

ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΥΠΟΓΡΑΦΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΜΑΓΝΗΤΟΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Νεοκλής Χατζηγεωργίου¹, Δημήτριος Κοσσυβάκης¹, Ευάγγελος Χριστοφόρου¹
¹Εργαστήριο Μεταλλογνωσίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ζωγράφου, 15780, Αθήνα,
Ελλάδα
e-mail: neoklis@teamkb.com

Περίληψη

Εδώ και πολλά χρόνια οι μαγνητικοί αισθητήρες αποτελούν μια αξιόπιστη και προσιτή επιλογή για μια πλειάδα βιομηχανικών εφαρμογών εξαιτίας συγκεκριμένων πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν εν συγκρίσει με άλλους τύπους αισθητήρων. Μία από τις πλέον διαδεδομένες εφαρμογές τους αποτελεί η ενσωμάτωσή τους σε συστήματα εντοπισμού και παρακολούθησης αντικειμένων τα οποία περιέχουν φερρομαγνητικά υλικά. Σε αυτά τα πλαίσια, σχετικά πρόσφατα έχει αναφερθεί η χρήση μαγνητικών αισθητήρων για τους σκοπούς της ανίχνευσης του μαγνητικού αποτυπώματος αυτοκινούμενων οχημάτων. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η απόδοση ενός τρισδιάστατου μαγνητικού αισθητήρα τύπου ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης σε εφαρμογές ανίχνευσης της μαγνητικής μάζας ενός οχήματος. Προκειμένου για την πιο ολοκληρωμένη διερεύνηση της απόδοσης του αισθητήρα, εξετάστηκαν δύο διαφορετικές τοπολογίες, αποτελούμενη η καθεμία από δύο αισθητήρες.

Λέξεις-Κλειδιά: μαγνητικοί αισθητήρες, αισθητήρες ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης, ανίχνευση οχημάτων, παρακολούθηση οχημάτων

Abstract

For many years magnetic sensors have been a reliable and affordable solution for a variety of industrial applications, due to particular advantages they present compared to other types of sensors. Their implementation in systems dedicated to the detection and monitoring of objects containing ferromagnetic materials is one of the most widespread applications of magnetic sensors. In this respect, quite recently the employment of magnetic sensors for applications relevant to the detection and monitoring of the magnetic footprint of vehicles has been reported. In this work, the performance of a three-dimensional magnetic sensor, based on the anisotropic magnetoresistance effect, for the detection of the magnetic mass of a typical vehicle has been evaluated. In order to better investigate the performance of the sensor under examination, two different topologies, consisting of two sensors each, were examined.

Keywords: magnetic sensors, anisotropic magnetoresistance sensors, vehicle detection, vehicle monitoring

1. Εισαγωγή

Αν και οι μαγνητικοί αισθητήρες αξιοποιούνται εδώ και πολλές δεκαετίες σε ένα πλήθος βιομηχανικών και όχι μόνο εφαρμογών, είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια έχουν επέλθει αξιοσημείωτες βελτιώσεις στην κατεύθυνση τόσο της αύξησης της αξιοπιστίας τους όσο και της μείωσης του κόστους κατασκευής και επομένως και εμπορικής διάθεσής τους. Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μεγάλη πρόοδο που συντελέστηκε την ίδια χρονική περίοδο στα επιστημονικά πεδία των μαγνητικών υλικών και της μικροηλεκτρονικής, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης τόσο των ίδιων των αισθητηρίων συστημάτων όσο και των βοηθητικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων διέγερσης, καταγραφής και επεξεργασίας των ηλεκτρικών σημάτων εξόδου. Πλέον, μια μεγάλη ποικιλία μαγνητικών αισθητήρων είναι διαθέσιμη εμπορικά, παρέχοντας τη δυνατότητα κάλυψης ακόμα και των πλέον απαιτητικών εφαρμογών [1, 2].

Είναι κοινά αποδεκτό ότι οι μαγνητικοί αισθητήρες παρουσιάζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων συγκρινόμενοι με άλλους τύπους αισθητήρων. Διαθέτουν ικανότητα λειτουργίας ακόμα και υπό αντίξοες συνθήκες, μπορούν να λειτουργούν δίχως να είναι ορατοί, εμφανίζουν αυξημένη αξιοπιστία λόγω της απουσίας κινούμενων μηχανικών μερών και αναλόγως των μαγνητικών υλικών που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή τους μπορούν να λειτουργήσουν απρόσκοπτα σε ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες [1].

Μεταξύ των διαφορετικών τύπων μαγνητικών αισθητήρων, αυτοί οι οποίοι απαντώνται πιο συχνά στην πράξη είναι τα συνηθισμένα πηνία λήψης και οι αισθητήρες Hall, που αποτελούν μια αρκετά ικανοποιητική και προσιτή οικονομικά επιλογή για εφαρμογές χωρίς ιδιαίτερα μεγάλες απαιτήσεις [3, 4]. Για περισσότερο απαιτητικές εφαρμογές ενδείκνυται η χρήση αισθητήρων ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης (AMR), γιγαντιαίας μαγνητοαντίστασης (GMR), γιγαντιαίας μαγνητοεμπέδησης (GMI) καθώς και μαγνητομέτρων τύπου πύλης – ροής (Fluxgates) [5-8]. Τέλος, σε εφαρμογές στις οποίες ζητούμενο είναι η μέγιστη δυνατή ευαισθησία μέτρησης συνήθως χρησιμοποιούνται υπεραγώγιοι αισθητήρες κβαντικής συμβολής (SQUID), οι οποίοι αποτελούν και την αιχμή της τεχνολογίας σε ότι αφορά την αγορά των μαγνητικών αισθητηρίων συστημάτων [9].

Μία από τις πλέον διαδεδομένες εφαρμογές μαγνητικών αισθητήρων αποτελεί η ανίχνευση της παρουσίας ή της κίνησης φερρομαγνητικών αντικειμένων ή μεγαλύτερων κατασκευών οι οποίες εμπεριέχουν φερρομαγνητικά υλικά [10-13]. Η συγκεκριμένη προσέγγιση είναι ιδιαίτερα δημοφιλής και έχει υιοθετηθεί σε μια αρκετά ευρεία κλίμακα επιστημονικών και βιομηχανικών πεδίων (αισθητήρες εντοπισμού θέσης, αισθητήρες μετατόπισης, μη καταστροφικοί έλεγχοι κλπ.). Στην κατεύθυνση αυτή, σχετικά πρόσφατα, έχει εξετασθεί η δυνατότητα ενσωμάτωσης μαγνητικών αισθητήρων σε συστήματα εντοπισμού και καταγραφής της κίνησης αυτοκινούμενων οχημάτων [14-16]. Η συγκεκριμένη εφαρμογή έχει συγκεντρώσει τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερο ενδιαφέρον, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων που υπάρχουν για την καταγραφή και επιτήρηση της κυκλοφορίας σε αυτοκινητοδρόμους, διόδια κλπ.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η απόδοση ενός μαγνητικού αισθητήρα τύπου ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης του οίκου Honeywell σε εφαρμογές ανίχνευσης του μαγνητικού αποτυπώματος αυτοκινούμενων οχημάτων. Ειδικότερα, σκοπός είναι ο προσδιορισμός της καταλληλότητας του συγκεκριμένου αισθητήρα για την ενσωμάτωσή του σε συστήματα καταγραφής της παρουσίας, της ταχύτητας και της κατεύθυνσης οχημάτων τα οποία κινούνται κοντά στην περιοχή του. Προκειμένου να εξαχθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τις δυνατότητες του εξεταζόμενου αισθητήρα

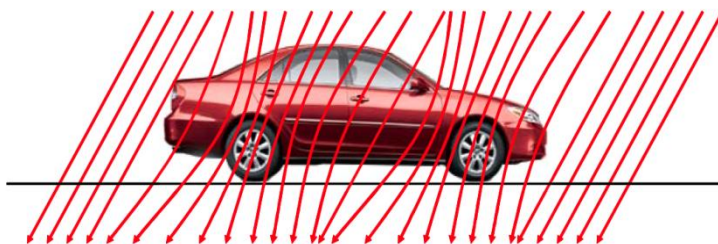
Νεοκλής Χατζηγεωργίου¹, Δημήτριος Κοσσυβάκης¹, Ευάγγελος Χριστοφόρου¹, ¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Μέτρηση μαγνητικής υπογραφής με χρήση τρισδιάστατων αισθητήρων μαγνητοαντίστασης

κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν δύο διαφορετικές τοπολογίες, καθεμία από τις οποίες περιλαμβάνει δύο συνολικά αισθητήρες.

2. Μεθοδολογία

Οι τεχνολογίες ανίχνευσης της παρουσίας και της κίνησης αυτοκινούμενων οχημάτων με μαγνητικές τεχνικές βασίζονται στην ενσωμάτωση φερρομαγνητικών υλικών στα διάφορα μέρη ενός αυτοκινήτου κατά το στάδιο της κατασκευής του. Τα φερρομαγνητικά υλικά που απαντώνται στο σώμα ενός οχήματος έχουν ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου της γης στην περιοχή στην οποία βρίσκεται ή κινείται το όχημα [14]. Η διαδικασία της ανίχνευσης επομένως δεν στηρίζεται στην μέτρηση του μαγνητικού αποτυπώματος του οχήματος αυτού καθεαυτού αλλά στη μέτρηση των διαταραχών που η παρουσία του προκαλεί στο μαγνητικό πεδίο της γης (Εικ. 1).



Εικόνα 1: Απεικόνιση της διαταραχής που προκαλείται στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου της γης εξαιτίας της παρουσίας ενός οχήματος [14]

Συνήθως, το μέγεθος της προκαλούμενης διαταραχής είναι μεγαλύτερο κοντά στην περιοχή του κινητήρα και των τροχών, αλλά σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από την ποσότητα των φερρομαγνητικών υλικών τα οποία έχουν ενσωματωθεί κατά το στάδιο κατασκευής του αυτοκινήτου στα διάφορα μέρη του (πλαίσιο, οροφή κλπ.). Σημαντικό ρόλο στην απόδοση του αισθητήριου συστήματος επίσης παίζει και η επιλογή του σημείου στο οποίο στο οποίο τοποθετείται ο αισθητήρας σε σχέση με το όχημα. Η ευαισθησία της μέτρησης είναι μεγαλύτερη όταν το όχημα σταματά ή διέρχεται πάνω από τον αισθητήρα, ενώ εξασθενεί καθώς η απόσταση μεταξύ αισθητήρα και οχήματος αυξάνεται. Ανάλογα με τον τύπο του υπό μέτρηση οχήματος (βαρύ ή ελαφρύ όχημα) η απόσταση μεταξύ αυτού και του αισθητήρα είναι δυνατό να αυξηθεί έως και τα 15 μέτρα [14].

Δεδομένου ότι η τιμή του μαγνητικού πεδίου της γης είναι της τάξης των 0,5 Gauss, για τέτοιου τύπου εφαρμογές απαιτούνται μαγνητικοί αισθητήρες που μπορούν να μετρούν από κλάσματα του μεγέθους αυτού έως και μερικά gauss [18]. Για το λόγο αυτό οι αισθητήρες ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης αποτελούν θεωρητικά μια πολύ καλή επιλογή για τη συγκεκριμένη εφαρμογή [16, 17].

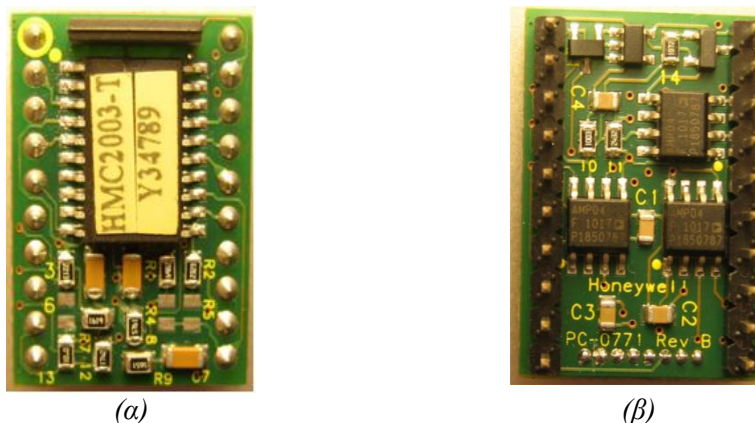
2.1. Αισθητήρας ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης HMC2003

Ο αισθητήρας ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης HMC2003 (Εικ. 2) είναι της υβριδικός αισθητήρας, κατασκευασμένος από την εταιρεία Honeywell, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να μετρά το μαγνητικό πεδίο σε τρεις άξονες (x, y, z). Παρέχονται δηλαδή τρεις αναλογικές έξοδοι, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί στο μαγνητικό πεδίο ενός άξονα. Ο αισθητήρας στο σύνολό του αποτελείται από δύο επί μέρους αισθητήρες υψηλής ευαισθησίας. Ο πρώτος αισθητήρας (HMC1001) μετρά τη συνιστώσα z του μαγνητικού πεδίου και ο δεύτερος αισθητήρας (HMC1002) μετρά της συνιστώσες x και y αντίστοιχα.

Νεοκλής Χατζηγεωργίου¹, Δημήτριος Κοσσυβάκης¹, Ευάγγελος Χριστοφόρου¹, ¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

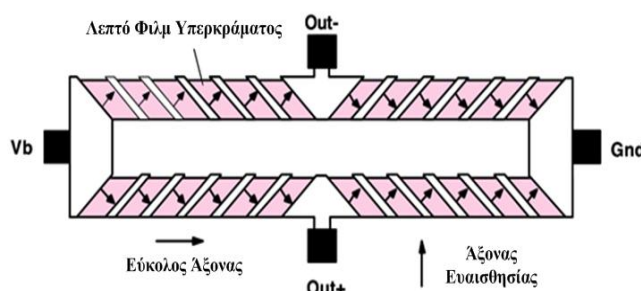
Μέτρηση μαγνητικής υπογραφής με χρήση τρισδιάστατων αισθητήρων μαγνητοαντίστασης

Στο κύκλωμα του αισθητήρα, όπως αυτό παραδίδεται από τον κατασκευαστή, περιλαμβάνονται και τρεις ενισχυτές χαμηλού θορύβου (ένας ενισχυτής για κάθε συνιστώσα) καθώς και ενεργό βαθυπερατό φίλτρο με συχνότητα αποκοπής 1KHz. Η διακριτική ικανότητα του αισθητήρα σε ότι αφορά την μέτρηση μαγνητικών πεδίων ανέρχεται στα 40 μ Gauss, ενώ μπορεί να μετρά μαγνητικά πεδία μέγιστης τιμής έως και 2 Gauss [19].



Εικόνα 2: Κύκλωμα αισθητήρα HMC2003 (α) εμπρόσθια όψη και (β) οπίσθια όψη

Για τη μέτρηση καθεμίας από τις τρεις συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου ο αισθητήρας ενσωματώνει μία γέφυρα Wheatstone, αποτελούμενη από τέσσερις μαγνητοαντιστάσεις (Εικ. 3). Η διάταξη αυτή επιτρέπει τη μέτρηση με μεγαλύτερη ακρίβεια μικρών μεταβολών των αντιστάσεων και κατ' επέκταση μικρών τιμών μαγνητικού πεδίου. Κάθε μαγνητοαντίσταση αποτελείται από μια λεπτή επίστρωση Ni-Fe (permalloy) πάνω σε υπόστρωμα πυριτίου (Si) διαμορφωμένη έτσι ώστε να αποτελεί στοιχείο αντίστασης υπό μορφή ταινίας. Η εφαρμογή εξωτερικού μαγνητικού πεδίου στη μεγάλη πλευρά του φιλμ προκαλεί περιστροφή του διανύσματος μαγνήτισης και αλλαγή της γωνίας του. Αυτό με τη σειρά του οδηγεί σε αλλαγή της τιμής της αντίστασης, θέτοντας τη γέφυρα Wheatstone εκτός ισορροπίας, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της τάσης εξόδου της γέφυρας. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται η μέτρηση της μαγνήτισης σε κάθε έναν από τις τρεις άξονες x, y, και z [19].



Εικόνα 3: Οι τέσσερις μαγνητοαντιστάσεις σε διάταξη γέφυρας Wheatstone για τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου σε έναν άξονα

2.2. Πειραματική διάταξη

Δεδομένου ότι ο αισθητήρας ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των μετρήσεων παράγει αναλογικό σήμα στην έξοδό του, κατασκευάστηκε σύστημα δειγματοληψίας το οποίο μετατρέπει το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό και επιτρέπει την αποστολή του σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για την καταγραφή και την περαιτέρω επεξεργασία του.

Νεοκλής Χατζηγεωργίου¹, Δημήτριος Κοσσυβάκης¹, Ευάγγελος Χριστοφόρου¹, ¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Μέτρηση μαγνητικής υπογραφής με χρήση τρισδιάστατων αισθητήρων μαγνητοαντίστασης

Προκειμένου για την κατασκευή του συστήματος δειγματοληψίας επιλέχθηκε η κάρτα δειγματοληψίας ADAM-4017 του οίκου Advantech (Εικ. 4).



Εικόνα 4: Κάρτα δειγματοληψίας ADAM-4017

Η συγκεκριμένη κάρτα δειγματοληψίας καλύπτει επαρκώς τις απαιτήσεις της εξεταζόμενης εφαρμογής και διαπιστώθηκε κατά τη διάρκεια δοκιμών ότι παρουσιάζει ιδιαίτερα καλή συμβατότητα κατά τη λειτουργία της σε συνδυασμό με τον αισθητήρα HMC2003. Διαθέτει οκτώ αναλογικές εισόδους, ικανοποιώντας την απαίτηση για ψηφιοποίηση των τριών ηλεκτρικών σημάτων εξόδου του αισθητήρα, καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μία συνιστώσα μαγνητικού πεδίου. Η προσφερόμενη ανάλυση είναι της τάξης των 16 bit, ενώ παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης του εύρους τάσης εισόδου, ώστε αυτό να μπορεί να βελτιστοποιηθεί ανάλογα με το εκάστοτε αναλογικό σήμα εισόδου, το οποίο στην προκειμένη περίπτωση είναι το ηλεκτρικό σήμα εξόδου του αισθητήρα [20]. Μετά από σειρά δοκιμών επιλέχθηκε εύρος τάσης εισόδου ± 500 mV, το οποίο, δεδομένης της ανάλυσης 16 bit του δειγματολήπτη και των χαρακτηριστικών του αισθητήρα, προσφέρει τελικά διακριτική ικανότητα της τάξης των 20 μ Gauss στο στάδιο της ψηφιοποίησης του σήματος. Η ανάλυση αυτή κρίνεται αρκετή για τη συγκεκριμένη εφαρμογή και υπερκαλύπτει τη διακριτική ικανότητα του αισθητήριου συστήματος.

Για την αποστολή της ψηφιακής εξόδου του δειγματολήπτη στον ηλεκτρονικό υπολογιστή χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο επικοινωνίας RS-485 [21]. Η σύνδεση μεταξύ της κάρτας ADAM-4017 και του υπολογιστή πραγματοποιήθηκε με κατάλληλο καλώδιο. Εν συνεχεία, η καταγραφή και επεξεργασία του σήματος στον ηλεκτρονικό υπολογιστή υλοποιήθηκε με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού, το οποίο σχεδιάστηκε σε περιβάλλον εργασίας Labview.

Σε ότι αφορά την τροφοδοσία του αισθητήρα, αυτή πραγματοποιήθηκε με χρήση μπαταρίας μολύβδου ονομαστικής τάσης 12V και χωρητικότητας 7Ah, η οποία χρησιμοποιήθηκε παράλληλα και για την τροφοδοσία του συστήματος δειγματοληψίας και μπορεί να παρέχει αυτονομία στο σύστημα μέτρησης πλέον των τριάντα ωρών. Η επιλογή τροφοδοσίας μέσω συσσωρευτή, αν και προσέθεσε επιπλέον βάρος στο σύστημα μέτρησης, επιτρέπει την εύκολη μεταφορά της μετρητικής διάταξης για τη διεξαγωγή πειραμάτων σε εξωτερικούς χώρους και επιπλέον αποκλείει την εισαγωγή θορύβου προερχόμενου από το δημόσιο δίκτυο παροχής ενέργειας στις μετρήσεις. Για τη βέλτιστη τροφοδότηση του συστήματος μέτρησης, μεταξύ του συσσωρευτή και των υπόλοιπων συστημάτων παρεμβλήθηκε κύκλωμα σταθεροποίησης της τάσης, το οποίο παράλληλα εξυπηρετεί και τον υποβιβασμό της τάσης του συσσωρευτή στα απαιτούμενα για τη λειτουργία του αισθητήρα επίπεδα.

Τέλος, προκειμένου να είναι δυνατή η διεξαγωγή μετρήσεων και σε εξωτερικό περιβάλλον ακόμα και υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες, όλα τα παραπάνω

Νεοκλής Χατζηγεωργίου¹, Δημήτριος Κοσσυβάκης¹, Ευάγγελος Χριστοφόρου¹, ¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Μέτρηση μαγνητικής υπογραφής με χρήση τρισδιάστατων αισθητήρων μαγνητοαντίστασης

υποσυστήματα (αισθητήρας, δειγματολήπτης, συσσωρευτής και σταθεροποιητής τάσης) τοποθετήθηκαν σε πλαστικό κουτί βαθμού προστασίας IP65 (Εικ. 5). Για την είσοδο στο κουτί των απαραίτητων καλωδιώσεων επικοινωνίας με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή χρησιμοποιήθηκαν πλαστικοί στυπιοθλίπτες της ίδιας κλάσης βαθμού προστασίας.



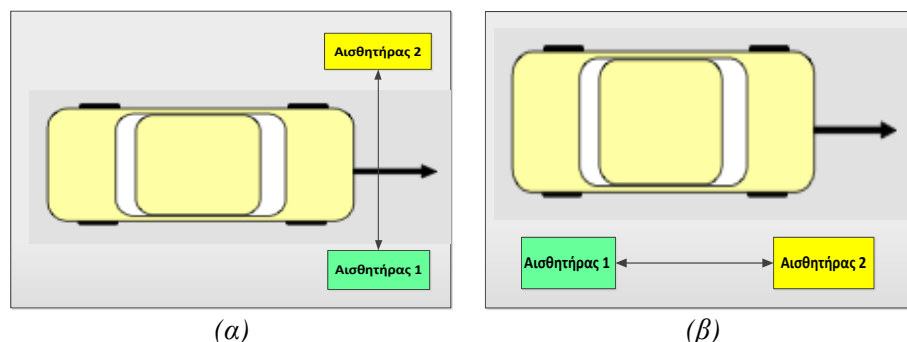
Εικόνα 5: Τελική συσκευασία μετρητικής διάταξης

2.3. Τοπολογίες και χώρος διεξαγωγής των μετρήσεων

Για την καλύτερη αξιολόγηση της απόδοσης του αισθητήρα κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν δύο διαφορετικές τοπολογίες. Σε κάθε τοπολογία χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες HMC2003, οι οποίοι ρυθμίστηκαν και τοποθετήθηκαν όπως ακριβώς περιγράφεται στην Ενότητα 2.2.

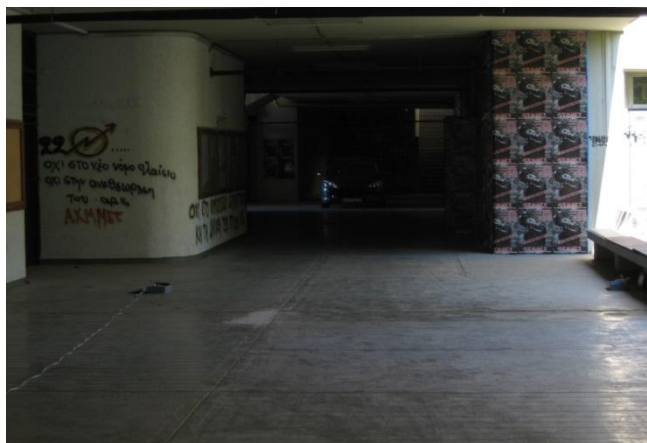
Στην πρώτη περίπτωση οι δύο αισθητήρες τοποθετήθηκαν έτσι ώστε οι y άξονες μέτρησης της μαγνήτισης να είναι συνευθειακοί (Εικ. 6α). Κατά τη διάρκεια του πειράματος το κινούμενο όχημα διήλθε μία φορά μεταξύ των δύο αισθητήρων. Κατόπιν εκτέλεσε αναστροφή και πέρασε ξανά ανάμεσα από της δύο αισθητήρες κατά την αντίθετη φορά.

Στην δεύτερη περίπτωση οι δύο αισθητήρες τοποθετήθηκαν έτσι ώστε οι x άξονες μέτρησης της μαγνήτισης να είναι συνευθειακοί (Εικ. 6β). Το αυτοκίνητο ακολούθησε ακριβώς την ίδια πορεία όπως και στην πρώτη τοπολογία μέτρησης. Ο σκοπός της πειραματικής διαδικασίας και στις δύο περιπτώσεις ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας ανίχνευσης από την κάθε τοπολογία της ύπαρξης του οχήματος το οποίο βρίσκεται εντός της περιοχής των αισθητήρων αλλά και η ικανότητα αναγνώρισης της φοράς κίνησης του οχήματος και της μέτρησης της ταχύτητάς του.



Εικόνα 6: Πρώτη (α) και δεύτερη (β) τοπολογία μέτρησης

Η διεξαγωγή των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στον υπαίθριο χώρο της Σχολής Μεταλλειολόγων – Μεταλλουργών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Εικ. 7). Το όχημα το οποίο χρησιμοποιήθηκε κατά την πειραματική διαδικασία ήταν του οίκου Peugeot, μοντέλο 307. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε χρόνο εκτός του ωραρίου λειτουργίας της Σχολής, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν παρεμβολές από μαγνητικά πεδία οφειλόμενα στη λειτουργία συσκευών και άλλων πειραματικών διατάξεων.



Εικόνα 7: Χώρος διεξαγωγής μετρήσεων

2.4. Βαθμονόμηση αισθητήρα

Για τη βέλτιστη λειτουργία των μετρητικών διατάξεων, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του αισθητήρα επί τόπου της περιοχής μέτρησης. Σκοπός της βαθμονόμησης ήταν ο μηδενισμός των τριών συνιστωσών του μαγνητικού πεδίου των δύο αισθητήρων απουσία του οχήματος δοκιμής. Για λόγους ευκολίας, η διαδικασία αυτή επιλέχθηκε να ενσωματωθεί με αυτοματοποιημένο τρόπο στο λογισμικό επεξεργασίας του σήματος εξόδου των αισθητήρων. Παρότι δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των μετρήσεων, μέσω του λογισμικού επεξεργασίας λήφθηκε μέριμνα και για την εξάλειψη αλλαγών του μαγνητικού πεδίου οφειλομένων σε θερμοκρασιακές μεταβολές.

3. Αποτελέσματα

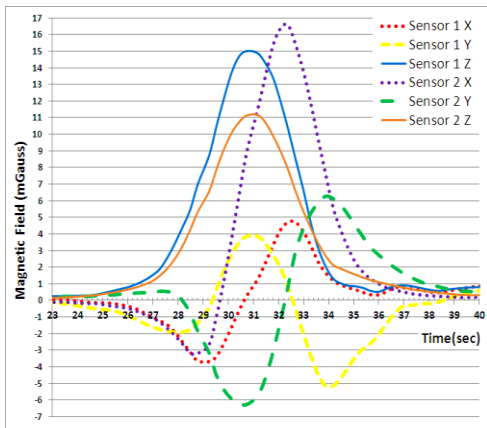
Στις επόμενες δύο ενότητες παρατίθενται τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας για κάθε μία από τις δύο τοπολογίες που κατασκευάστηκαν. Κάθε γράφημα περιλαμβάνει τις μετρήσεις των τριών συνιστωσών x , y , z για κάθε αισθητήρα (συνολικά έξι καμπύλες σε κάθε γράφημα). Για κάθε μία από τις δύο τοπολογίες παρατίθενται δύο γραφήματα, ένα γράφημα το οποίο απεικονίζει την έξοδο των δύο αισθητήρων κατά το πρώτο πέρασμα του αυτοκινήτου και ένα δεύτερο γράφημα το οποίο απεικονίζει την έξοδο των αισθητήρων κατά το δεύτερο πέρασμα του αυτοκινήτου, μετά την εκτέλεση της αναστροφής.

3.1. Πρώτη τοπολογία μέτρησης

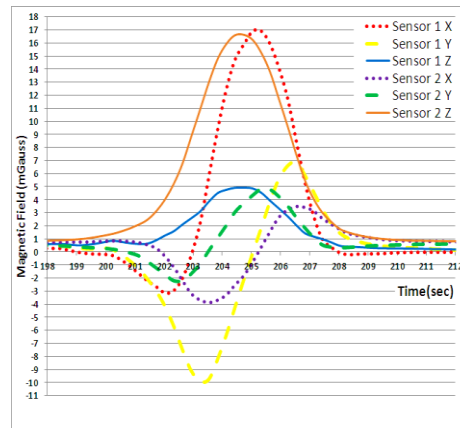
Στην Εικόνα 8 απεικονίζεται η έξοδος κάθε συνιστώσας των δύο αισθητήρων για την πρώτη τοπολογία, όπως αυτή καταγράφηκε κατά το πρώτο και κατά το δεύτερο πέρασμα του οχήματος:

Νεοκλής Χατζηγεωργίου¹, Δημήτριος Κοσσυβάκης¹, Ευάγγελος Χριστοφόρου¹, ¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Μέτρηση μαγνητικής υπογραφής με χρήση τρισδιάστατων αισθητήρων μαγνητοαντίστασης



(α)



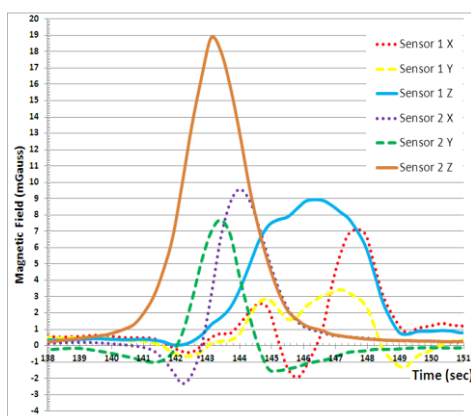
(β)

Εικόνα 8: Απόκριση αισθητήρων κατά το πρώτο (α) και κατά το δεύτερο (β) πέρασμα του οχήματος στην πρώτη τοπολογία μέτρησης

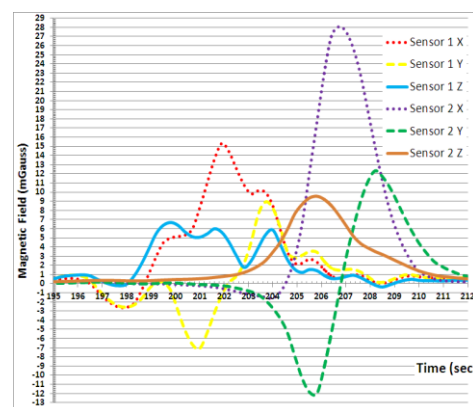
Μελετώντας την έξοδο των αισθητήρων είναι προφανές ότι το πλάτος του σήματος εξόδου είναι επαρκές για τον εντοπισμό του μαγνητικού αποτυπώματος του αυτοκινήτου. Παρατηρείται επίσης ότι κατά το πρώτο πέρασμα η έξοδος του αισθητήρα 2 είναι μεγαλύτερη από αυτή του αισθητήρα 1, ενώ η κατάσταση αντιστρέφεται κατά το δεύτερο πέρασμα του αυτοκινήτου. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει ότι η φερρομαγνητική μάζα του αυτοκινήτου δεν είναι συμμετρικά τοποθετημένη γύρω από τον οριζόντιο άξονα συμμετρίας του. Σε ότι αφορά τη μέτρηση της ταχύτητας του οχήματος, η πρώτη τοπολογία δεν προσφέρει ιδιαίτερη ευελιξία, καθώς απαιτείται μέτρηση της χρονικής διάρκειας του μαγνητικού παλμού με μεγάλη ακρίβεια. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση όμως δεν είναι βέβαιο ότι η μέτρηση θα είναι επαρκώς αξιόπιστη, διότι προϋποθέτει επακριβή και εκ των προτέρων γνώση του μαγνητικού αποτυπώματος του οχήματος.

3.2. Δεύτερη τοπολογία μέτρησης

Στην Εικόνα 9 απεικονίζεται η έξοδος κάθε συνιστώσας των δύο αισθητήρων για την δεύτερη τοπολογία, όπως αυτή καταγράφηκε κατά το πρώτο και κατά το δεύτερο πέρασμα του οχήματος από την περιοχή των αισθητήρων:



(α)



(β)

Εικόνα 9: Απόκριση αισθητήρων κατά το πρώτο (α) και κατά το δεύτερο (β) πέρασμα του οχήματος στην δεύτερη τοπολογία μέτρησης

Σε ότι αφορά την δυνατότητα ανίχνευσης του μαγνητικού αποτυπώματος του οχήματος και στην δεύτερη περίπτωση το πλάτος του σήματος εξόδου και των δύο αισθητήρων κρίνεται επαρκές. Η δεύτερη τοπολογία προσφέρει επίσης τη δυνατότητα ευκολότερης μέτρησης της ταχύτητας του αυτοκινήτου υπολογίζοντας τη χρονική διαφορά μεταξύ των σημάτων εξόδου των δύο αισθητήρων. Τέλος και η διαπίστωση της κατεύθυνσης του αυτοκινήτου είναι πιο εύκολη παρακολουθώντας την έξοδο των δύο αισθητήρων και καταγράφοντας ποιος εκ των δύο ενεργοποιείται πρώτος.

4. Συμπεράσματα – Πρόταση

Η εξέλιξη των μαγνητικών αισθητήρων τις τελευταίες δεκαετίες έχει οδηγήσει σε μεγάλες βελτιώσεις και νέα πιο αξιόπιστα προϊόντα τα οποία μπορούν να καλύψουν με επιτυχία τις ανάγκες ιδιαίτερα απαιτητικών εφαρμογών. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η απόδοση ενός μαγνητικού αισθητήρα τύπου ανισοτροπικής μαγνητοαντίστασης σε μια εφαρμογή ανίχνευσης του μαγνητικού αποτυπώματος ενός αυτοκινούμενου οχήματος. Κατασκευάστηκαν και εξετάστηκαν δύο διαφορετικές τοπολογίες καθεμία από τις οποίες περιλαμβάνει δύο συνολικά αισθητήρες. Παρότι και οι δύο τοπολογίες προσφέρουν τη δυνατότητα ανίχνευσης της μαγνητικής μάζας ενός τυπικού οχήματος, η δεύτερη τοπολογία προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία σε ότι αφορά τον προσδιορισμό της ταχύτητας αλλά και της κατεύθυνσης του οχήματος.

5. Βιβλιογραφία

- [1] Ripka P., “Magnetic Sensors & Magnetometers”, Artech House, 2001.
- [2] Fraden J., “Handbook of Modern Sensors: Physics, Design and Applications”, 4th Ed., Springer, 2010.
- [3] Sadeghi S.H.H., Toosi B., Moini R., “On the suitability of induction coils for crack detection and sizing in metals by the surface magnetic field measurement technique”, NDT & E International, 34, pp. 493-504, 2001
- [4] Lozanova S., Ivanov A., Roumenin C., “A Novel Three-Axis Hall Magnetic Sensor”, Procedia Engineering, 25, pp. 539-542, 2011
- [5] Dimitrova P., Andreev S., Popova L., “Thin film integrated AMR sensor for linear position measurements”, Sensors and Actuators (A), 147, pp. 387-390, 2008.
- [6] Rieger G., Ludwig K., Hauch J., Clemens W., “GMR sensors for contactless position detection, Sensors and Actuators (A), pp. 7-11, 2001.
- [7] Ripka P., Platil A., Kaspar P., Tipek A., Malatek M., Kraus L., “Permalloy GMI sensor”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 254-255, pp. 633-635, 2003.
- [8] Baschiroto A., Borghetti F., Dallago E., Malcovati P., Marchesi M., Melissano E., Siciliano P., Venchi G., “Fluxgate magnetic sensor and front-end circuitry in an integrated microsystem”, Sensors and Actuators (A), 132, pp. 90-97, 2006.
- [9] Tanaka S., Hatsukade Y., Ohtani T., Suzuki S., “SQUID sensor application for small metallic particle detection”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 321, pp. 880-883, 2009.
- [10] Ege Y., Kalender O., Nazlibilek S., “Direction finding of moving ferromagnetic objects inside water by magnetic anomaly”, Sensors and Actuators (A), 147, pp. 52-59, 2008.
- [11] Vyhnanek J., Janosek M., Ripka P., “AMR Gradiometer for mine detection”, Sensors and Actuators (A), 186, pp. 100-104, 2012.

- [12] Kaluza F., Gruger A., Gruger H., “New and future applications of fluxgate sensors”, *Sensors and Actuators (A)*, 106, pp. 48-51, 2003.
- [13] Shcherbakov G.N., Antselevich M.A., Udintsev D.N., Filin V.G., “The Detection of Ferromagnetic Objects on a Background of Nonuniformities of the External Magnetic Field”, *Measurement Techniques*, 48, pp. 707-710, 2005.
- [14] Caruso M.J., Withanawasam L.S., “Vehicle Detection and Compass Applications using AMR Magnetic Sensors”, Honeywell International Inc.
- [15] Sifuentes E., Casas O., Areny R.P., “Wireless Magnetic Sensor Node for Vehicle Detection with Optical Wake-Up”, *IEEE Sensors Journal*, 11, pp. 1669-1676, 2011.
- [16] Kang M.H., Choi B.W., Koh K.C., Lee J.H., Park G.T., “Experimental study of a vehicle detector with an AMR sensor”, *Sensors and Actuators (A)*, 118, pp. 278-284, 2005.
- [17] Adelerhof D.J., Gewen W., “New position detectors based on AMR sensors”, *Sensors and Actuators (A)*, 85, pp. 48-53, 2000.
- [18] Caruso M.J., “Application of Magneto-resistive Sensors in Navigation Systems”, *Sensors and Actuators*, pp. 15-21, 1997.
- [19] 3-Axis Magnetic Sensor Hybrid HMC2003, Honeywell International Inc.
- [20] Available online at www.advantech.com
- [21] Bates M.P., “Interfacing PIC Microcontrollers: Embedded Design by Interactive Simulation”, 2nd Ed., Newnes, 2013.