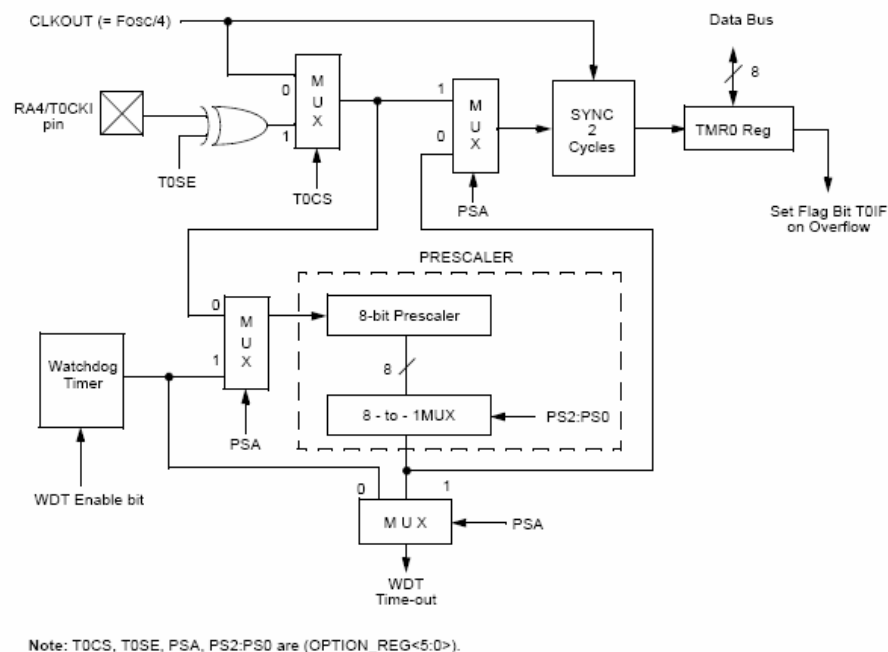
Το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου λειτουργίας του μικροελεγκτή (μE) χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση των περιφερειακών συσκευών του. Η εξυπηρέτηση γίνεται με τη μέθοδο των διακοπών. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, όταν μια περιφερειακή συσκευή χρειαστεί εξυπηρέτηση, ειδοποιεί τον μE , ενεργοποιώντας μια ακίδα που προορίζεται για αυτή τη χρήση. Ο μE τότε, αν απαντήσει θετικά στην απαίτηση για εξυπηρέτηση, σταματά την εκτέλεση του προγράμματος που εκτελείται εκείνη τη στιγμή και καλεί την υπορουτίνα που αναφέρεται στο συγκεκριμένο τύπο διακοπής. Όταν ολοκληρωθεί η εκτέλεση της υπορουτίνας, ο μE επιστρέφει στην εκτέλεση του προγράμματος που έχει διακοπεί.

Ο συγκεκριμένος μE παρέχει 13 τύπους διακοπών, οι σημαντικότερες των οποίων είναι οι εξής:

- Εξωτερική διακοπή στον ακροδέκτη PB0/INT (external interrupt)
- Διακοπή από υπερχειλίση του χρονιστή Timer0 (TMR0 Overflow Interrupt)
- Διακοπή από υπερχειλίση του χρονιστή Timer1 (Timer1 Overflow Interrupt)
- Διακοπή από υπερχειλίση του χρονιστή Timer2 (Timer2 Overflow Interrupt)
- Διακοπή λόγω αλλαγής κατάστασης ενός εκ των ακροδεκτών PORTB<7:4> (PORTB change interrupt)
- Διακοπές σειριακής θύρας (USART Interrupt)
- Διακοπή σειριακής λήψης (Receive Interrupt)
- Διακοπή σειριακής αποστολής (Transmit Interrupt)

4.5.8 Χρονιστές (Timers)

Πρόκειται για περιφερειακές συσκευές που αυξάνουν ή μειώνουν περιοδικά την τιμή ενός μετρητή ανάλογα με τη συχνότητα ενός ρολογιού. Ο μΕ PIC16F876 διαθέτει τρεις χρονιστές, οι δύο εκ των οποίων χρησιμοποιούν μετρητές των 8 bit και ο άλλος μετρητή μήκους 16 bit. Και οι τρεις χρονιστές παρέχουν τη δυνατότητα της διαίρεσης της συχνότητας. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιείται ο χρονιστής Timer0 (Εικόνα 4.18).



Εικόνα 4.18: Μπλοκ διάγραμμα του χρονιστή Timer0 [13]

Στην προηγούμενη εικόνα διακρίνεται ο επιλογέας κλίμακας χρονισμού (prescaler), ο οποίος μπορεί να προγραμματιστεί μέσω λογισμικού. Ο χρονιστής Timer0, όπως αναφέρθηκε, διαθέτει

μετρητή μήκους 8 bit που μπορεί να πάρει τιμές από 00h έως FFh. Μέσω του επιλογέα κλίμακας χρονισμού μπορεί να οριστεί ο χρόνος για την αύξηση ή μείωση του μετρητή κατά 1. Αυτό γίνεται μέσω των τριών λιγότερο σημαντικών bit του καταχωρητή OPTION_REG (Εικόνα 4.19).

PS2:PS0: Prescaler Rate Select bits

Bit Value	TMR0 Rate	WDT Rate
000	1 : 2	1 : 1
001	1 : 4	1 : 2
010	1 : 8	1 : 4
011	1 : 16	1 : 8
100	1 : 32	1 : 16
101	1 : 64	1 : 32
110	1 : 128	1 : 64
111	1 : 256	1 : 128

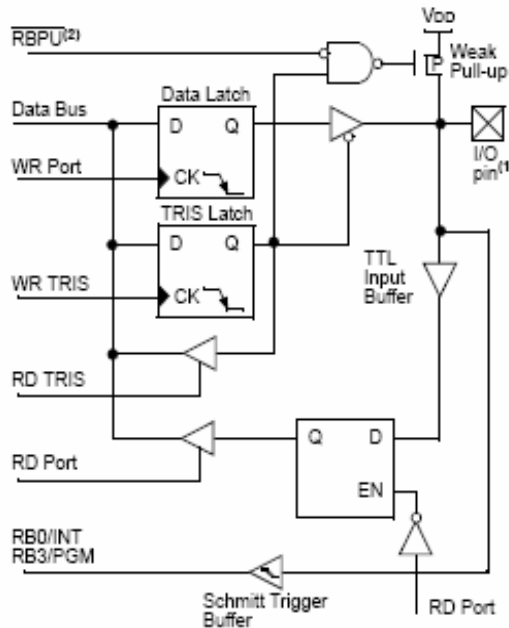
Εικόνα 4.19: Αντιστοιχία των τριών LSB του OPTION_REG με το λόγο του prescaler [13]

Στην παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκε κλίμακα χρονισμού 2, δηλαδή η αύξηση του μετρητή λαμβάνει χώρα κάθε 2 μsec και το συνολικό χρονικό διάστημα που απαιτείται για να μεταβεί ο μετρητής από την τιμή 0 στην τιμή 255 είναι 512 μsec ή 0,512 msec.

Κάνοντας χρήση της δυνατότητας εγγραψιμότητας του μετρητή, γίνεται αρχικοποίηση στην τιμή 6 ώστε ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι να ληφθεί η τιμή 255 να είναι ακριβώς 500 μsec . Η μετάβαση από την τιμή 255 στην τιμή 0 (υπερχείλιση) προκαλεί μία διακοπή κατά την οποία εξυπηρετούνται οι περιφερειακές συσκευές και εκτελούνται οι αλγόριθμοι του προγράμματος.

4.5.9 Θύρες Εισόδου/Εξόδου

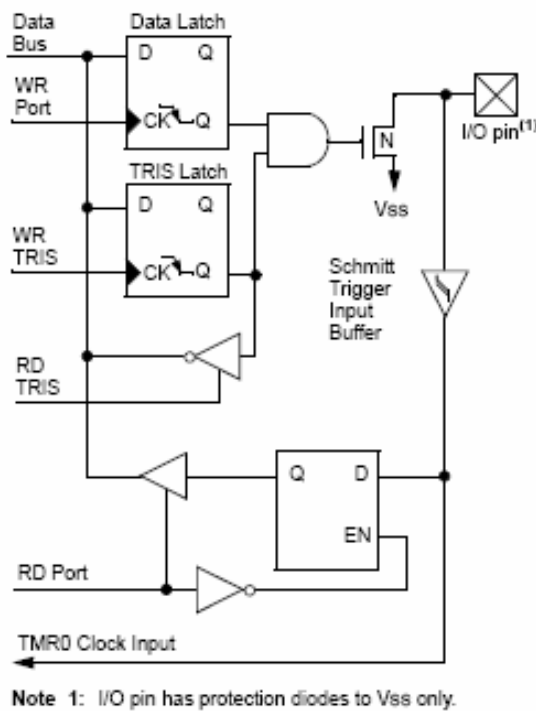
Οι θύρες αναφέρονται σε ένα σύνολο ακροδεκτών του μE (Εικόνα 4.20) οι οποίοι μπορούν να προσπελαστούν ταυτόχρονα, να τους αντιστοιχηθεί ένας συνδυασμός λογικών '0' και '1' ή να φανερώσουν την κατάσταση μιας περιφερειακής συσκευής που είναι συνδεδεμένη σε αυτούς. Σε φυσικό επίπεδο, η θύρα αποτελεί έναν καταχωρητή, ο οποίος συνδέεται με το μE . Χρησιμοποιείται για να παρακολουθήσει ή να ελέγξει την κατάσταση εξωτερικών συσκευών ή περιφερειακών.



Note 1: I/O pins have diode protection to VDD and VSS.
 Note 2: To enable weak pull-ups, set the appropriate TRIS bit(s) and clear the RBPU bit (OPTION_REG<7>).

Εικόνα 4.20: Μπλοκ διάγραμμα ακροδεκτών θύρας Εισόδου/Εξόδου [13]

Κάποιοι ακροδέκτες μάλιστα είναι δυνατό να έχουν και άλλη ιδιότητα, όπως για παράδειγμα ο ακροδέκτης RA4/TOCK1, ο οποίος είναι το τέταρτο bit της θύρας A αλλά και μία εξωτερική είσοδος για ένα μετρητή (Εικόνα 4.21). Η επιλογή του ρόλου του ακροδέκτη, γίνεται μέσω του κατάλληλου καταχωρητή του μΕ.



Note 1: I/O pin has protection diodes to VSS only.

Εικόνα 4.21: Μπλοκ διάγραμμα του ακροδέκτη RA4/TOCK1 [13]

Όλοι οι ακροδέκτες μιας θύρας μπορούν να συμπεριφερθούν ως είσοδοι ή έξοδοι. Η συμπεριφορά αυτή καθορίζεται από την τιμή του ανάλογου bit του καταχωρητή TRIS που αντιστοιχεί στη θύρα. Για παράδειγμα, ορίζοντας τιμή '1' στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο του καταχωρητή TRISB, ο πρώτος ακροδέκτης της θύρας B θα συμπεριφέρεται ως είσοδος για το μΕ.

Ο μΕ PIC16F876 έχει τρεις θύρες Εισόδου/Εξόδου (PortA, PortB, PortC) με 6, 8 και 8 ακροδέκτες αντίστοιχα.

4.5.10 Πομποδέκτης Σύγχρονης/Ασύγχρονης Επικοινωνίας (USART)

Ο πομποδέκτης σύγχρονης/ασύγχρονης επικοινωνίας (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter, USART) αποτελεί μία εκ των δυο μονάδων σειριακής Εισόδου/Εξόδου. Ο USART μπορεί να λειτουργήσει ως σύστημα ασύγχρονης και ταυτόχρονης διπλής κατεύθυνσης (full duplex asynchronous system), το οποίο μπορεί να επικοινωνήσει με περιφερειακές συσκευές, όπως τερματικά ή προσωπικούς υπολογιστές ή ως σύστημα σύγχρονης μονής κατεύθυνσης (half duplex synchronous system) το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα επικοινωνίας με περιφερειακές συσκευές όπως μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό, σειριακές μνήμες EEPROMs κ.ά.

Ο ρυθμός μετάδοσης των συμβόλων (baudrate) κατά τη σύγχρονη ή ασύγχρονη λειτουργία του USART παράγεται από τη γεννήτρια ρυθμού συμβόλων (Baud Rate Generator, BRG). Υποστηρίζονται ρυθμοί μέχρι και 57600 baud στην ασύγχρονη λειτουργία, θέτοντας την κατάλληλη τιμή στον καταχωρητή SPBRG. Η τιμή αυτή υπολογίζεται μέσω της φόρμουλας που παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.22).

SYNC	BRGH = 0 (Low Speed)	BRGH = 1 (High Speed)
0	(Asynchronous) Baud Rate = $F_{osc}/(64(X+1))$	Baud Rate = $F_{osc}/(16(X+1))$
1	(Synchronous) Baud Rate = $F_{osc}/(4(X+1))$	N/A

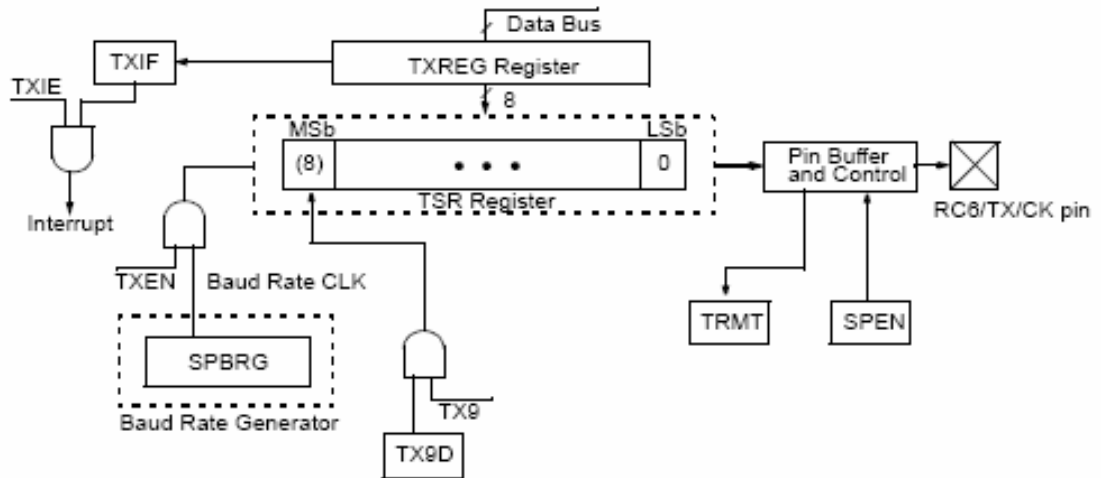
X = value in SPBRG (0 to 255)

Πίνακας 4.22: Φόρμουλα υπολογισμού της τιμής του καταχωρητή SPBRG [13]

Για τον υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη και το bit BRGH, το οποίο για χαμηλούς ρυθμούς τίθεται ίσο με 0 ενώ για υψηλούς ρυθμούς ίσο με 1. Η σωστή επιλογή παίζει σημαντικό ρόλο, διότι αποφεύγονται σημαντικά σφάλματα στους παραγόμενους από το μΕ ρυθμούς, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια πληροφορίας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, με συχνότητα ταλαντωτή τα 4MHz και επιθυμητό ρυθμό μετάδοσης συμβόλων 19200, προέκυψε τιμή 12 για τον καταχωρητή SPBRG με το bit BRGH ίσο με 1. Η απόκλιση στο παραγόμενο ρυθμό μετάδοσης είναι 0.16% που είναι αποδεκτή για την παρούσα εφαρμογή.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε μόνο ο πομπός ασύγχρονης επικοινωνίας (Εικόνα 4.23) για τη σύνδεση με τον προσωπικό υπολογιστή και το υποσύστημα RF. Το μεταδιδόμενο σήμα έχει κωδικοποίηση βασικής ζώνης τύπου NRZ (non-return-to-zero) και αποτελείται από πακέτα που περιέχουν ένα START bit, οκτώ bit δεδομένων και ένα STOP bit.

Αρχικά αποστέλλεται το λιγότερο σημαντικό bit. Δεν υποστηρίζεται ισοτιμία μέσω υλικού (hardware parity), αλλά μπορεί να υλοποιηθεί μέσω του λογισμικού.



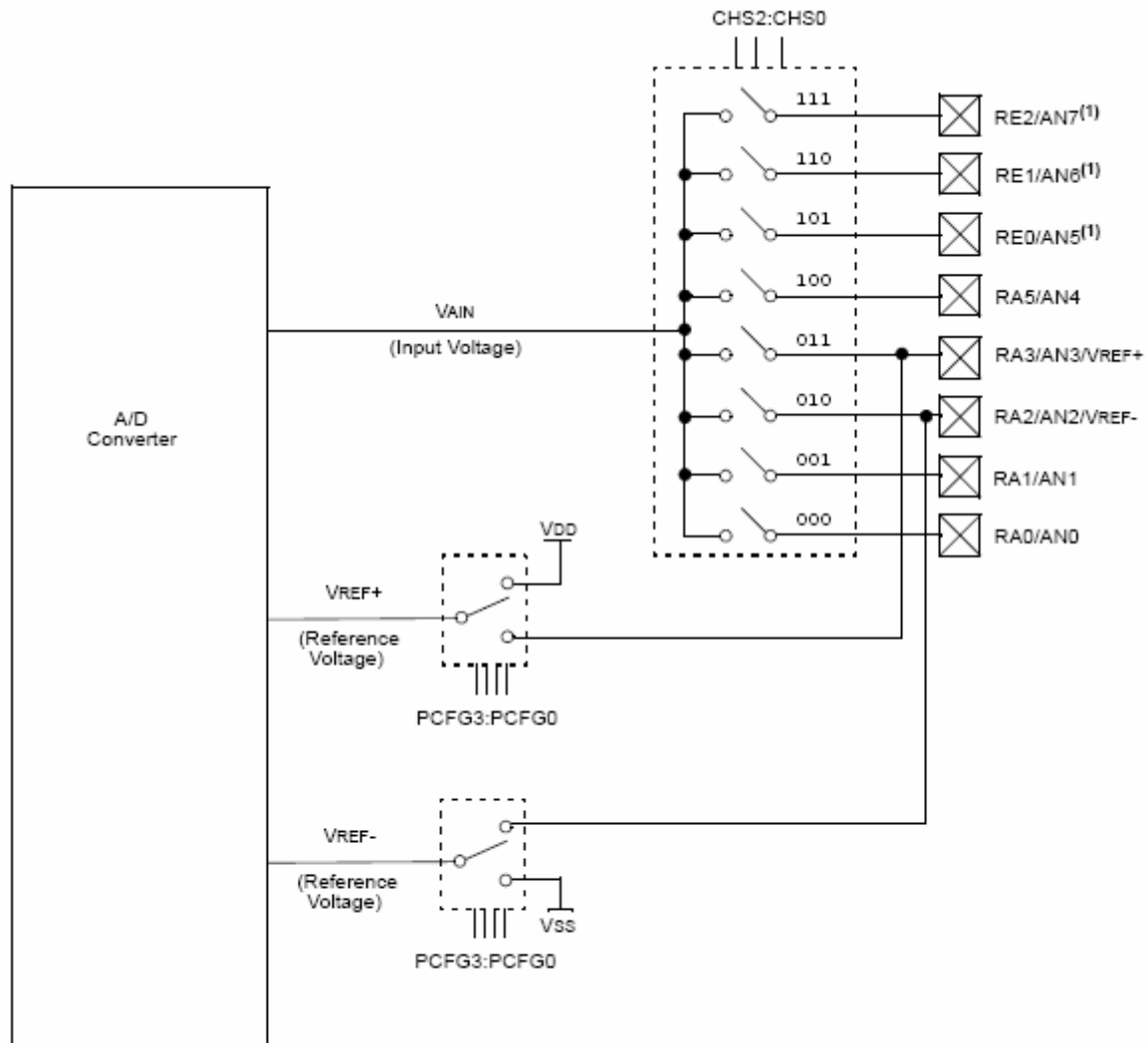
Εικόνα 4.23: Μπλοκ διάγραμμα πομπού USART [13]

Κατά την αποστολή των δεδομένων ο σειριακός καταχωρητής ολίσθησης (TSR) λαμβάνει τα δεδομένα από τον καταχωρητή ανάγνωσης/εγγραφής TXREG, ο οποίος φορτώνεται με δεδομένα μέσω του λογισμικού. Ο καταχωρητής TSR δεν μπορεί να λάβει νέα δεδομένα, αν δεν έχει μεταδοθεί και το STOP bit του προηγούμενου πακέτου. Για να πραγματοποιηθεί η μετάδοση πρέπει να ενεργοποιηθεί το bit TXEN (TXSTA<5>). Στην πραγματικότητα όμως, η μετάδοση λαμβάνει χώρα όταν ο καταχωρητής TXREG γεμίσει και η γεννήτρια ρυθμού συμβόλων (BRG) παράξει παλμούς ρολογιού χρονισμού.

Για την αποστολή σε προσωπικό υπολογιστή, στους ακροδέκτες εξόδου του μΕ συνδέεται το ολοκληρωμένο MAX232A το οποίο αυξάνει το πλάτος των μεταδιδόμενων σημάτων στα $\pm 12\text{Volt}$, ώστε να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές για σύνδεση με τη θύρα RS232.

4.5.11 Μετατροπές αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analog to digital converter)

Αν και οι μΕ είναι πολύ αποδοτικοί κατά την επεξεργασία ψηφιακών αριθμών, δεν μπορούν να χειριστούν άμεσα αναλογικά σήματα. Ο μετατροπές αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Εικόνα 4.24), μετατρέπει ένα αναλογικό επίπεδο τάσης σε ένα ψηφιακό αριθμό, τον οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει στη συνέχεια σε υπολογισμούς.



Note 1: Not available on PIC16F873/876 devices.

Εικόνα 4.24: Μπλοκ διάγραμμα μετατροπέα A/D 10 bit [13]

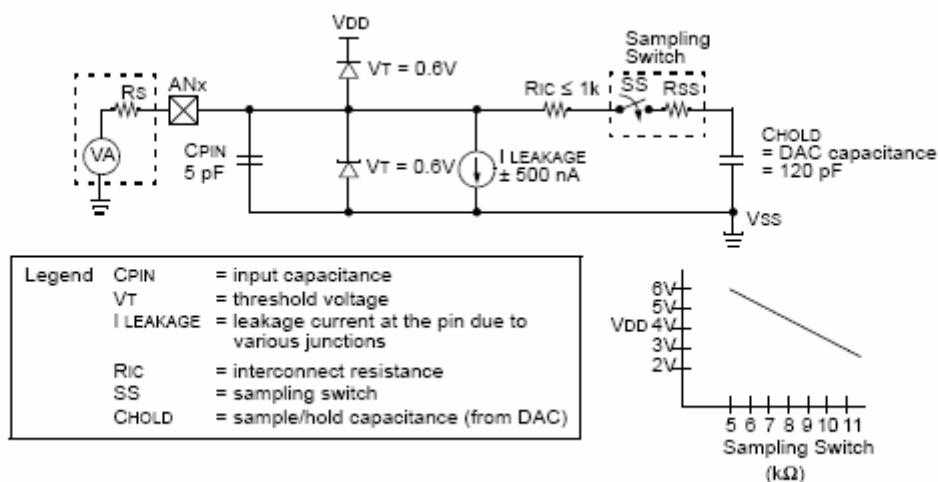
Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό είναι ικανός να εκτελεί μία ακριβή μετατροπή εφόσον η αναλογική τάση εισόδου είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια τάσης του μετατροπέα. Αν βρίσκεται εκτός των ορίων αυτών, τότε η μετατροπή θα έχει ανακριβή αποτελέσματα. Συνήθως τα όρια τάσης εισόδου φτάνουν μέχρι την τάση τροφοδοσίας του μE , όπως και στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Παρόλα αυτά είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και εξωτερικές τάσεις αναφοράς.

Στην έξοδο του μετατροπέα λαμβάνεται η κβαντισμένη απεικόνιση του αρχικού αναλογικού σήματος. Με τον όρο κβαντισμός εννοούμε την υποδιαίρεση μιας κλίμακας σε μικρά αλλά μετρήσιμα βήματα. Το επιτρεπόμενο εύρος αναλογικών τάσεων εισόδου υποδιαιρείται σε ένα αριθμό διαμερίσεων με σταθερό μήκος. Ο μετατροπέας καθορίζει την κατάλληλη διαμέριση στην οποία θα αντιστοιχηθεί η τάση εισόδου.

Ως διακριτότητα (resolution) ορίζεται ο αριθμός των δυνατών σταθμών της εξόδου του μετατροπέα. Έτσι, η μέγιστη στάθμη ενός μετατροπέα των 8 bit είναι το 255, η μέγιστη στάθμη

ενός μετατροπέα 10 bit είναι το 1023 κ.ο.κ. Επομένως όσο μεγαλύτερη είναι η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα, όσο δηλαδή μεγαλύτερο μήκος έχει ο ψηφιακός αριθμός που προκύπτει, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια που επιτυγχάνεται κατά τη μετατροπή, εφόσον η αρχική περιοχή των τάσεων παραμένει σταθερή. Αν και ο μE που χρησιμοποιήθηκε έχει διακριτικότητα 10 bit, στο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκαν τα σημαντικότερα 8 bit, γιατί η ακρίβεια που παρέχουν κρίθηκε ικανοποιητική.

Στην Εικόνα 4.25 δίνεται το απλοποιημένο κύκλωμα ενός A/D μετατροπέα. Σύμφωνα και με την προηγούμενη εικόνα (Εικόνα 4.24) ο μετατροπέας είναι σε θέση να επεξεργαστεί μία είσοδο κάθε φορά, η οποία επιλέγεται μέσω ενός αναλογικού πολυπλέκτη, ο οποίος τη συνδέει με τον πυκνωτή συγκράτησης (holding capacitor).



Εικόνα 4.25: Απλοποιημένο κύκλωμα A/D μετατροπέα [13]

Ο χρόνος ανάκτησης είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη φόρτιση του πυκνωτή συγκράτησης. Ο χρόνος αυτός πρέπει να επαρκεί ώστε η τάση στα άκρα του πυκνωτή να γίνει ίση με την αναλογική τάση εισόδου, διαφορετικά η μετατροπή θα είναι ανακριβής. Δύο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο ανάκτησης είναι η σύνθετη αντίσταση του αναλογικού πολυπλέκτη και η σύνθετη αντίσταση εξόδου της αναλογικής πηγής τάσης. Η αύξηση στην εμπέδηση της πηγής θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του απαιτούμενου χρόνου ανάκτησης. Η μέγιστη προτεινόμενη εμπέδηση εισόδου για τους πολυπλέκτες των 8 και 10 bits είναι τα 10K Ω .

Η μετατροπή αρχίζει με την εύρεση του περισσότερο σημαντικού bit (MSB) και τελειώνει με την εύρεση του λιγότερο σημαντικού δυαδικού ψηφίου (LSB). Για την εύρεση κάθε δυαδικού ψηφίου απαιτείται χρόνος ίσος με μια περίοδο του ρολογιού του μετατροπέα. Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη μετατροπή είναι ίσος με το άθροισμα του γινομένου του αριθμού των bit του μετατροπέα με την περίοδο του ρολογιού και δύο ή τριών ακόμα περιόδων που απαιτούνται για το χρόνο επαναφοράς (settling time). Μετά το πέρας της μετατροπής, το αποτέλεσμα γράφεται σε κατάλληλο καταχωρητή, ώστε να χρησιμοποιηθεί κατ' απαίτηση του μE .

Στο κύκλωμά μας, η συχνότητα του ρολογιού του μετατροπέα ορίστηκε ίση με το 1/8 της συχνότητας του εξωτερικού ταλαντωτή, δηλαδή ίση με 0.5MHz. Αν και αυτή είναι η μέγιστη συχνότητα δειγματοληψίας, επειδή η διακοπή κατά την οποία λαμβάνονται οι τιμές από τον μετατροπέα λαμβάνει χώρα κάθε 0.5 ms, ουσιαστικά η συχνότητα δειγματοληψίας είναι ίση με 2kHz.

Στην είσοδο του μετατροπέα οδηγείται η έξοδος του δεύτερου στάδιου ενίσχυσης του σήματος του αισθητήρα. Όπως αναφέρθηκε, για συνολική ενίσχυση ίση με 350, το παραγόμενο σήμα αντιστοιχεί σε 5.6V/Gauss. Αν θεωρηθεί ότι ένα όχημα προκαλεί διακύμανση της τάξης των 250 mGauss, τότε η μέγιστη απόλυτη μεταβολή της τάσης φτάνει τα 1.4Volt. Η διακύμανση αυτή λαμβάνει χώρα γύρω από την τιμή της βάσης ή αναφοράς, η οποία έχει οριστεί στα 2.5Volt και επειδή αντιστοιχεί ακριβώς στο μέσο της τάσης τροφοδότησης του μετατροπέα, σε ψηφιακή μορφή είναι το 128. Με απλές πράξεις υπολογίζεται ότι η μέγιστη τιμή της τάσης αντιστοιχεί στη ψηφιακή τιμή 200 και η ελάχιστη στην τιμή 56. Βέβαια, οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές, διότι η διακύμανση της έντασης μπορεί να είναι αρκετά μικρότερη των 250mGauss λόγω των νέων ελαφρύτερων υλικών που χρησιμοποιούν οι αυτοκινητοβιομηχανίες, τα οποία δεν έχουν τόσο ισχυρές φερομαγνητικές ιδιότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται αναλυτικά οι αλγόριθμοι που είναι υπεύθυνοι για την ανίχνευση και μέτρηση της μέσης ταχύτητας των οχημάτων καθώς και για τις υπόλοιπες λειτουργίες του μικροελεγκτή. Μετά την παρουσίαση των αλγορίθμων, γίνεται αναφορά στους λόγους που οδήγησαν στην επιλογή της γλώσσας με την οποία προγραμματίστηκε ο μικροελεγκτής.

5.2 Επιλογή ρυθμού δειγματοληψίας για την ανίχνευση οχημάτων

Κατά τη διέλευση ενός οχήματος πάνω από το σύστημα, προκαλείται διατάραξη του γήινου μαγνητικού πεδίου που αντιλαμβάνονται οι αισθητήρες. Η διαταραχή οφείλεται στα σιδηρομαγνητικά υλικά από τα οποία αποτελείται το όχημα. Η κύρια μάζα των σιδηρομαγνητικών υλικών μπορεί να υποθεθεί ότι είναι συγκεντρωμένη στη μηχανή και στους τροχούς, αρκεί το υλικό κατασκευής τους να μην είναι το αλουμίνιο. Για τις ανάγκες της ανάλυσης που ακολουθεί, θεωρείται ότι η μηχανή έχει μήκος τουλάχιστον ίσο με 60 cm.

Για να ανιχνευτεί ένα όχημα από την συσκευή με επιτυχία, απαιτείται η λήψη τριών τουλάχιστον δειγμάτων από το σύστημα, καθώς το όχημα διέρχεται πάνω από αυτό. Η ικανοποίηση αυτής της απαίτησης διασφαλίζει την επιτυχημένη ανίχνευση οχημάτων που κινούνται πολύ κοντά το ένα με το άλλο και με μικρή ταχύτητα. Μπορεί να υποθεθεί με ασφάλεια ότι αυτοκίνητα με ταχύτητες μεγαλύτερες των 20m/s ή 72 km/h, είναι μάλλον απίθανο να μην έχουν μία απόσταση ασφαλείας το ένα από το άλλο. Στην χειρότερη όμως περίπτωση, ο ρυθμός δειγματοληψίας των αισθητήρων πρέπει να είναι τουλάχιστον $(20 \text{ m/s} * 3 / 60 \text{ cm}) = 100 \text{ Hz}$, ώστε να ανιχνεύονται με επιτυχία οχήματα που κινούνται σε τόσο κοντινή απόσταση και να μην χάνονται ή μετρώνται παραπάνω οχήματα. Αυτή η τιμή της δειγματοληψίας επιτρέπει στο σύστημα να ανιχνεύει αυτοκίνητα με μήκος τουλάχιστον τριών μέτρων και ταχύτητα μέχρι και 200 km/h, προδιαγραφές που είναι ικανοποιητικές.

5.3 Μέτρηση ταχύτητας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για να μετρηθεί η ταχύτητα ενός οχήματος, είναι αναγκαία η ύπαρξη και ενός δεύτερου αισθητήρα, αφού οι πληροφορίες που μπορεί να δώσει ένα σύστημα που περιέχει έναν αισθητήρα αφορούν μόνο στην παρουσία, την κατεύθυνση και προσεγγιστικά στον τύπο του οχήματος.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας του ίδιου τύπου και μοντέλου ο οποίος τοποθετήθηκε στην ίδια ευθεία με τον άλλον και σε κοντινή απόσταση λόγω των περιορισμών που υπάρχουν για το μέγεθος της συσκευής. Η συσκευή πρέπει να τοποθετηθεί στο οδόστρωμα με τέτοιο τρόπο ώστε η ευθεία των αισθητήρων να είναι κατά το δυνατόν παράλληλη με την κατεύθυνση των οχημάτων που διέρχονται από πάνω της. Το κύκλωμα οδήγησης και ενίσχυσης του δεύτερου αισθητήρα είναι ακριβώς ίδιο με αυτό του πρώτου, έτσι ώστε οι λαμβανόμενες μαγνητικές υπογραφές των δύο αισθητήρων να είναι όμοιες. Αυτό που ενδιαφέρει είναι η σύγκριση των υπογραφών στο πεδίο του χρόνου. Όταν ένα αυτοκίνητο προσεγγίζει τη συσκευή, προκαλεί διαταραχή στο μαγνητικό πεδίο που ανιχνεύεται αρχικά από τον πρώτο αισθητήρα. Στη συνέχεια, όταν προσεγγίσει περισσότερο τη συσκευή θα εισέλθει στην περιοχή του μαγνητικού πεδίου που αντιλαμβάνεται ο δεύτερος αισθητήρας, προκαλώντας όμοια διαταραχή. Ο χρόνος μεταξύ των δύο αυτών διαταραχών είναι το απαραίτητο μέγεθος για την εύρεση της ταχύτητας του οχήματος. Για την απλούστευση των υπολογισμών, μπορεί να θεωρηθεί ότι η ταχύτητα του οχήματος, κατά την διέλευση πάνω από τη συσκευή, είναι ευθύγραμμη ομαλή, δηλαδή δίνεται από τον τύπο $v = s / t$. Η θεώρηση αυτή δεν επηρεάζει ουσιαστικά την ακρίβεια των υπολογισμών, καθώς η απόσταση μεταξύ των αισθητήρων είναι αρκετά μικρή.

5.3.1 Απόσταση αισθητήρων και ρυθμός δειγματοληψίας για μέτρηση ταχύτητας οχήματος

Ο ρυθμός δειγματοληψίας και η απόσταση των αισθητήρων είναι δύο παράγοντες που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη σωστή και αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος. Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν κυρίως την ακρίβεια της μετρούμενης ταχύτητας. Ωστόσο, κατά την επιλογή τους, πρέπει να ληφθούν υπόψιν περιορισμοί που οφείλονται σε τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως το απαιτούμενο μέγεθος του συστήματος και οι δυνατότητες του μικροεπεξεργαστή που χρησιμοποιήθηκε.

Για την απόκτηση των μαγνητικών υπογραφών γίνεται δειγματοληψία της εξόδου των αισθητήρων σε τακτά χρονικά διαστήματα. Συχνή δειγματοληψία έχει ως αποτέλεσμα λεπτομερέστερη μαγνητική υπογραφή και κατά συνέπεια μικρότερη πιθανότητα λάθους κατά την ανίχνευση οχήματος και εκτίμηση ταχύτητας. Η συχνότητα δειγματοληψίας καθορίζεται από τις διακοπές λόγω υπερχειλίσης του χρονιστή Timer0 του μικροελεγκτή. Για την εύρεση της ταχύτητας, καταγράφεται ο αριθμός των διακοπών του χρονιστή από την στιγμή που γίνεται η ανίχνευση του οχήματος στον πρώτο αισθητήρα έως ότου γίνει ανίχνευση και από τον δεύτερο. Ο αριθμός των διακοπών που καταγράφεται, χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την εύρεση του χρονικού διαστήματος t μεταξύ των διαδοχικών ανιχνεύσεων μέσω του τύπου $t = (\text{αριθμός διακοπών} \times 1/\text{συχνότητα δειγματοληψίας})$. Αφού βρεθεί ο χρόνος t , είναι δυνατός ο υπολογισμός

της ταχύτητας του οχήματος μέσω του τύπου $v = \text{απόσταση αισθητήρων} / \text{χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών ανιχνεύσεων}$.

Πριν επιλεγούν οι τιμές του ρυθμού δειγματοληψίας και της απόστασης των δύο αισθητήρων, είναι αναγκαίο να τεθούν κάποια όρια ταχυτήτων ανάμεσα στα οποία το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί ικανοποιητικά. Τα όρια αυτά εξαρτώνται από τις συνθήκες κυκλοφορίας στην περιοχή όπου θα χρησιμοποιηθεί το σύστημα. Θεωρώντας ότι θα χρησιμοποιηθεί σε αστική περιοχή, πρέπει να είναι σε θέση να δίνει ακριβείς μετρήσεις για αυτοκίνητα που κινούνται με μέγιστη ταχύτητα τα 140 km/h ή 38.9 m/s και με ελάχιστη το 1 km/h ή 0.27 m/s. Αν και υπάρχει κατώτερο όριο ταχύτητας, το σύστημα θα πρέπει να ανιχνεύει και οχήματα που εισέρχονται στην περιοχή παρακολούθησης και ακινητοποιούνται για κάποια ώρα. Αυτό είναι δυνατό να συμβεί σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης ή όταν το σύστημα είναι τοποθετημένο κοντά σε κάποιο φωτεινό σηματοδότη.

Ο επόμενος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι οι όσο το δυνατόν μικρότερες διαστάσεις της συσκευής. Το μέγεθός της πρέπει να είναι μικρό ώστε η εγκατάσταση στο οδόστρωμα να είναι εύκολη και να μην επηρεάζει την ποιότητά του. Ωστόσο, η απαίτηση αυτή οδηγεί στη μείωση της απόστασης των δύο αισθητήρων. Επομένως πρέπει να βρεθεί η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των αισθητήρων, η οποία θα εγγυάται την απροβλημάτιστη λειτουργία του συστήματος.

Όπως αναφέρθηκε, η επιλογή του ρυθμού δειγματοληψίας καθορίζεται από τις δυνατότητες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή. Στο κύκλωμα που σχεδιάστηκε, για τον χρονισμό του μικροελεγκτή έγινε χρήση ενός κρυστάλλου στα 4MHz, με αποτέλεσμα η ελάχιστη διάρκεια εκτέλεσης μιας εντολής να είναι 1 μsec. Η εκτέλεση όλων των εντολών που απαιτούνται από τους αλγόριθμους του προγράμματος, πρέπει να γίνει στο διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διακοπών του χρονιστή Timer0. Το διάστημα αυτό πρέπει να επαρκεί για την πραγματοποίηση όλων των εντολών. Η πραγματοποίηση πολύπλοκων πράξεων (πολλαπλασιασμοί, διαιρέσεις, συγκρίσεις) που περιλαμβάνουν ορισμένοι αλγόριθμοι, είναι διαδικασία σχετικά χρονοβόρα. Για παράδειγμα, η διαίρεση δύο αριθμών 16 bit καταναλώνει 65μsec από τον διαθέσιμο χρόνο [16]. Για να υπάρχει αρκετός χρόνος για την εκτέλεση των πράξεων και όλων των εντολών, επιλέχθηκε ο χρόνος διακοπής να είναι ίσος με 0.5 ms. Κατά συνέπεια ο ρυθμός δειγματοληψίας προκύπτει ίσος με 2 kHz.

Έχοντας ορίσει τη συχνότητα δειγματοληψίας του μικροελεγκτή, είναι δυνατός ο υπολογισμός της απόστασης των αισθητήρων. Αρχικά, στην οριακή περίπτωση όπου η ταχύτητα του οχήματος είναι 160 km/h ή 44.4 m/s, η ελάχιστη απόσταση των αισθητήρων που απαιτείται για την εύρεση της ταχύτητας είναι 2.22 cm. Για μέτρηση ταχύτητας με ικανοποιητική ακρίβεια, όπως φαίνεται από τον πίνακα 1, 9 δείγματα είναι αρκετά, οπότε η απόσταση των αισθητήρων μπορεί να οριστεί στα 20 cm και η μέση ταχύτητα προκύπτει ως εξής:

$$\bar{u} = \frac{\text{απόσταση αισθητήρων}}{\text{χρόνος για την ενεργοποίησή τους}} = \frac{20\text{cm}}{\text{αριθμός διακοπών} \times 500\mu\text{s}} \Rightarrow$$

$$\bar{u} = \frac{0.2 \cdot 10^{-3} \text{ km}}{\text{αριθμός διακοπών} \times (0.0005 / 3600 \text{ h})} \Rightarrow \bar{u} = \frac{1440}{\text{αριθμός διακοπών}} \text{ km / h}$$

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1) φαίνεται η ταχύτητα που προκύπτει με βάση τον αριθμό των δειγμάτων, όπως προκύπτει από τις παραπάνω πράξεις.

Πίνακας 1. Υπολογισμός ταχυτήτων βάσει του αριθμού δειγμάτων

Αριθμός δειγμάτων	Ταχύτητα (km/h)
6	240.00
8	180.00
9	160.00
10	144.00
12	120.00
14	102.86
16	90.00
18	80.00
20	72.00
22	65.45
24	60.00
26	55.38
28	51.43
30	48.00
32	45.00
36	40.00
38	37.89
40	36.00
48	30.00
60	24.00
72	20.00
80	18.00
90	16.00
92	15.65
96	15.00
120	12.00
144	10.00
160	9.00
180	8.00
360	4.00
720	2.00
1440	1.00

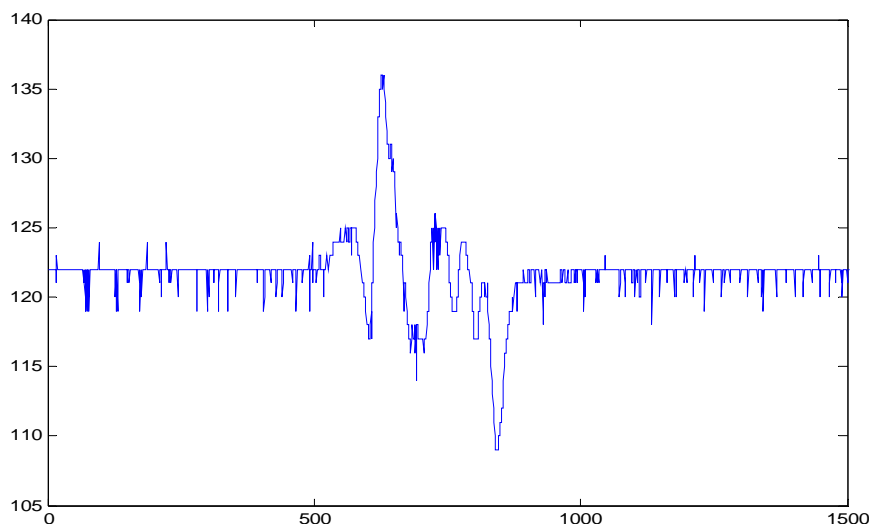
Όπως φαίνεται στον πίνακα, η ακρίβεια της ταχύτητας που υπολογίζει το σύστημα, μειώνεται σημαντικά όταν λαμβάνονται λιγότερα από έξι δείγματα ή αντίστοιχα όταν η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από 240 km/h. Από την άλλη πλευρά όμως, όταν περισσότερα δείγματα είναι διαθέσιμα, επιτυγχάνεται σημαντική ακρίβεια. Η συμπεριφορά της συσκευής κρίνεται ικανοποιητική, δεδομένου ότι προορίζεται κυρίως για παρακολούθηση της κυκλοφορίας σε αστικά κέντρα, όπου το ανώτατο όριο ταχύτητας είναι 60 km/h.

5.4 Αλγόριθμοι

Στη συνέχεια περιγράφονται οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα του μικροελεγκτή (firmware) [Παράρτημα Ε].

5.4.1 Αλγόριθμος αρχικοποίησης συστήματος

Η συμπεριφορά και η απόδοση του συστήματος εξαρτάται άμεσα από τις συνθήκες που επικρατούν στο τοποθεσία όπου πραγματοποιείται η εγκατάστασή του. Η ύπαρξη σιδηρομαγνητικών αντικειμένων, όπως για παράδειγμα καπάκια αποχετεύσεων, προστατευτικά διαχωριστικά λωρίδων κυκλοφορίας και διάφορα μεταλλικά αντικείμενα στο πεδίο αντίληψης των αισθητήρων, αλλάζουν τα δεδομένα του γήινου μαγνητικού πεδίου που μετράται όταν δεν διέρχονται οχήματα. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να ληφθούν υπόψιν ώστε να μην επηρεάζουν τις μετρήσεις και να μην προκαλούν εσφαλμένα αποτελέσματα. Για το σκοπό αυτό, αμέσως μετά την τροφοδότηση του συστήματος, εκτελείται ένας αλγόριθμος για την αρχικοποίησή του.



Σχήμα 5.1: Μαγνητική υπογραφή οχήματος ταχύτητας 40 km/h

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 5.1) φαίνεται η έξοδος ενός αισθητήρα κατά την διέλευση ενός οχήματος με ταχύτητα 40 km/h. Αυτή η γραφική παράσταση δίνει τις τιμές της έντασης του γήινου μαγνητικού πεδίου που αντιλαμβάνεται ο αισθητήρας (κατακόρυφος άξονας) συναρτήσει

των αριθμό των bytes που στέλνονται από τον μικροελεγκτή στον υπολογιστή (οριζόντιος άξονας).

Οι τιμές της έντασης του μαγνητικού πεδίου έχουν μετατραπεί σε διαφορική τάση, με τάση αναφοράς τα 2.5Volt, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω. Στη συνέχεια, το αποτέλεσμα έχει εισαχθεί στον μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, που βρίσκεται στο μικροελεγκτή. Άρα το αναλογικό σήμα, η διαφορά τάσης δηλαδή, μεταξύ της εξόδου του αισθητήρα και των 2.5 Volt της τάσης αναφοράς, μετατρέπεται σε ένα ψηφιακό δυαδικό αριθμό μήκους 8 bit, ενός byte.

Κατά τη συγκεκριμένη μέτρηση, ο ρυθμός δειγματοληψίας του αισθητήρα είχε καθοριστεί στα 500 Hz, δηλαδή λαμβανόταν ένα byte κάθε 2ms. Επομένως η συνολική διάρκεια της μέτρησης ήταν $(3000 \text{ bytes} \times 2 \text{ ms}) = 6 \text{ seconds}$ και κάθε διαμέριση του οριζόντιου άξονα ανά 500 bytes ισοδυναμεί με $(500 \text{ bytes} \times 2 \text{ ms})$

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η τάση τροφοδοσίας του μικροελεγκτή είναι τα 5 Volt, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο μετατροπέας είναι δυνατόν να παράγει ψηφιακά σήματα για αναλογικές τάσεις εισόδου από 0 έως 5 Volt. Τα σήματα αυτά έχουν τιμές από 0 έως 255, λόγω του ότι το μήκος του παραγόμενου ψηφίου είναι 8 bit. Επομένως η τάση αναφοράς, που εισάγεται στο μετατροπέα όταν δεν υπάρχει αντικείμενο που να προκαλεί διαταραχή του μετρούμενου μαγνητικού πεδίου, αντιστοιχεί στην τιμή 127, αφού βρίσκεται ακριβώς στη μέση του δυνατού εύρους τιμών. Κάθε σημείο με τεταγμένη πάνω από το 127, αντιστοιχεί σε θετική τάση εξόδου του αισθητήρα, ενώ κάθε σημείο κάτω του 127, αντιστοιχεί σε αρνητική τάση εξόδου.

Η τιμή 127 λαμβάνεται μόνο εφόσον η έξοδος του αισθητήρα είναι μηδενική. Αυτό όμως δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα, διότι το γήινο μαγνητικό πεδίο προκαλεί μία μικρή διαφορά τάσης της τάξεως των -25mV στην έξοδο του αισθητήρα, ανάλογα με τον προσανατολισμό του και το γεωμετρικό πλάτος της περιοχής όπου είναι τοποθετημένος. Επιπρόσθετα, είναι δυνατόν να υπάρχουν κάποια αντικείμενα στο εγγύς πεδίο που διαταράσσουν την ομοιομορφία του μαγνητικού πεδίου και προκαλούν μία μόνιμη μετατόπιση στον κατακόρυφο άξονα. Η ύπαρξη των αντικειμένων αυτών είναι που ενδιαφέρει ιδιαίτερα, διότι μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες μετρήσεις. Η επιρροή των μόνιμα τοποθετημένων σιδηρομαγνητικών αντικειμένων στο πεδίο μετρήσεων των αισθητήρων, εκφράζεται ως ανύψωση ή μείωση της έντασης του μαγνητικού πεδίου. Επομένως, υπάρχει μία απόκλιση από την αναμενόμενη τιμή (τιμή βάσης, baseline) που λαμβάνεται στην έξοδο του μετατροπέα, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 5.1), όπου η τιμή της βάσης σε ψηφιακή μορφή είναι περίπου 121.

Αυτή η μόνιμη μεταβολή, η οποία εξαρτάται αποκλειστικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής μετρήσεως των αισθητήρων, πρέπει να ληφθεί υπόψιν, επειδή όπως θα δειχτεί στο επόμενο υποκεφάλαιο, παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιτυχημένη ανίχνευση των διερχόμενων οχημάτων και κατά συνέπεια στην εύρεση της μέσης ταχύτητάς τους.

Για το σκοπό αυτό, όταν γίνει η τροφοδότηση του συστήματος, πραγματοποιείται ανίχνευση της μέσης τιμής του μετρούμενου πεδίου για τον κάθε αισθητήρα για 10 περίπου δευτερόλεπτα. Ο

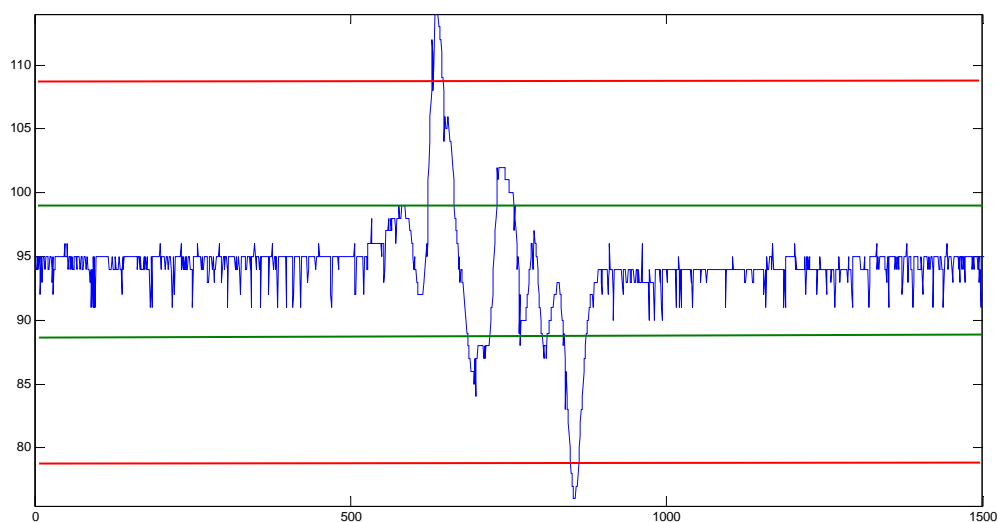
λόγος για τον οποίο υπολογίζεται η μέση τιμή για τον κάθε αισθητήρα ξεχωριστά, είναι ότι, αν και τα κυκλώματα ενίσχυσης τους είναι όμοια, η τάση αναφοράς και η τελική έξοδος (δηλαδή μετά τα δύο στάδια ενίσχυσης) του κάθε υποσυστήματος είναι δυνατό να διαφέρουν. Η κυριότερη αιτία μπορεί να εντοπιστεί σε τυχόν διαφορές των τιμών των ρυθμιζόμενων αντιστάσεων για την τάση αναφοράς και το δεύτερο στάδιο ενίσχυσης του κάθε αισθητήρα. Επιπλέον, είναι δυνατόν να επηρεάσουν κατασκευαστικές διαφορές στα τοποθετημένα εξαρτήματα, αλλά και η παρουσία άλλων ηλεκτρονικών συστημάτων κοντά στους αισθητήρες.

Αμέσως μετά, υπολογίζονται οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την ανίχνευση των οχημάτων και τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητάς τους.

5.4.2 Αλγόριθμος ανίχνευσης οχήματος

Ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί το πιο σημαντικό κομμάτι του προγράμματος. Η ανίχνευση ενός οχήματος γίνεται μέσω της μαγνητικής του υπογραφής που λαμβάνεται από το σύστημα των αισθητήρων.

Η μαγνητική υπογραφή ενός αντικειμένου, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, απεικονίζει την διατάραξη που αυτό προκαλεί στην ένταση του γήινου μαγνητικού πεδίου που το περιβάλλει. Κατά την προσέγγιση ενός οχήματος στο πεδίο που αντιλαμβάνεται ο αισθητήρας, οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου συγκλίνουν, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση στην ένταση του μετρούμενου μαγνητικού πεδίου. Όταν το όχημα απομακρύνεται από τον αισθητήρα, παρατηρείται απόκλιση των μαγνητικών γραμμών του πεδίου και κατά συνέπεια μείωση της μετρούμενης έντασης. Η διατάραξη αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.2). Αν όμως η τοποθέτηση του συστήματος των αισθητήρων έχει ως αποτέλεσμα την αντίρροπη φορά της κατεύθυνσης του οχήματος και του άξονα ευαισθησίας των αισθητήρων τότε οι τιμές του μετρούμενου μαγνητικού πεδίου θα ήταν αντίθετες.



Σχήμα 5.2: Μαγνητική υπογραφή διερχόμενου οχήματος

Κατά την προσέγγιση στον αισθητήρα όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 5.2) η σύγκλιση των μαγνητικών γραμμών προκαλεί την αύξηση της έντασης του μαγνητικού πεδίου [17]. Η αύξηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός μέγιστου, το οποίο εξαρτάται από το μέγεθος και τη μαγνήτιση των σιδηρομαγνητικών υλικών. Όπως αναφέρθηκε, τα μέρη ενός οχήματος που προκαλούν τη σημαντικότερη διατάραξη στο μαγνητικό πεδίο είναι η μηχανή του και οι άξονες των τροχών. Επομένως η μέγιστη τιμή της έντασης που καταγράφεται στη μαγνητική υπογραφή αποτελεί ταυτόχρονα μια ένδειξη για τον τύπο του οχήματος. Για παράδειγμα ένα όχημα μικρομεσαίας κατηγορίας θα προκαλέσει μικρότερη διαταραχή από την αντίστοιχη ενός οχήματος μεγάλης κατηγορίας ή ενός φορτηγού το οποίο αποτελείται από ισχυρότερα σιδηρομαγνητικά υλικά.

Κατά την απομάκρυνση από τον αισθητήρα, οι μαγνητικές γραμμές αποκλίνουν, γεγονός που αποτυπώνεται στην μαγνητική υπογραφή του οχήματος ως ένα βύθισμα. Η απόκλιση από τη μέση τιμή του μετρούμενου μαγνητικού πεδίου όταν δεν διέρχεται όχημα (τιμή βάσης, baseline) είναι περίπου ίση με αυτή που παρατηρείται κατά την προσέγγιση του οχήματος. Όταν το όχημα απομακρυνθεί από την περιοχή που αντιλαμβάνεται ο αισθητήρας, τότε η έξοδος του επανέρχεται στην τιμή που αντιστοιχεί στην ένταση του γήινου μαγνητικού πεδίου που τον περιβάλλει.

Για την ανίχνευση των οχημάτων εξετάζονται οι τιμές που εξάγονται από το μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακού σήματος. Η προσεκτική μελέτη των μαγνητικών υπογραφών οχημάτων έχει οδηγήσει στον καθορισμό κατωφλίων (thresholds) η σύγκριση των οποίων με τις τιμές του ομοιόμορφου γήινου μαγνητικού πεδίου, φανερώνει αν έγινε διέλευση κάποιου οχήματος [18].

Συγκεκριμένα έχει παρατηρηθεί ότι η μέγιστη τιμή της απόκλισης από τη μέση τιμή της έντασης του γήινου μαγνητικού πεδίου, κατά τη διέλευση ενός οχήματος πάνω από έναν αισθητήρα, είναι περίπου ίση με 250 mGauss [6]. Επιπλέον, καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων καταγράφεται θόρυβος, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια διακύμανση μέγιστης τιμής πλάτους ίσης με 50 mGauss, γύρω από τη baseline. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν με όχημα μοντέλου Golf, έτους κατασκευής 2003 της εταιρίας Volkswagen.

Για την ανίχνευση του οχήματος, εξετάζονται μία προς μία οι τιμές που παράγει ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και συγκρίνονται με την τιμή της baseline. Η τιμή αυτή προκύπτει από την εκτέλεση του αλγόριθμου αρχικοποίησης του συστήματος. Κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου αυτού υπολογίζονται οι τιμές των κατωφλίων που θα χρησιμοποιηθούν. Ειδικότερα, για κάθε αισθητήρα χρειάζονται τέσσερα κατώφλια εκτός από την τιμή της βάσης. Τα δύο από αυτά καθορίζουν τη μέγιστη απόκλιση από τη βάση λόγω θορύβου. Έτσι για τη θετική απόκλιση ορίζεται η μεταβλητή `noise_upper1` και `noise_upper2` για τον κάθε αισθητήρα αντίστοιχα, ενώ για την αρνητική απόκλιση ορίζονται οι μεταβλητές `lower_noise1` και `lower_noise2`. Τα κατώφλια αυτά φαίνονται στο προηγούμενο σχήμα (Σχήμα 5.2) με πράσινο χρώμα. Το κατώφλια που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των οχημάτων είναι τα `trigger_upper1` και `trigger_lower1` για τον πρώτο αισθητήρα και `trigger_upper2` και `trigger_lower2` για τον δεύτερο αισθητήρα. Όλες οι προαναφερθείσες μεταβλητές υπολογίζονται

στον αλγόριθμο αρχικοποίησης του συστήματος διότι εξαρτώνται από την τιμή της βάσης για τον κάθε αισθητήρα. Οι διαφορές από την τιμή της βάσης, που χρησιμοποιούνται κατά τους υπολογισμούς, έχουν προκύψει έπειτα από μετρήσεις, οι οποίες παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου ανίχνευσης χρησιμοποιείται μία μεταβλητή κατάστασης, η οποία φανερώνει την τρέχουσα κατάσταση της ανίχνευσης. Η μεταβλητή αυτή, είναι δυνατόν να λάβει μία από τις παρακάτω τιμές:

- `not_triggered`: Δεν έχει διέλθει κάποιο όχημα ώστε να ξεπεραστεί κάποιο από τα κατώφλια `trigger_upper` ή `trigger_lower`.
- `waiting_for_rise`: Έχει ανιχνευθεί βύθισμα στη μαγνητική υπογραφή και άρα αναμένεται ένα ανέβασμα ώστε να επιβεβαιωθεί η διέλευση ενός οχήματος.
- `waiting_for_dip`: Έχει ανιχνευθεί ανέβασμα στη μαγνητική υπογραφή και άρα αναμένεται ένα βύθισμα ώστε να επιβεβαιωθεί η διέλευση ενός οχήματος.
- `triggered_on_rise`: Ανιχνεύθηκε ανέβασμα μετά από βύθισμα με αποτέλεσμα να αυξηθεί ο μετρητής διερχόμενων οχημάτων κατά ένα.
- `triggered_on_dip`: Ανιχνεύθηκε βύθισμα μετά από ανέβασμα με αποτέλεσμα να αυξηθεί ο μετρητής διερχόμενων οχημάτων κατά ένα.

Αρχικά το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση `not_triggered`, δηλαδή η ένταση του μαγνητικού πεδίου δεν έχει ξεπεράσει κάποιο από τα κατώφλια, γεγονός που θα υποδήλωνε την παρουσία κάποιου οχήματος. Όταν ένα όχημα εισέλθει στο πεδίο το οποίο αντιλαμβάνεται ο αισθητήρας, η έντασή του θα μεταβληθεί και η μεταβολή αυτή θα καταγραφεί από τον αισθητήρα. Αν η μεταβολή είναι τόσο μεγάλη ώστε να ξεπεραστεί ένα από τα κατώφλια, τότε το σύστημα αλλάζει κατάσταση και μεταβαίνει στην κατάσταση `waiting_for_rise` ή `waiting_for_dip` ανάλογα με το αν έχει προκληθεί μείωση ή αύξηση στην ένταση του μαγνητικού πεδίου λόγω της εισόδου του οχήματος. Κατά την έξοδο του οχήματος από την περιοχή που αντιλαμβάνεται ο αισθητήρας αναμένεται ανάλογη μεταβολή της έντασης του μαγνητικού πεδίου αλλά κατά την αντίθετη φορά. Έτσι, αν κατά την είσοδο η ένταση του πεδίου αυξήθηκε, κατά την έξοδο αναμένεται ανάλογη μείωση και το αντίστροφο. Ο αλγόριθμος εκμεταλλεύεται αυτό το γεγονός για την ανίχνευση του οχήματος. Επομένως αν μετά από ανέβασμα ακολουθεί βύθισμα ή το αντίθετο, με την προϋπόθεση ότι υπερβαίνονται τα κατώφλια που έχουν οριστεί, το σύστημα συμπεραίνει ότι ένα όχημα πέρασε από το πεδίο ανίχνευσής του.

Ο αριθμός των οχημάτων αποθηκεύεται σε μία μεταβλητή, η τιμή της οποίας θα σταλεί στο σύστημα συλλογής πληροφοριών μετά από ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η μεταβλητή αυτή χρησιμοποιείται, όπως θα δειχθεί στη συνέχεια, και για την εύρεση της μέσης ταχύτητας των οχημάτων που ανιχνεύτηκαν από τη στιγμή που ξεκίνησε η συγκεκριμένη σειρά μετρήσεων.

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης οχημάτων δεν χρειάζεται να εκτελείται δύο φορές, μία για τον κάθε αισθητήρα. Εφόσον ο ένας αισθητήρας αντιλήφθηκε τη διέλευση οχήματος δεν υπάρχει η ανάγκη να γίνει το ίδιο και για τον δεύτερο, καθώς η απόστασή τους είναι πολύ μικρή και αναμένεται να προκύπτουν τα ίδια αποτελέσματα από τις μετρήσεις. Παρόλα αυτά, όπως θα φανεί κατά την ανάλυση του αλγόριθμου εύρεσης μέσης ταχύτητας, οι τιμές των μεταβλητών που προκύπτουν από την εκτέλεση του αλγορίθμου ανίχνευσης και στους δύο αισθητήρες, είναι αναγκαίες για τον υπολογισμό της ταχύτητας.

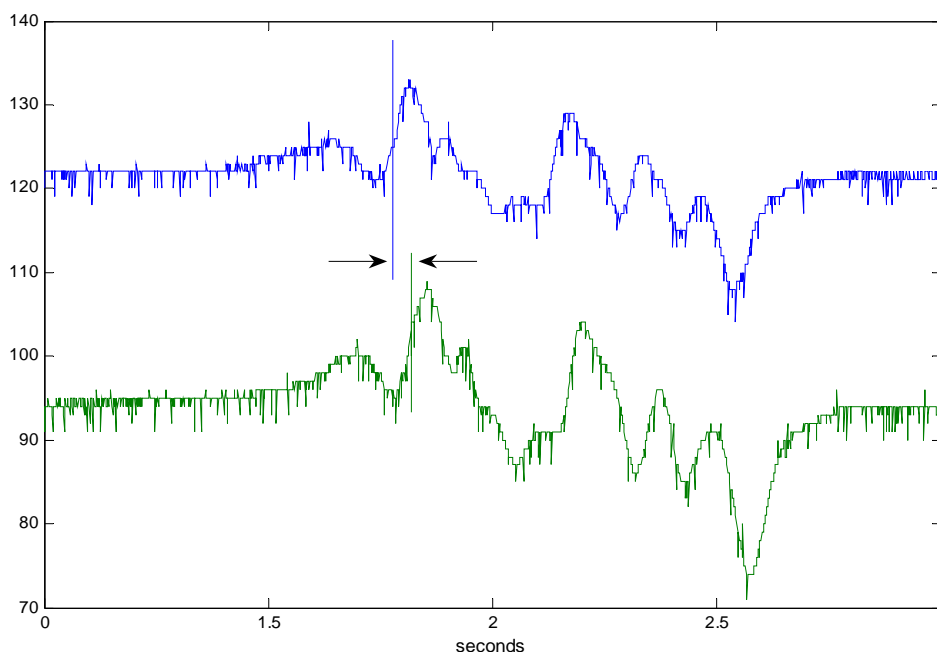
5.4.3 Αλγόριθμος εύρεσης μέσης ταχύτητας

Το σύστημα, όπως έχει αναφερθεί, συλλέγει δεδομένα για τα στοιχεία του γήινου μαγνητικού πεδίου της περιοχής όπου έχει τοποθετηθεί και αφού τα επεξεργάζεται, παράγει συμπεράσματα για τον αριθμό των οχημάτων και τη μέση ταχύτητά τους. Η διαδικασία αυτή είναι επαναλαμβανόμενη και με σχετικά μεγάλη συχνότητα, έτσι ώστε να συλλέγονται πληροφορίες σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Η περίοδος της είναι περίπου 90 δευτερόλεπτα.

Το σύστημα πρέπει να υπολογίσει ποια είναι η μέση ταχύτητα των οχημάτων που έχει ανιχνεύσει στα 90 δευτερόλεπτα που διαρκεί μια σειρά μετρήσεων. Η μέση ταχύτητα είναι επομένως ίση με το πηλίκο (άθροισμα ταχυτήτων οχημάτων που ανιχνεύτηκαν από το σύστημα / αριθμός οχημάτων που ανιχνεύτηκαν από το σύστημα). Ο παρονομαστής, δηλαδή ο αριθμός των οχημάτων που ανίχνευσε το σύστημα, υπολογίζεται μέσω του αλγόριθμου ανίχνευσης οχημάτων που περιγράφηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Ο άγνωστος παράγοντας που πρέπει να υπολογιστεί είναι το άθροισμα των ταχυτήτων των οχημάτων που ανιχνεύτηκαν κατά τη διάρκεια των 90 δευτερολέπτων. Το πρόβλημα, όπως είναι φανερό, ανάγεται στην εύρεση της ταχύτητας του κάθε οχήματος ξεχωριστά.

Για την εύρεση της ταχύτητας χρησιμοποιούνται οι τιμές μεταβλητών συνθήκης (flags) που έχουν ενσωματωθεί στον αλγόριθμο ανίχνευσης οχήματος. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο, για να ανιχνευτεί ένα διερχόμενο όχημα, πρέπει η μεταβολή που προκαλεί στην ένταση του μετρούμενου μαγνητικού πεδίου να είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή. Η μεταβολή αυτή είναι αναγκαίο να συμβεί δύο φορές, αντιστοιχώντας σε ένα ανέβασμα και ένα βύθισμα της έντασης του μαγνητικού πεδίου, ή το αντίστροφο. Το γεγονός αυτό χρησιμοποιείται για την εύρεση της ταχύτητας ως εξής: Κατά το πέρασμα του οχήματος πάνω από τον πρώτο αισθητήρα, η μεταβολή της έντασης του πεδίου στο σημείο αυτό υπερβαίνει το κατώφλι που έχει υπολογιστεί στον αλγόριθμο αρχικοποίησης. Όταν συμβεί αυτό ενεργοποιείται η μεταβλητή συνθήκης flag1. Στη συνέχεια, το όχημα περνάει πάνω από το δεύτερο αισθητήρα, ο οποίος με τη σειρά του αντιλαμβάνεται μεταβολή στην ένταση του πεδίου η οποία υπερβαίνει το κατώφλι που έχει επίσης υπολογιστεί στον αλγόριθμο αρχικοποίησης. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ενεργοποιηθεί η μεταβλητής συνθήκης flag2. Ο αλγόριθμος μετρά το χρόνο που μεσολαβεί από την ενεργοποίηση της μεταβλητής flag1 μέχρι την ενεργοποίηση της μεταβλητής flag2 μέσω του μετρητή count. Ο μετρητής αυτός στην ουσία υπολογίζει τον αριθμό των διακοπών που μεσολαβούν για την ενεργοποίηση των δύο κατωφλίων. Κάθε διακοπή γίνεται σε χρόνο 500 μικροsec. Επομένως το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί είναι ίσο με το γινόμενο της τιμής του

μετρητή επί τα 500μsec που διαρκεί μια διακοπή. Γραφικά, το διάστημα αυτό φαίνεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 5.3)



Σχήμα 5.3: Χρονικό διάστημα ενεργοποίησης μεταβλητών συνθήκης

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζονται οι μαγνητικές υπογραφές και των δύο αισθητήρων ενός οχήματος που κινείται με 10 km/h. Ο κατακόρυφος άξονας είναι η διακύμανση του μαγνητικού πεδίου όπως εξάγεται από το μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ενώ ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί σε δευτερόλεπτα.

Γνωρίζοντας το χρόνο που απαιτείται για την ενεργοποίηση των δύο μεταβλητών συνθήκης είναι εύκολο να βρεθεί η ταχύτητα του οχήματος. Καθώς όμως αυτό που ενδιαφέρει είναι η μέση ταχύτητα όλων των οχημάτων που ανίχνευσε το σύστημα κατά τη διάρκεια μιας σειράς μετρήσεων τα δεδομένα που απαιτούνται είναι το άθροισμα των χρόνων και το συνολικό αριθμό των οχημάτων που ανιχνεύθηκαν. Η μέση ταχύτητα υπολογίζεται ως εξής:

$$\bar{u} = \frac{1440}{(\text{ολικός αριθμός διακοπών/αριθμός οχημάτων που ανιχνεύθηκαν})}$$

Η μέση ταχύτητα καθώς και ο αριθμός των οχημάτων αποστέλλονται στο σύστημα συλλογής δεδομένων κατά το πέρας της σειράς μετρήσεων. Πριν ξεκινήσει νέα σειρά μετρήσεων, οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της ταχύτητας μηδενίζονται, έτσι ώστε να λάβουν νέες τιμές.

5.4.4 Αλγόριθμος αποστολής δεδομένων μέσω της ασύρματης ζεύξης

Για την αποστολή των δεδομένων μέσω του πομποδέκτη λαμβάνονται υπόψιν οι παράμετροι χρονισμού που δίνονται από τον κατασκευαστή (Πίνακας 5.4) [19].

Πίνακας 5.4: Προδιαγραφές Χρονισμού

<i>Παράμετροι</i>	<i>Ελάχιστη Τιμή</i>	<i>Τυπική Τιμή</i>	<i>Μέγιστη Τιμή</i>	<i>Μονάδες</i>
Σειριακή Είσοδος/Εξοδος	2400	19200	38400	baud
Χρόνος Χαρακτήρα	5.16	0.52	0.26	mS/Byte
Χρόνος Επικεφαλίδας		5		mS
Καθυστέρηση Τέλους Δεδομένων	8.32	2.08	0.52	mS
Χρόνος μετάδοσης RF		800		uS/Byte
Μέγεθος Καταχωρητή	1		128	Bytes

Τα δεδομένα ενθυλακώνονται σε ένα πακέτο η δομή και ο χρονισμός του οποίου φαίνονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.5).

Πίνακας 5.5: Δομή μεταδιδόμενου πακέτου

<i>Επικεφαλίδα</i>	<i>Πρώτο Byte Συγχρονισμού</i>	<i>Δεύτερο Byte Συγχρονισμού</i>	<i>Αριθμός Byte</i>	<i>Bytes Δεδομένων 1 μέχρι n bytes (max=128)</i>	<i>Byte CRC</i>
5mS	800uS	800uS	800uS	n x 800uS	800uS

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.6) αναλύονται τα μέρη από τα οποία αποτελείται το μεταδιδόμενο πακέτο.

Πίνακας 5.6: Ανάλυση μεταδιδόμενου πακέτου

Επικεφαλίδα	Αποτελείται από 5mS τετραγωνικού σήματος το οποίο χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση εσωτερικών κυκλωμάτων (π.χ. διαχωριστή δεδομένων)
Bytes Συγχρονισμού	Ειδικοί συνδυασμοί χαρακτήρων που χρησιμοποιούνται για να βρεθεί το μέσο του χρόνου του bit (συγχρονισμός)
Αριθμός Byte	Ο αριθμός των byte δεδομένων που περιέχονται μέσα στο πακέτο (μέχρι 128)
CRC	Κυκλικός Κώδικας Πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check) για την εύρεση λαθών

Για την επιτυχημένη μετάδοση των δεδομένων είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψιν οι χρόνοι που αναφέρονται στους πίνακες 5.4 και 5.5. Αυτό συμβαίνει διότι το υποσύστημα ασύρματης επικοινωνίας, τροφοδοτείται μέσω του μικροελεγκτή μόνο κατά τη διάρκεια που απαιτείται για τη μετάδοση των δεδομένων. Επομένως είναι αναγκαίο να υπολογιστεί ο χρόνος αυτός, ώστε αφενός να επαρκεί για τη μετάδοση του συνόλου των δεδομένων και αφετέρου να είναι ο μικρότερος δυνατός για να ελαχιστοποιηθεί το διάστημα κατά το οποίο το σύστημα δεν ανιχνεύει οχήματα. Η τροφοδότηση του υποσυστήματος επικοινωνίας γίνεται μόνο όταν απαιτείται η λειτουργία του, διότι όταν είναι ενεργοποιημένο προκαλεί σοβαρές παρεμβολές στους μαγνητικούς αισθητήρες. Κατά την αποστολή των δεδομένων, δεν λαμβάνονται μετρήσεις από το υποσύστημα των αισθητήρων.

Για να βρεθεί ο χρόνος που χρειάζεται ο πομποδέκτης για την επιτυχημένη αποστολή των δεδομένων πρέπει να μετρηθούν τα bytes που στέλνονται. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.7) γίνεται καταμέτρηση των bytes και του αντίστοιχου χρόνου αποστολής για δύο διαφορετικά τύπου μηνύματα.

Πίνακας 5.7: Αριθμός bytes δύο τύπων μηνυμάτων

Μήνυμα	Αριθμός bytes
“Average speed of vehicles: 10 (km/h) Number of vehicles: 2 “	53 (χαρακτήρες με τα κενά) + 2 (αριθμοί μήκους 8 bit) + 2 (χαρακτήρες επιστροφής κέρσορας) + 2 (χαρακτήρες νέας γραμμής) = 59 bytes
“10 2 ”	2 (αριθμοί μήκους 8 bit) + 1 (χαρακτήρας tab) + 1 (χαρακτήρας επιστροφής κέρσορα) + 1 (χαρακτήρας νέας γραμμής) = 5 bytes

Σύμφωνα με τον πίνακα 5.5, για την μετάδοση του πρώτου μηνύματος απαιτούνται 55.4ms ενώ για την μετάδοση του δεύτερου μηνύματος μόλις 12.2ms. Επομένως και στις δύο περιπτώσεις ο χρόνος μετάδοσης υπερβαίνει το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ δύο διακοπών. Για αυτό το λόγο, όταν τα δεδομένα είναι έτοιμα προς αποστολή, οι διακοπές απενεργοποιούνται και ενεργοποιούνται πάλι όταν η αποστολή έχει ολοκληρωθεί. Ο κατασκευαστής αναφέρει [19] ότι αμέσως μετά την τροφοδότηση του πομποδέκτη, γίνονται κάποιες αυτόματες λειτουργίες για τη ρύθμισή του. Οι λειτουργίες αυτές διαρκούν ορισμένα ms. Με βάση τα παραπάνω ο χρόνος τροφοδότησης επελέγη να είναι 100ms.

Ο αλγόριθμος αποστολής δεδομένων μέσω ασύρματης ζεύξης λειτουργεί ως εξής:

- Απενεργοποιούνται οι διακοπές.
- Ενεργοποιείται ο ακροδέκτης εξόδου C3 του μικροελεγκτή, ο οποίος τροφοδοτεί τον πομποδέκτη.
- Υλοποιείται καθυστέρηση 50ms για τη ρύθμιση του πομποδέκτη.
- Λαμβάνονται τα δεδομένα από τον μικροελεγκτή μέσω USART και αφού γίνει η επεξεργασία τους, αρχίζει η αποστολή τους.
- Υλοποιείται καθυστέρηση 50ms για την αποστολή των δεδομένων.
- Απενεργοποιείται ο ακροδέκτης εξόδου C3 του μικροελεγκτή και επομένως σταματά η λειτουργία του πομποδέκτη.
- Ενεργοποιούνται οι διακοπές.

5.5 Επιλογή Γλώσσας Προγραμματισμού του Μικροελεγκτή

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο μικροελεγκτής PIC16F876 προσφέρει ρεπερτόριο 35 εντολών για την αξιοποίηση όλων των δυνατοτήτων του [13]. Οι εντολές αυτές χρησιμοποιούνται και

συντάσσονται με αυστηρές μεθόδους, σχηματίζοντας ένα πρόγραμμα μνημονικής γλώσσας (assembly language).

Η μνημονική γλώσσα αποτελεί την εξέλιξη της προγραμματιστικής γλώσσας μηχανής [14], η οποία είναι γλώσσα χαμηλού επιπέδου (low level), δηλαδή αποτελείται από εντολές δυσνόητες για τους ανθρώπους (η χρήση τους δημιουργεί μεγάλα περιθώρια λάθους) και ευνόητες για μηχανές (μόνο όμως για το συγκεκριμένο τύπο μηχανής για τον οποίο προορίζονται). Οι εντολές της προγραμματιστικής γλώσσας μηχανής αποτελούνται συνήθως από δύο δυαδικούς αριθμούς. Ο ένας αντιστοιχεί στην εντολή και ο άλλος στο όρισμά της, είτε αυτό είναι κάποια διεύθυνση στη μνήμη είτε κάποια τιμή. Η μνημονική γλώσσα αντικατέστησε τις δυαδικές απεικονίσεις των εντολών με απλές συντομογραφίες, κάνοντας ευκολότερη την απομνημόνευση των εντολών και κατά συνέπεια τη δημιουργία ενός προγράμματος. Την απαραίτητη αντιστοίχιση των συμβολοακολουθιών και συντομογραφιών σε δυαδικούς ή δεκαεξαδικούς αριθμούς αναλαμβάνει ένα πρόγραμμα, ο συμβολομεταφραστής (assembler). Ο συμβολομεταφραστής της Microchip για το μικροελεγκτή PIC16F876 είναι ο MPASM.

Η γλώσσα assembly δε χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα σήμερα, διότι αποτελεί γλώσσα χαμηλού επιπέδου και οδηγεί στη δημιουργία μεγάλων προγραμμάτων, τα οποία είναι δυσανάγνωστα και η χρήση τους σε άλλες μηχανές (μικροελεγκτές ή μικροϋπολογιστές) είναι αν όχι αδύνατη, πολύ δύσκολη. Επίσης, δε προσφέρει, τουλάχιστον άμεσα, τις προγραμματιστικές ευκολίες που προσφέρουν άλλες γλώσσες, όπως την αναδρομή, το δομημένο προγραμματισμό, την ύπαρξη βιβλιοθηκών για χρήση περιφερειακών συσκευών κ.ά. Η γλώσσα που αποτελεί το δημοφιλέστερο αντικαταστάτη της assembly είναι η C.

Ολοένα και περισσότερες εταιρίες κατασκευής μικροελεγκτών και μικροϋπολογιστών υποστηρίζουν τη χρήση της γλώσσας C για τον προγραμματισμό των προϊόντων τους. Η Microchip ακολουθεί αυτήν την τάση, ειδικά στους μικροελεγκτές τελευταίας τεχνολογίας (PIC σειρά 18, κ.ά.). Επιπλέον, εταιρίες ανάπτυξης λογισμικού, έχουν δημιουργήσει μεταγλωττιστές που προσφέρουν τη δυνατότητα χρήσης της γλώσσας C σε παλαιότερους αλλά αρκετά δημοφιλείς μικροελεγκτές, όπως είναι και ο PIC16F876 που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη συσκευή.

Η C είναι μια προστακτική (imperative) γλώσσα προγραμματισμού για γενική χρήση που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε αρχικά από το Dennis Ritchie στα εργαστήρια Bell γύρω στο 1972 [15]. Η αρχική της ανάπτυξη ήταν στενά συνυφασμένη με το λειτουργικό σύστημα UNIX (που έχει προγραμματιστεί στη C). Τώρα όμως χρησιμοποιείται σε πολλά διαφορετικά περιβάλλοντα. Ο βασικός σκοπός της γλώσσας C ήταν καταρχάς ο προγραμματισμός συστημάτων (λογισμικού) π.χ. λειτουργικών συστημάτων, μεταφραστών, επεξεργαστών κειμένου (text editors), αλλά αποδείχτηκε ικανοποιητική και για άλλες εφαρμογές όπως για παράδειγμα στις βάσεις δεδομένων, τις τηλεπικοινωνίες, την αριθμητική ανάλυση κ.ο.κ.

Η χρήση της C προσφέρει στους προγραμματιστές μικροελεγκτών νέες εντολές και θεμελιώδεις δομές ελέγχου ροής, που για να υλοποιηθούν σε assembly απαιτούνται εκατοντάδες γραμμών κώδικα. Η C παρέχει δομές ελέγχου για τη λήψη αποφάσεων (if-else), επιλογή μιας περίπτωσης

από ένα σύνολο δυνατών περιπτώσεων (switch), βρόχους με τον έλεγχο τερματισμού στην αρχή (while, for) ή στο τέλος (do) και πρόωρη έξοδο από βρόχο. Είναι ακόμα δυνατό να χρησιμοποιηθούν τελεστές σύγκρισης για τον έλεγχο της ροής. Επίσης, επιτρέπει τη χρήση συναρτήσεων οι οποίες μπορούν να επιστρέφουν τιμές των βασικών τύπων, δομών, ενώσεων, ή δεικτών. Οποιαδήποτε συνάρτηση μπορεί να καλείται αναδρομικά (δηλαδή να καλεί τον εαυτό της). Οι συναρτήσεις μπορεί να βρίσκονται σε χωριστά αρχεία πηγαίου κώδικα, που μεταγλωττίζονται ανεξάρτητα.

Η υποστήριξη του προτύπου “ANSI C”, το οποίο εγκρίθηκε το 1988, συνεισφέρει ακόμα περισσότερο στη διευκόλυνση του προγραμματιστή. Μέσω του προτύπου αυτού, ορίζεται η βιβλιοθήκη που συνοδεύει τη C. Αυτή καθορίζει συναρτήσεις για τη τυποποιημένη είσοδο και έξοδο (στην περίπτωση της επικοινωνίας μέσω USART και I2C), το χειρισμό αλφαριθμητικών, την εκτέλεση αριθμητικών και αλγεβρικών πράξεων κ.ά. Πολλές εταιρίες παραγωγής μεταγλωττιστών (compilers) προγραμμάτων C για μικροελεγκτές, συνοδεύουν το λογισμικό τους με έτοιμες συναρτήσεις ελέγχου και χειρισμού περιφερειακών όπως οθόνες LCD κ.λ.π. Το γεγονός αυτό απαλλάσσει τον προγραμματιστή από τη δημιουργία μακροσκελών κομματιών κώδικα.

Τέλος, είναι δυνατή η χρήση του ίδιου προγράμματος για διαφορετικούς μικροελεγκτές. Έτσι, διευκολύνεται ο μεμονωμένος προγραμματιστής αλλά και όλη η κοινότητα, διότι υπάρχει η δυνατότητα συνεργασίας πολλών ατόμων για την εξέλιξη και τη βελτίωση ενός προγράμματος. Η δημιουργία μιας δυναμικής βιβλιοθήκης προγραμμάτων έχει ως αποτέλεσμα την αξιοποίηση και την αποδοτικότερη χρησιμοποίηση των δυνατοτήτων που παρέχει ένας μικροελεγκτής.

5.5.1 Επιλογή μεταγλωττιστή C

Επιλέχτηκε ο μεταγλωττιστής C της εταιρίας CCS λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που περιγράφονται στη συνέχεια:

- Υποστηρίζει πλήρως τον μικροελεγκτή PIC16F876
- Είναι συμβατός με τη σύνταξη που ορίζει το πρότυπο ANSI
- Τοποθετεί αυτόματα τις μεταβλητές σε διαφορετικές σελίδες της μνήμης δεδομένων RAM, εάν χρειαστεί, χωρίς τη μεσολάβηση του προγραμματιστή
- Παρέχει τους εξής τύπους δεδομένων: ακέραιους προσημασμένους ή μη, μήκους 1, 8, 16, 32 bit και αριθμούς κινητής υποδιαστολής μήκους 32 bit
- Υποστηρίζει τον ορισμό πινάκων μέχρι και πέντε διαστάσεων
- Υποστηρίζει τον ορισμό δομών (structs) και ενώσεων (unions)
- Επιτρέπει τη χρήση έως και 32 ορισμάτων συνάρτησης

- Επιτρέπει τη χρήση κώδικα γραμμένου σε assembly
- Είναι περισσότερο οικονομικός από πλευράς κατανάλωσης μνήμης σε σχέση με την πλειοψηφία των άλλων εμπορικών μεταγλωττιστών
- Παρέχει επιπρόσθετες ενσωματωμένες συναρτήσεις, όπως η delay η οποία προκαλεί καθυστερήσεις κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος βοηθώντας σε θέματα χρονισμού που απασχολούν συχνά τον προγραμματιστή. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η εντολή USE RS232 μέσω της οποίας είναι δυνατή η παραμετροποίηση σε μια γραμμή της χρήσης της σειριακής θύρας του μικροελεγκτή
- Περιέχει μία αποδοτική υλοποίηση της συνάρτησης printf η οποία μπορεί να προσπελάσει άμεσα οποιοδήποτε περιφερειακό
- Έχει ενσωματωμένους πολλούς οδηγούς συσκευών

Η έκδοση 3.211 του μεταγλωττιστή που χρησιμοποιήθηκε υποστηρίζει 220 μικροελεγκτές της Microchip. Ο προγραμματιστής έχει τη δυνατότητα να προσθέσει νέες συσκευές εύκολα, φτάνει να ανήκουν σε μία από τις τρεις μεγάλες οικογένειες μικροελεγκτών (base line, mid range, high end range) της Microchip.

Εκείνο που διαφοροποιείται ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη συσκευή δεν είναι ο κώδικας του προγράμματος, αλλά οι τιμές των καταχωρητών για τον έλεγχο των περιφερειακών ή του ίδιου του μικροελεγκτή. Για παράδειγμα, ο μE PIC16F876A διαφέρει με τον PIC16F876 στο ότι περιλαμβάνει δύο κανάλια συγκριτών αναλογικών σημάτων. Άρα διαθέτει έναν ακόμη καταχωρητή, τον CMCON, μέσω του οποίου ελέγχονται ποιοι ακροδέκτες θα λειτουργούν ως είσοδοι για τους συγκριτές και ποιοι ως εξόδοι. Η κατάσταση των ακροδεκτών εξόδου εξαρτάται από το αποτέλεσμα της σύγκρισης. Για τη ρύθμιση της λειτουργίας του συγκριτή ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής, ο καταχωρητής CMCON θα πάρει μια ορισμένη τιμή, η οποία εξαρτάται από το όρισμα που θα λάβει η συνάρτηση που έχει δημιουργηθεί για αυτόν το σκοπό. Όλες οι αντιστοιχίες των τιμών των bits του καταχωρητή με τα κατάλληλα όρισμα βρίσκονται στο αρχείο οδήγησης του μικροελεγκτή, το οποίο ονομάζεται και επικεφαλίδα. Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι το αρχείο οδήγησης του 16F876A διαφέρει από αυτό του 16F876 μόνο ως προς τις αντιστοιχίες για τους δύο συγκριτές. Το αρχείο οδήγησης του μικροελεγκτή PIC16F876 που χρησιμοποιήθηκε κατά τον προγραμματισμό του, παρατίθεται στο Παράρτημα Γ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

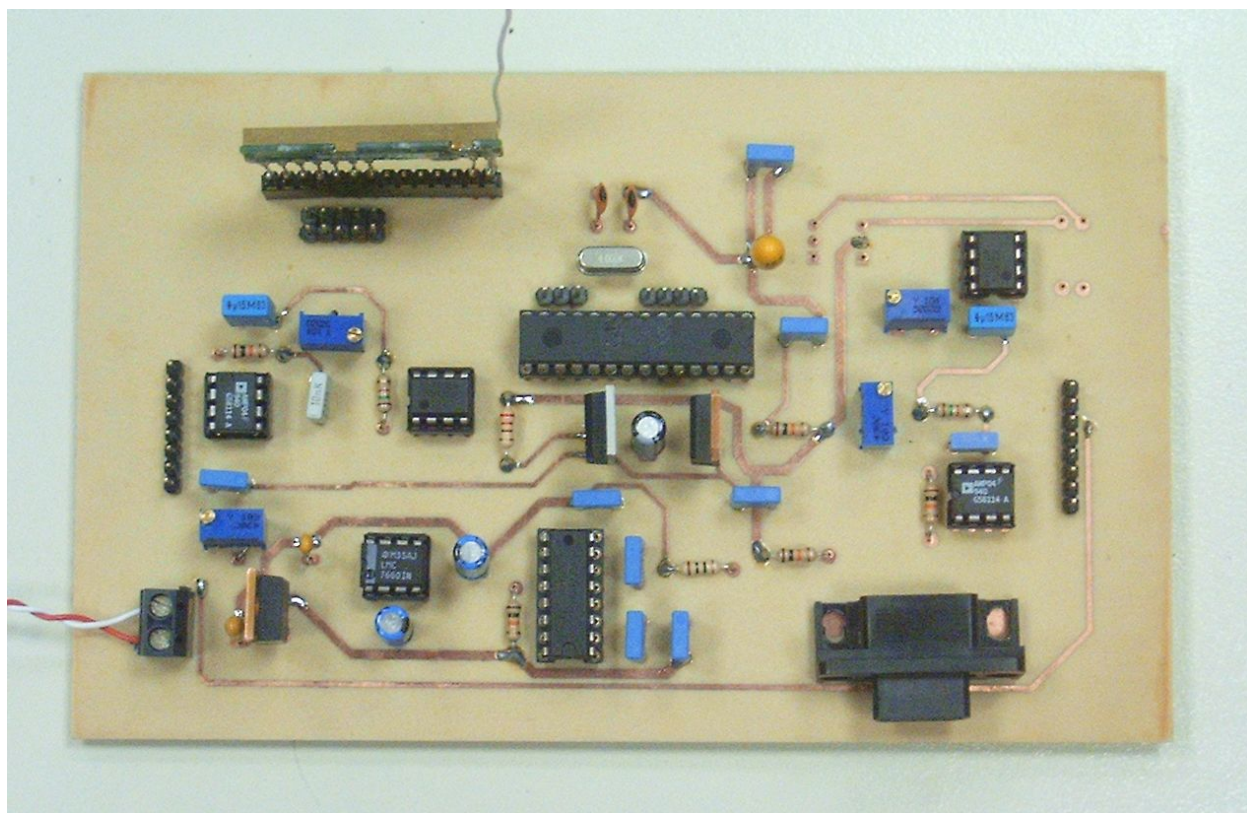
6.1 Κατασκευή κυκλώματος

Τα επιμέρους κομμάτια του συστήματος τοποθετήθηκαν αρχικά σε δοκιμαστική πλακέτα (breadboard) στο εργαστήριο. Σε πρώτο στάδιο έγινε έλεγχος της σωστής λειτουργίας του υποσυστήματος των αισθητήρων με τη βοήθεια παλμογράφου. Αφού διαπιστώθηκε η ορθή λειτουργία του υποσυστήματος, έγιναν οι απαραίτητες ρυθμίσεις στις τιμές των μεταβλητών αντιστάσεων, ώστε η ενίσχυση της εξόδου των αισθητήρων να διασφαλίζει ότι κατά την επεξεργασία των μαγνητικών υπογραφών θα υπάρχει διαχωρισμός ανάμεσα στα επιθυμητά και τα ανεπιθύμητα σήματα, όπως για παράδειγμα το θόρυβο ή τις διαταραχές που προκαλούνται από οχήματα που διέρχονται από γειτονικές λωρίδες κυκλοφορίας.

Στη συνέχεια αναπτύχθηκε ο κώδικας με τον οποίο προγραμματίστηκε ο μικροελεγκτής [Παράρτημα Ε]. Η ανάπτυξη έγινε μέσω του περιβάλλοντος του MPLAB IDE v6.62 της Microchip. Για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή χρησιμοποιήθηκε ο προγραμματιστής PICStart Plus Development Programmer της Microchip. Ο έλεγχος της σωστής λειτουργίας του κυκλώματος έγινε σε μια πρωτότυπη πλακέτα που περιλαμβάνει τα απαραίτητα κυκλώματα (υποσύστημα τροφοδοσίας, αισθητήρων, μικροελεγκτή και επικοινωνίας μέσω σειριακής θύρας) [20]. Η χρήση της πρωτότυπης πλακέτας συντέλεσε στην ανάπτυξη και βελτίωση του κώδικα, αφού η αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων ανίχνευσης οχημάτων και εύρεσης μέσης ταχύτητας δοκιμάστηκε πολλές φορές. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε μεγάλος αριθμός δοκιμών της αξιοπιστίας του κυκλώματος, τόσο στο εργαστήριο όσο και στο δρόμο. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια μιας δοκιμαστικής πλακέτας ενσωματώθηκε το σύστημα της ασύρματης επικοινωνίας.

Μετά από λεπτομερή έλεγχο της σωστής λειτουργίας όλων των συστημάτων έγινε η σχεδίαση της τυπωμένης πλακέτας [Παράρτημα Β] με βάση το σχηματικό διάγραμμα του συστήματος [Παράρτημα Α]. Για τη σχεδίαση της τυπωμένης πλακέτας επιλέχθηκε τεχνολογία διπλής όψευς (double layer). Η πλακέτα τυπώθηκε και τρυπήθηκε στο Εργαστήριο Αισθητήρων ενώ η συναρμολόγηση και κόλληση των εξαρτημάτων πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μικροηλεκτρονικής.

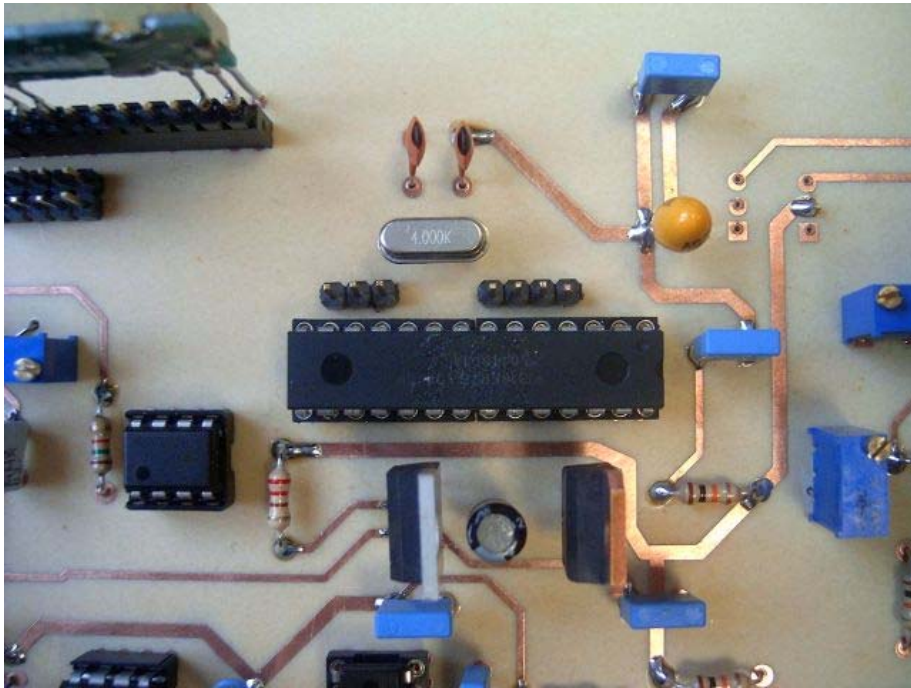
Για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας της πρωτότυπης πλακέτας (Εικόνα 6.1) έγινε σταδιακή συναρμολόγηση των υποσυστημάτων, ώστε να διαπιστωθεί ότι το καθένα από αυτά λειτουργεί κανονικά και παρέχει τις προβλεπόμενες εξόδους.



Εικόνα 6.1: Η πρωτότυπη πλακέτα του ανιχνευτή

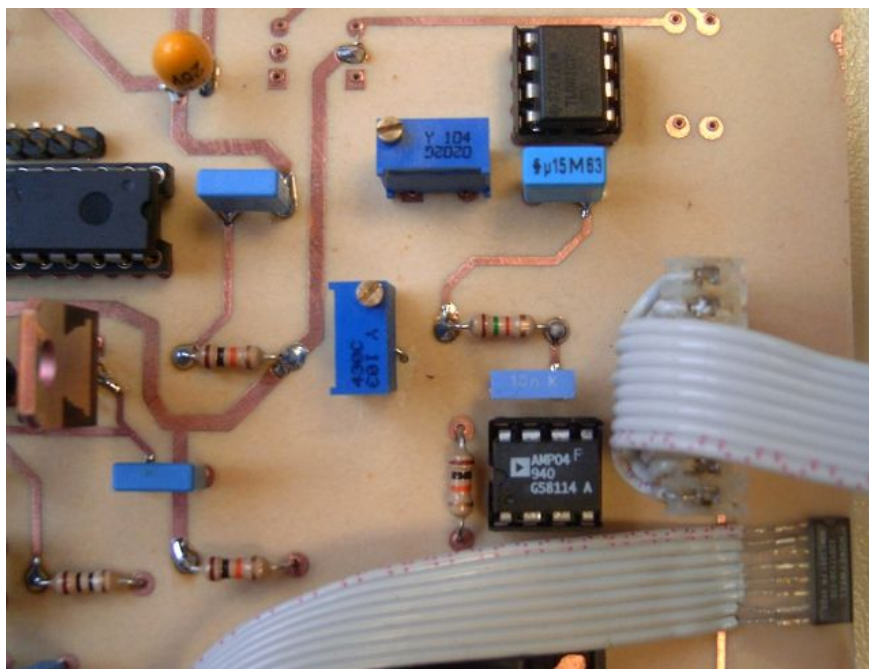
Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 6.1), στο πάνω αριστερό μέρος της πλακέτας είναι τοποθετημένος ο πομποδέκτης, ενώ στο κάτω δεξί η θύρα RS232 για άμεση σειριακή σύνδεση. Οι δύο αισθητήρες βρίσκονται τοποθετημένοι συμμετρικά στις δύο απέναντι πλευρές της πλακέτας. Για λόγους ευκολίας κατά τις δοκιμές του κυκλώματος, οι αισθητήρες δεν έχουν κολληθεί στην πλακέτα απευθείας, αλλά συνδέονται μέσω καλωδίων στους συνδέσμους που φαίνονται στην εικόνα. Στο πάνω δεξί κομμάτι έχει προβλεφθεί η σύνδεση κυκλώματος offset [8], ώστε κατά τη λήψη μαγνητικών υπογραφών να μην εισέρχονται στους υπολογισμούς ανεπιθύμητα μαγνητικά πεδία. Επειδή όμως αυτό επετεύχθη μέσω λογισμικού, δεν κρίθηκε απαραίτητη η κόλληση του κυκλώματος. Επιπλέον, έχουν κολληθεί ακροδέκτες βραχυκυκλώσεως (jumpers) στις θύρες του πομποδέκτη, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα λήψης δεδομένων. Τέλος, οι θύρες του μικροελεγκτή που δε χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να διασυνδεθούν, εφόσον προκύψει τέτοια ανάγκη, με εξωτερικά περιφερειακά ή συσκευές μέσω ακροδεκτών που έχουν προστεθεί στο κύκλωμα.

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 6.2) φαίνεται ο μικροελεγκτής καθώς και το κύκλωμα για το χρονισμό του (κρύσταλλος και πυκνωτές). Στην εικόνα διακρίνονται επίσης τα MOSFETs που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή παλμών set/reset.

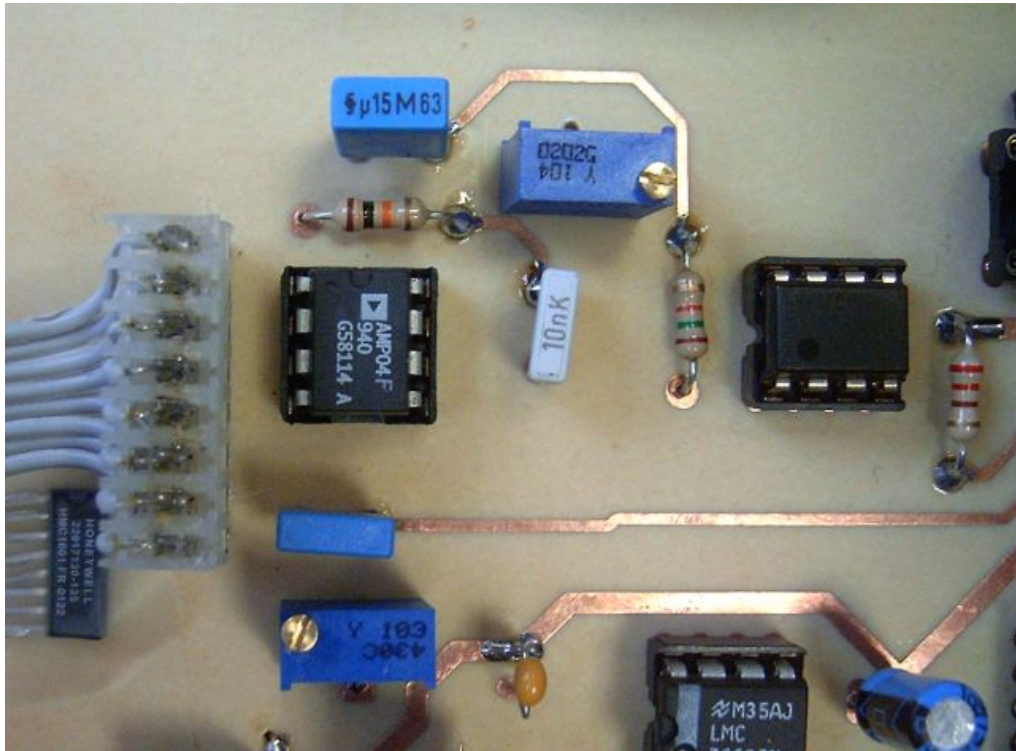


Εικόνα 6.2: Ο μικροελεγκτής PIC16F876

Στις επόμενες εικόνες φαίνονται τα κανάλια των αισθητήρων. Στις εικόνες διακρίνονται τα υποκυκλώματα ενίσχυσης με τις μεταβλητές αντιστάσεις και τους πυκνωτές καθώς και τους ενισχυτές AMP04b και TL081. Οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένοι μέσω καλωδίων ώστε να είναι δυνατή η ρύθμιση της απόστασής τους. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 4.4.1, η απόσταση στην οποία επιτυγχάνεται ικανοποιητική ακρίβεια κατά τη μέτρηση της ταχύτητας είναι τα 20cm. Αν βέβαια χρησιμοποιηθεί γρηγορότερος μικροελεγκτής, η απόσταση αυτή είναι δυνατόν να μικρύνει, με αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους του συστήματος.

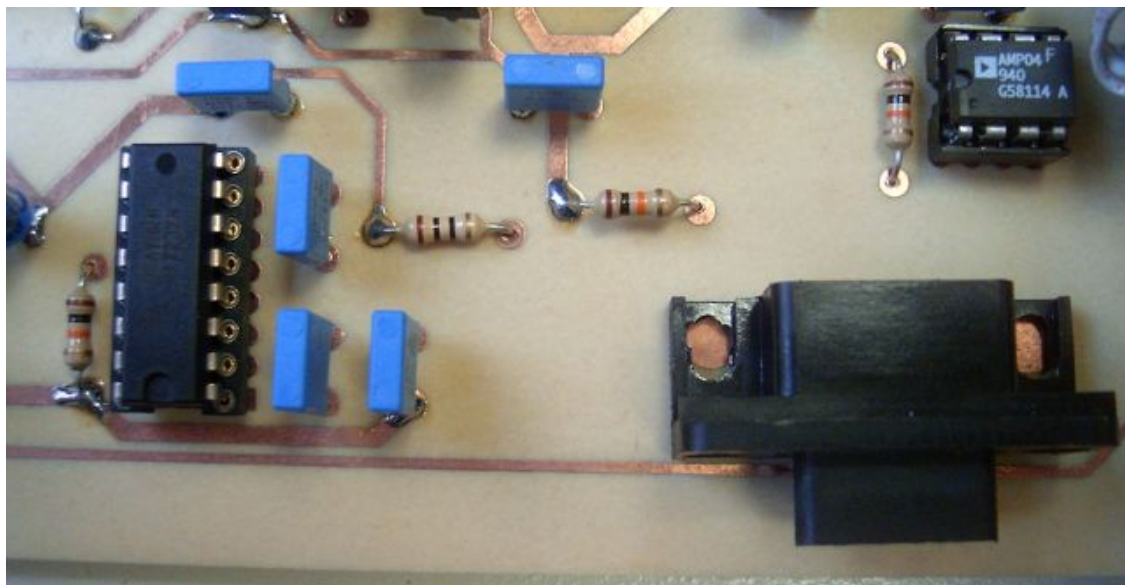


Εικόνα 6.3: Υποσύστημα αισθητήρων, κανάλι 1



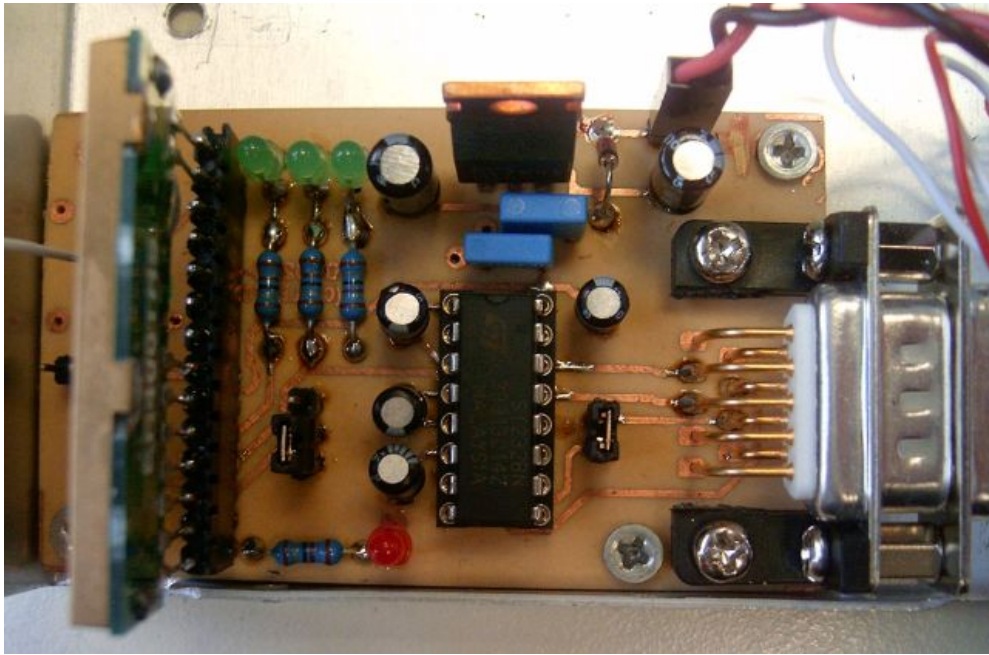
Εικόνα 6.4: Υποσύστημα αισθητήρων, κανάλι 2

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 6.5) φαίνεται το υποκύκλωμα σειριακής επικοινωνίας, το οποίο τοποθετήθηκε για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του κυκλώματος και τη ρύθμισή του με άμεση σύνδεση σε προσωπικό υπολογιστή.



Εικόνα 6.5: Υποσύστημα σειριακής επικοινωνίας

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 6.6) φαίνεται ο πομποδέκτης [19], που χρησιμοποιείται για τη λήψη των δεδομένων, τα οποία μεταφέρονται μέσω της θύρας RS232 σε προσωπικό υπολογιστή ή άλλη συσκευή που υποστηρίζει αυτό το πρωτόκολλο επικοινωνίας.



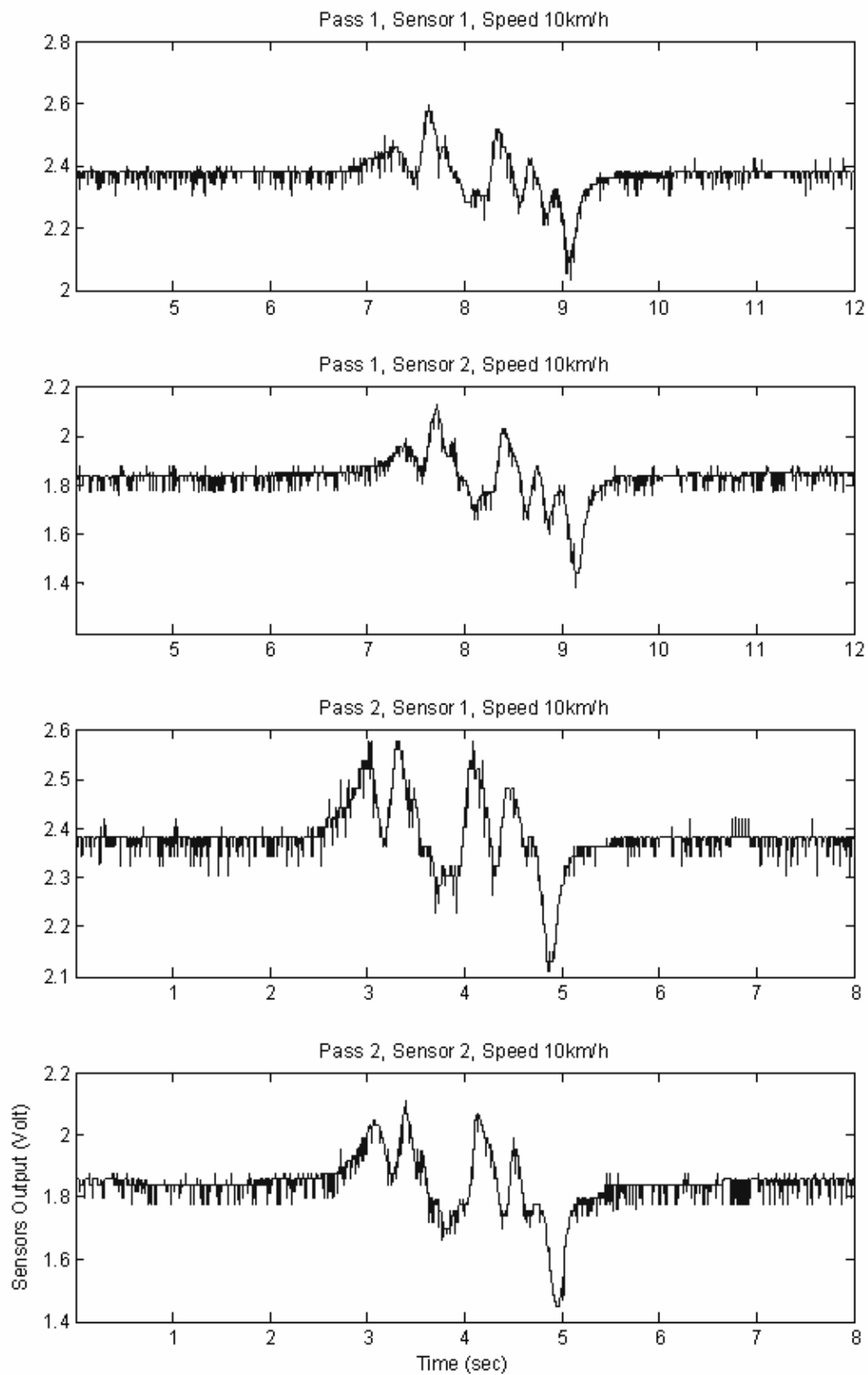
Εικόνα 6.6: Ο ασύρματος πομποδέκτης

6.2 Μετρήσεις στο δρόμο

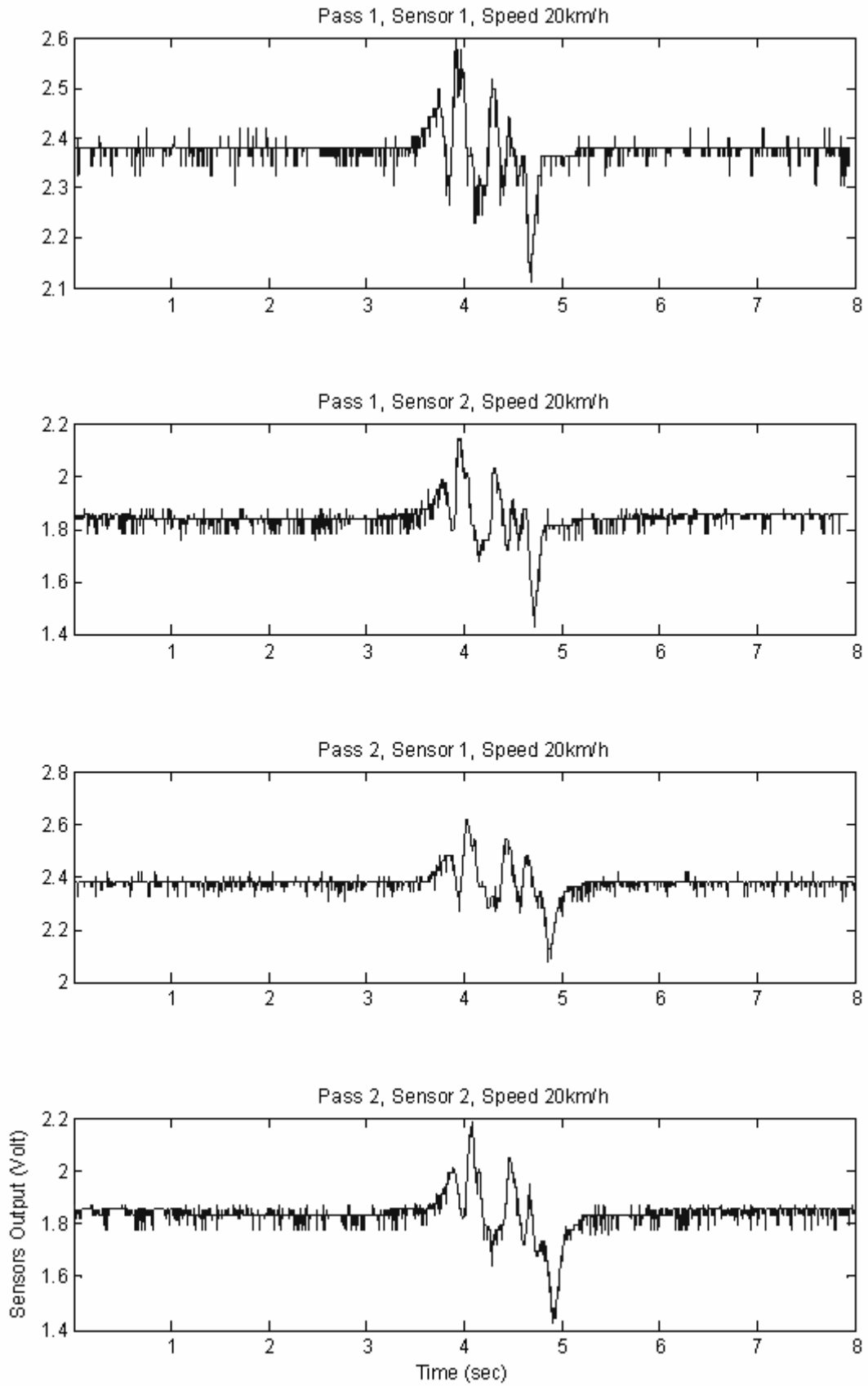
Για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του υποσυστήματος των αισθητήρων αλλά και τη ρύθμιση των κατωφλίων για την επιτυχημένη ανίχνευση των διερχόμενων οχημάτων, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή σε οδόστρωμα. Η πρωτότυπη πλακέτα συνδέθηκε μέσω σειριακής θύρας με φορητό υπολογιστή στον οποίο αποθηκεύτηκαν τα δεδομένα και στη συνέχεια επεξεργάστηκαν μέσω του προγράμματος Matlab για να προκύψουν σε γραφική μορφή οι μαγνητικές υπογραφές του οχήματος που χρησιμοποιήθηκε. Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα Volkswagen Golf μοντέλο του 2003. Πραγματοποιήθηκαν περάσματα πάνω από τη συσκευή σε ταχύτητες από 10 έως 40 km/h. Το πρόγραμμα με το οποίο προγραμματίστηκε ο μικροελεγκτής [Παράρτημα Δ] [20] αλλά και αυτό που δημιουργήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων στο Matlab, φτιάχτηκαν με τέτοιον τρόπο ώστε να είναι δυνατή η απεικόνιση της μαγνητικής υπογραφής του κάθε αισθητήρα ξεχωριστά. Ο λόγος για τον οποίο καταγράφονται οι υπογραφές και των δύο αισθητήρων, είναι το γεγονός ότι αν και τα κυκλώματα ενίσχυσης και οδήγησης είναι τα ίδια, υπάρχει η περίπτωση εμφάνισης μικρών διαφοροποιήσεων στη συμπεριφορά τους, που μπορούν να προκληθούν για παράδειγμα λόγω αποκλίσεων από τα προβλεπόμενα τεχνικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στις επόμενες εικόνες φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις των μαγνητικών υπογραφών του ίδιου οχήματος για διαφορετικές ταχύτητες διέλευσης πάνω από το σύστημα ανίχνευσης. Για λόγους πληρότητας, πραγματοποιήθηκαν δύο περάσματα για την κάθε ταχύτητα. Στους οριζόντιους άξονες αντιστοιχεί ο χρόνος λειτουργίας του συστήματος και στους κατακόρυφους, η τάση εξόδου των υποσυστημάτων των αισθητήρων. Η χρονική κλίμακα των μετρήσεων διατηρήθηκε

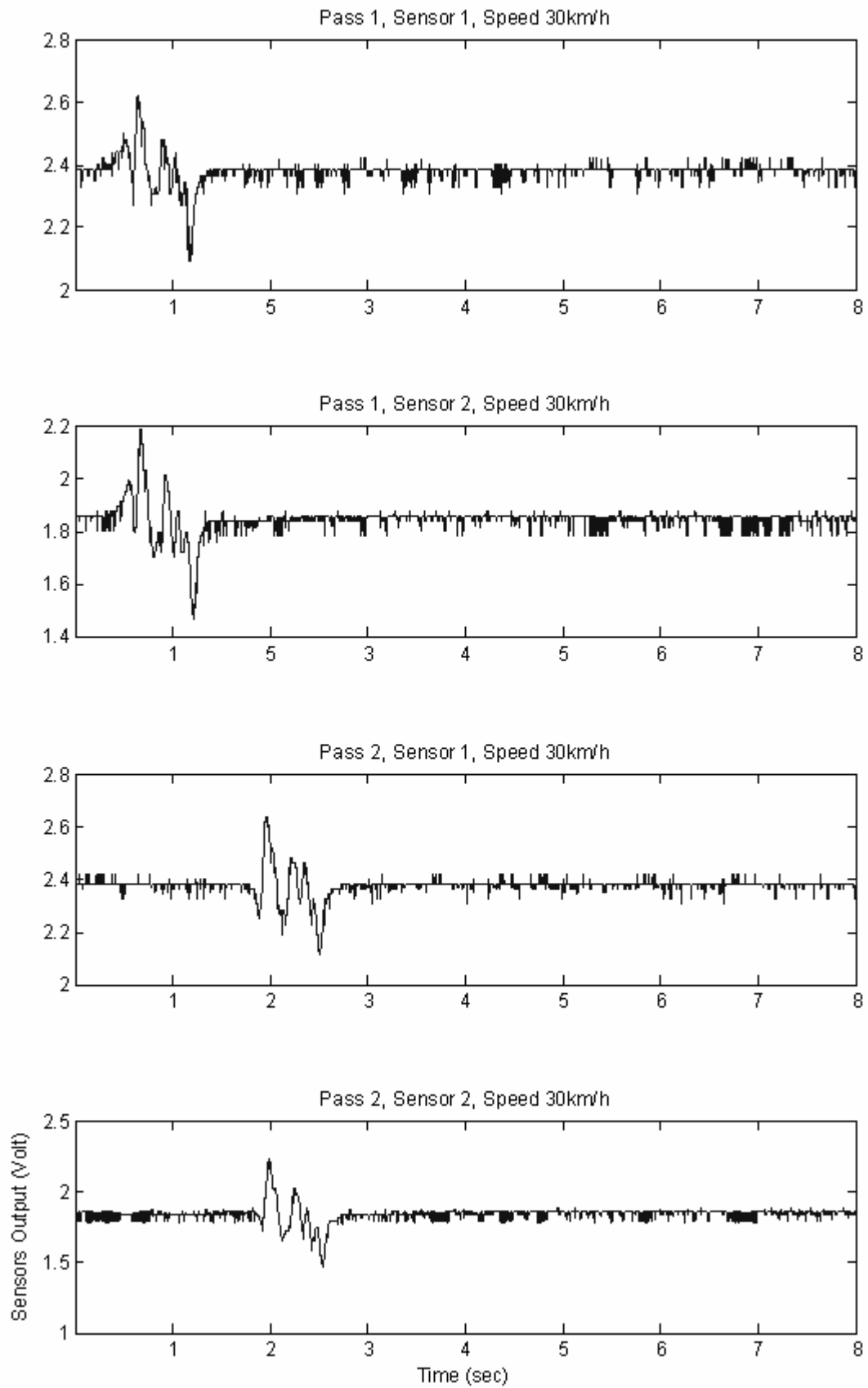
η ίδια σε κάθε γράφημα, ώστε να φαίνεται το άπλωμα στο χρόνο της υπογραφής για μικρότερες ταχύτητες.



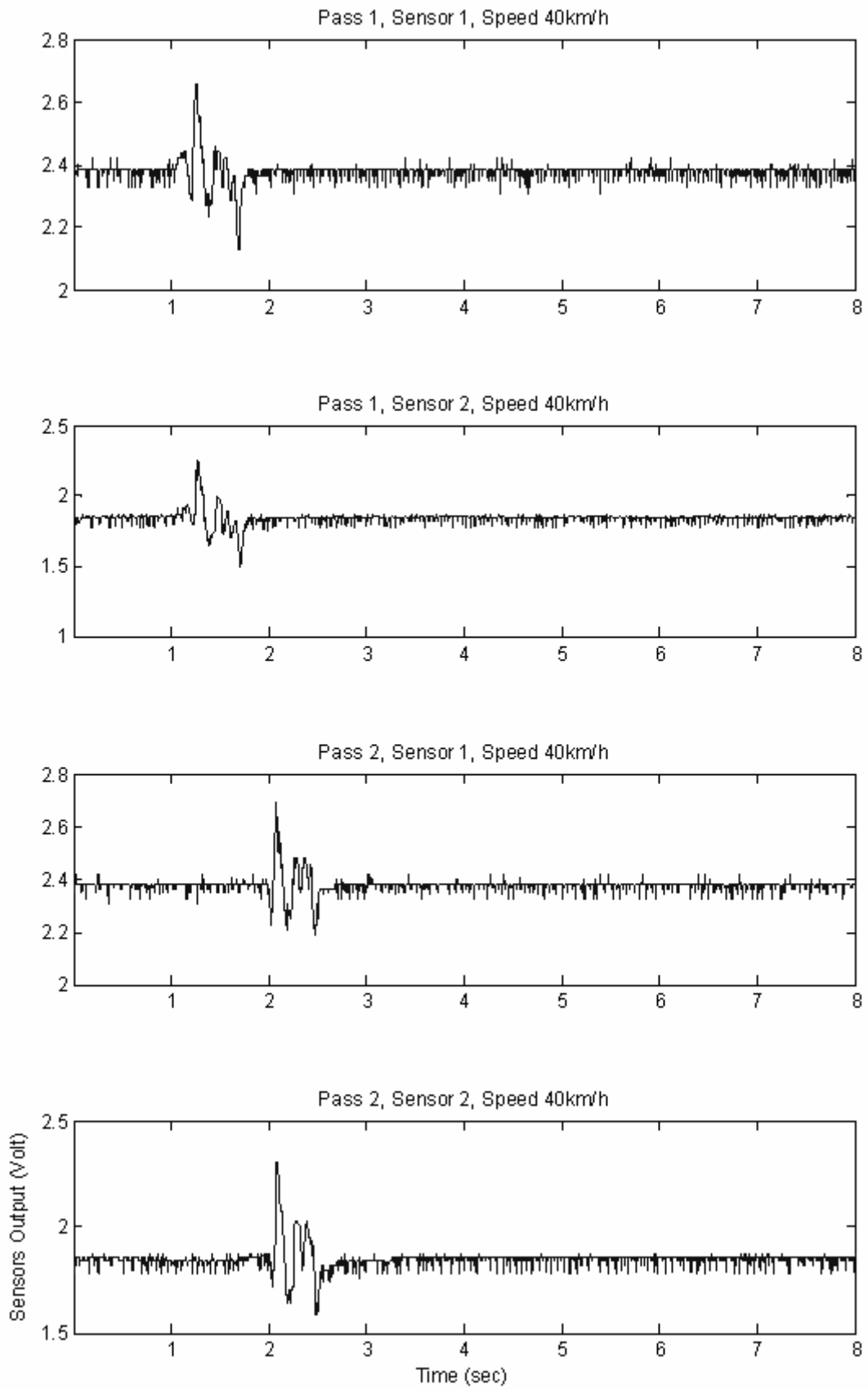
Εικόνα 6.7: Μαγνητικές υπογραφές για ταχύτητα 10km/h



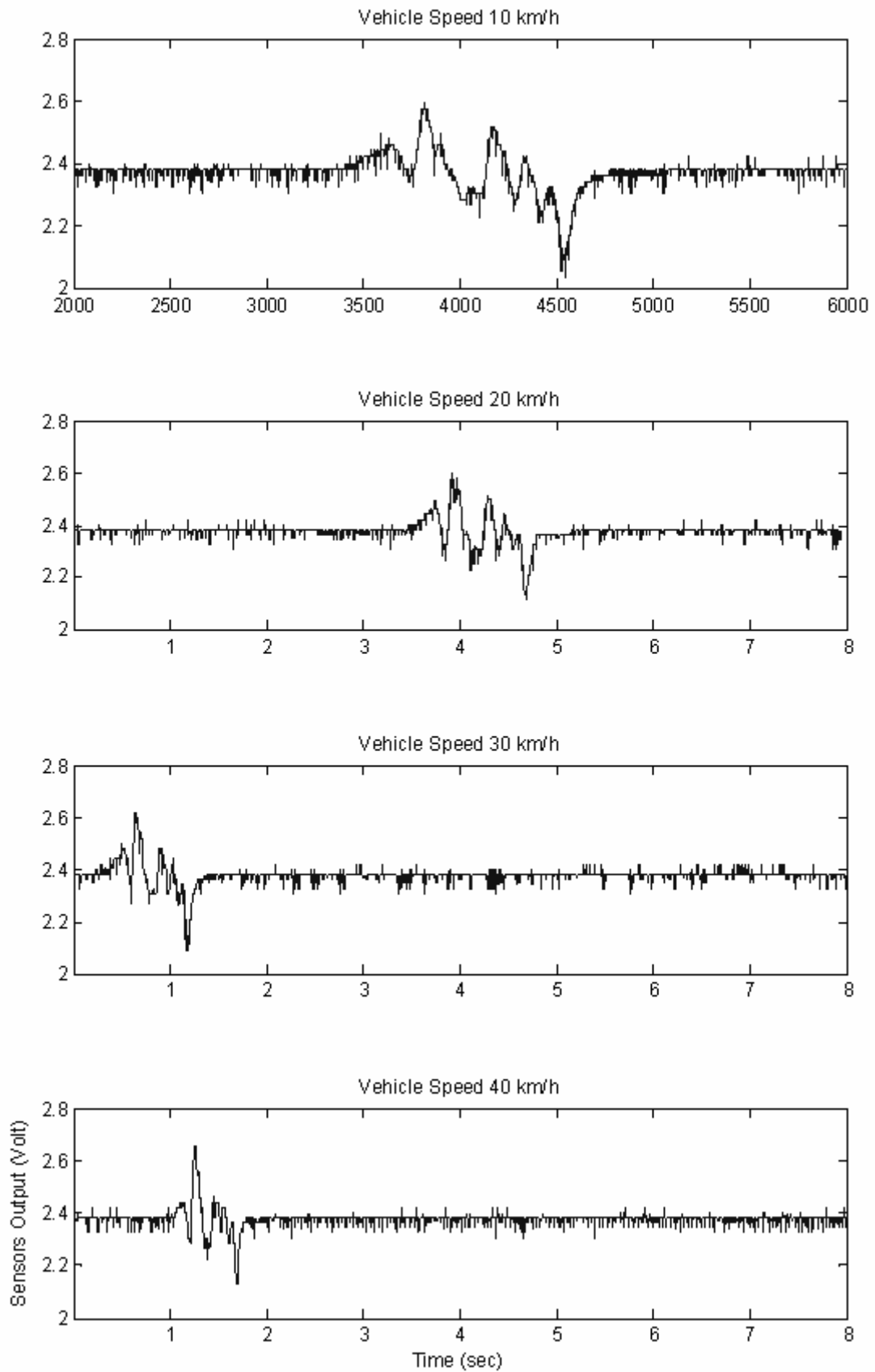
Εικόνα 6.8: Μαγνητικές υπογραφές για ταχύτητα 20km/h



Εικόνα 6.9: Μαγνητικές υπογραφές για ταχύτητα 30km/h



Εικόνα 6.10: Μαγνητικές υπογραφές για ταχύτητα 40km/h



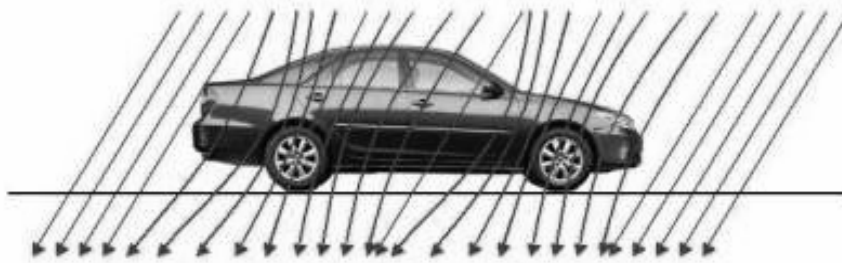
Εικόνα 6.11: Σύγκριση μαγνητικών υπογραφών για ταχύτητες από 10 έως 40 km/h

Παρατηρείται η ομοιότητα των μαγνητικών υπογραφών για διαφορετικές ταχύτητες διέλευσης, η οποία αποτελεί ένδειξη αξιόπιστης λειτουργίας του συστήματος. Το μόνο που διαφοροποιείται στις γραφικές παραστάσεις είναι η χρονική διασπορά των υπογραφών, λόγω των διαφορετικών ταχυτήτων διέλευσης.

6.2.1 Ανάλυση Μαγνητικής Υπογραφής Οχήματος

Στις προηγούμενες εικόνες παρουσιάστηκαν οι μαγνητικές υπογραφές του οχήματος που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις, για τέσσερις διαφορετικές ταχύτητες διέλευσης πάνω από τη συσκευή. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρθηκε ο τρόπος με τον οποίο διαπιστώνεται η παρουσία και υπολογίζεται η ταχύτητα ενός οχήματος μέσω της υπογραφής του αισθητήρα. Δεν εξηγήθηκε όμως αναλυτικά, πώς προκύπτουν οι μεταβολές που διακρίνονται στις υπογραφές. Στην αιτία και τη φύση των μεταβολών αυτών βασίζονται οι μέθοδοι κατάταξης οχημάτων με μαγνητικούς αισθητήρες.

Οι διακυμάνσεις πάνω και κάτω από τη βάση, η οποία αντιστοιχεί στην ένταση του ομοιογενούς γήινου μαγνητικού πεδίου απουσία οχήματος, οφείλονται στα επιμέρους φερομαγνητικά κομμάτια του οχήματος. Ως γνωστό, ένα φερομαγνητικό αντικείμενο προκαλεί σύγκλιση των μαγνητικών γραμμών του πεδίου στο κέντρο του, με αποτέλεσμα την αύξηση της πεδιακής έντασης στο ίδιο σημείο. Γύρω από τις συγκλίνουσες μαγνητικές γραμμές όμως, διαταράσσεται η ομοιομορφία του πεδίου με αραίωση των γραμμών και κατά συνέπεια μείωση της έντασής του. Η αλλοίωση των μαγνητικών γραμμών στα επιμέρους κομμάτια ενός οχήματος φαίνεται στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 6.12).



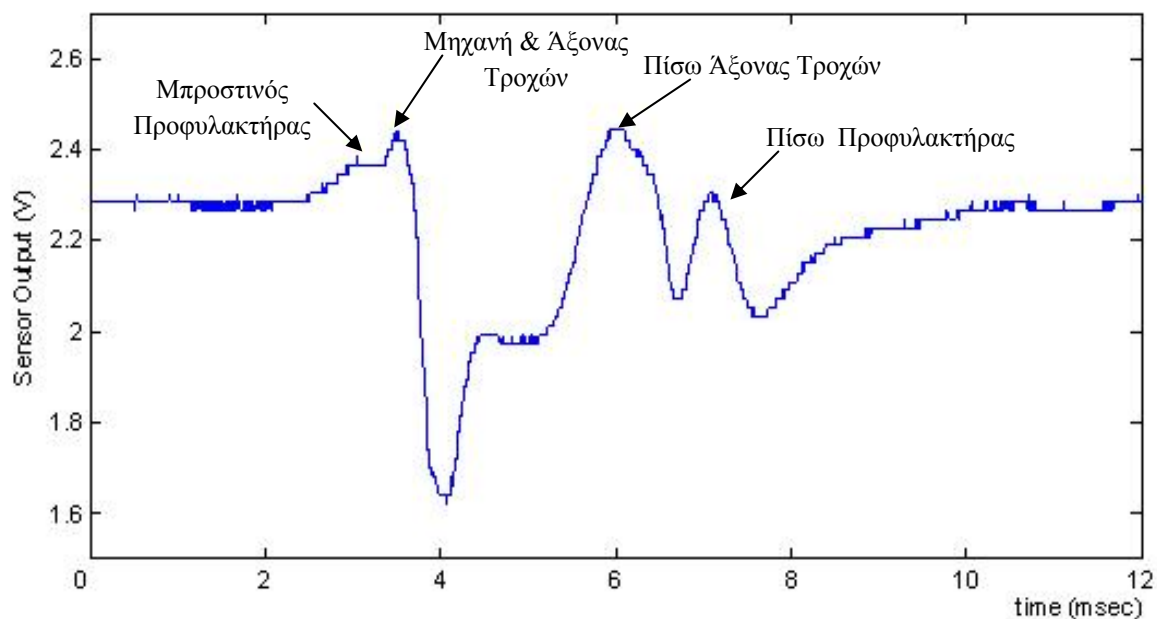
Εικόνα 6.12: Αλλοίωση πεδίου λόγω οχήματος

Γνωρίζοντας την παραμόρφωση των μαγνητικών γραμμών που προκαλούν τα επιμέρους κομμάτια του οχήματος κατά τη διέλευσή του από το μαγνητικό αισθητήρα, είναι δυνατόν να αντιστοιχηθούν οι ανυψώσεις και τα βυθίσματα που εμφανίζονται στις μαγνητικές υπογραφές. Η αντιστοίχιση αυτή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1).

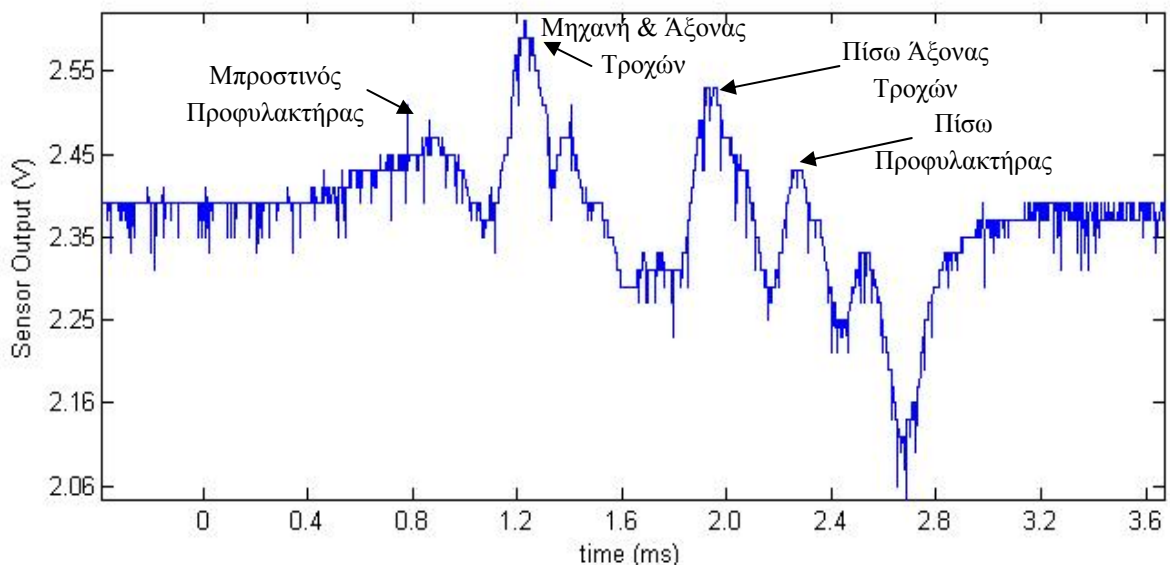
Πίνακας 1: Μεταβολές στη μαγνητική υπογραφή λόγω επιμέρους κομματιών οχήματος

Εμπρός Προφυλακτήρας	Μηχανή & Οριζόντιος Άξονας Τροχών	Οριζόντιος Άξονας Πίσω Τροχών	Πίσω Προφυλακτήρας
Ανύψωση	Μεγάλη Ανύψωση	Ανύψωση	Ανύψωση

Ανάμεσα στα παραπάνω μέρη του οχήματος, τα οποία συγκεντρώνουν σημαντικό φερομαγνητικό υλικό, μεσολαβούν κάποια που το υλικό τους δεν έχει τόσο σημαντικές μαγνητικές ιδιότητες, έτσι ώστε να παρατηρείται συμπίεση των μαγνητικών γραμμών. Αυτά τα μέρη αντιστοιχούν στα βύθισμα που παρουσιάζονται στη μαγνητική υπογραφή, ανάμεσα στα κομμάτια του οχήματος που αναφέρθηκαν στον Πίνακα 1. Ένα σημαντικό βύθισμα παρατηρείται ανάμεσα στη μηχανή και τον άξονα των πίσω τροχών, το οποίο προφανώς οφείλεται στην απουσία ισχυρών φερομαγνητικών αντικειμένων στην καμπίνα των επιβατών. Το ισχυρότερο συνήθως βύθισμα εμφανίζεται στο τέλος της μαγνητικής υπογραφής και οφείλεται στην αραίωση των μαγνητικών γραμμών που λαμβάνει χώρα πίσω από το όχημα. Όλα τα παραπάνω φαίνονται στις επόμενες εικόνες (Εικόνα 6.13 και Εικόνα 6.14).



Εικόνα 6.13: Ανάλυση μαγνητικής υπογραφής Toyota Yaris

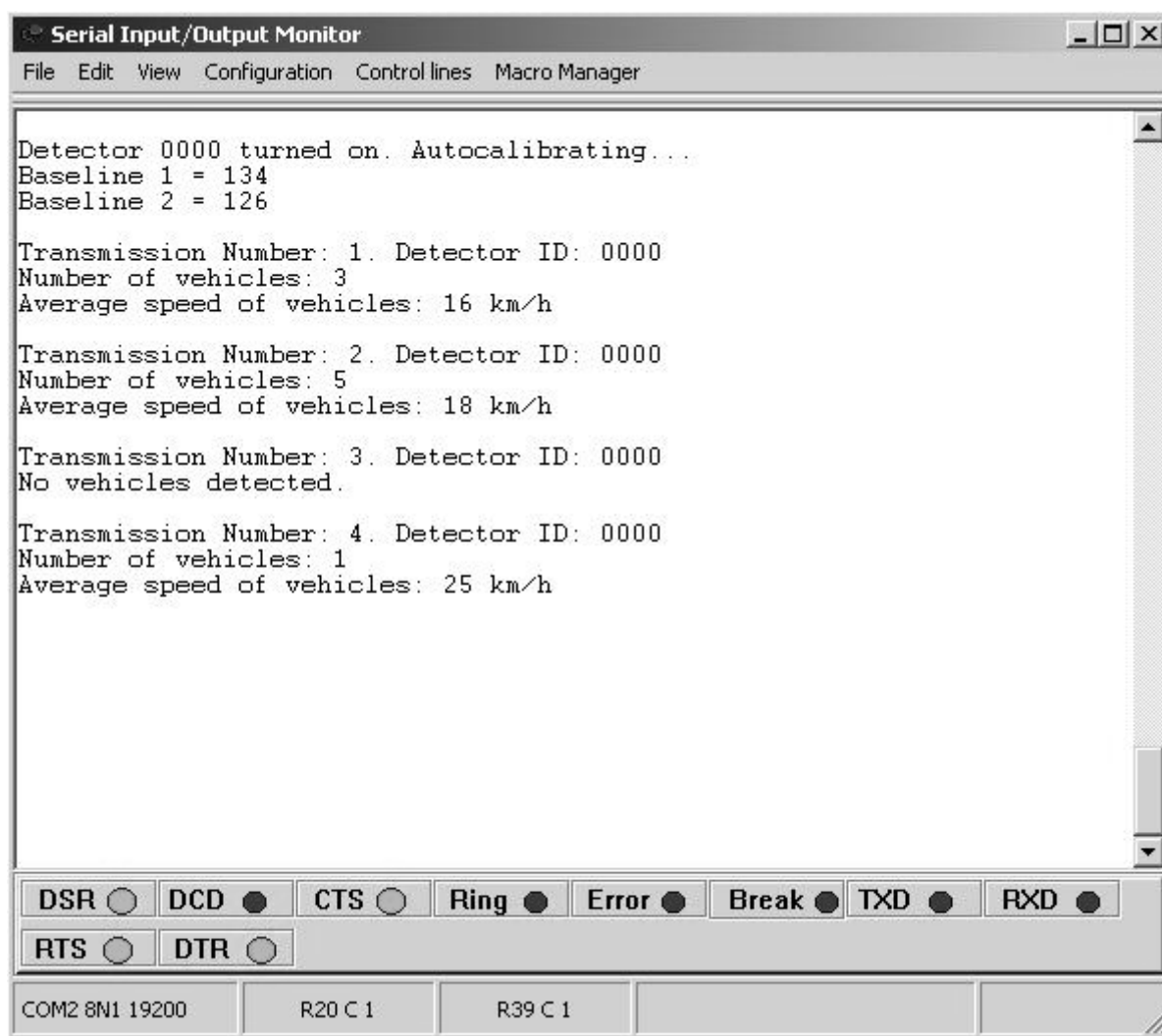


Εικόνα 6.14: Ανάλυση μαγνητικής υπογραφής Volkswagen Golf

Στις παραπάνω εικόνες αναλύονται οι μαγνητικές υπογραφές δύο διαφορετικών οχημάτων. Αν και η μορφή τους παρουσιάζει κάποιες διαφοροποιήσεις, εμφανίζονται όμοια ανεβάσματα για τα ισχυρά φερομαγνητικά μέρη και των δύο οχημάτων. Το γεγονός αυτό διασφαλίζει τη σωστή λειτουργία των αλγορίθμων ανίχνευσης και εύρεσης μέσης ταχύτητας.

6.2.2 Μετρήσεις μέσης ταχύτητας

Το σύστημα δοκιμάστηκε σε χώρο της Πολυτεχνειούπολης και συγκεκριμένα στους υπόγειους χώρους στάθμευσης για τη διαπίστωση της σωστής λειτουργίας του. Πραγματοποιήθηκε ενσωμάτωση του ασύρματου δέκτη σε φορητό υπολογιστή (laptop), έτσι ώστε η απεικόνιση των δεδομένων που έστειλε η συσκευή να γίνεται στην οθόνη (Εικόνα 6.15). Η ασύρματη ζεύξη έγινε απροβλημάτιστα μέχρι και σε απόσταση 10 μέτρων (λόγω περιορισμένου χώρου).



Εικόνα 6.15: Τα δεδομένα των μετρήσεων όπως φαίνονται σε φορητό υπολογιστή

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ταχύτητας ενός Toyota Yaris, μοντέλου του 2000. Συνολικά έγιναν 13 περάσματα πάνω από τη συσκευή, το κάθε ένα κατά τη διάρκεια μιας σειράς μετρήσεων της συσκευής. Κάθε σειρά μετρήσεων διαρκεί 90 δευτερόλεπτα, δηλαδή όσο και ο κύκλος ενός φωτεινού σηματοδότη. Αν κατά το πέρας του χρονικού αυτού διαστήματος έχει

ξεκινήσει η λήψη μιας μαγνητικής υπογραφής ενός οχήματος από τον πρώτο αισθητήρα, δηλαδή έχει ξεπεραστεί το άνω κατώφλι που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των ανυψώσεων, το σύστημα δίνει λίγο χρόνο ακόμα (30 sec) για να ξεπεραστεί και το κάτω κατώφλι και να μετρηθεί το όχημα που πέρασε από την περιοχή του αισθητήρα. Αυτό γίνεται για να επιτυγχάνεται η ανίχνευση των οχημάτων και στην περίπτωση έντονων κυκλοφοριακών συνθηκών.

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 2) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της μέσης ταχύτητας που πραγματοποίησε η συσκευή.

Πίνακας 2: Μετρήσεις μέσης ταχύτητας

Αύξοντας Αριθμός Μέτρησης	Ταχύτητα Αυτοκινήτου (Ταχύμετρο)	Ταχύτητα Αυτοκινήτου (Συσκευή)
1	14	12
2	14	12
3	19	20
4	20	14
5	23	22
6	23	23
7	24	28
8	26	29
9	26	31
10	34	40
11	35	40
12	40	45
13	48	46

Από τις παραπάνω μετρήσεις διαπιστώνεται η ορθή λειτουργία της συσκευής. Παρατηρούνται βέβαια κάποιες μικρές αποκλίσεις οι οποίες πιθανότατα οφείλονται στο σφάλμα της ένδειξης του ταχύμετρου του οχήματος σε συνδυασμό με τις αποκλίσεις της συσκευής. Γενικά όμως, τα αποτελέσματα των μετρήσεων κρίνονται αρκετά ικανοποιητικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

7.1 Συμπεράσματα

Η συσκευή τοποθετήθηκε σε ελεγχόμενο περιβάλλον, σε χώρο στάθμευσης εντός της Πολυτεχνειούπολης όπου και διαπιστώθηκε η αξιόπιστη λειτουργία της. Δοκιμάστηκε με ταχύτητες οχήματος μέχρι και 50 km/h. Όλα τα υποσυστήματα της συσκευής λειτούργησαν ικανοποιητικά, ενώ η παρακολούθηση των αποτελεσμάτων έγινε μέσω φορητού υπολογιστή στον οποίο συνδέθηκε ο ασύρματος δέκτης. Η λήψη των δεδομένων πραγματοποιήθηκε δίχως προβλήματα ακόμα και σε αποστάσεις 10 μέτρων από τον πομπό.

Συνολικά, η συσκευή αυτή αποτελεί ένα αυτόνομο σύστημα ανίχνευσης μικρού μεγέθους, το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί εύκολα μέσα στο οδόστρωμα χάρη στις μικρές του διαστάσεις. Σε συνδυασμό με μπαταρία μεγάλης χωρητικότητας, μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιπρόσθετα, η χρήση των συγκεκριμένων μαγνητικών αισθητήρων εξασφαλίζει μεγάλη αντοχή στην υγρασία, τη θερμοκρασία και τη σκόνη με αποτέλεσμα τη μακροβιότητα και την ελαχιστοποίηση της ανάγκης για συντήρηση.

Η δυνατότητα ασύρματης αποστολής (αλλά και λήψης δεδομένων, με μικρές προσθήκες στο λογισμικό του μικροελεγκτή) καθιστά ικανή τη δημιουργία ενός δικτύου ανιχνευτών, οι οποίοι θα στέλνουν τα δεδομένα σε ένα κεντρικό υπολογιστή ελέγχου. Με αυτόν τον τρόπο, με αρκετά μικρό κόστος, παρέχεται μια ολοκληρωμένη πρόταση για τον έλεγχο της κυκλοφορίας.

7.2 Προτάσεις για βελτίωση

Η ανάγκη περιορισμού του μεγέθους της συσκευής, οδήγησε σε κάποιους συμβιβασμούς όσον αφορά στη ευκολία προσαρμογής της στις ιδιαίτερες συνθήκες της περιοχής στην οποία τοποθετείται. Αν και η συσκευή, λόγω της ειδικής κατασκευής των αισθητήρων, είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στην υγρασία και τη σκόνη, η ενσωμάτωση κάποιων επιπρόσθετων αισθητήρων που θα παρακολουθούν αυτά τα μεγέθη, θα συντελέσει στη διαμόρφωση ενός συστήματος που θα έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται στις κλιματολογικές συνθήκες. Επιπλέον, με αποστολή των μετρήσεων των αισθητήρων σε έναν κεντρικό κόμβο διαχείρισης δεδομένων, θα είναι δυνατή η ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο των συνθηκών του οδοστρώματος στο οποίο είναι τοποθετημένη η συσκευή. Η σπουδαιότητα των δεδομένων αυτών είναι πολύ μεγάλη, καθώς η

προειδοποίηση των οδηγών για τυχόν επικίνδυνες συνθήκες σε κάποια οδικά δίκτυα μπορεί να αποτρέψει ατυχήματα και να σώσει ζωές.

Η ύπαρξη του ασύρματου πομπού ραδιοσυχνοτήτων, καθιστά το σύστημα ικανό, με ελάχιστες προσθήκες στο λογισμικό του μικροελεγκτή να επικοινωνήσει με άλλες συσκευές, όπως για παράδειγμα, με κάμερες φωτογράφισης και διαχείρισης κυκλοφορίας. Επίσης, με την ενσωμάτωση ενός πρωτοκόλλου ανταλλαγής δεδομένων είναι δυνατή η τοποθέτηση πολλών ανιχνευτών και η απροβλημάτιστη αποστολή των δεδομένων σε κάποιο κεντρικό σύστημα. Έχει γίνει αρκετή έρευνα πάνω στην ανάπτυξη σχετικού λογισμικού και μάλιστα υπάρχουν έτοιμες λύσεις που διατίθενται δωρεάν μέσω του διαδικτύου, οι οποίες εξασφαλίζουν ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων κατά την επικοινωνία με ένα κεντρικό σύστημα [18].

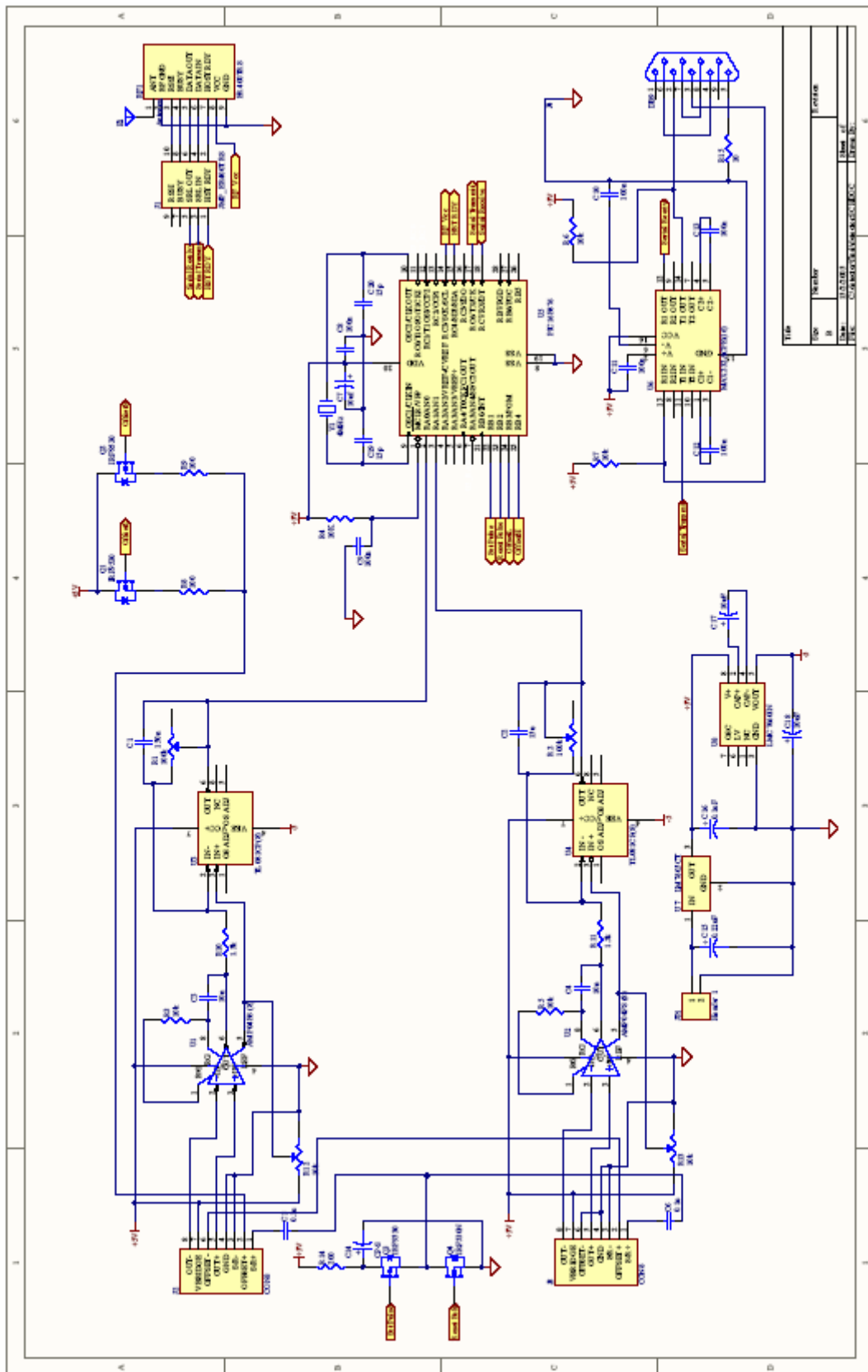
Μία ουσιαστική βελτίωση θα ήταν η μείωση του συνολικού μεγέθους της συσκευής. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το μήκος της είναι περίπου 20 εκατοστά, έτσι ώστε οι αισθητήρες, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στα άκρα της να έχουν αυτήν την απόσταση. Η απόσταση των 20 εκατοστών, όπως αναφέρθηκε, εξασφαλίζει ικανοποιητική ακρίβεια κατά τον υπολογισμό ταχυτήτων μικρότερων από 160 km/h. Η αναγκαιότητα για αυτήν την απόσταση μεταξύ των αισθητήρων έχει άμεση σχέση με την ταχύτητα του μικροελεγκτή. Ο χρονισμός του συγκεκριμένου μικροελεγκτή πραγματοποιείται από κρύσταλλο των 4MHz. Η Microchip όμως παρέχει τη δυνατότητα χρονισμού από κρυστάλλους συχνότητας μέχρι και 20MHz. Η επιλογή ενός τέτοιου κρυστάλλου θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόστασης των αισθητήρων στα 5 εκατοστά. Βέβαια, για να υλοποιηθεί το κύκλωμα σε τόσο μικρές διαστάσεις, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν εξαρτήματα τεχνολογίας SMT (Surface Mounted Technology) και το πλάτος των δρόμων της τυπωμένης πλακέτας να μικρύνει αρκετά. Αν και για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας οι προδιαγραφές αυτές κρίνονται υπερβολικές, η εμπορική επιτυχία ενός συστήματος ανίχνευσης αυτών των διαστάσεων και χαρακτηριστικών, θα ήταν αναμφισβήτητη.

Κλείνοντας, αρκετή προσοχή πρέπει να δοθεί στον τομέα της κατανάλωσης ισχύος. Προτείνεται η χρήση ενισχυτών μονής τροφοδοσίας, οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν με χαμηλή τάση καταναλώνοντας μικρή ισχύ. Επίσης, η τροφοδότηση των επιμέρους περιφερειακών του μικροελεγκτή θα μπορούσε να γίνει με τη χρήση διακοπών από MOS τρανζίστορ, μόνο όταν η λειτουργία τους είναι απαραίτητη, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ισχύος. Τέλος, αν αντικατασταθεί ο μικροελεγκτής από κάποιον πιο γρήγορο, οι διακοπές θα μπορούν να εξυπηρετηθούν πιο γρήγορα και το σύστημα θα απαιτεί λιγότερη ισχύ για τη λειτουργία του.

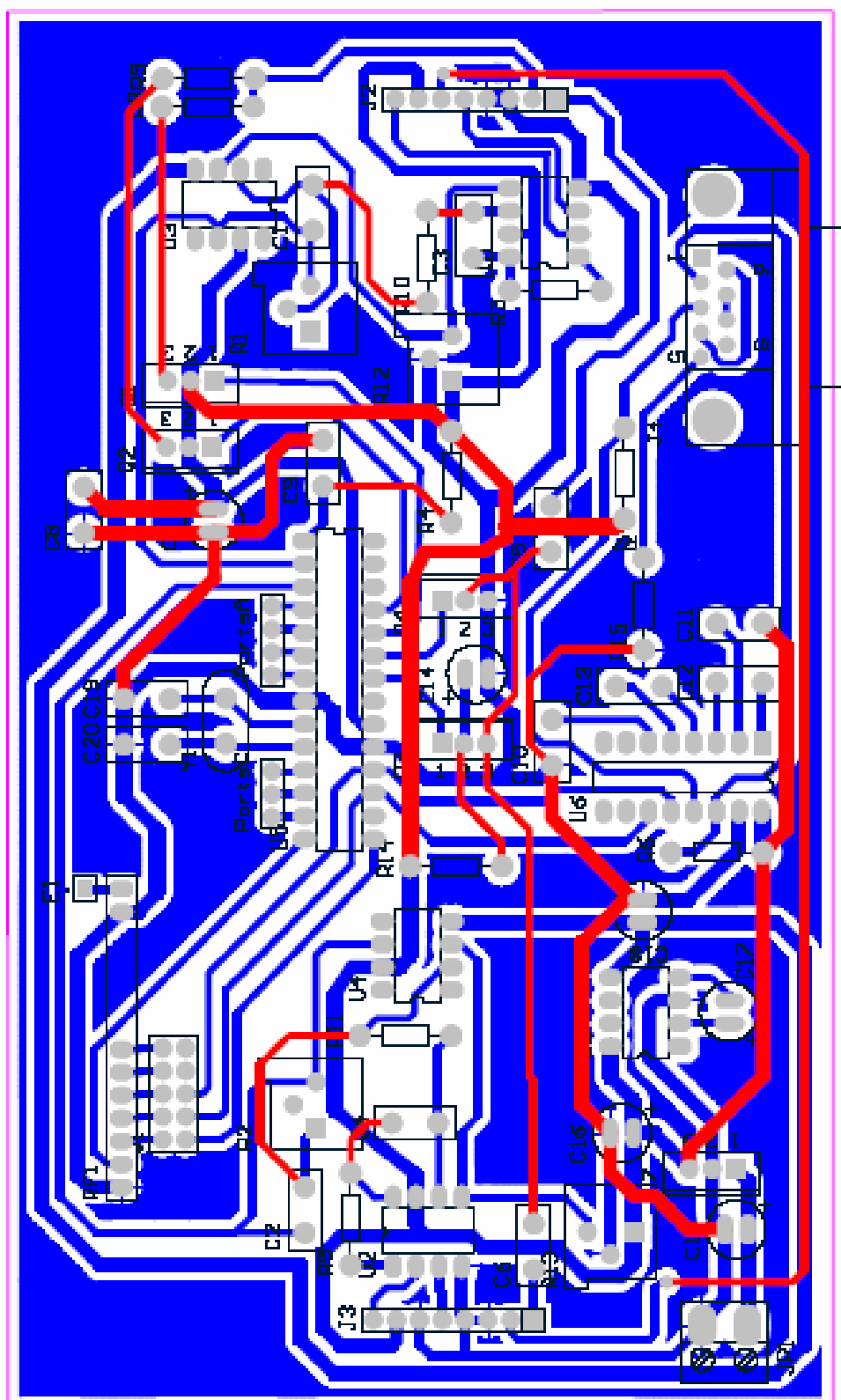
Αναφορές

- [1]: Α. Σταθόπουλος, “Ανάπτυξη του Δυναμικού Χάρτη Κυκλοφορίας της Αθήνας”, http://www.civil.ntua.gr/new/uploads/railways/map_about.el.pdf, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής Ε.Μ.Π., Copyright 1996-2001
- [2]: Ιστοσελίδα του Εργαστηρίου Σιδηροδρομικής και Μεταφορών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., http://www.civil.ntua.gr/new/htdocs/main.php?show=train_lab
- [3]: Ιστοσελίδα του Δυναμικού Χάρτη Κυκλοφορίας της Αθήνας, www.transport.ntua.gr/map
- [4]: Dr. P. Martin, Y. Feng, X. Wang, “Detector Technology Evaluation”, University of Utah Traffic Lab
- [5]: M. Caruso, Dr. H. Smith, “A New Perspective on Magnetic Field Sensing”, Honeywell Solid State Electronics Center
- [6]: M. Caruso, L. Withanawasam, “Vehicle Detection and Compass Applications using AMR Magnetic Sensors”, Honeywell Solid State Electronics Center
- [7]: “Magnetic Sensor Products, HMC/HMR Series”, Honeywell Solid State Electronics Center
- [8]: “Honeywell Sensor Products, 1- and 2-Axis Magnetic Sensors, HMC1001 / 1002, HMC1021 / 1022”, Honeywell Solid State Electronics Center
- [9]: “AMP04* Precision Single Supply Instrumentation Amplifier”, Analog Devices
- [10]: “TL080, TL081, TL082, ... JFET-Input Operational Amplifiers” Texas Instruments Incorporated
- [11]: “Easy-Radio ER400TRS Transceiver, LPRS Data Sheet”, Low Power Radio Solutions Ltd
- [12]: “MAX220-MAX249, +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers”, Maxim Integrated Products
- [13]: “PIC16F876, 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers”, Microchip Technology Inc.
- [14]: Ε. Ζάχος, “Εισαγωγή στον Προγραμματισμό Η/Υ, Σημειώσεις”, Αθήνα 1994
- [15]: B. Kernighan, D. Ritchie, “Η Γλώσσα Προγραμματισμού C”, Εκδόσεις Κλειδάριθμος 1999
- [16]: “C Compiler Reference Manual”, 2003 Custom Computer Services Incorporated
- [17]: Ι. Τσαλαμέγκας, Ι. Ρουμελιώτης, “Σημειώσεις Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων, Τόμος Ι”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2002
- [18]: Ara N. Knaian, “A Wireless Sensor Network for Smart Roadbeds and Intelligent Transportation Systems”, MIT Master Thesis
- [19]: “LPRS Data Sheet, Easy-Radio Guide”, Low Power Radio Solutions Ltd
- [20]: Γ. Μαζαράκης, “Σύστημα Αναγνώρισης Διερχόμενων Οχημάτων”, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2003

Παράρτημα Α: Σχηματικό του Ανιχνευτή Οχημάτων



Παράρτημα Β: Σχηματικό της τυπωμένης πλακέτας



Παράρτημα Γ: Αρχείο Οδήγησης Μικροελεγκτή

```
////////// Standard Header file for the PIC16F876 device ////////////
#device PIC16F876
#nolist
////////// Program memory: 8192x14   Data RAM: 367   Stack: 8
////////// I/O: 22   Analog Pins: 5
////////// Data EEPROM: 256
////////// C Scratch area: 77   ID Location: 2000
////////// Fuses: LP,XT,HS,RC,NOWDT,WDT,NOPUT,PUT,PROTECT,PROTECT_5%
////////// Fuses: PROTECT_50%,NOPROTECT,NOBROWNOUT,BROWNOUT,LVP,NOLVP,CPD
////////// Fuses: NOCPD,WRT,NOWRT,DEBUG,NODEBUG
//////////
////////// I/O
// Discrete I/O Functions: SET_TRIS_x(), OUTPUT_x(), INPUT_x(),
//                               PORT_B_PULLUPS(), INPUT(),
//                               OUTPUT_LOW(), OUTPUT_HIGH(),
//                               OUTPUT_FLOAT(), OUTPUT_BIT()
// Constants used to identify pins in the above are:

#define PIN_A0  40
#define PIN_A1  41
#define PIN_A2  42
#define PIN_A3  43
#define PIN_A4  44
#define PIN_A5  45

#define PIN_B0  48
#define PIN_B1  49
#define PIN_B2  50
#define PIN_B3  51
#define PIN_B4  52
#define PIN_B5  53
#define PIN_B6  54
#define PIN_B7  55

#define PIN_C0  56
#define PIN_C1  57
#define PIN_C2  58
#define PIN_C3  59
#define PIN_C4  60
#define PIN_C5  61
#define PIN_C6  62
#define PIN_C7  63

////////// Useful
defines
#define FALSE 0
#define TRUE 1

#define BYTE int
#define BOOLEAN short int

#define getc getch
#define fgetc getch
#define getchar getch
#define putc putchar
#define fputc putchar
#define fgets gets
#define fputs puts

////////// Control
// Control Functions: RESET_CPU(), SLEEP(), RESTART_CAUSE()
// Constants returned from RESTART_CAUSE() are:
```

```
#define WDT_FROM_SLEEP 0
#define WDT_TIMEOUT 8
#define MCLR_FROM_SLEEP 16
#define NORMAL_POWER_UP 24

////////////////////////////////////// Timer 0
// Timer 0 (AKA RTCC) Functions: SETUP_COUNTERS() or SETUP_TIMER0(),
//                               SET_TIMER0() or SET_RTCC(),
//                               GET_TIMER0() or GET_RTCC()
// Constants used for SETUP_TIMER0() are:
#define RTCC_INTERNAL 0
#define RTCC_EXT_L_TO_H 32
#define RTCC_EXT_H_TO_L 48

#define RTCC_DIV_1 8
#define RTCC_DIV_2 0
#define RTCC_DIV_4 1
#define RTCC_DIV_8 2
#define RTCC_DIV_16 3
#define RTCC_DIV_32 4
#define RTCC_DIV_64 5
#define RTCC_DIV_128 6
#define RTCC_DIV_256 7

#define RTCC_8_BIT 0

// Constants used for SETUP_COUNTERS() are the above
// constants for the 1st param and the following for
// the 2nd param:

////////////////////////////////////// WDT
// Watch Dog Timer Functions: SETUP_WDT() or SETUP_COUNTERS() (see above)
//                               RESTART_WDT()
//
#define WDT_18MS 8
#define WDT_36MS 9
#define WDT_72MS 10
#define WDT_144MS 11
#define WDT_288MS 12
#define WDT_576MS 13
#define WDT_1152MS 14
#define WDT_2304MS 15

////////////////////////////////////// Timer 1
// Timer 1 Functions: SETUP_TIMER_1, GET_TIMER1, SET_TIMER1
// Constants used for SETUP_TIMER_1() are:
// (or (via |) together constants from each group)
#define T1_DISABLED 0
#define T1_INTERNAL 0x85
#define T1_EXTERNAL 0x87
#define T1_EXTERNAL_SYNC 0x83

#define T1_CLK_OUT 8

#define T1_DIV_BY_1 0
#define T1_DIV_BY_2 0x10
#define T1_DIV_BY_4 0x20
#define T1_DIV_BY_8 0x30

////////////////////////////////////// Timer 2
```

```

// Timer 2 Functions: SETUP_TIMER_2, GET_TIMER2, SET_TIMER2
// Constants used for SETUP_TIMER_2() are:
#define T2_DISABLED          0
#define T2_DIV_BY_1         4
#define T2_DIV_BY_4         5
#define T2_DIV_BY_16        6

////////////////////////////////////// CCP
// CCP Functions: SETUP_CCPx, SET_PWMx_DUTY
// CCP Variables: CCP_x, CCP_x_LOW, CCP_x_HIGH
// Constants used for SETUP_CCPx() are:
#define CCP_OFF              0
#define CCP_CAPTURE_FE      4
#define CCP_CAPTURE_RE      5
#define CCP_CAPTURE_DIV_4   6
#define CCP_CAPTURE_DIV_16  7
#define CCP_COMPARE_SET_ON_MATCH 8
#define CCP_COMPARE_CLR_ON_MATCH 9
#define CCP_COMPARE_INT     0xA
#define CCP_COMPARE_RESET_TIMER 0xB
#define CCP_PWM              0xC
#define CCP_PWM_PLUS_1      0x1C
#define CCP_PWM_PLUS_2      0x2C
#define CCP_PWM_PLUS_3      0x3C
long CCP_1;
#define CCP_1                0x15
#define CCP_1_LOW            0x15
#define CCP_1_HIGH           0x16
long CCP_2;
#define CCP_2                0x1B
#define CCP_2_LOW            0x1B
#define CCP_2_HIGH           0x1C

////////////////////////////////////// SPI
// SPI Functions: SETUP_SPI, SPI_WRITE, SPI_READ, SPI_DATA_IN
// Constants used in SETUP_SSP() are:
#define SPI_MASTER          0x20
#define SPI_SLAVE           0x24
#define SPI_L_TO_H          0
#define SPI_H_TO_L          0x10
#define SPI_CLK_DIV_4       0
#define SPI_CLK_DIV_16      1
#define SPI_CLK_DIV_64      2
#define SPI_CLK_T2          3
#define SPI_SS_DISABLED     1

#define SPI_SAMPLE_AT_END 0x8000
#define SPI_XMIT_L_TO_H    0x4000

////////////////////////////////////// UART
// Constants used in setup_uart() are:
// FALSE - Turn UART off
// TRUE  - Turn UART on
#define UART_ADDRESS        2
#define UART_DATA           4

////////////////////////////////////// ADC
// ADC Functions: SETUP_ADC(), SETUP_ADC_PORTS() (aka SETUP_PORT_A),
//                SET_ADC_CHANNEL(), READ_ADC()
// Constants used for SETUP_ADC() are:
#define ADC_OFF              0          // ADC Off
#define ADC_CLOCK_DIV_2     0x100
#define ADC_CLOCK_DIV_8     0x40

```

```

#define ADC_CLOCK_DIV_32      0x80
#define ADC_CLOCK_INTERNAL  0xc0          // Internal 2-6us

// Constants used in SETUP_ADC_PORTS() are:
#define NO_ANALOGS           7           // None
#define ALL_ANALOG          0           // A0 A1 A2 A3 A5
#define AN0_AN1_AN2_AN4_VSS_VREF  1     // A0 A1 A2 A5 VRefh=A3
#define AN0_AN1_AN3         4           // A0 A1 A3
#define AN0_AN1_VSS_VREF     5           // A0 A1 VRefh=A3
#define AN0_AN1_AN4_VREF_VREF 0x08      // A0 A1 A5 VRefh=A3
VRef1=A2
#define AN0_AN1_VREF_VREF    0x0D      // A0 A1 VRefh=A3 VRef1=A2
#define AN0                  0x0E      // A0
#define AN0_VREF_VREF        0x0F      // A0 VRefh=A3 VRef1=A2
#define ANALOG_RA3_REF       0x1        //!old only provided for
compatibility
#define RA0_RA1_RA3_ANALOG   0x4        //!old only provided for
compatibility
#define RA0_RA1_ANALOG_RA3_REF 0x5      //!old only provided for
compatibility
#define ANALOG_RA3_RA2_REF   0x8        //!old only provided for
compatibility
#define RA0_RA1_ANALOG_RA3_RA2_REF 0xD  //!old only provided for
compatibility
#define RA0_ANALOG           0xE        //!old only provided for
compatibility
#define RA0_ANALOG_RA3_RA2_REF 0xF      //!old only provided for
compatibility

// Constants used in READ_ADC() are:
#define ADC_START_AND_READ   7         // This is the default if nothing is
specified
#define ADC_START_ONLY       1
#define ADC_READ_ONLY        6

////////////////////////////////////// INT
// Interrupt Functions: ENABLE_INTERRUPTS(), DISABLE_INTERRUPTS(),
//                      EXT_INT_EDGE()
//
// Constants used in EXT_INT_EDGE() are:
#define L_TO_H                0x40
#define H_TO_L                0
// Constants used in ENABLE/DISABLE_INTERRUPTS() are:
#define GLOBAL                 0x0BC0
#define INT_RTCC               0x0B20
#define INT_RB                 0x0B08
#define INT_EXT                0x0B10
#define INT_AD                 0x8C40
#define INT_TBE                0x8C10
#define INT_RDA                0x8C20
#define INT_TIMER1             0x8C01
#define INT_TIMER2             0x8C02
#define INT_CCP1               0x8C04
#define INT_CCP2               0x8D01
#define INT_SSP                0x8C08
#define INT_BUSCOL             0x8D08
#define INT_EEPROM             0x8D10
#define INT_TIMER0             0x0B20

#list

```

**Παράρτημα Δ: Κώδικας (Firmware) Μικροελεγκτή για συλλογή Μαγνητικής
Υπογραφής**

```

LIST P=16F876
INCLUDE "P16F876.INC" ;
ERRORLEVEL -302
ERRORLEVEL -305
;
#define _C STATUS,0
#define _DC STATUS,1
#define _Z STATUS,2
#define _PD STATUS,3
#define _TO STATUS,4
#define _RP0 STATUS,5
#define _PA0 STATUS,5
#define _RP1 STATUS,6
#define _PA1 STATUS,6
#define _IRP STATUS,7
#define _PA2 STATUS,7
;
W_TEMP          equ    45H
PCLATH_TEMP     equ    46H
STATUS_TEMP     equ    47H
AD1DATA         EQU    39H
AD2DATA         EQU    41H

    ORG    0x00
    goto   start
;
;
    org    0x04
;
;
Int_Handler

    banksel W_TEMP
    movwf   W_TEMP          ;SAVE REGISTERS
    swapf  STATUS,W
    CLRF   STATUS
    MOVWF  STATUS_TEMP
    MOVF   PCLATH,W
    MOVFW  PCLATH_TEMP
    CLRF   PCLATH
    movlw  D'6'             ;set the timer0 so that we have always
interrupts at 4000 μsec
    banksel TMR0
    movwf  TMR0

;
Timer_int          ;creates interupts every 4000 micro-
seconds
    banksel ADCON0
    bsf    ADCON0,GO       ;start ad conv for chan0
;
test0
    btfsc  ADCON0,GO       ;a/d done?
    goto   test0          ;no then keep checking
;
;----- AD conversion for chan0 done, update values... -----
;
    banksel ADRESH
    movf   ADRESH,W       ;get a/d value
    banksel AD1DATA
    movwf  AD1DATA

```

```

    movlw    D'0'
    call     sendat
    movf    AD1DATA,W
    call     sendat
    ;
; initialize AD for chan 1 conversion
;
    call     AD_chan1_init
    NOP
    NOP
    NOP
    NOP
    NOP
    banksel  ADCON0           ;wait for the setup time
    bsf     ADCON0,GO         ;start ad conv for chan0
;
    banksel  ADCON0
test1
    btfsc   ADCON0,GO         ;a/d done?
    goto    test1            ;no then keep checking
;
;----- AD conversion done for chan1, update values... -----
;
    banksel  ADRESH
    movf    ADRESH,W         ;get a/d value
    banksel  AD2DATA
    movwf   AD2DATA
    call    sendat
    call    AD_chan0_init
;
    BANKSEL  PCLATH_TEMP
    MOVF    PCLATH_TEMP,W
    MOVWF   PCLATH
    SWAPF   STATUS_TEMP,W
    MOVWF   STATUS
    SWAPF   W_TEMP,F
    SWAPF   W_TEMP,W
    retfie
;
;----- END OF INTERRUPT SERVICE ROUTINE -----
;
;----- INITIALIZE AD -----
;
AD_chan0_init
    banksel  ADCON1
    movlw   B'00000100'      ;AN0,1 analog inputs, fosc/8
    movwf   ADCON1          ;left justified
    banksel  ADCON0
    movlw   B'01000001'      ;channel 0 select
    movwf   ADCON0          ;turn on A/D.
    banksel  ADRESH
    clrf    ADRESH          ;clr result reg.
    clrf    AD1DATA
    return
;
;
AD_chan1_init
    banksel  ADCON1
    movlw   B'00000100'      ;AN0,1 analog inputs, fosc/8
    movwf   ADCON1          ;left justified
    banksel  ADCON0
    movlw   B'01001001'      ;channel 1 select

```



```

    movwf    ADCON0                ;turn on A/D.
    banksel  ADRESH
    clrf     ADRESH                ;clr result reg.
    clrf     AD2DATA
    return
;----- Start of main program -----
;
;
start
    BCF STATUS,RP1
    BCF STATUS,RP0                ;Bank 0
;
    banksel  PORTA
    CLRF     PORTA
    banksel  PORTC
    CLRF     PORTC
    banksel  AD1DATA
    CLRF     AD1DATA
    banksel  AD2DATA
    CLRF     AD2DATA
    clrf     ADRESH
;
    BSF STATUS,RP0                ;Bank 1
;
    banksel  TRISA
    MOVLW    B'00000011'          ;TISA.X=1 --> PORTA.X=input
    MOVWF    TRISA
    banksel  TRISC
    MOVLW    B'11000000'          ;set TRISC bits 7,8 for TX and RX
    MOVWF    TRISC
;
    banksel  OPTION_REG           ;set bit 0 back to 0
    MOVLW    B'11010011'          ;PORTB pull-ups are disabled,
    MOVWF    OPTION_REG           ;internal clock for TMR0, prescaler 1:16
    banksel  INTCON
    MOVLW    B'10110000'
    movwf    INTCON
;
; setup serial port transmission
;
    banksel  SPBRG
    movlw    D'12'                ;setup 19200 baud
    movwf    SPBRG
    banksel  TXSTA
    movlw    B'00100100'          ;setup for async operations , high
speed
    movwf    TXSTA
    banksel  RCSTA
    movlw    80h                  ;enable serial port operations and the
associated pins
    movwf    RCSTA
    clrf     TXREG                ;clear our serial port buffers for start
up
    clrf     RCREG
;
;----- initialize AD conversion for channel 0, setup time is sure that it
is done -----
;
    call     AD_chan0_init
;
    movlw    D'6'                ;initialize timer value to give interupts at
4000 usec

```

```
    movwf    TMR0                ;timer0 with prescaler 16 and start count from
96
loop
    goto     loop                ;do nothing, wait for timer0 interrupts
;
; Serial Communication routines
;
sendat
    banksel  TXSTA
    btfss   TXSTA,1             ;check transmit status ready to send
    goto    sendat              ;if not ready go try again
    banksel  TXREG
    movwf   TXREG                ;transmit buffer empty send new data
    return
end
```

**Παράρτημα Ε: Κώδικας (Firmware) Μικροελεγκτή για Ανίχνευση και Εύρεση
Μέσης Ταχύτητας Οχημάτων**

```

/* Program: detector.c
 * -----
 * Firmware for detector's microcontroller
 *
 * This program uses the data produced by the analog to digital
 * converter in order to count the vehicles that passed close to the
 * detector. It also calculates their mean speed and sends the results
 * to the universal synchronous/asynchronous trasmitter. It controls
 * the power supply of the radio transmitter and produces appropriate
 * pulses for the set/reset circuit of the magnetic sensors.
 * -----
 * Harris Moussoulis (harris.moussoulis@gmail.com)
 * National Technical University of Athens
 * Department of Electrical Engineering
 * -----
 * Part of Diploma Thesis "Wireless vehicle and speed detector"
 * -----
 */

#include <16f876.h>
#define DEVICE ADC=8

#define use delay(clock=4000000)
#define use rs232(baud=19200, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)

int ad0,ad1,vehicle_count1=0,vehicle_count2=0,ad0_temp,ad1_temp;
long strap_counter=180000; //180000*500us=90sec
enum trigger_state {not_triggered, triggered_on_rise, waiting_for_dip,
waiting_for_rise, triggered_on_dip};
trigger_state trigger_state1=not_triggered, trigger_state2=not_triggered;
int1 flag1=0,flag2=0,flag=0,flag_30=0,baselines_found=0;
int16 speed,transm=0,count_integrates=10000;
int veh_count=0;
int zerocount1=2000,zerocount2=2000;
int zero_timeout=2000;
int16 count=0,total_count=0;
//
int trigger_upper1, trigger_upper2, trigger_lower1, trigger_lower2,
noise_upper1;
int noise_upper2, noise_lower1, noise_lower2;
//
int16 baseline1=128;
int upper_trigger_offset1=8;
int lower_trigger_offset1=8;
int upper_noise_offset1=3;
int lower_noise_offset1=3;
//
int16 baseline2=128;
int upper_trigger_offset2=8;
int lower_trigger_offset2=8;
int upper_noise_offset2=3;
int lower_noise_offset2=3;

void enable_ad0();
void enable_ad1();
void strap_sensors();
void vehicle_detector1();
void vehicle_detector2();
void calculate_speed();
void calculate_baselines();

```

```

#int_rtcc
void clock_isr()
{
    set_timer0(6);
    enable_ad0();
    ad0=read_adc();
    ad0_temp=ad0;
    enable_ad1();
    ad1=read_adc();
    ad1_temp=ad1;
    if (baselines_found==0)
        calculate_baselines();
    else {
        strap_counter--;
        vehicle_detector1();
        vehicle_detector2();
        calculate_speed();
        if (strap_counter==0)
            strap_sensors();
    }
}

void enable_ad0()
{
    setup_port_a(AN0_AN1_AN3);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_8);
    set_adc_channel(0);
}

void enable_ad1()
{
    setup_port_a(AN0_AN1_AN3);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_8);
    set_adc_channel(1);
}

void strap_sensors()
{
    flag1=0;
    flag2=0;
    flag=0;
    if (baselines_found==1) {
        transm++;
        disable_interrupts(int_rtcc);
        disable_interrupts(global);
        printf("Vehicles detected from sensor1: %U\r\n", vehicle_count1);
        //used only for testing
        printf("Vehicles detected from sensor2: %U\r\n", vehicle_count2);
        //used only for testing
        //power-up RF module
        output_high(PIN_C3);
        //delay for 50 milliseconds for calibration of RF
        delay_ms(50);
        //start transmission through RF module
        printf("Transmission Number: %lu. Detector ID: 0000\r\n",transm);
        if (veh_count!=0) {
            speed=1440/(total_count/veh_count);
            printf("Number of vehicles: %u\r\n",veh_count);
            printf("Average speed of vehicles: %lu km/h\r\n\r\n",speed);
            veh_count=0;
            total_count=0;
            speed=0;
        }
    }
}

```

```

    }
    else
        printf("No vehicles detected.\r\n\n");
        //give 500msecs for succesful transmission
        delay_ms(500);
        //turn off RF module
        output_low(PIN_C3);
        vehicle_count1=0;
        vehicle_count2=0;
    }
    strap_counter=180000; // reset strap counter
    output_high(PIN_B2); // turn on reset
    output_high(PIN_B1); // turn on set
    delay_us(5);
    output_low(PIN_B1); // turn off set
    delay_us(20);
    output_low(PIN_B2); // turn off reset
    //
    if (baselines_found==1) {
        enable_interrupts(global);
        enable_interrupts(int_rtcc);
        set_timer0(6);
    }
}

void calculate_baselines()
{
    if (count_integrates==10000) {
        //power-up RF module
        output_high(PIN_C3);
        //delay for 5 milliseconds for calibration of RF
        delay_ms(5);
        //start transmission
        printf("Detector 0000 turned on. Autocalibrating...\r\n");
        //give 100 msecs for succesful transmission
        delay_ms(100);
        //turn off RF module
        output_low(PIN_C3);
    }
    strap_sensors();
    baseline1=(baseline1+ad0)/2;
    baseline2=(baseline2+ad1)/2;
    if ((--count_integrates)==0) {
        //first disable interrupts so there is enough time to send data via RF
        disable_interrupts(int_rtcc);
        disable_interrupts(global);
        //power-up RF module
        output_high(PIN_C3);
        //delay for 50 milliseconds for calibration of RF
        delay_ms(50);
        //start transmission
        printf("Baseline 1 = %lu\r\n",baseline1);
        printf("Baseline 2 = %lu\r\n\n",baseline2);
        //give 200 msecs for succesfull transmission
        delay_ms(200);
        //turn off RF module
        output_low(PIN_C3);
        //compute trigger points
        //sensor1
        trigger_upper1=baseline1+upper_trigger_offset1;
        trigger_lower1=baseline1-lower_trigger_offset1;
        noise_upper1=baseline1+upper_noise_offset1;

```

```

noise_lower1=baseline1-lower_noise_offset1;
//sensor2
trigger_upper2=baseline2+upper_trigger_offset2;
trigger_lower2=baseline2-lower_trigger_offset2;
noise_upper2=baseline2+upper_noise_offset2;
noise_lower2=baseline2-lower_noise_offset2;
baselines_found=1;
//initialize timer and enable interrupts
set_timer0(6);
enable_interrupts(global);
enable_interrupts(int_rtcc);
}
}

void vehicle_detector1()
{
    if (ad0>=trigger_upper1) {
        zerocount1=zero_timeout;
        if (trigger_statel==not_triggered || trigger_statel==triggered_on_dip)
        {
            trigger_statel=waiting_for_dip;
            flag1=1;
        }
        if (trigger_statel==waiting_for_rise) {
            trigger_statel=triggered_on_rise;
            vehicle_count1++;
            flag=1;
        }
    }
    if (ad0<=trigger_lower1) {
        zerocount1=zero_timeout;
        if (trigger_statel==not_triggered || trigger_statel==triggered_on_rise)
        {
            trigger_statel=triggered_on_dip;
            if (trigger_statel==waiting_for_dip) {
                trigger_statel=triggered_on_dip;
                vehicle_count1++;
                flag=1;
            }
        }
    }
    if (ad0>=noise_upper1 || ad0<=noise_lower1) {
        zerocount1=zero_timeout; //dead_zone
        return;
    }
    if (trigger_statel==not_triggered)
        return;
    else
        if ((--zerocount1)==0) { //timeout_expired
            if (trigger_statel==waiting for dip && flag_30==0) {
                zerocount1=60000; //wait 30 sec more
                flag_30=1;
            }
            trigger_statel=not_triggered;
            zerocount1=zero_timeout;
            count=0;
            flag1=0;
            flag2=0;
            flag=0;
            flag_30=0;
        }
    }
}

void vehicle_detector2()

```

```

{
    if (ad1>=trigger_upper2) {
        zerocount2=zero_timeout;
        if (flag1==1)
            flag2=1;
        if (trigger_state2==not_triggered || trigger_state2==triggered_on_dip)
        {
            trigger_state2=waiting_for_dip;
        }
        if (trigger_state2==waiting_for_rise) {
            trigger_state2=triggered_on_rise;
            vehicle_count2++;
        }
    }
    if (ad1<=trigger_lower2) {
        if (flag1==1)
            flag2=1;
        zerocount2=zero_timeout;
        if (trigger_state2==not_triggered || trigger_state2==triggered_on_rise)
            trigger_state2=triggered_on_dip;
        if (trigger_state2==waiting_for_dip) {
            trigger_state2=triggered_on_dip;
            vehicle_count2++;
        }
    }
    if (ad1>=noise_upper2 || ad1<=noise_lower2) {
        zerocount2=zero_timeout; //dead_zone
        return;
    }
    if (trigger_state2==not_triggered)
        return;
    else
        if ((--zerocount2)==0) { //timeout_expired
            trigger_state2=not_triggered;
            zerocount2=zero_timeout;
            count=0;
            flag1=0;
            flag2=0;
            flag=0;
        }
}

void calculate_speed()
{
    if (flag1==1) {
        if (flag2==0)
            count++;
        if (flag2==1 && flag==1) {
            veh_count++;
            total_count=total_count+count;
            printf("Count: %lu Total count: %lu\r\n",count,total_count);
            //transmitted only through RS232
            count=0;
            flag1=0;
            flag2=0;
            flag=0;
        }
        else if (count>2000) {
            count=0;
            flag1=0;
            flag2=0;
            flag=0;
        }
    }
}

```



```
    }  
  }  
  else {  
    flag2=0;  
    flag=0;  
  }  
}  
  
void main()  
{  
  
  //timer  
  setup_counters( rtcc_internal, rtcc_div_2 | rtcc_8_bit); //Prescaler 2,  
  interrupts every 0.5ms  
  set_timer0(6);  
  
  //interrupts  
  enable_interrupts(int_rtcc);  
  enable_interrupts(global);  
  while(1)  
  { ; }  
}
```