
**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.



**Μελέτη και υλοποίηση συστήματος
προσομοίωσης λειτουργίας τροχών για σύστημα
πέδησης με ABS**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ**

ΤΖΗΡΟΥ ΧΡΗΣΤΟΥ

Επιβλέπων: Κοσμάνης Θεόδωρος, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΣΙΝΔΟΣ, 2019

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία και τα συμπεράσματά της, σε οποιαδήποτε μορφή, αποτελούν συνιδιοκτησία του Τμήματος Μηχανολόγων Οχημάτων του Αλεξάνδρειου ΤΕΙ Θεσσαλονίκης και του φοιτητή. Οι προαναφερόμενοι διατηρούν το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής (τμηματικά ή συνολικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να αναφέρεται ο τίτλος, ο συγγραφέας, ο επιβλέπων και το Τμήμα του ΑΤΕΙΘ.

Η έγκριση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Οχημάτων δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα Πτυχιακή Εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και συγγράφηκε ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανολόγων Οχημάτων.

Δηλώνω υπεύθυνα ότι κατά τη συγγραφή ακολούθησα την πρέπουσα ακαδημαϊκή δεοντολογία αποφυγής λογοκλοπής και έχω αποφύγει οποιαδήποτε ενέργεια που συνιστά παράπτωμα λογοκλοπής.

Ο Φοιτητής

(Ολογράφως)

(Υπογραφή)

Σίνδος, ___ / ___ / 20___

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό την επαναφορά της πειραματικής πινακίδας ABS, του εργαστηρίου ηλεκτροτεχνίας οχημάτων, σε λειτουργική κατάσταση. Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου είναι απαραίτητη η κατανόηση της λειτουργίας του ABS, πράγμα που καθιστά αναγκαία την μελέτη και ανάλυση των συστημάτων ABS (Anti-lock Braking System) καθώς και τον τρόπο ελέγχου και χειρισμού των εξαρτημάτων του συστήματος αυτού. Την ανάλυση του συστήματος θα παρουσιάσουμε στο 1^ο Μέρος ενώ στο 2^ο Μέρος της πτυχιακής θα ασχοληθούμε με τις εργασίες επαναφοράς της πινακίδας σε λειτουργική κατάσταση. Το ABS, ή αλλιώς σύστημα αποτροπής μπλοκαρίσματος των τροχών, κατατάσσεται στις τεχνολογίες ενεργητικής ασφάλειας των οχημάτων, δηλαδή στις τεχνολογίες που αποτρέπουν το όχημα από το να εμπλακεί σε κάποιο ατύχημα. Το ABS είναι υπεύθυνο για την συνεχή διατήρηση της μέγιστης δυνατής πρόσφυσης των ελαστικών στο οδόστρωμα, κατά το φρενάρισμα, μέσω της αποτροπής των τροχών από το να σταματήσουν την περιστροφή τους κατά την επιβράδυνση του οχήματος, πράγμα που οφείλεται σε ορισμένες ακραίες συνθήκες όπως είναι το απότομο φρενάρισμα και το φρενάρισμα σε ολισθηρά οδοστρώματα.

Abstract

This thesis aims at bringing back to operating condition the laboratory educational system that demonstrates the function of Anti-lock Braking System. In order to achieve that, we have to understand how the system works, by analyzing and studying both the system and the way it controls its peripheral devices. The thesis is divided into two parts. The study of the system takes place in Part 1 and the repair of the laboratory educational system is analyzed in part 2. The ABS, or Anti-lock Braking System, is classified as an active safety system, in other words it prevents the vehicle from being involved in an accident. ABS is responsible for maintaining adequate traction between the tires and the road by preventing a sudden stop of the wheels rotation under vehicle's deceleration, which can occur when braking under extreme conditions, such as panic braking and braking on slippery roads.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| 1. Ιστορική αναδρομή | 6 |
| 2. Θεωρητική περιγραφή συστήματος ABS..... | 9 |
| 2.1. Δυναμική ελαστικού..... | 9 |
| 2.2. Περιγραφή ABS..... | 10 |
| 2.3. Περιγραφή συστήματος TCS..... | 11 |
| 2.4. Περιγραφή συστήματος ESP | 14 |
| 2.5. Τυπικός κύκλος λειτουργίας ABS | 16 |
| 2.5.1. Υψηλός συντελεστής τριβής..... | 16 |
| 2.5.2. Χαμηλός συντελεστής τριβής | 17 |
| 2.6. Κατηγοριοποίηση συστημάτων ABS | 19 |
| 2.7. ABS φορτηγών | 20 |
| 2.8. Συνηθέστερες βλάβες | 21 |
| 3. Εξαρτήματα του ABS..... | 24 |
| 3.1. Αισθητήρες στροφών τροχών (WSS)..... | 25 |
| 3.1.1. Επαγωγικός (VR)..... | 26 |
| 3.1.2. Στοιχείου Hall | 28 |
| 3.2. Αισθητήρας επιτάχυνσης..... | 30 |
| 3.3. Αισθητήρας γωνίας τιμονιού (SAS/SWAS)..... | 35 |
| 3.3.1. Μαγνητοαντίσταση | 36 |
| 3.3.2. Φωτοτρανζίστορ | 37 |
| 3.4. Αισθητήρας πίεσης υδραυλικού κυκλώματος | 39 |
| 3.4.1. Μεταβαλλόμενης χωρητικότητας | 40 |
| 3.4.2. Πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου | 41 |
| 3.5. Βαλβίδες τριών θέσεων/τριών δρόμων "3/3" | 41 |
| 3.5.1. Δομή βαλβίδας 3/3 | 42 |
| 3.5.2. Θέση 1 (αύξηση πίεσης) | 43 |
| 3.5.3. Θέση 2 (διατήρηση πίεσης) | 44 |
| 3.5.4. Θέση 3 (μείωση πίεσης)..... | 45 |
| 3.6. Βαλβίδες δύο θέσεων/δύο δρόμων "2/2" | 47 |
| 3.6.1. Δομή βαλβίδας 2/2..... | 48 |
| 3.6.2. Θέση 1 (αύξηση πίεσης) | 50 |
| 3.6.3. Θέση 2 (διατήρηση πίεσης) | 51 |

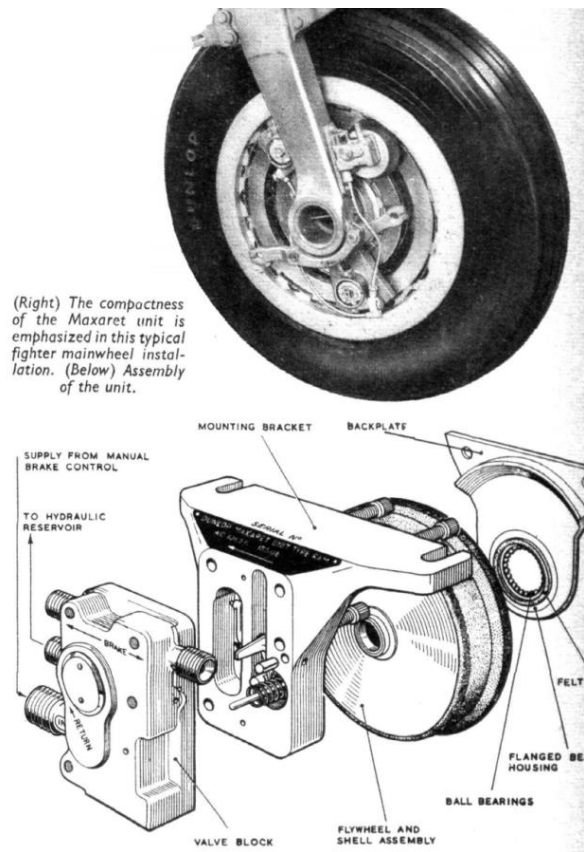
| | |
|---|-----|
| 3.6.4. Θέση 3 (μείωση πίεσης)..... | 52 |
| 3.7. Ηλεκτρική αντλία και συσσωρευτές | 53 |
| 3.8. Μονάδα υδραυλικού ρυθμιστή (HU) | 56 |
| 3.9. Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU)..... | 59 |
| 4. Πινακίδα αναπαράστασης του ABS..... | 66 |
| 5. Βηματικοί κινητήρες..... | 70 |
| 6. Σχεδιασμός πλακέτας (PCB)..... | 76 |
| 7. Κώδικας..... | 85 |
| 8. Συμπεράσματα..... | 93 |
| Συνομογραφίες..... | 94 |
| Αναφορές..... | 97 |
| Πηγές εικόνων..... | 98 |
| Βιβλιογραφία..... | 101 |

1. Ιστορική αναδρομή

Η προέλευση της χρήσης των συστημάτων ABS πηγάζει από την χρήση τους στα σιδηροδρομικά οχήματα αλλά κυριότερα από την ανάγκη της χρήσης τους στα αεροπορικά οχήματα καθώς λόγω του τρόπου λειτουργίας των τότε αεροπλάνων ο οδηγός δεν μπορούσε να λάβει καμία ανατροφοδότηση για την περιστροφική κατάσταση των τροχών κατά την προσγείωση και η εμπλοκή των τροχών θα μπορούσε να έχει καταστροφικές συνέπειες.

Η ανάγκη αυτή οδήγησε το 1920 τον Gabriel Voisin να πειραματιστεί με διάφορα υδραυλικά συστήματα τα οποία απέφεραν βελτίωση έως και 30%. Το σύστημα αποτελούνταν από ένα τύμπανο το οποίο ήταν συνδεδεμένο και περιστρέφονταν με την ταχύτητα του τροχού. Μέσα στο τύμπανο περιστρέφονταν με την ίδια ταχύτητα ένα βολάν το οποίο όταν ο τροχός ακινητοποιούνταν, λόγω της μικρής σχετικής τριβής με το τύμπανο, αδυνατούσε να επιβραδύνει τόσο απότομα και άρα συνέχιζε να περιστρέφεται. Η διαφορά του ακινητοποιημένου τροχού και του βολάν

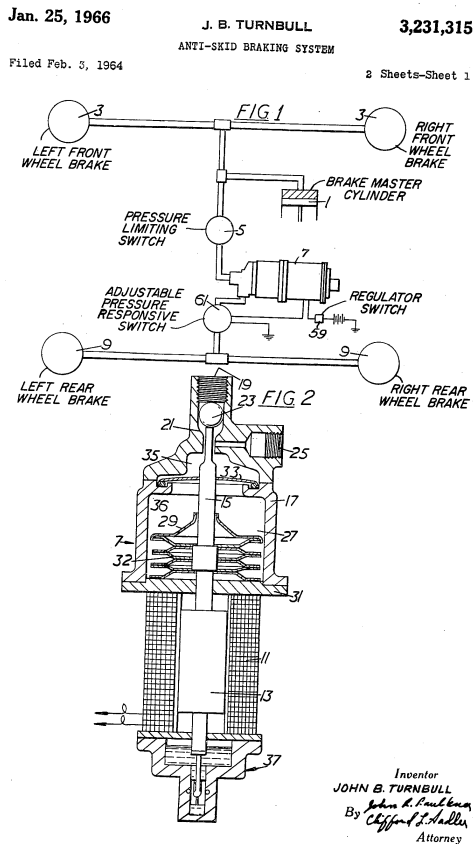
οδηγούσε μία προεξοχή στο βολάν να έρθει σε επαφή με μία βαλβίδα τοποθετημένη σε ένα εξωτερικό κέλυφος και ανακούφιζε μέρος της πίεσης του συστήματος φρένων οδηγώντας έτσι τα υγρά σε ένα κοντινό εξωτερικό δοχείο. Το σύστημα αυτό παρά την ικανότητά του να επενεργήσει στην πίεση των φρένων έως και 10 φορές ανά δευτερόλεπτο και την υπερβολικά ικανοποιητική απόδοσή του είχε το μειονέκτημα της περιορισμένης συνολικής διάρκειας επενέργειας στην πίεση φρεναρίσματος, καθώς μετά από 4 συνολικά δευτερόλεπτα ανακούφισης πίεσης, το δοχείο των ανακουφισμένων υγρών φρένων γέμιζε. Έτσι σε ακραίες περιπτώσεις, όπως πάγος, το φρενάρισμα ήταν ακόμη επικίνδυνο λόγω έλλειψης ικανότητας πέδησης μετά την πάροδο των τεσσάρων αυτών δευτερολέπτων. Το 1966 η Dunlop ανακατασκευάζει τον καθαρά υδραυλικό μηχανισμό, που αυτήν είχε κατασκευάσει το 1953, με τίτλο Maxaret εμπεριέχοντας στο



Εικόνα 1. Υδραυλικό σύστημα ABS τροχών αεροπλάνου με τίτλο Maxaret (Dunlop 1950)

σύστημα ένα ηλεκτρονικό κομμάτι βελτιώνοντας έτσι την απόδοση του και εξαλείφοντας το υπάρχον πρόβλημα [1].

Αντιθέτως η αυτοκινητοβιομηχανία μετά από έρευνες σε πραγματικές συνθήκες έκρινε τα υδραυλικά συστήματα βασισμένα στην χρήση βολάν μη αξιόπιστα για καθημερινή χρήση. Σε συνδυασμό με την ανάγκη για συχνή συντήρηση και το υψηλό της κόστος, η χρήση των συστημάτων αυτών στα αυτοκίνητα δεν πραγματοποιήθηκε μέχρι τις αρχές του 1970. Η πρώτη χρήση του ABS σε αυτοκίνητο μαζικής παραγωγής έγινε την ίδια χρονιά από τρεις διαφορετικές αυτοκινητοβιομηχανίες. Το 1971 με την Ford να εφαρμόζει το σύστημα με όνομα Sure-Track Braking (εικόνα 2) στο ήδη υπάρχον Lincoln Continental Mark III , την Nissan να εγκαθιστά το σύστημα στο επίσης

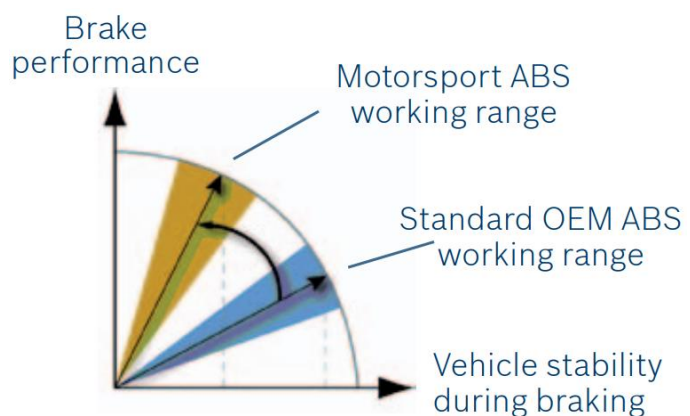


Εικόνα 2. Πατέντα συστήματος ABS από την Ford (patent no. US3231315A)

ήδη υπάρχον President H150 και την GM να εγκαθιστά το σύστημα στα Oldsmobile Toronado και Cadillac Eldorado ονομάζοντας το σύστημα True-Track Braking. Τα συστήματα αυτά παρά τον παρόμοιο τρόπο λειτουργίας τους με τα σημερινά είχαν ως σκοπό την αποτροπή από το μπλοκάρισμα μόνο των τροχών του πίσω άξονα του οχήματος σταθεροποιώντας έτσι το όχημα σε φρεναρίσματα πάνω σε πολύ ολισθηρές επιφάνειες, κυρίως δηλαδή σε πάγο και βροχή. Στις εφαρμογές αυτές η κατασκευαστική εταιρία που ανέλαβε την κατασκευή της μονάδας ABS ήταν η Delco Electronics εκτός από την κατασκευή του συστήματος της Nissan την οποία ανέλαβε η Denso. Ως βασικός εξοπλισμός αυτοκινήτου το πρώτο ABS με τίτλο ALB (Anti Locking Brakes) χρησιμοποιήθηκε από την Honda στην χώρα της Νορβηγίας στο μοντέλο Prelude και με την Ford να ακολουθεί με την ίδια κίνηση το 1982 στο μοντέλο Scorpio της ευρωπαϊκής αγοράς. Η χρήση του ABS στις

μοτοσυκλέτες έγινε για πρώτη φορά από την BMW το 1988 παρουσιάζοντας ένα ηλεκτρικό-υδραυλικό σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε σε συνεργασία με την FAG Kugelfischer. Με την πάροδο των χρόνων πολλές έρευνες, όπως αυτήν που έγινε το 1999 από την NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) της οποίας τα αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν στην ιστοσελίδα της SAE (Society of Automotive Engineers) με αριθμούς άρθρων 1999-01-1286, 1999-01-1287, 1999-01-1288 και 1999-01-1290, έδειξαν ότι τα οχήματα εξοπλισμένα με ABS, παρά την βελτίωση της πέδησης σε μη παραμορφώσιμα οδοστρώματα, έχουν αυξημένη απόσταση φρεναρίσματος σε οδοστρώματα καλυμμένα με χιόνι, γεγονός που οφείλεται στην συσσώρευση μιας μάζας χιονιού στο μπροστινό μέρος του ελαστικού η οποία λόγω της αυξημένης τριβής μεταξύ των μορίων του χιονιού και της συγκράτησής τους από τα αυλάκια του ελαστικού οδηγούν σε περαιτέρω αύξηση του συντελεστή τριβής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος. Η απόσταση στην οποία ακινητοποιήθηκε το όχημα εξοπλισμένο με ABS σε χιονισμένο δρόμο, σύμφωνα με τις έρευνες, ήταν αυξημένη κατά περίπου 27% σε σχέση με τα οχήματα με μπλοκαρισμένους τροχούς.

Απαραίτητη για την κυκλοφορία όλων των καινούριων οχημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση έγινε το 2004 η χρήση του ABS, κίνηση η οποία ακολουθήθηκε από την Αμερική το 2013 με την NHTSA να υποχρεώνει σε εγκατάσταση, ως βασικό εξοπλισμό, του ABS σε συνδυασμό με του ESP (Electronic Stability Control) σε όλα τα καινούρια οχήματα προς πώληση. Αντιθέτως στις μοτοσυκλέτες με κυβισμό μεγαλύτερο των 125cm³ υποχρεωτική έγινε η χρήση ABS από το 2016 και μετά με απόφαση που πάρθηκε από την Ευρωπαϊκή επιτροπή το 2012. Κάποιοι από τους κατασκευαστές συστημάτων απεμπλοκής των τροχών αυτοκινήτων είναι οι Bosch, ATE, Denso, Continental, Delphi, ACDelco και οι Wabco και Haldex οι οποίες επικεντρώνονται κυρίως σε εφαρμογές πολυαξονικών φορτηγών.



Εικόνα 3. Σύγκριση μεταξύ αγωνιστικού και OEM ABS

Αξιοσημείωτη είναι η επιλογή της Bosch να κυκλοφορήσει το 2012 το πρώτο ABS για χρήση εκτός δρόμου (αγωνιστική) προσφέροντάς την δυνατότητα στους χρήστες να ελέγξουν τον τρόπο με τον οποίο η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχει το σύστημα

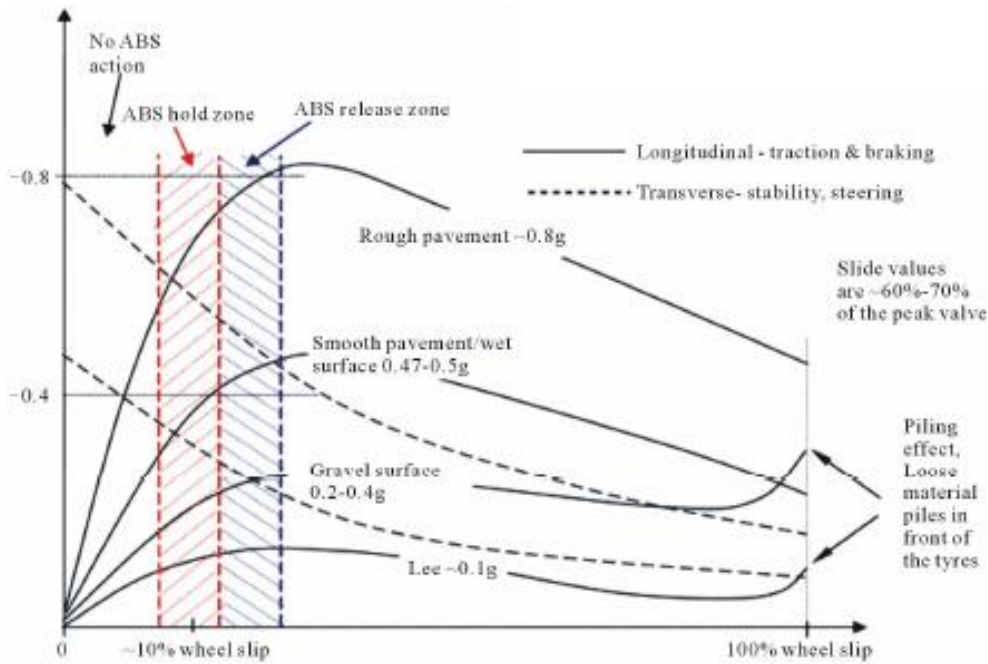
βελτιώνοντας έτσι την πέδηση του οχήματος θυσιάζοντας όμως μέρος της ευστάθειάς του κατά την πέδηση. Παρά την μέχρι στιγμής περιορισμένη χρήση του συστήματος αυτού κατά την άποψη του Don Knowles , οδηγός αγώνων και πρωταθλητής σε διοργανώσεις της IMSA (International Motor Sports Association) και SCCA (Sports Car Club of America), σημαντική δεν φαίνεται να είναι τόσο η βελτίωση των χρόνων που κάνουν στις πίστες, η οποία ανέρχεται στην περίπτωση του στο 1.5% με 3%, αλλά η δυνατότητα συνεχούς επανάληψης των χρόνων αυτών.

2. Θεωρητική περιγραφή συστήματος ABS

2.1. Δυναμική ελαστικού

Με την αύξηση της δύναμης πέδησης πάνω από συγκεκριμένα επίπεδα ξεχωριστά για το κάθε οδόστρωμα, αναπόφευκτη γίνεται η ακινητοποίηση των τροχών του οχήματος. Με την ακινητοποίηση του τροχού παρουσιάζεται, όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα, μείωση της τριβής μεταξύ του εκάστοτε οδοστρώματος και του ελαστικού με εξαίρεση τους χωματόδρομους και το χιόνι όπου μετά την αρχική μείωση του συντελεστή τριβής παρουσιάζουνε μία αύξηση του συντελεστή χάρη στην συσσώρευση χαλικιών ή χιονιού μπροστά από το πέλμα του ακινητοποιημένου ελαστικού. Η μείωση αυτή του συντελεστή τριβής οφείλεται κυρίως στην μετάβαση του συντελεστή " μ ", του τύπου $T = \mu \cdot N$, από συντελεστή κύλισης μ_{roll} σε συντελεστής ολίσθησης μ_{slide} ο οποίος είναι μικρότερος, ή αλλιώς κινητικής και στατικής τριβής. Το παραπάνω φαινόμενο μελετάται από την επιστήμη της τριβολογίας και οφείλεται κυρίως στους μηχανισμούς της συνάφειας, της παραμόρφωσης και της αναπήδησης τα οποία λαμβάνουν χώρα στην περιοχή των μικροεπαφών των τριβόμενων επιφανειών.

Την λειτουργία του οχήματος στις περιοχές μειωμένου συντελεστή τριβής προσπαθεί να αποτρέψει το σύστημα ABS σε συνεργασία με τα συστήματα TCS και ESP, επιδιώκοντας τον περιορισμό της ολίσθησης του ελαστικού κάτω από ένα ποσοστό της τάξης του 13%. Ως ποσοστό ολίσθησης ορίζεται η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ της ταχύτητας του οχήματος και της γραμμικής ταχύτητας του τροχού στο σημείο που αυτός εφάπτεται με το οδόστρωμα.



Εικόνα 4 Διάγραμμα συντελεστή πρόσφυσης - ποσοστού ολίσθησης για διάφορα εδάφη

2.2. Περιγραφή ABS

Ως ABS ορίζεται το σύνολο των αντικειμένων που συμμετέχουν στην διάγνωση και στην πρόληψη της εμπλοκής των τροχών καθώς επίσης και στην απεμπλοκή τους. Από το σύνολο αυτό εξαιρούνται όλα τα εξαρτήματα που περιέχονται σε ένα συμβατικό σύστημα φρένων το οποίο δεν έχει τις δυνατότητες του ABS, όπως οι υδραυλικοί εντολοδόχοι κύλινδροι και ο εντολοδότης κύλινδρος.

Το σύστημα αποτελείται από έναν εγκέφαλο-ABSCM (Control Module) οποίος κατά την πορεία του οχήματος συλλέγει συνεχώς δεδομένα από τους αισθητήρες στροφών των τροχών τα οποία δεδομένα μεταφράζει σε γραμμικές ταχύτητες τις οποίες συγκρίνει είτε μεταξύ τους είτε με την ταχύτητα του οχήματος. Σε περισσότερο εξελιγμένα συστήματα, τα οποία συναντάμε συνήθως σε οχήματα από το 2004 και μετά, δεδομένα επίσης συλλέγονται από ένα επιταχυνσιόμετρο με σκοπό τον ακριβέστερο υπολογισμό της ταχύτητας και της επιτάχυνσης του οχήματος. Στην συνέχεια όταν το ABSCM κρίνει ότι ένας από τους τροχούς κινδυνεύει ή έχει ήδη σταματήσει να περιστρέφεται δίνει εντολή σε συγκεκριμένες ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες και σε έναν ηλεκτρικό κινητήρα, ο οποίος κινητοποιεί δύο υδραυλικές αντλίες, μέσω των οποίων ελέγχει την πίεση μέσα στους εντολοδόχους κυλίνδρους άρα την ροπή πέδησης στον εκάστοτε τροχό και συνεπώς το

μέγεθος της επιτάχυνσης ή της επιβράδυνσης του. Η ενεργοποίηση των βαλβίδων αυτών δεν αποσκοπεί τόσο στην αποτροπή του τροχού από την ολίσθηση στον δρόμο αλλά πόσο μάλλον στην διατήρηση μιας μικρής τιμής ποσοστού ολίσθησης κατά την οποία η τριβή μεταξύ του ελαστικού και του εδάφους παραμένει υψηλή, διατηρώντας έτσι την ικανότητα κατεύθυνσης του οχήματος χωρίς να θυσιάζει την απόσταση ακινητοποίησης του. Για την εξοικονόμηση χώρου αλλά και κόστους οι βαλβίδες και οι αντλίες τοποθετούνται μέσα σε ένα κομμάτι αλουμινίου στο οποίο πάνω προσαρμόζεται και ο ηλεκτρικός κινητήρας. Πάνω στο αλουμινένιο κομμάτι αυτό μετά το 1997 άρχισε να προσαρμόζεται και το ABSCM πράγμα που μειώνει περισσότερο το κόστος, το βάρος αλλά και των χώρο που απαιτούνε τα συστήματα ABS. Το κομμάτι αυτό ονομάζεται Υδραυλικός Ρυθμιστής-HCU (Hydraulic Control Unit) και παίρνει την ονομασία του από το γεγονός ότι περικλείει όλα τα μηχανικά μέρη που είναι απαραίτητα για την ρύθμιση της πίεσης στο εσωτερικό των εντολοδόχων κυλίνδρων. Για την σωστή και ομαλή λειτουργία του συστήματος στον HCU εμπεριέχεται ένα σύνολο μηχανικών βαλβίδων μονής ροής (check valves) που λειτουργούν ως βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής του υγρού φρένων στις υδραυλικές αντλίες . Συνοψίζοντας το σύστημα αποτροπής κλειδώματος τροχών απαρτίζεται από τα παρακάτω εξαρτήματα, τα οποία θα αναλυθούν περαιτέρω στα παρακάτω κεφάλαια:

- εγκέφαλος (ABSCM)
- ηλεκτρικός κινητήρας
- υδραυλικός ρυθμιστής (HCU)
- ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες
- ηλεκτρικές αντλίες
- μηχανικές βαλβίδες μονής ροής

2.3. Περιγραφή συστήματος TCS

Υπό παρόμοιες συνθήκες ο έλεγχος του οχήματος μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο κατά την επιτάχυνση του οχήματος γεγονός που επίσης μπορεί να οδηγήσει στην ανεξέλεγκτη πορεία του και στον τραυματισμό των επιβαινόντων αλλά και των ατόμων γύρω του. Η μετάβαση του οχήματος σε ανεξέλεγκτο οφείλεται στην αδυναμία των ελαστικών να μεταφέρουνε την ροπή του κινητήρα στο έδαφος χωρίς να ολισθήσουν είτε λόγω του αυξημένου μεγέθους της ροπής είτε λόγω του μειωμένου συντελεστή τριβής. Η αύξηση

του ποσοστού ολίσθησης, στην περίπτωση της επιτάχυνσης του οχήματος, προέρχεται από την ραγδαία επιτάχυνση του τροχού σε σχέση με την επιτάχυνση του οχήματος, σε αντίθεση με την ακινητοποίησή του που παρουσιάζεται στο ABS. Το σύστημα το οποίο αναλαμβάνει την αντιμετώπιση της ολίσθησης που εμφανίζεται στους κινητήριους τροχούς ονομάζεται σύστημα ελέγχου πρόσφυσης - TCS (Traction Control System) ή όπως το βλέπουμε να ονομάζεται από κάποιους κατασκευαστές σύστημα διαχείρισης ολίσθησης ASR (Anti-Slip Regulation).

Για την μείωση του ποσοστού ολίσθησης το TCS πρέπει να επιβραδύνει ή να μειώσει την επιτάχυνση του τροχού. Δεδομένου του ότι η επιτάχυνση του τροχού εξαρτάται από την ροπή που ο κινητήρας μεταβιβάζει στο κιβώτιο ταχυτήτων και στη συνέχεια στο διαφορικό, η μείωση της παραγόμενης ροπής του κινητήρα οδηγεί στην μείωση της κινητήριας ροπής που ασκείται στον τροχό και κατ' επέκταση της επιτάχυνσης του. Ακόμα η επιβράδυνση ή η μείωση της επιτάχυνσης του τροχού μπορεί να χειραγωγηθεί μειώνοντας την κινητήρια ροπή είτε μειώνοντας την ροπή του κινητήρα είτε μέσω της άσκησης, στην ροπή του κινητήρα, μίας αντίρροπης δύναμης επιβράδυνσης την οποία μπορεί το σύστημα να ασκήσει μέσω της ενεργοποίησης των φρένων στον εκάστοτε τροχό. Συνοψίζοντας το TCS επιτυγχάνει την μεταβολή της ολίσθησης μεταξύ τροχού και οδοστρώματος συνδυάζοντας κάποιους από τους παρακάτω τρόπους:

- επικοινωνία με την ECU του κινητήρα
 - ο μείωση της γωνίας της πεταλούδας γκαζιού (βενζινοκινητήρες)
 - ο διακοπή ή καθυστέρηση σπινθήρα (βενζινοκινητήρες)
 - ο διακοπή ψεκασμού καυσίμου (βενζινοκινητήρες)
 - ο μείωση της διάρκειας ψεκασμού καυσίμου (πετρελαιοκινητήρες)
- έλεγχος βαλβίδων εντός του HCU
 - ο αύξηση πίεσης στους εκάστοτε εντολοδόχους

Λόγω του ήδη αυξημένου αριθμού των ηλεκτρονικών μερών και της ύπαρξης του πρωτοκόλλου επικοινωνίας CAN (Controller Area Network), η επικοινωνία μεταξύ των εγκεφάλων του TCS και της μηχανής δεν απαιτεί αύξηση των εξαρτημάτων. Αντιθέτως για την άσκηση μιας δύναμης πέδησης, λόγω του ότι το πεντάλ του φρένου δεν είναι πατημένο, απαιτείται η προσθήκη 2 επιπλέον στρατηγικά τοποθετημένων βαλβίδων στο εσωτερικό του HCU μέσω των οποίων αναστέλλεται η επικοινωνία μεταξύ του

εντολοδότη και των εντολοδόχων κυλίνδρων και ο HCU αναλαμβάνει την χειραγώγηση της πίεσης των εντολοδόχων κυλίνδρων των κινητήριων τροχών.

Λόγω της φύσης και του στόχου του TCS, δηλαδή την διατήρηση της κατευθυντικότητας και του ελέγχου του οχήματος από τον οδηγό κατά την επιτάχυνση υπό αυξημένη ολίσθηση, αντιληπτή γίνεται η ανάγκη για την παρακολούθηση των προθέσεων του οδηγού για την κατεύθυνση του οχήματος. Έτσι οι κινήσεις του τιμονιού παρακολουθούνται από το TCSCM μέσω ενός αισθητήρα γωνίας τιμονιού. Απαραίτητη γίνεται η προσθήκη ενός επιταχυνσιόμετρου για την παρακολούθηση του ρυθμού περιστροφής του οχήματος γύρω από τον κάθετο, στο οδόστρωμα, άξονα που διέρχεται από το κέντρο βάρους του αλλά και της εγκάρσιας επιτάχυνσής του. Ακόμα τοποθετείται ένας αισθητήρας πίεσης στο εσωτερικό του HCU για την παρακολούθηση της πίεσης του υγρού φρένων στο εσωτερικό του κατά την εφαρμογή των φρένων από τον εγκέφαλο του TCS.

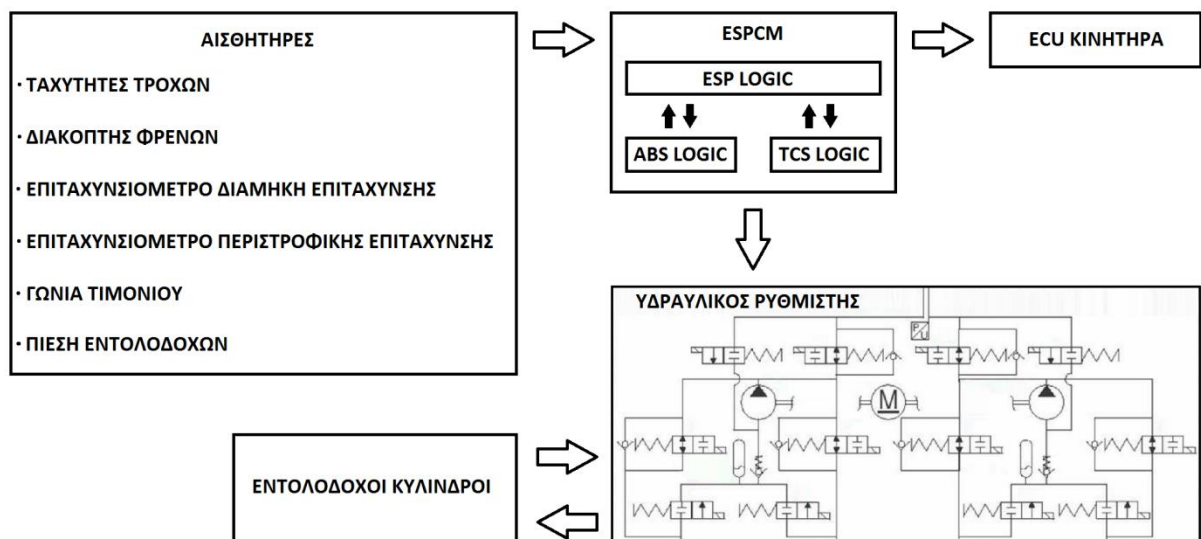
Όσον αφορά τα οχήματα με κίνηση στους τέσσερις τροχούς 4WD και AWD απαραίτητη γίνεται η προσθήκη δύο επιπλέον βαλβίδων για τον έλεγχο των δύο παραπάνω τροχών που έχουν κίνηση καθώς επίσης και η προσθήκη ενός επιταχυνσιόμετρου για την μέτρηση της διαμήκου επιτάχυνσης του οχήματος. Η προσθήκη του επιταχυνσιόμετρου γίνεται απαραίτητη λόγω της αδυναμίας του TCSCM να εμπιστευτεί κάποιον από τους τροχούς λόγω της πιθανής εμφάνισης ολίσθησης και στους τέσσερις τροχούς.

Η προσθήκη του TCS στα αυτοκίνητα δίνει επίσης την δυνατότητα της αναπαράστασης της λειτουργικότητας ενός συστήματος αναστολής διαφορισμού μεταξύ των τροχών ,αριστερά -δεξιά και εμπρός-πίσω, χωρίς να είναι απαραίτητη η προσθήκη περισσότερων εξαρτημάτων από αυτών που απαρτίζουνε ένα ελεύθερο διαφορικό, δηλαδή με διαμοιρασμό ροπής 50-50. Η ικανότητα αυτήν οφείλεται στην πέδηση, δηλαδή άσκηση επιπλέον δύναμης από την αντίσταση του οδοστρώματος, του τροχού που ολισθαίνει με αποτέλεσμα να αυξάνει την ροπή που διέρχεται από αυτόν τον τροχό και κατ' επέκταση και από τους υπόλοιπους. Η χρήση του συστήματος με την λογική της αναπαράστασης ενός περιορισμένου διαφορικού προτιμάται κυρίως σε SUV λόγω του μικρού κόστους του συστήματος και της ικανοποιητικής απόδοσης του συστήματος για χρήση περιορισμένου χρόνου. Αντιθέτως σε οχήματα με κύρια χρήση εκτός δρόμου όπως αγροτικά δεν προτιμάται η χρήση του TCS για την αναστολή του διαφορισμού λόγω της αυξημένης

θερμότητας που παράγεται από την συνεχή πέδηση υπό δυσμενής συνθήκες π.χ. ανώμαλο έδαφος.

2.4. Περιγραφή συστήματος ESP

Το ESP (Electronic Stability Program) ή αλλιώς ηλεκτρονικό πρόγραμμα ευστάθειας του οχήματος, το οποίο πολλές φορές συναντάται και έως ESC (Electronic Stability Control) ή DSC (Dynamic Stability Control), αποτελεί μετεξέλιξη των ABS και TCS και έχει ως στόχο την διατήρηση της ευστάθειας και της κατευθυντικότητας του οχήματος υπό οποιοσδήποτε συνθήκες πλευρικής και γραμμικής επιτάχυνσης εφαρμόζοντας πεδητικές δυνάμεις σε μεμονωμένους τροχούς ή επιταχύνοντας τους κινητήριους, μεταβάλλοντας έτσι την διαμήκη, την πλευρική και την γωνιακή επιτάχυνση και ταχύτητα του οχήματος. Τα εξαρτήματα που απαρτίζουν το ESP λόγω του τρόπου λειτουργίας του δεν διαφέρουν με αυτά του ABS και του TCS με την μόνη διαφορά ότι απαραίτητη είναι η προσθήκη 2 ακόμη βαλβίδων εντός του HCU για την κατάλληλη χειραγώγηση της δύναμης πέδησης και στους 4 τροχούς χωρίς να ασκείται πίεση στο πεντάλ του φρένου. Λόγω της συνεχής λειτουργίας του ESP υπό τις οποιοσδήποτε συνθήκες. σε αντίθεση με τα προηγούμενα 2 συστήματα, τοποθετείται πρώτο στην ιεραρχία των συστημάτων (εικόνα 3).

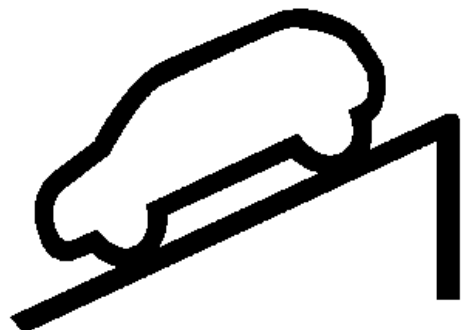


Εικόνα 5. Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ESP

Η ιεράρχηση αυτή του συστήματος το καθιστά υπεύθυνο για την ανάγνωση των τιμών των αισθητήρων, τον υπολογισμό των απαραίτητων μεταβλητών, την κοινοποίηση των

υπολογισμένων μεταβλητών στα υπόλοιπα συστήματα, την επικοινωνία με την ECU του κινητήρα για την απαίτηση μείωσης ή αύξησης της παραγόμενης ροπής και τον έλεγχο των βαλβίδων του ΗΜ για την αύξηση, την μείωση και την διατήρηση της πίεσης εντός των εντολοδόχων κυλίνδρων. Επίσης λόγω της ιεράρχησης των συστημάτων ο εγκέφαλος του συνόλου των συστημάτων συνηθίζεται να ονομάζεται ESPCM (Electronic Stability Control Module). Ακόμα, με την πάροδο των χρόνων λόγω της ανάγκης για ασφαλέστερες μεταφορές και μείωση των ατυχημάτων έχουν προστεθεί από τους κατασκευαστές στην λογική του ESPCM ορισμένα προγράμματα, χωρίς όμως αυτά να είναι απαραίτητα από τον νόμο, τα οποία επίσης συνεισφέρουν στην λήψη αποφάσεων όπως:

- EDTC (Engine Drag Torque Control): υπεύθυνο για τον υπολογισμό της απαιτούμενης μείωσης ή αύξησης της ισχύος του κινητήρα.
- ROP (Roll Over Prevention): υπεύθυνο για την αποφυγή ανατροπής του οχήματος κατά την διάρκεια απότομων ελιγμών με εφαρμογή κυρίως σε SUV.
- EBD (Electronic Brake-force Distribution): υπεύθυνο για τον υπολογισμό της διαφοράς της μέγιστης δυνατής δύναμης πέδησης μεταξύ του εμπρός και του πίσω άξονα, διαφορά που προέρχεται από την διαφορά βάρους στον εμπρός και στον πίσω άξονα.
- PBA (Panic Brake Assist) ή HBA (Hydraulic Brake Assist): υπεύθυνο για τον εντοπισμό της πρόθεσης για φρενάρισμα πανικού και για την έγκαιρη αύξηση της πίεσης των εντολοδόχων στην μέγιστη δυνατή πίεση σε υπερβολικά μικρό χρονικό διάστημα έως ότου εμφανιστεί ολίσθηση του ελαστικού, αύξηση της πίεσης επιτυγχάνεται σε ρυθμούς της τάξης των 2200 bar/sec.
- HAB (Hill start Assist Control): αποτρέπει την κύλιση του οχήματος προς τα πίσω όταν αυτό είναι σταματημένο σε ανηφόρα χωρίς όμως ο οδηγός να πρέπει να πατάει με το πόδι του το φρένο.
- DBC (Downhill Brake Control): διατηρεί σταθερή την ταχύτητα του οχήματος, κατά την κάθοδό του σε απότομη κατηφόρα, περίπου στα 5-8 Km/h χωρίς να πρέπει ο οδηγός να πατάει το φρένο αλλά μόνο με την ενεργοποίηση του συστήματος από το πάτημα ενός κουμπιού με την παρακάτω ένδειξη.

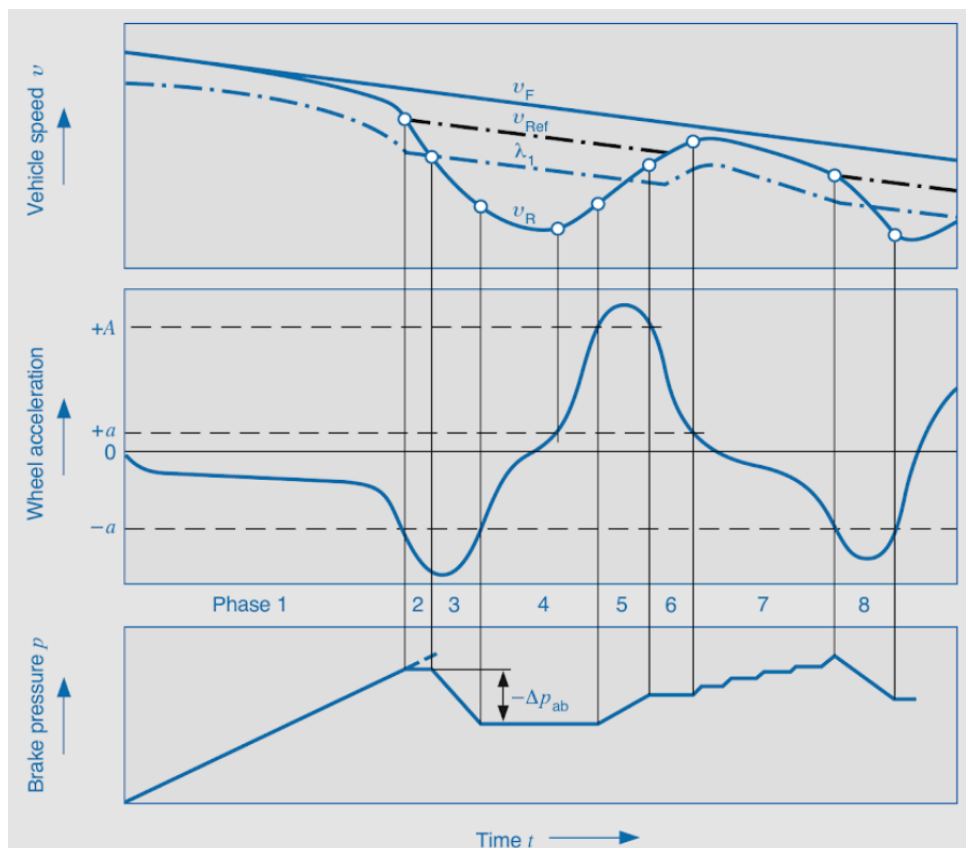


Εικόνα 6. Σύμβολο απεικόνισης DBC

2.5. Τυπικός κύκλος λειτουργίας ABS

2.5.1. Υψηλός συντελεστής τριβής.

Κατά την πρώτη φάση του φρεναρίσματος (Phase 1) η πίεση στο σύστημα φρένων και ο ρυθμός επιβράδυνσης αυξάνονται. Στο τέλος της φάσης 1 η επιβράδυνση του τροχού ξεπερνάει το επιτρεπτό όριο "-α" και το ABSCM ενεργοποιεί το σύστημα βαλβίδων σε θέση διατήρησης πίεσης. Σε αυτό το σημείο η πίεση δεν χρειάζεται να μειωθεί διότι η ταχύτητα του τροχού " U_r " δεν έχει ξεπεράσει ακόμα το επιτρεπτό όριο ταχύτητας " λ_1 " που το ABSCM έχει υπολογίσει μέσω την υπολογιζόμενης ταχύτητας " U_{Ref} ", άρα εάν μειωνότανε η πίεση άσκοπα θα αυξανόταν η απόσταση πέδησης χωρίς όντως να έχει μπλοκάρει ο τροχός. Στη φάση 3 η ταχύτητα του τροχού " U_r " πέφτει κάτω από το όριο λ_1 και το ABSCM ενεργοποιεί το σύστημα βαλβίδων σε θέση μείωση της πίεσης για να αποφευχθεί μπλοκάρισμα του τροχού, την οποία θέση διατηρεί έως ότου η επιβράδυνση να φθάσει ξανά τουλάχιστον το όριο -α.



Εικόνα 7 Αλληλεπίδραση του κύκλου ABS με την επιτάχυνση του τροχού και την ταχύτητα του οχήματος συναρτήσει του χρόνου, με παρουσία υψηλού συντελεστή τριβής

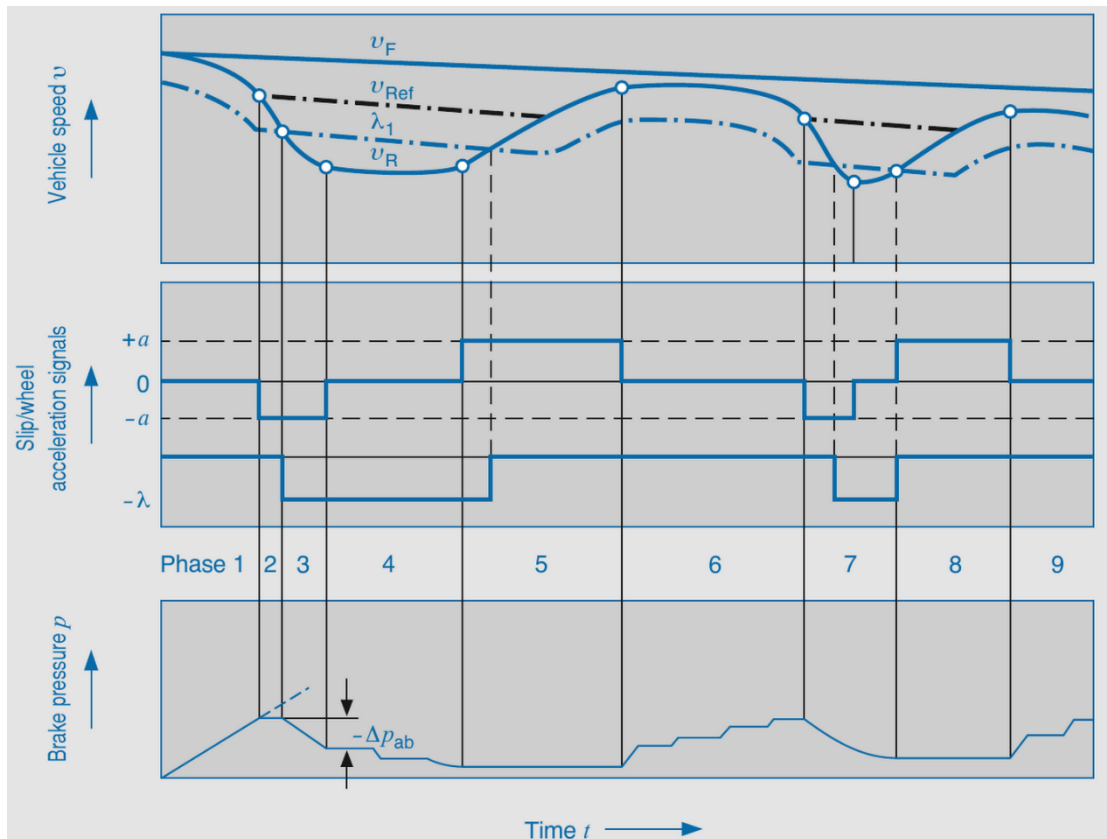
Στη φάση 4 το σύστημα βαλβίδων τοποθετείται ξανά σε θέση διατήρησης πίεσης για ένα διάστημα στο τέλος του οποίου η επιτάχυνση πλέον του τροχού φθάνει το ανώτατο όριο +A. Στη φάση 5 έχουμε αύξηση πίεσης έως ότου η επιτάχυνση ξαναπέσει κάτω από το όριο +A όπου ακολουθεί η φάση 6 στην οποία υπάρχει διατήρηση πίεσης μέχρι να πέσει η επιτάχυνση κάτω από το όριο +a το οποίο σηματοδοτεί την επιστροφή στην σταθερή ζώνη του συντελεστή τριβής ως προς την πίεση φρένων. Στην φάση 7 έχουμε διαδοχικές φάσεις μικρής αύξηση πίεσης και διατήρησης πίεσης έως ότου η επιβράδυνση να φθάσει και να ξεπεράσει το όριο -a όπου ακολουθεί επανάληψη του κύκλου λειτουργίας χωρίς όμως την φάση 2, δηλαδή τον έλεγχο του ορίου λ_1 [3].

2.5.2. Χαμηλός συντελεστής τριβής

Κατά το φρενάρισμα σε ολισθηρό οδόστρωμα ακόμα και μια πολύ μικρή πίεση του συστήματος φρένων μπορεί να οδηγήσει σε γρήγορο μπλοκάρισμα των τροχών. Λόγω του χαμηλού συντελεστή τριβής η επιτάχυνση του τροχού από το μπλοκάρισμά γίνεται δύσκολη και ιδιαίτερος χρονοβόρα σπαταλώντας πολύτιμο χρόνο και απόσταση φρεναρίσματος.

Κατά την έναρξη του φρεναρίσματος οι τρεις πρώτες φάσεις είναι ίδιες με αυτές του φρεναρίσματος σε οδόστρωμα με υψηλό συντελεστή τριβής.

Στην φάση 4 η ολίσθηση του τροχού έχει ξεπεράσει το όριο -λ και έχουμε έναν αριθμό διαδοχικών μικρής διάρκειας μειώσεων της πίεσης μέχρι να αρχίσει ο τροχός να επιταχύνει φθάνοντας το όριο +a. Κατά την φάση αυτή ο τροχός ολισθαίνει αλλά δεν μπλοκάρει. Στη φάση 5 έχουμε διατήρηση πίεσης έως ότου ο τροχός πλέον έχει επανακτήσει την ίδια ταχύτητα με αυτήν του οχήματος. Κατά την φάση 6 πραγματοποιούνται διαδοχικές αυξήσεις πίεσης μέχρι η επιτάχυνση του τροχού να ξεπεράσει το όριο -a όπου ακολουθεί η μείωση της πίεσης στην φάση 7 και στην συνέχεια ο κύκλος επαναλαμβάνεται.



Εικόνα 8 Αλληλεπίδραση του κύκλου ABS με την επιτάχυνση του τροχού και την ταχύτητα του οχήματος συναρτήσει του χρόνου, με παρουσία χαμηλού συντελεστή τριβής

Στους επόμενους κύκλους λειτουργίας για να ενισχυθεί η δυνατότητα κατεύθυνσης του οχήματος η ολίσθηση του τροχού ελέγχεται συνεχώς με το επιτρεπτό όριο λ_1 . Δηλαδή στις επόμενες φάσεις (6) η πίεση των φρένων θα μειωνόταν περαιτέρω μέχρι στην φάση 7 η επιτάχυνση του τροχού να περνούσε το όριο $+a$ διατηρώντας έτσι τον τροχό περισσότερη ώρα στην περιοχή μικρής ολίσθησης [3].

2.6. Κατηγοριοποίηση συστημάτων ABS

Λόγω της σημαντικότητας των συστημάτων και της βελτίωσης την οποία δέχτηκαν με την πάροδο των χρόνων, έχουν δημιουργηθεί διάφορες κατηγορίες συστημάτων ABS στις οποίες αυτά συνήθως κατατάσσονται με βάση τον αριθμό των καναλιών, δηλαδή το πλήθος των τροχών που μπορούν να ελεγχθούν ξεχωριστά από τις βαλβίδες στο εσωτερικό του HCU σε συνδυασμό με τον αριθμό των αισθητήρων στροφών που χρησιμοποιούν για την διεξαγωγή των υπολογισμών εντός του ABSCM.

| A/A | Αριθμός καναλιών | Αριθμός αισθητήρων |
|-----|------------------|--------------------|
| 1 | 4 | 4 |
| 2 | 3 | 4 |
| 3 | 3 | 3 |
| 4 | 2 | 2 |
| 5 | 1 | 1 |

Πίνακας 1 Κατηγοριοποίηση ABS κατά αριθμό καναλιών και αισθητήρων

Παρόμοια, στα συστήματα ABS των φορτηγών τριών αξόνων η κατηγοριοποίηση έχει ως εξής:

| A/A | Αριθμός καναλιών | Αριθμός αισθητήρων |
|-----|------------------|--------------------|
| 1 | 6 | 6 |
| 2 | 4 | 6 |
| 3 | 4 | 4 |

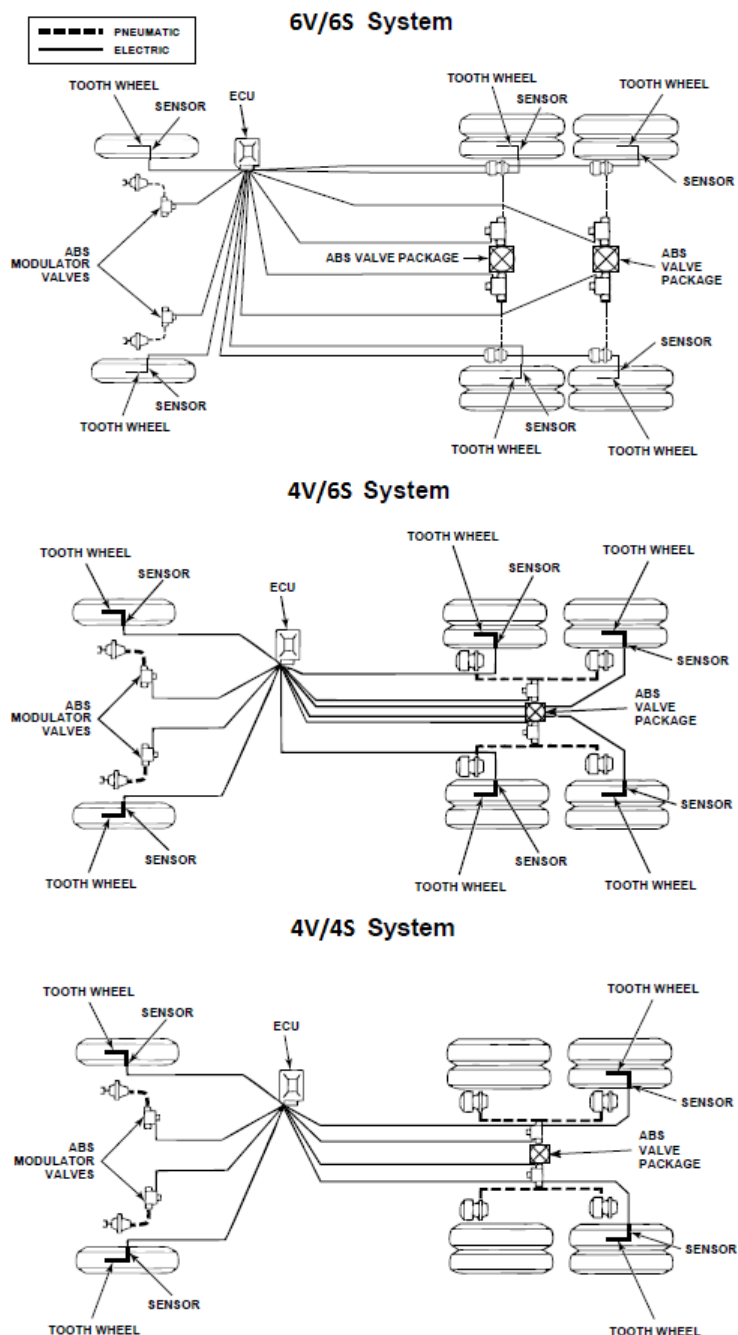
Πίνακας 2 Κατηγοριοποίηση ABS για φορτηγά κατά αριθμό καναλιών και αισθητήρων

2.7. ABS φορτηγών

Στην διπλανή εικόνα 9 φαίνεται η διάταξη των συστημάτων ABS σε φορτηγό όχημα τριών αξόνων. Αντιληπτή γίνεται η χρήση ξεχωριστών πακέτων βαλβίδων (ABS valve package) σε αντίθεση με το αυτοκίνητο όπου χρησιμοποιείται ένα μόνον HCU στο οποίο εμπεριέχονται όλες οι βαλβίδες. Οι παράγοντες που οδηγούν σε αυτήν την διαφοροποίηση είναι η ελαστικότητα που προσφέρει η διάταξη αυτή στον σχεδιασμό του φορτηγού, στην εγκατάσταση του συστήματος καθώς επίσης και στην επισκευή ή αντικατάσταση μεμονωμένων εξαρτημάτων, πράγμα που στα συστήματα επιβατικών οχημάτων δεν είναι δυνατόν. Παρόλα αυτά η αρχή λειτουργίας των συστημάτων αυτών δεν διαφέρει στο

παραμικρό από αυτόν του συμβατικού οχήματος, αν

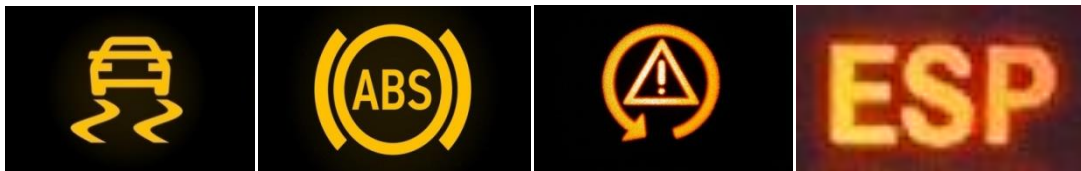
εξαιρέσουμε βέβαια το γεγονός ότι πλέον ελέγχεται η πίεση ενός συμπιεσμένου ρευστού, του αέρα, καθώς τα φρένα των φορτηγών ενεργοποιούνται από αέρα αποθηκευμένο σε αεροφυλάκια-καζανάκια.



Εικόνα 9 Συνηθέστερα συστήματα ABS κατάλληλα για τριαξονικά οχήματα

2.8. Συνηθέστερες βλάβες

Παρά την πολύχρονη ανάπτυξη και βελτίωση των ηλεκτρονικών και μηχανικών μερών των ABS, ESP και TCS λόγω της πολύπλοκης φύσης τους τα συστήματα αυτά ακόμα παρουσιάζουν ορισμένες βλάβες τις οποίες θα δούμε παρακάτω. Οι βλάβες αυτές θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες. Βλάβες στο ηλεκτρονικό τμήμα του συστήματος, η πλειονότητα των οποίων οφείλεται στις δονήσεις και στις σχετικά υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες επικρατούν στο χώρο της μηχανής όπου βρίσκεται και η ECM, και βλάβες στο μηχανικό τμήμα του συστήματος οι οποίες οφείλονται συνήθως στην φθορά λόγω χρήσης ή στην επέμβαση κάποιου εξωτερικού παράγοντα. Όλες οι βλάβες που μπορούν να προκύψουν πρέπει να είναι ανιχνεύσιμες και αναγνωρίσιμες από το σύστημα μέσω μίας λογικής αυτοδιάγνωσης η οποία καταγράφει διάφορους κωδικούς βλαβών οι οποίοι διαβάζονται από τους τεχνικούς μέσω διαγνωστικών συσκευών για την επίλυση των βλαβών. Επίσης το σύστημα ενημερώνει τον οδηγό με την ενεργοποίηση μίας ενδεικτικής λυχνίας στο ταμπλό του οχήματος η οποία επισημαίνει το σύστημα στο οποίο υπάρχει πρόβλημα.



Εικόνα 10 Συνηθέστερες προειδοποιητικές λυχνίες σχετικές με τα συστήματα ABS και ESP

Βλάβες ηλεκτρονικού τμήματος:

- Καταστροφή, μέσω θερμότητας (κάψιμο), ηλεκτρονικών στοιχείων λόγω υπερφόρτωσης τους, πράγμα που συνήθως οφείλεται σε κάποιο εξωτερικό βραχυκύκλωμα, με αποτέλεσμα την απενεργοποίηση του συστήματος. Η βλάβη αυτή εμφανίζεται αρκετά σπάνια και κυρίως σε συστήματα πριν το 2003 λόγω του πλέον ασφαλέστερου σχεδιασμού των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.
- Αποκόλληση συνδέσεων στο εσωτερικό του εγκεφάλου του συστήματος λόγω των δονήσεων και των υψηλών θερμοκρασιών. Αποτέλεσμα η απενεργοποίηση του

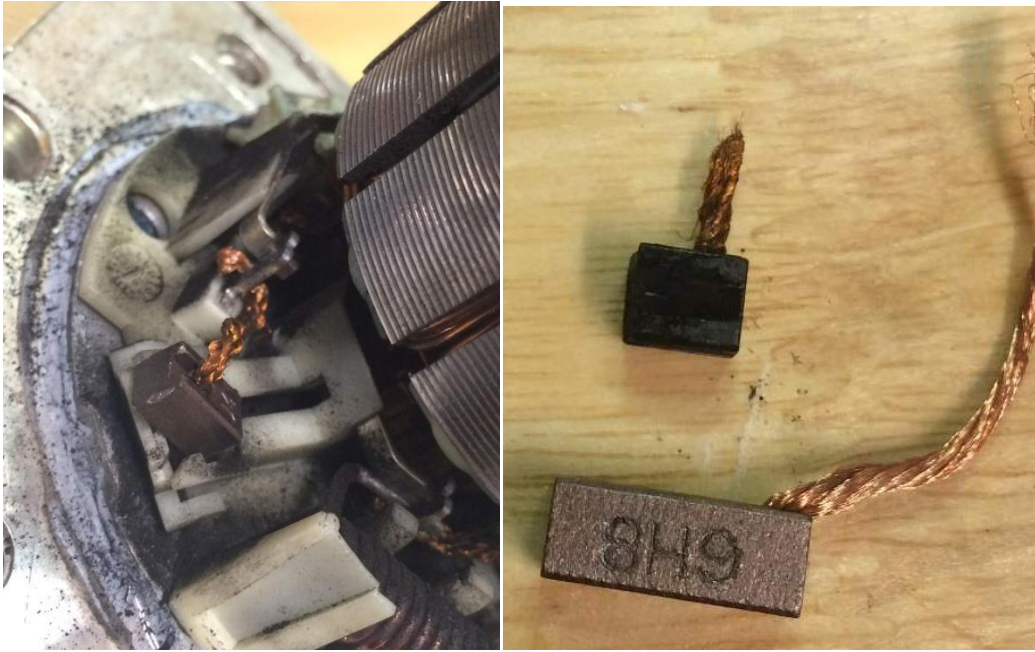
συστήματος. Σύμφωνα με τις κατασκευαστικές τους εταιρίες, αποτελούν βλάβες που δεν επιδέχονται διόρθωση και συνιστάται να μην ανοίγονται και να μην επισκευάζονται από τον οποιονδήποτε.



Εικόνα 11 Αποκολλημένη επαφή στο εσωτερικό ενός εγκεφάλου

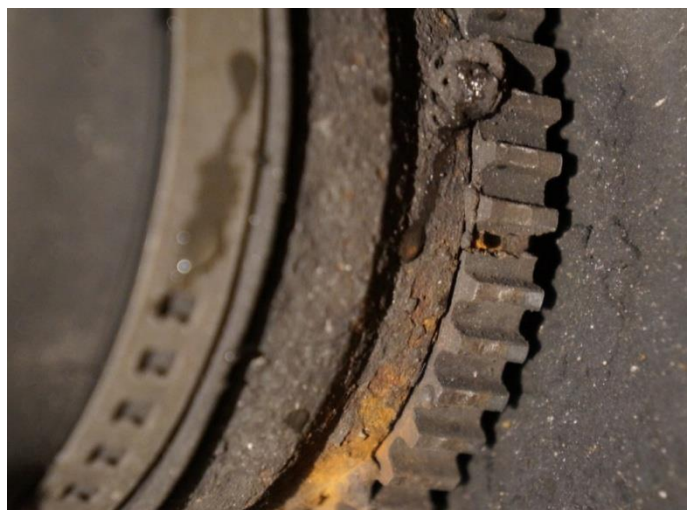
Βλάβες μηχανικού τμήματος:

- Φθορά στις ψύκτρες του ηλεκτροκινητήρα της αντλίας λόγω εκτεταμένης χρήσης του οδηγώντας στην αδυναμία περιστροφής του κινητήρα. Αποτέλεσμα η αδυναμία λειτουργίας της αντλίας και κατ' επέκταση η απενεργοποίηση του συστήματος.



Εικόνα 12 φθαρμένες ψύκτρες κινητήρα BDC

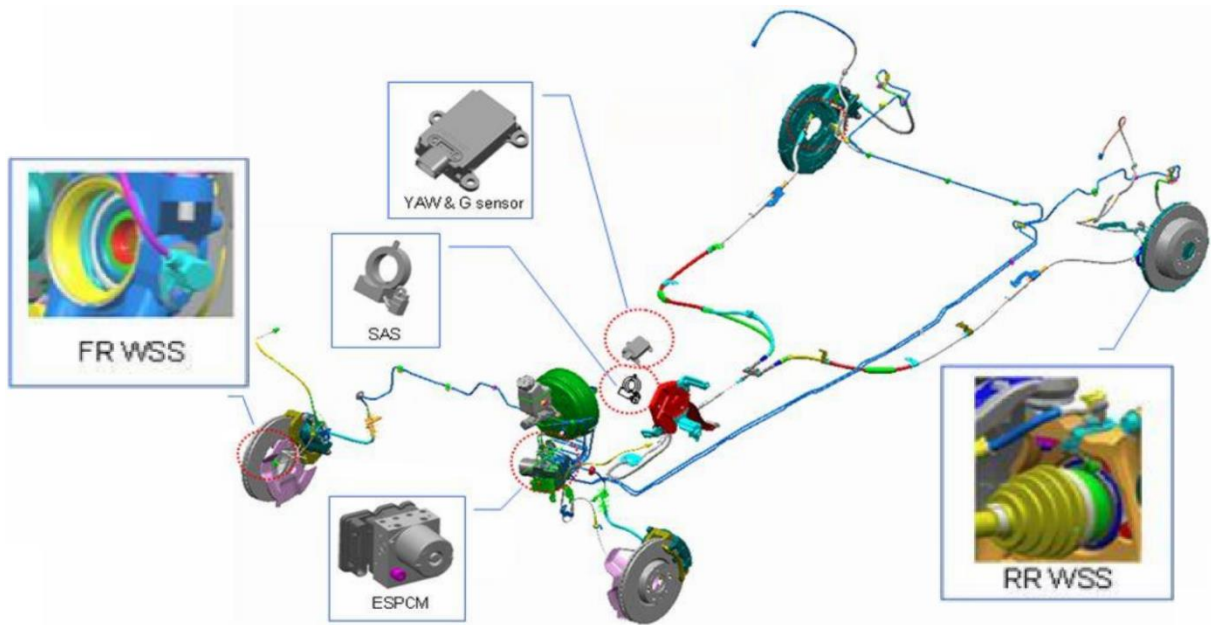
- Φθορά ή καταστροφή των καλωδίων των αισθητήρων στροφών από σύγκρουση με ξένα αντικείμενα έχοντας ως αποτέλεσμα την απενεργοποίηση του συστήματος.
- Οξείδωση και φθορά των σιδηρομαγνητικών δακτυλίων που περιστρέφονται με τους τροχούς οδηγώντας στην παραγωγή εξασθενημένης διαφοράς τάσης στους ακροδέκτες του αισθητήρα. Αποτέλεσμα είναι η ενεργοποίηση του ABS σε φρεναρίσματα χωρίς αυτά να πλησιάζουν στο μπλοκάρισμα των τροχών. Η βλάβη αυτή είναι ίσως η μόνη η οποία μπορεί να μην οδηγήσει τον εγκέφαλο στην ενεργοποίηση της λυχνίας στο ταμπλό του αυτοκινήτου.



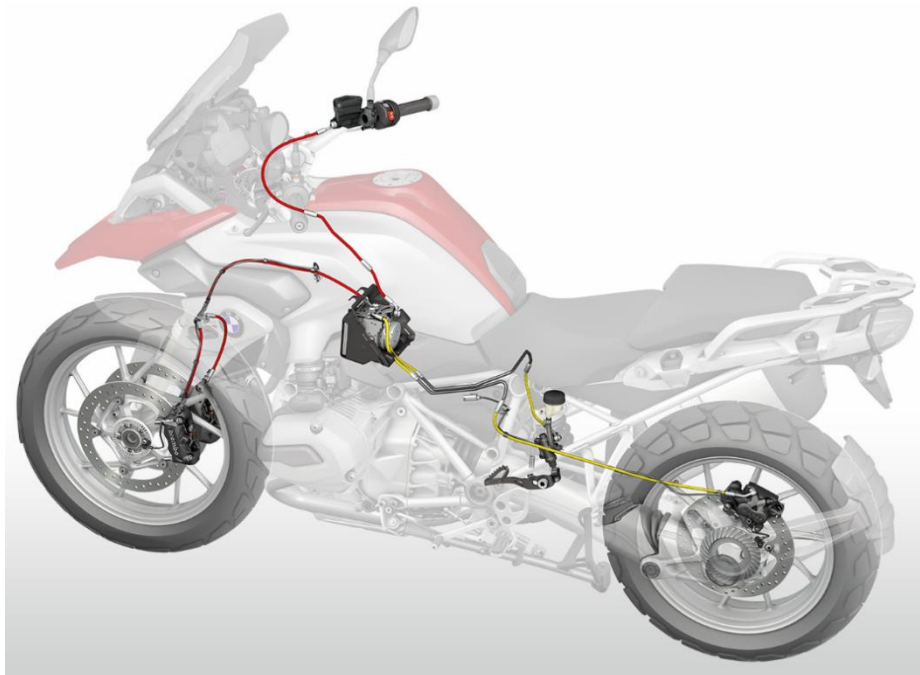
Εικόνα 13 Ρωγμή στον κωδικοποιητή τροχό

3. Εξαρτήματα του ABS

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι τυπικές διατάξεις των εξαρτημάτων των ABS, TCS και ESP με την πρώτη (εικόνα 14) να τονίζει τα εξαρτήματα που απαρτίζουν τα συστήματα σε ένα αυτοκίνητο και την δεύτερη (εικόνα 15) σε μία μηχανή της BMW.



Εικόνα 14. Απεικόνιση εξαρτημάτων του ESP τυπικού οχήματος



Εικόνα 15. Απεικόνιση εξαρτημάτων του ESP τυπικής μοτοσυκλέτας

3.1. Αισθητήρες στροφών τροχών (WSS)

Οι αισθητήρες στροφών χρησιμοποιούνται από την αρχή της χρήσης του ABS στα αυτοκίνητα. Οι αισθητήρες είναι υπεύθυνοι για την παραγωγή μίας κυματομορφής της οποίας η συχνότητα αυξάνεται με την αύξηση της συχνότητας περιστροφής των τροχών. Το σήμα τους επεξεργάζεται από το ESPCM, αφού περιοριστεί σε επίπεδα 0 έως 5 volt ή αλλιώς λογική TTL¹ (Transistor-Transistor Logic), και υπολογίζονται μεταβλητές όπως η ταχύτητα και η επιτάχυνση ή επιβράδυνση του κάθε τροχού και η υπολογιζόμενη ταχύτητα του οχήματος.



Εικόνα 16. Τυπική διάταξη συστήματος καταμέτρησης στροφών του τροχού

Με βάση την αρχή λειτουργίας των αισθητήρων τους κατατάσσουμε σε δύο κατηγορίες.

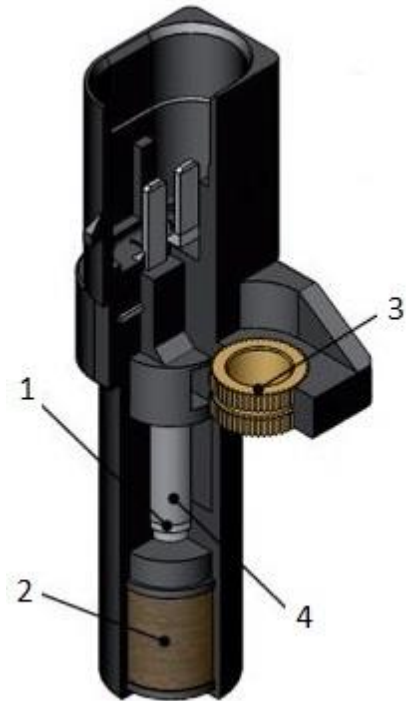
- Επαγωγικοί -VR (variable reluctance)
- Στοιχείου hall - Hall

¹ TTL logic: Αναφέρεται στην δομή των επεξεργαστών και συγκεκριμένα στα επίπεδα τάσης τα οποία όταν εφαρμοστούν σε έναν ακροδέκτη τους, οδηγούν στην αντίληψη του 0-LOW (0-0.8V) και του 1-HIGH (2-5V).

3.1.1. Επαγωγικός (VR)

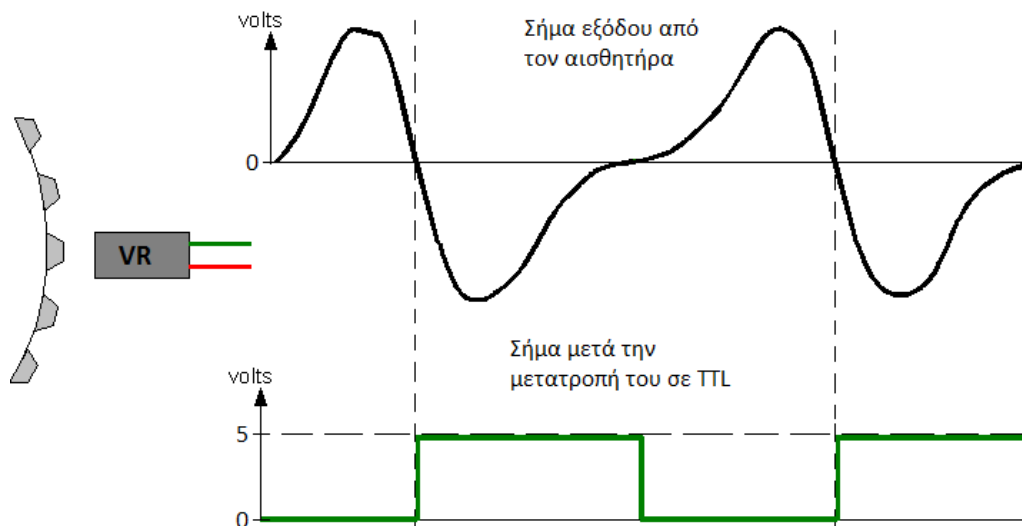
Το 1831 παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από τον Michael Faraday το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής σύμφωνα με το οποίο είναι δυνατή η ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού (ηλεκτρικής τάσης) μεταξύ των δύο άκρων ενός αγωγού όταν μεταβάλλεται το μαγνητικό πεδίο που διαρρέει την επιφάνεια του αγωγού

Για την παραγωγή της κυματομορφής απαιτείται η διατάραξη του μαγνητικού πεδίου του μόνιμου μαγνήτη 4 (εικόνα 17) από τα δόντια ενός σιδηρομαγνητικού δακτυλίου ο οποίος είναι στερεωμένος πάνω στο ημιαξόνιο και στον άξονα του οχήματος ή στην πλήμνη του τροχού που περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα με τον τροχό. Το μαγνητικό πεδίο διαταράσσεται και συνεπώς η τάση στα άκρα του πηνίου 2, το οποίο περιβάλλει έναν πείρο 1, μεταβάλλεται. Ένας πείρος 1 από σιδηρομαγνητικό υλικό χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση του μαγνητικού πεδίου. Ο αισθητήρας στερεώνεται συνήθως μέσω της τρύπας 3 πάνω στο ακραξόνιο. Με την αύξηση της συχνότητας περιστροφής του τροχού πέρα από την αύξηση της συχνότητας του σήματος, αυξάνεται επίσης και το εύρος της τάσης του αισθητήρα. Η αθέμιτη αυτήν αύξηση κάνει τον αισθητήρα περισσότερο ευάλωτο σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και την μετατροπή του σήματος σε TTL δυσκολότερη.



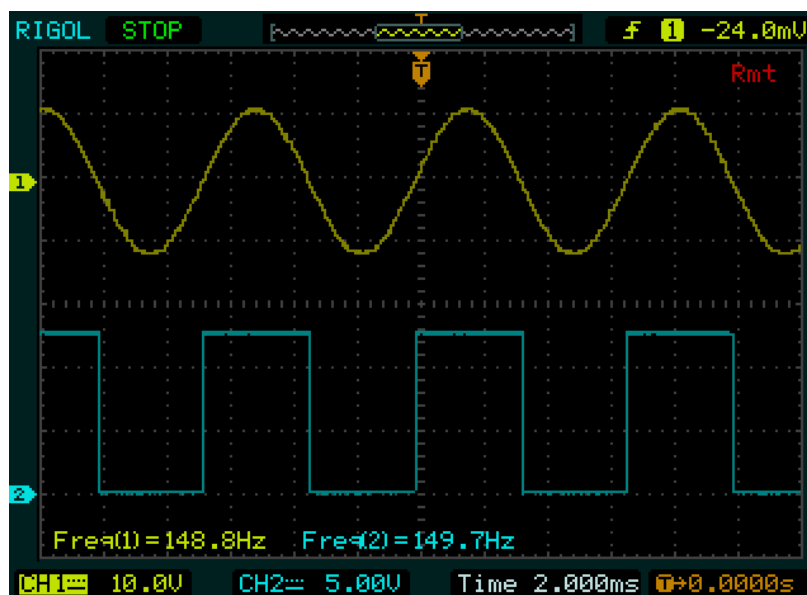
Εικόνα 17. Τομή αισθητήρα VR

Οι ακροδέκτες του αισθητήρα μπορεί να είναι 2 ή 3. Η πολικότητα των 2 ακροδεκτών του πηνίου δεν παίζει ρόλο καθώς το σήμα έχει ημιτονοειδή κυματομορφή (εικόνα 18) με κέντρο του εύρους της το 0 και η μετατροπή του σήματος σε TTL γίνεται εντός του εγκεφάλου.



Εικόνα 18. Σήμα αισθητήρα VR πριν και μετά την μετατροπή του

Όταν οι ακροδέκτες είναι 3 ο τρίτος ακροδέκτης συνδέεται σε μια περιέλιξη η οποία περικλείει τα καλώδια του πηνίου με στόχο την προστασία τους από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Η πολικότητα των άλλων 2 ακροδεκτών δεν παίζει ρόλο ούτε σε αυτήν την περίπτωση αλλά η περιέλιξη τους, δηλαδή ο τρίτος ακροδέκτης, συνδέεται μόνο στην μεριά του ESPCM με την γείωση έχοντας το άλλο του άκρο να "αιωρείται" εντός του περιβλήματος του αισθητήρα.



Εικόνα 19. Απεικόνιση σημάτων VR μέσω παλμογράφου πριν και μετά την μετατροπή τους

Λόγω του τρόπου λειτουργίας του επαγωγικού αισθητήρα παρουσιάζονται μειονεκτήματα όπως η μεγάλη ανάγκη για διατήρηση μικρού διάκενου μεταξύ του αισθητήρα και του

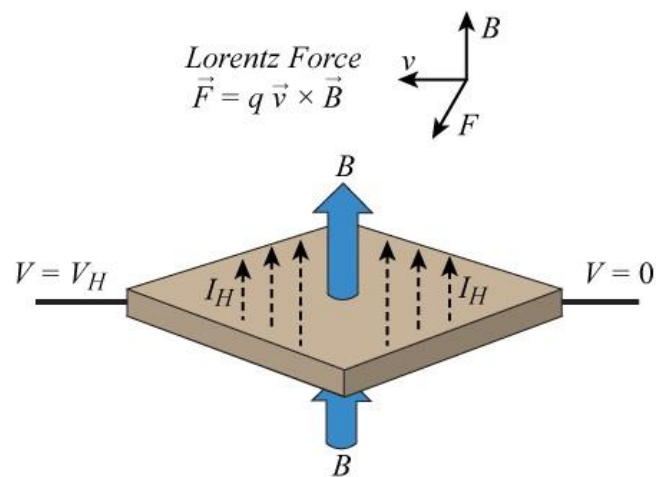
δακτυλίου και η αδυναμία μέτρησης σχετικά αργών συχνοτήτων περιστροφής. Παρόλα αυτά λόγω του χαμηλού του κόστους και της μεγάλης αξιοπιστίας του αποτελεί ακόμα και σήμερα το συνηθέστερο τύπο αισθητήρα στροφών στα συστήματα ABS-TCS-ESP.

3.1.2. Στοιχείο Hall

Ο αισθητήρας Hall, όπως και το όνομά του προαναγγέλλει, λειτουργεί σύμφωνα με το φαινόμενο του Hall το οποίο ανακαλύφθηκε από τον Edwin Hall. Σύμφωνα με το φαινόμενο μια διαφορά δυναμικού V_H (τάση Hall) εμφανίζεται κατά μήκος ενός ηλεκτρικού αγωγού, εγκάρσια στην φορά του ρεύματος I_H που τον διαρρέει και υπό την άσκηση ενός μαγνητικού πεδίου κάθετο στην φορά του ρεύματος. Η εμφάνιση της διαφοράς τάσης οφείλεται στην δύναμη Lorentz F (εικόνα 20) που ασκείται στα ηλεκτρόνια τα οποία κινούνται με πορεία V κάθετα σε ένα μαγνητικό πεδίο B . Με την F να είναι κάθετη στην φορά του ρεύματος και του μαγνητικού πεδίου τα ηλεκτρόνια εξαναγκάζονται στην διαγραφή μιας καμπύλης γραμμής και συνεπώς αναπτύσσεται η τάση V_H [3].

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το V_H είναι:

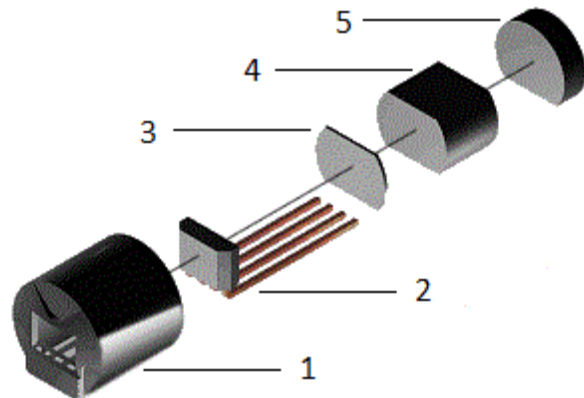
- Το υλικό του αγωγού
- Το πάχος του αγωγού
- Το ποσό του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό
- Η δύναμη του μαγνητικού πεδίου



Εικόνα 20. Δύναμη Lorentz και τάση Hall πάνω σε έναν αγωγό

Για την παραγωγή της κυματομορφής απαιτείται η διατάραξη του μαγνητικού πεδίου που ασκεί ο φυσικός μαγνήτης 4 στο στοιχείο Hall 2 (εικόνα 21) από τα δόντια ενός σιδηρομαγνητικού τροχού. Ο μαγνήτης αποστασιοποιείται από το στοιχείο Hall μέσω μη μεταλλικής πλάκας 3 και όλα αυτά μαζί τοποθετούνται σε ένα περίβλημα που ονομάζουμε Hall chip.

Στην συνέχεια το Hall chip 2 (εικόνα 22) τοποθετείται και προσκολλάται πάνω σε μία πλακέτα 1 στην οποία το σήμα ενισχύεται σε επίπεδα TTL. Το chip 2 και η πλακέτα 1 τοποθετούνται μέσα σε ένα ανθεκτικό περίβλημα, εντός του αισθητήρα στροφών, το οποίο στερεώνεται όπως και ο



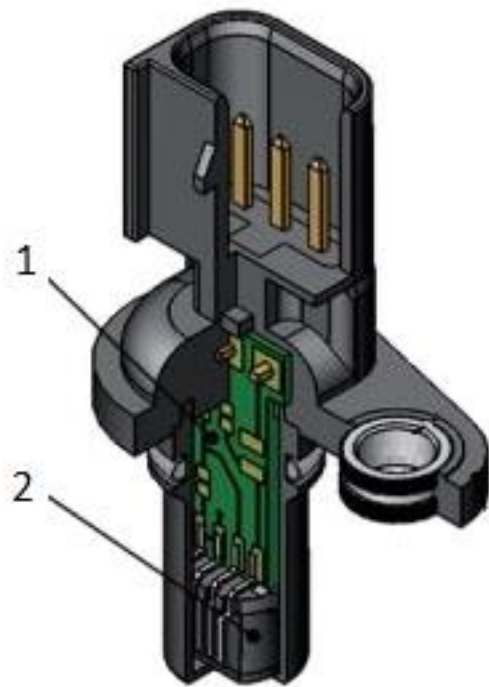
Εικόνα 21. Ανοιγμένο διάγραμμα Hall chip

αισθητήρας VR πάνω στο ακραξόνιο του οχήματος. Ο Hall

έχει 3 ακροδέκτες εκ των οποίων οι δύο είναι παροχές ρεύματος, γείωση και 5 Volt, και ο τρίτος είναι η έξοδος του σήματος τετραγωνικής κυματομορφής TTL.

Στα πλεονεκτήματα του αισθητήρα εντάσσεται η ανεξαρτητοποίηση του εύρους του σήματος εξόδου από το διάκενο μεταξύ αισθητήρα και οδοντωτού τροχού. Επίσης το σήμα δεν απαιτεί καμία εξωτερική ενίσχυση ή φιλτράρισμα και είναι αρκετά προστατευμένο απέναντι σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

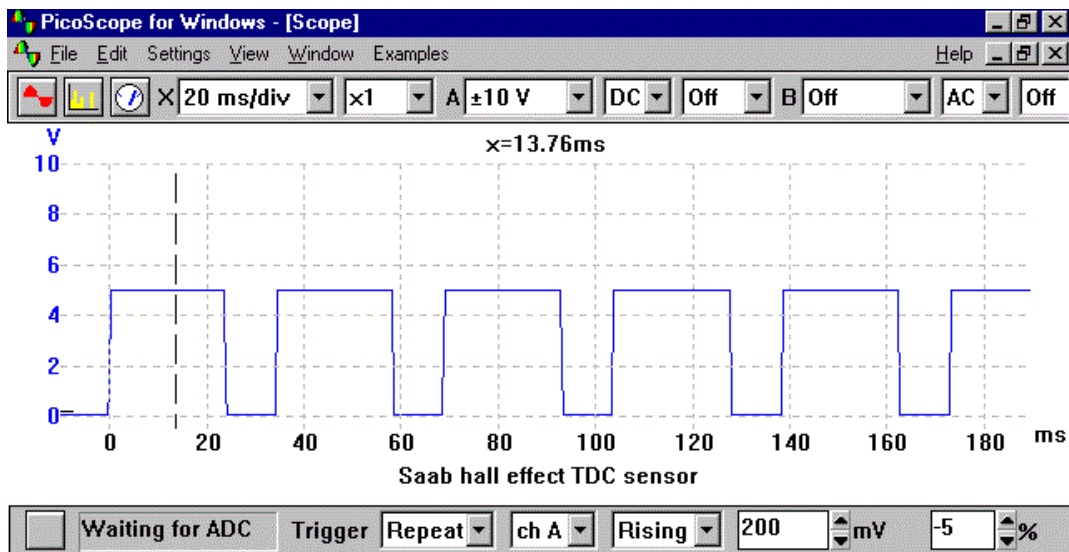
Σημαντική είναι και η ικανότητα του αισθητήρα να ανταποκρίνεται ακόμα και σε σχεδόν μηδενικές συχνότητες περιστροφής. Ακόμα πολλοί σύγχρονοι αισθητήρες μέσω της μεταβολής του κύκλου λειτουργίας, δηλαδή του ποσοστού του χρόνου μίας περιόδου που το σήμα τους είναι κοντά στα 5 V δηλαδή σε κατάσταση HIGH, μπορούν να μεταφέρουν στο



Εικόνα 22. Τομή αισθητήρα Hall

ESPCM την πληροφορία της αριστερόστροφης ή δεξιόστροφης περιστροφής του τροχού. Κάτι τέτοιο είναι δυνατόν μέσω της προσθήκης 2 ακόμα στοιχείων Hall στο εσωτερικό του αισθητήρα και με την περεταίρω επεξεργασία και σύγκριση των σημάτων τους στο εσωτερικό του αισθητήρα επιτυγχάνεται η αντίληψη της φοράς περιστροφής του τροχού

και επιπλέον η μεταβολή του κύκλου λειτουργίας του σήματος εξόδου του αισθητήρα.



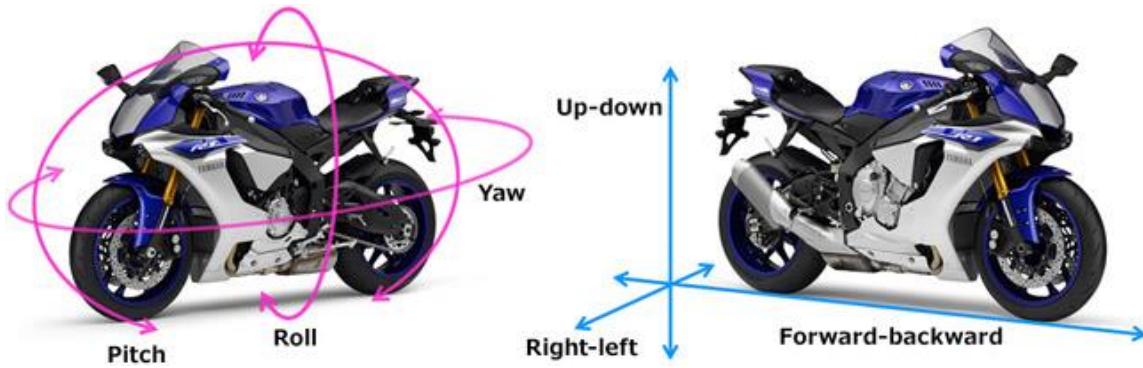
Εικόνα 23 Τυπική μορφή σήματος HALL μέσω παλμογράφου

3.2. Αισθητήρας επιτάχυνσης

Για την πλήρη κατανόηση της συμπεριφοράς του αυτοκινήτου, από το σύστημα ABS, απαραίτητη είναι η προσθήκη ενός επιταχυνσιόμετρου το οποίο μετράει την επιτάχυνση του αυτοκινήτου στον διαμήκη άξονά του. Στα συστήματα ESP επίσης τοποθετούνται δύο ακόμα επιταχυνσιόμετρα, ένα για την εγκάρσια επιτάχυνση του οχήματος και ένα για την γωνιακή επιτάχυνση του αυτοκινήτου. Τα επιταχυνσιόμετρα αυτά μπορούν να βρίσκονται σε δύο ξεχωριστές συσκευές, όπου στην μία είναι τοποθετημένα τα επιταχυνσιόμετρα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης και στην άλλη το επιταχυνσιόμετρο γωνιακής επιτάχυνσης αλλιώς γυροσκόπιο, ή, όπως γίνεται πλέον, σε μία ολοκληρωμένη συσκευή.

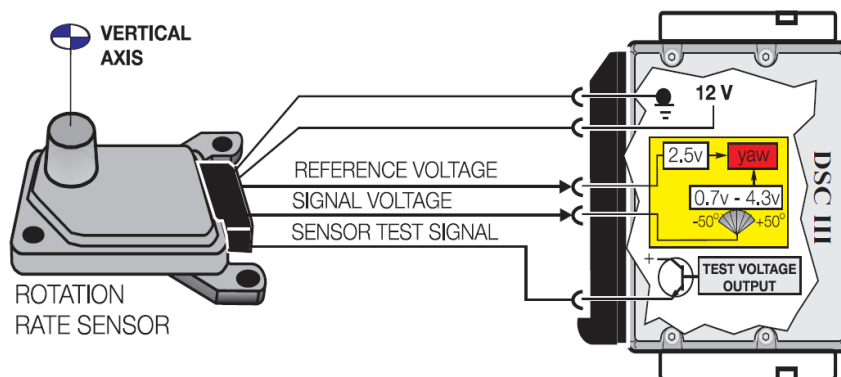


Εικόνα 24 Αισθητήρας επιτάχυνσης της BOSCH



Εικόνα 25 Τυπικά υπολογίσιμα δεδομένα από επιταχυνσιόμετρο μηχανής

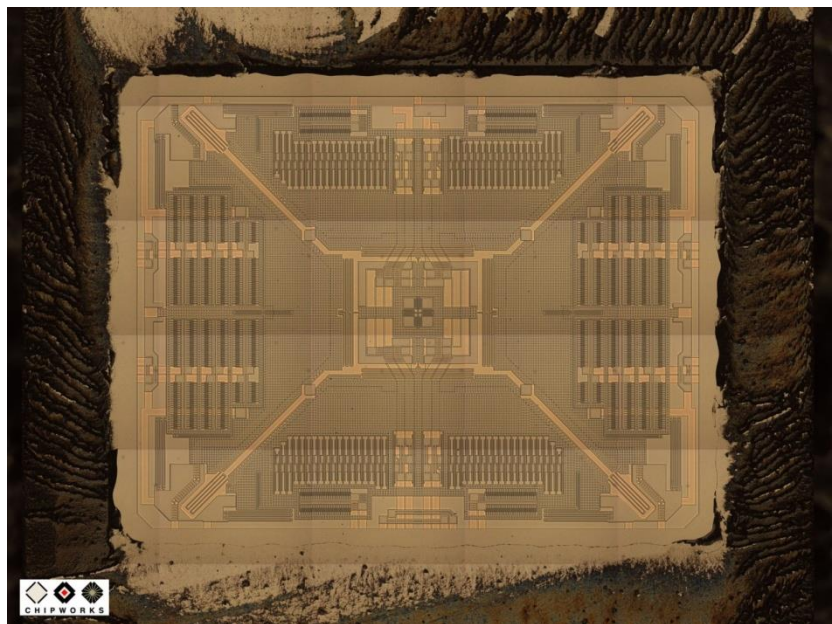
Τα επιταχυνσιόμετρα, ασχέτως από τον τρόπο συσκευασίας τους, είναι chips τα οποία κατατάσσονται στην κατηγορία των συστημάτων μικροηλεκτρομηχανικής ή αλλιώς MEMS (microelectromechanical systems) και βασίζονται στην αδράνεια ενός σώματος. Κατά την επιτάχυνση ενός οχήματος στο εσωτερικό του επιταχυνσιόμετρου μεταβάλλεται η ηλεκτρική χωρητικότητα ενός συστήματος και μέσω ενός ηλεκτρικού κυκλώματος, στο εσωτερικό του επιταχυνσιόμετρου, η μέτρηση αυτήν ενισχύεται και επεξεργάζεται με σκοπό την παραγωγή σήματος το οποίο δεν περιέχει πλέον παρεμβολές και βρίσκεται σε ένα επίπεδο το οποίο μπορεί να διαβάσει ένας επεξεργαστής. Ο επεξεργαστής αυτός, ο οποίος επίσης βρίσκεται στο εσωτερικό του επιταχυνσιόμετρου, στην συνέχεια επικοινωνεί με τον δίαυλο CAN ή με κάποια άλλη μορφή επικοινωνίας με τις αντίστοιχες μονάδες ελέγχου του οχήματος ώστε να τους δώσει την μέτρηση που αντιστοιχεί στις επιταχύνσεις του οχήματος. Σπανιότερα, σε παλαιότερα οχήματα, η επικοινωνία του επιταχυνσιόμετρου με την μονάδα έλεγχου γινόταν μέσω ενός αναλογικού σήματος του οποίου η τάση αντιστοιχούσε άμεσα στο ύψος της επιτάχυνσης (εικόνα 26).



Εικόνα 26 Παλαιότερη διάταξη αισθητήρα γωνιακής επιτάχυνσης και μονάδας ηλεκτρονικής ευστάθειας-DSC

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα ο αισθητήρας τροφοδοτείται με 12V και με γείωση από τον εγκέφαλο ενώ επίσης του παρέχεται μία τάση αναφοράς των 2,5V. Το εύρος της παραγόμενης τάσης κυμαίνεται μεταξύ 0,7V (-50⁰/s) και 4,3V (+50⁰/s) και παρακολουθείται από τον εγκέφαλο, σύμφωνα με την BMW, κάθε 20 ms δηλαδή με συχνότητα 50 Hz. Ενσωματωμένο στον αισθητήρα είναι ένα κύκλωμα μέσω του οποίου είναι δυνατός ο έλεγχος της ακεραιότητας του σήματος του από τον εγκέφαλο. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται μέσω της άσκησης συγκεκριμένης τάσης από τον εγκέφαλο στον πέμπτο ακροδέκτη του αισθητήρα, αναγκάζοντας έτσι τον αισθητήρα να λάβει διαδοχικά τα ακρότατα του εύρους τιμών που μπορεί να παράγει.

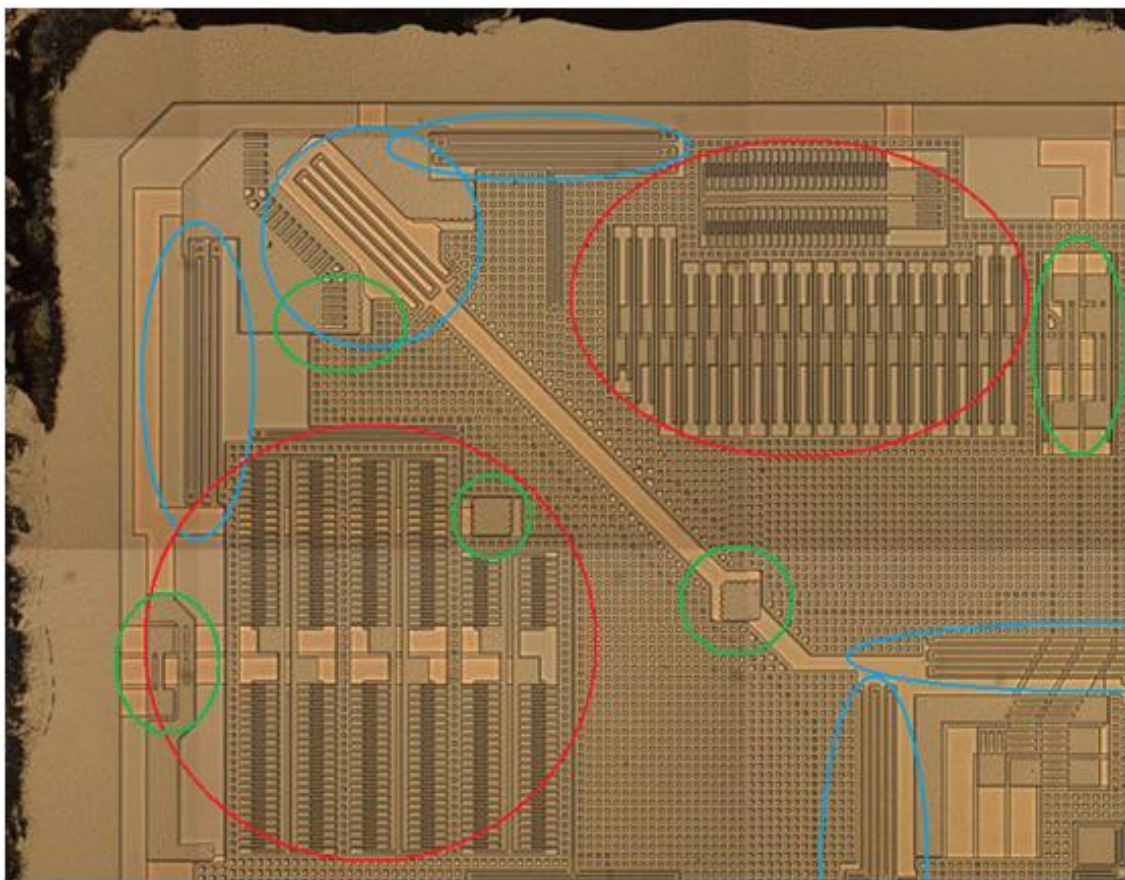
Στο εσωτερικό ενός chip επιταχυνσιόμετρου ή γυροσκοπίου η μεταβολή της χωρητικότητας του ηλεκτρικού κυκλώματος επιτυγχάνεται όπως και σε έναν μεταβαλλόμενο πυκνωτή, δηλαδή μέσω της μεταβολής της επικάλυψης του στάτορα και του ρότορα. Αντίθετα με τον μεταβαλλόμενο πυκνωτή



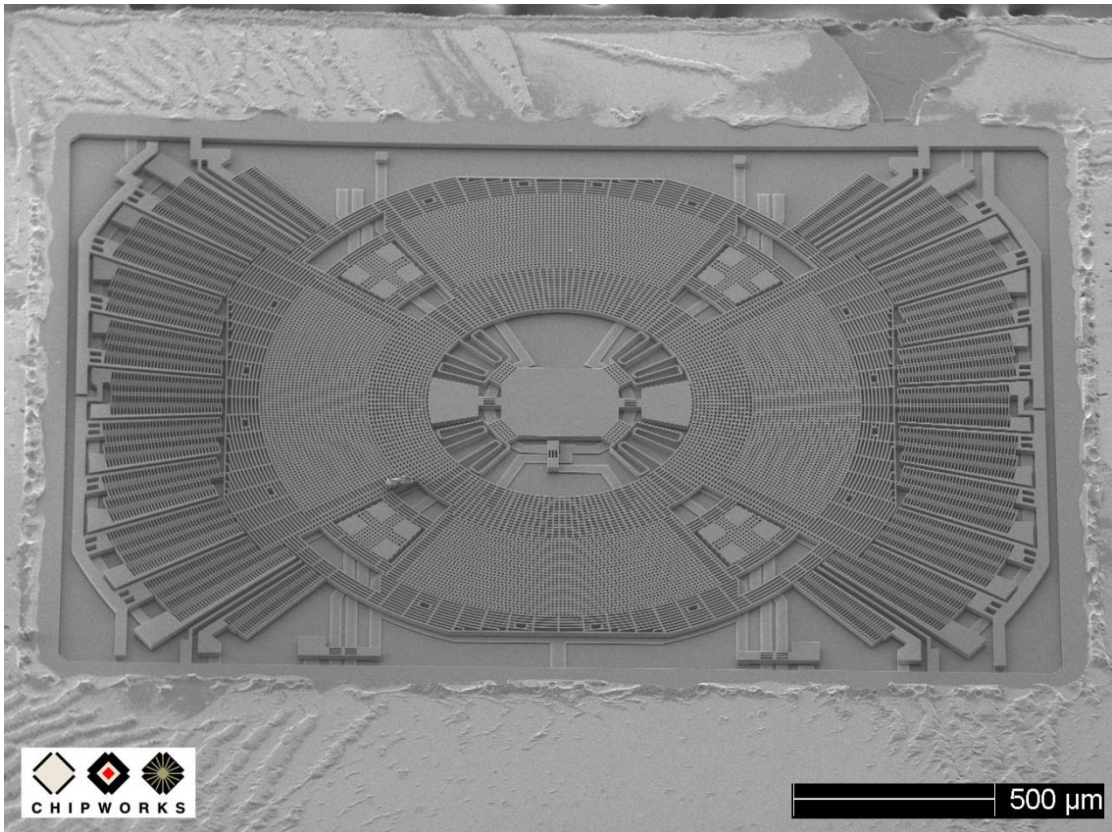
Εικόνα 27 MEMS επιταχυνσιόμετρου δύο γραμμικών αξόνων, διαμήκη και εγκάρσιου άξονα.

τα στοιχεία του MEMS είναι σε μέγεθος της τάξης του 0.001 έως και 0.1 του χιλιοστού και η μεταβολή της επικάλυψής τους βασίζεται στην μη μεταβολή της θέσης του "αιωρούμενου" στοιχείου, λόγω της αδράνειας, υπό την άσκηση της δύναμης που ωθεί το όχημα σε επιτάχυνση. Το "αιωρούμενο" μέρος του επιταχυνσιόμετρου είναι μόνιμα συνδεδεμένο με το στατικό κομμάτι του συστήματος MEMS μέσω μίας μηχανικής σύνδεσης η οποία λόγω του μεγάλου μήκους και της κατάλληλης μορφολογίας της λειτουργεί σαν ελατήριο ασκώντας σταθερή δύναμη στο "αιωρούμενο" στοιχείο και διατηρώντας σε μία ουδέτερη θέση κατά την διάρκεια που δεν του ασκείται κάποια άλλη εξωτερική δύναμη, αλλά αφήνοντας το ελεύθερο να κινηθεί σε έναν άξονα υπό την άσκηση εξωτερικής δύναμης. Εντός των συστημάτων αυτών επίσης τοποθετούνται και κάποια "stop" ώστε να

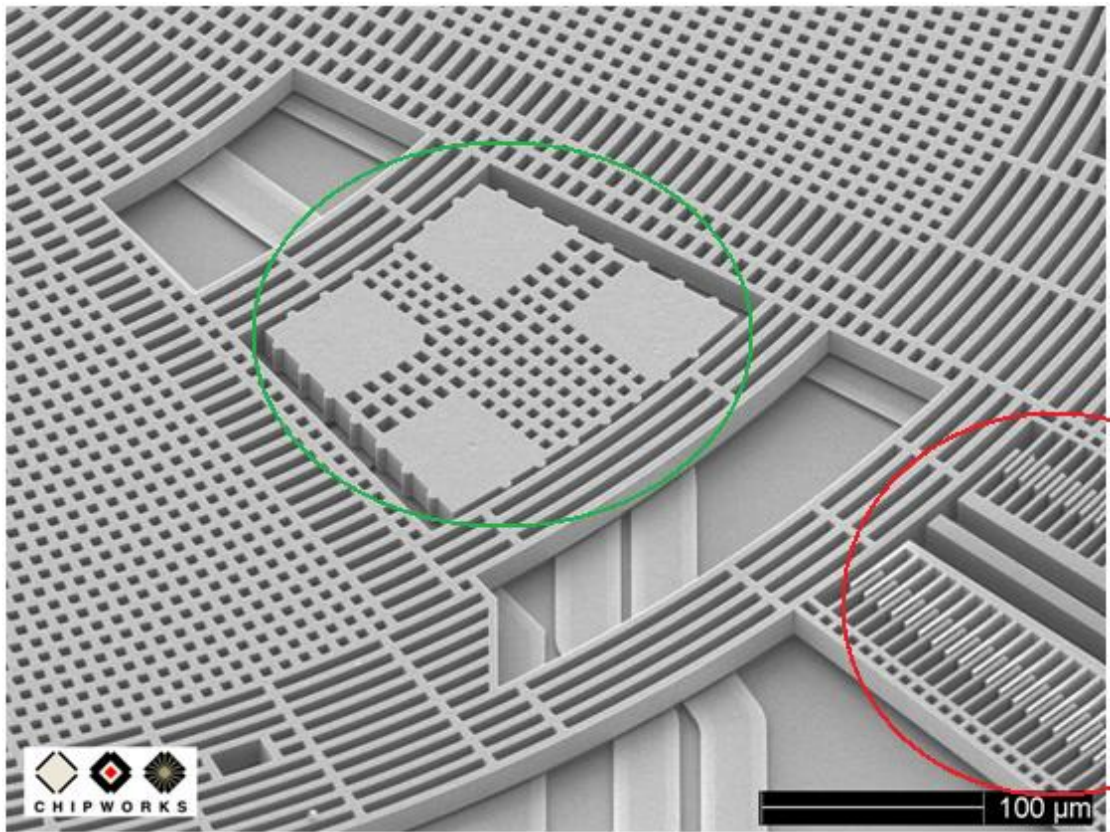
περιορίζεται η σχετική κίνηση μεταξύ αιωρούμενων και σταθερών μερών με σκοπό να μην έρχονται ποτέ σε επαφή τα δύο αυτά μέρη πράγμα που θα είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία βραχυκυκλώματος, την εκμηδένιση της πυκνότητας και σε βάθος χρόνου την φθορά των επιφανειών που λειτουργούν ως πυκνωτής άρα και την μεταβολή της τιμής του πυκνωτή σε οποιαδήποτε θέση. Στις εικόνες που ακολουθούν απεικονίζονται MEMS ενός επιταχυνσιόμετρου δύο γραμμικών αξόνων και ενός επιταχυνσιόμετρου ενός άξονα περιστροφής. Στις εικόνες αυτές με κόκκινο χρώμα έχουν κυκλωθεί τα "αιωρούμενα" στοιχεία, με μπλε τα στοιχεία που λειτουργούν ως ελατήρια και με πράσινο τα στοιχεία που περιορίζουν την σχετική κίνηση μεταξύ σταθερών και αιωρούμενων.



Εικόνα 28 Μεγέθυνση του παραπάνω MEMS με επισημασμένα τμήματα



Εικόνα 29 MEMS γυροσκοπίου



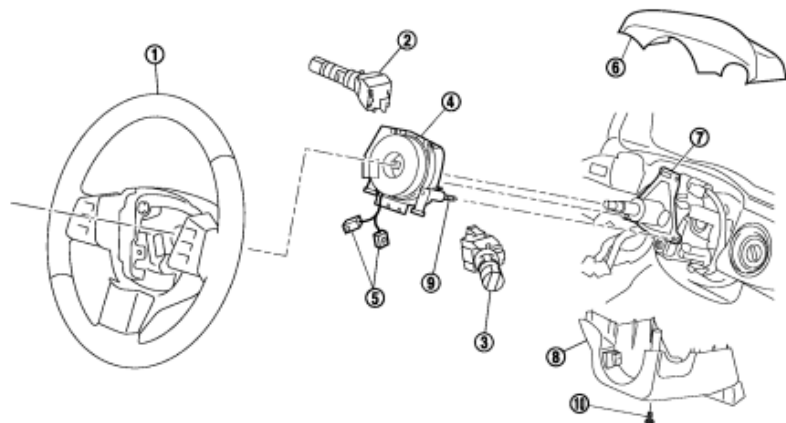
Εικόνα 30 MEMS γυροσκοπίου με επισημασμένα τμήματα

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι κατά το παρελθόν έχουν χρησιμοποιηθεί επιταχυνσιόμετρα, γραμμικά και γωνιακά, με διαφορετική αρχή λειτουργίας από αυτήν που αναφέρθηκε παραπάνω. Παρόλα αυτά τα MEMS υπερτερούν και χρησιμοποιούνται ως εξ ολοκλήρου σήμερα λόγω του πλέον πολύ χαμηλού κόστους κατασκευής, γεγονός που προέρχεται από την ευρεία εφαρμογή τους σε άλλους τομείς όπως κινητά, GPS, φωτογραφικές μηχανές, αεροπορία, παρακολούθηση δονήσεων μηχανημάτων και άλλα. Επίσης, σημαντικά πλεονεκτήματα αποτελούν, το εξαιρετικά χαμηλό βάρος, ο όγκος και η κατανάλωση ισχύος τους.

3.3. Αισθητήρας γωνίας τιμονιού (SAS/SWAS)

Η προσθήκη του αισθητήρα γωνίας τιμονιού στα βασικά εξαρτήματα του αυτοκινήτου έγινε με την τοποθέτηση συστημάτων ESP. Στα συστήματα αυτά η παρακολούθηση των κινήσεων του τιμονιού και η συνεχής σύγκρισή της με τις μετρήσεις από τα επιταχυνσιόμετρα δίνει την δυνατότητα στο ESPCM να κατανοήσει την επιθυμητή πορεία του οδηγού και να την συγκρίνει με την πραγματική πορεία του οχήματος ώστε να αποφασίσει για το εάν και για το πως θα πρέπει να επέμβει στην ταχύτητα περιστροφής του κάθε τροχού. Για την ανάγνωση της ταχύτητας περιστροφής και της γωνίας του τιμονιού έχει επικρατήσει, με την πάροδο των χρόνων, η χρήση αισθητήρων που βασίζονται στο φαινόμενο του Hall, στην ιδιότητα της μαγνητοαντίστασης και στην χρήση φωτοτρανζίστορ. Ασχέτως

από τον τύπο του αισθητήρα που χρησιμοποιείται, πλέον χρησιμοποιούνται κατά κανόνα δύο στοιχεία του κάθε αισθητήρα, των οποίων οι τάσεις διαβάζονται από έναν μικροελεγκτή και μέσω της διαφοράς φάσης τους υπολογίζεται η απόλυτη γωνία του τιμονιού.



Εικόνα 31 Τυπική διάταξη SAS (vo. 4) (steering angle sensor)

3.3.1. Μαγνητοαντίσταση

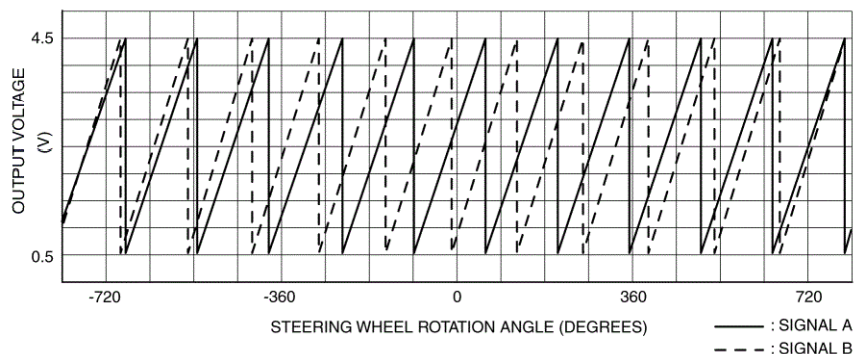
Η χρήση της μαγνητοαντίστασης αξιοποιεί την μεταβολή του μαγνητικού πεδίου για την παραγωγή σήματος. Συγκεκριμένα, αξιοποιείται η μεταβολή της ωμικής αντίστασης κάποιων συγκεκριμένων σιδηρομαγνητικών υλικών τα οποία τοποθετούνται σε μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, σύμφωνα με τις μεταβολές του οποίου παρουσιάζεται και η μεταβολή της ωμικής αντίστασης των υλικών αυτών. Στην εικόνα 32 φαίνονται τα τρία γρανάζια τα οποία χρησιμοποιούνται για την αντίληψη της περιστροφής του τιμονιού.

Το γρανάζι νο.1 περιστρέφεται συνεχώς με την ταχύτητα του τιμονιού μεταδίδοντας την κίνηση αυτήν στα γρανάζια 2 και 3 κάτω από τα οποία βρίσκονται οι μαγνητοαντιστάσεις. Το μεταβλητό μαγνητικό πεδίο προέρχεται από μόνιμους μαγνήτες που τοποθετούνται στο εσωτερικό των γραναζιών. Η διαφορά φάσης στην συγκεκριμένη περίπτωση



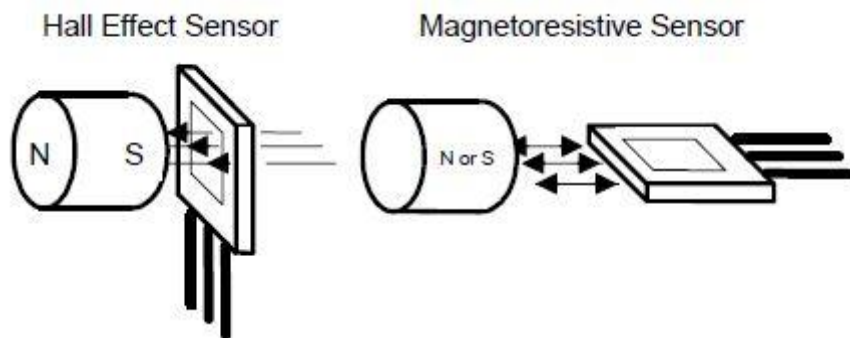
Εικόνα 32 Τομή SAS μαγνητοαντίστασης

επιτυγχάνεται μέσω της διαφοροποίησης των γραναζιών 2 και 3, όπου το νο.2 έχει 15 δόντια ενώ το νο.3 έχει 13 δόντια, παράγοντας έτσι δυο διαφορετικές κυματομορφές (εικόνα 33). Η μικρή σχέση μετάδοσης μεταξύ το γραναζιού 1 και των 2 και 3 εξαλείφει την ανάγκη για προσθήκη πολλαπλών μαγνητών στα γρανάζια 2 και 3 καθώς η απαιτούμενη ανάλυση, του αισθητήρα, προέρχεται από την αύξηση στροφών του γραναζιού νο.1 στα γρανάζια νο.2 και νο.3 αντίστοιχα.



Εικόνα 33 Παραγόμενες κυματομορφές από τις μαγνητοαντιστάσεις μετά την ενίσχυσή τους

Η λειτουργία των αισθητήρων που βασίζονται στο φαινόμενο της μαγνητοαντίστασης είναι αρκετά παρόμοια με αυτήν των αισθητήρων φαινομένου Hall. Παρόλα αυτά οι κύριες διαφορές τους είναι η μεγαλύτερη ευαισθησία στην μεταβολή μαγνητικού πεδίου των αισθητήρων μαγνητοαντίστασης και η διαφορά στην φορά που πρέπει να έχει το μαγνητικό πεδίο ώστε να λειτουργήσει σωστά ο αισθητήρας (εικόνα 34). Επίσης οι αισθητήρες Hall παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία υπό την εναλλαγή μαγνητικού πεδίου με βόρεια πολικότητα (S), γεγονός που δεν παίζει μεγάλο ρόλο καθώς ο μαγνήτης είναι ενσωματωμένος σε αυτούς και δεν χρησιμοποιείται μαγνητικός τροχός.



Εικόνα 34 Διαφορά φοράς και πολικότητας του μαγνητικού πεδίου μεταξύ αισθητήρων Hall και μαγνητοαντίστασης

3.3.2. Φωτοτρανζίστορ

Φωτοτρανζίστορ ονομάζουμε τα τρανζίστορ τα οποία ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται με την εστίαση φωτός στο εξωτερικό τους περίβλημα. Συνήθως τα φωτοτρανζίστορ μοιάζουν εξωτερικά με τα LED με την διαφορά ότι το περίβλημά τους συνηθίζεται να είναι μαύρο. Η μαύρη αυτήν επικάλυψη αποτρέπει το ορατό, στον άνθρωπο, φως από το να περάσει στο εσωτερικό και να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει το τρανζίστορ. Η μορφολογία αυτήν του φωτοτρανζίστορ τα κάνει

αλώβητα στην πρόσπτωση του ορατού φωτός ενώ παράλληλα παρουσιάζει πολύ καλή διαπερατότητα στο υπεριώδες φως. Έτσι απέναντι από το



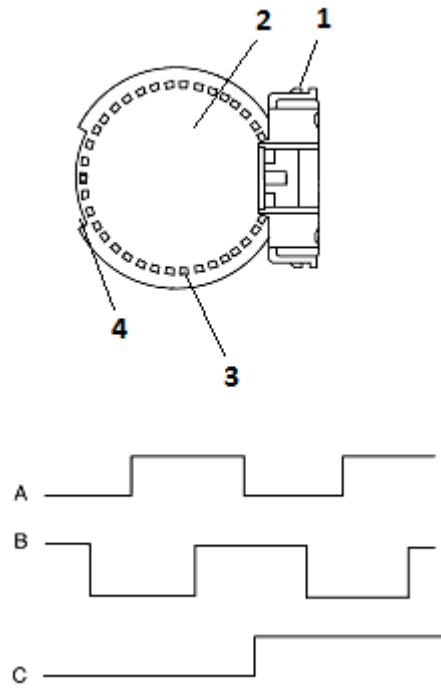
Εικόνα 35 Συνηθέστερες μορφές φωτοτρανζίστορ

φωτοτρανζίστορ συνήθως τοποθετείται LED το οποίο εκπέμπει συνεχώς υπεριώδεις φώς μέσω του οποίου ενεργοποιείται το φωτοτρανζίστορ. Μία τυπική διάταξη του SAS αποτελείται από τον κατάλληλα διαμορφωμένο τροχό, από τα φωτοτρανζίστορ και από μίας φωτοδίοδο υπεριώδους φωτός.

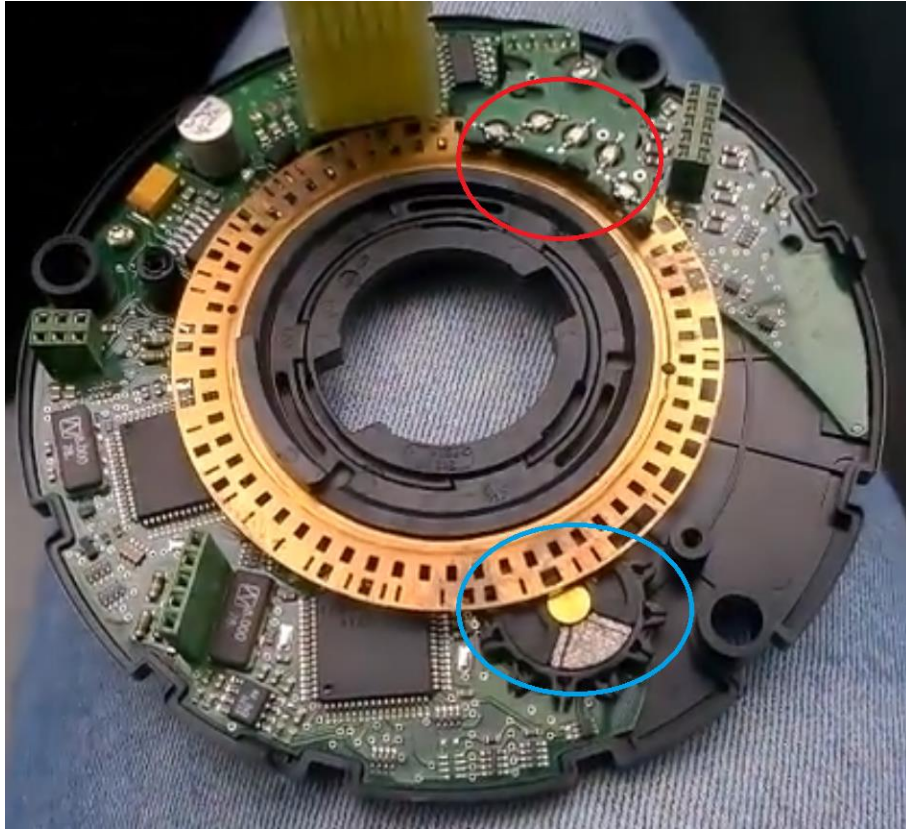
Στην διπλανή εικόνα 36 βλέπουμε τις κυματομορφές που παράγονται από έναν αισθητήρα τριών φωτοτρανζίστορ. Ο αισθητήρας (1) περιέχει τρία φωτοτρανζίστορ εκ των οποίων τα δύο διαβάζουν τις εγκοπές (3) από τον κωδικοποιητή (2) παράγοντας τις κυματομορφές A και B, ενώ ο τρίτος διαβάζει την εγκοπή (4), μια φορά ανά πλήρη περιστροφή του τιμονιού, και παράγει την κυματομορφή C.

Εμφανές γίνεται το πλεονέκτημα του φωτοτρανζίστορ, το οποίο παράγει παλμική κυματομορφή χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του αρχικού σήματος σε αντίθεση με την κυματομορφή που παράγεται από την μαγνητοαντίσταση. Παρόλα αυτά, λόγω του τρόπου λειτουργίας του αισθητήρα, παρουσιάζονται προβλήματα μακροζωίας λόγω της παρουσίας σκόνης η οποία μπορεί με την πάροδο των χρόνων να μπλοκάρει το τρανζίστορ ή το LED χωρίς βέβαια να καταστρέφει τον αισθητήρα αλλά καθιστώντας αναγκαίο τον καθαρισμό ή την αντικατάστασή του.

Στην παρακάτω φωτογραφία απεικονίζεται ένας SAS, ο οποίος συνδυάζει την μαγνητοαντίσταση, κυκλωμένη με χρώμα μπλε, με τα φωτοτρανζίστορ, κυκλωμένα με χρώμα κόκκινο. Τα φωτοτρανζίστορ χρησιμοποιούνται για να ανιχνεύουν την κίνηση εντός 360° , ενώ η μαγνητοαντίσταση χρησιμοποιείται για να ανιχνεύει την κίνηση εντός 2160° . Από φωτοτρανζίστορ, στην προκειμένη περίπτωση, παράγεται και η διαφορά φάσης, γεγονός που οφείλεται στους δύο διάτρητους δακτυλίους του κωδικοποιητή.



Εικόνα 36 Τυπική διάταξη και κυματομορφή SWAS με φωτοτρανζίστορ



Εικόνα 37 SAS με συνδυασμό μαγνητοαντίστασης και φωτοτρανζίστορ

Η εφαρμογή του αισθητήρα Hall δεν θα αναπτυχθεί καθώς υπάρχει ήδη σε παραπάνω κεφάλαιο, κεφάλαιο 3.1.2. Αξίζει μόνο να αναφερθεί ότι για την αντίληψη της φοράς περιστροφής τοποθετούνται δύο στοιχεία Hall, όπως και στις υπόλοιπες μεθόδους, την τάση των οποίων διαβάσει ένας μικροελεγκτής και μέσω της διαφοράς φάσης των τάσεων αντιλαμβάνεται την απόλυτη γωνία του τιμονιού.

3.4. Αισθητήρας πίεσης υδραυλικού κυκλώματος

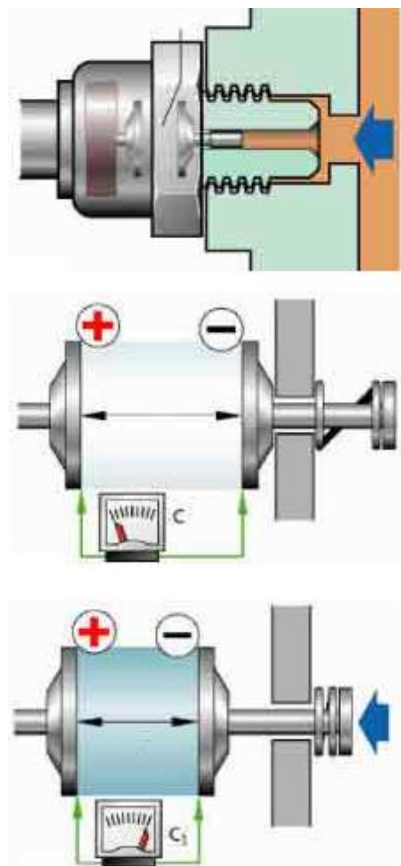
Στα συστήματα ESP τοποθετείται ένας αισθητήρας πίεσης ο οποίος παρακολουθεί την πίεση που αναπτύσσεται στο εσωτερικό ενός από τα δύο κυκλώματα πέδησης του οχήματος, εμπρός-πίσω ή χιαστή. Το ESPCM καταγράφοντας τις τιμές του αισθητήρα ανά συχνά χρονικά διαστήματα υπολογίζει τον ρυθμό με τον οποίο ο οδηγός εφαρμόζει πίεση στο πεντάλ του φρένου και έτσι μπορεί να αποφασίσει για το εάν είναι απαραίτητη η επεμβατική λειτουργία του συστήματος ESP. Επίσης, ο αισθητήρας και οι τιμές του εμφανίζονται μεγάλη χρησιμότητα στο εσωτερικό της λογικής PBA όπου απαιτείται

μεγαλύτερη δύναμη πέδησης από αυτήν που ο οδηγός ασκεί σε περίπτωση πανικού καθώς επίσης και μεγάλος ρυθμός αύξησης της δύναμης αυτής. Το παραπάνω έχει διαπιστωθεί σε πολλές έρευνες σύμφωνα με τις οποίες ακόμα και έμπειροι οδηγοί παρουσιάζουν υστέρηση στην ικανότητα εφαρμογής επαρκούς δύναμης πέδησης καθώς και στην εφαρμογή της δύναμης με σχετικά αργό ρυθμό.

Για την υλοποίηση των αισθητήρων αυτών έχει επικρατήσει η εφαρμογή των δύο τεχνολογιών που θα δούμε παρακάτω. Οι αισθητήρες αυτοί ανεξαρτήτως του τρόπου λειτουργίας τους μπορεί να είναι τοποθετημένοι είτε στο εσωτερικό του HCU, είτε στο εξωτερικό του ή ακόμα και πάνω στον εντολοδότη κύλινδρο φρένων και παράγουν ένα αναλογικό σήμα μεταξύ 0V και 5V ανάλογο της πίεσης που διαβάζουν.

3.4.1. Μεταβαλλόμενης χωρητικότητας

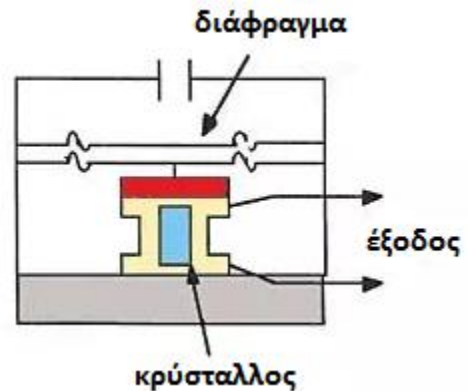
Στο εσωτερικό του αισθητήρα αυτού είναι τοποθετημένες δύο αγώγιμες μικρές πλάκες εκ των οποίων η μία είναι πακτωμένη και η άλλη μετακινείται ελαφρώς υπό την εφαρμογή πίεσης στο ένα άκρο της. Στο άλλο άκρο της μετακινούμενης πλάκας υπάρχει κάποιο διηλεκτρικό υλικό το οποίο την διατηρεί μονίμως διαχωρισμένη από την πακτωμένη πλάκα. στις πλάκες αυτές είναι προσαρτημένοι ηλεκτρικοί αγωγοί οι οποίοι τις προσανατολίζουν, ηλεκτρικά, την μία θετικά και την άλλη αρνητικά, δημιουργώντας έτσι έναν μεταβαλλόμενο, υπό την άσκηση πίεσης στο άκρο του αισθητήρα, πυκνωτή. Στο εσωτερικό του αισθητήρα επίσης υπάρχει ένα κύκλωμα μετατροπής της τιμής της χωρητικότητας σε τάση και ένας μικροελεγκτής ο οποίος παρακολουθεί την τιμή του αισθητήρα και παράγει ένα αναλογικό σήμα μεταξύ 0V και 5V το οποίο αναγνωρίζεται από το ESPCM [4].



Εικόνα 38 Αναπαράσταση της λειτουργίας ενός αισθητήρα μεταβαλλόμενης χωρητικότητας

3.4.2. Πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου

Στο εσωτερικό του αισθητήρα αυτού είναι τοποθετημένο ένα διάφραγμα πάνω στο οποίο ασκείται η πίεση του υγρού φρένων. Στην άλλη πλευρά του διαφράγματος αυτού είναι τοποθετημένος ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος ο οποίος είναι άμεσα συνδεδεμένος με το διάφραγμα, συνεπώς και παραμορφώνεται παράλληλα με αυτό.

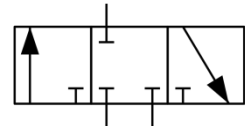


Εικόνα 39 Τυπική διάταξη αισθητήρα πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου

Ο πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος έχει την ιδιότητα να παρουσιάζει στα άκρα του τάση ανάλογη της παραμόρφωσής του, η οποία έπειτα από την ενίσχυσή της μέσα από κατάλληλο κύκλωμα είναι δυνατόν να γίνει αντιληπτή από έναν μικροελεγκτή, ενσωματωμένο στον αισθητήρα, ο οποίος με την σειρά του εκπέμπει ένα αναλογικό σήμα από 0V έως 5V. Το σήμα αυτό έπειτα αναγνωρίζεται από το ESPCM όπου και υπολογίζεται ο ρυθμός με τον οποίο εφαρμόζεται η δύναμη πέδησης.

3.5. Βαλβίδες τριών θέσεων/τριών δρόμων "3/3"

Για πολλά χρόνια στα συστήματα ABS χρησιμοποιούνταν οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες τριών θέσεων και τριών δρόμων-ακροφύσιων, οι οποίες όπως και το όνομά τους δηλώνει είναι ηλεκτρομαγνητικές σωληνοειδείς βαλβίδες των οποίων το εσωτερικό στοιχείο μπορεί να λάβει 3 θέσεις μεταβάλλοντας την ροή στα 3 ακροφύσια του. Από τα παραπάνω κατασκευαστικά χαρακτηριστικά οι βαλβίδες παίρνουν και το όνομά τους "3/3". Στην εικόνα 40 φαίνεται ο συμβολισμός μίας βαλβίδας



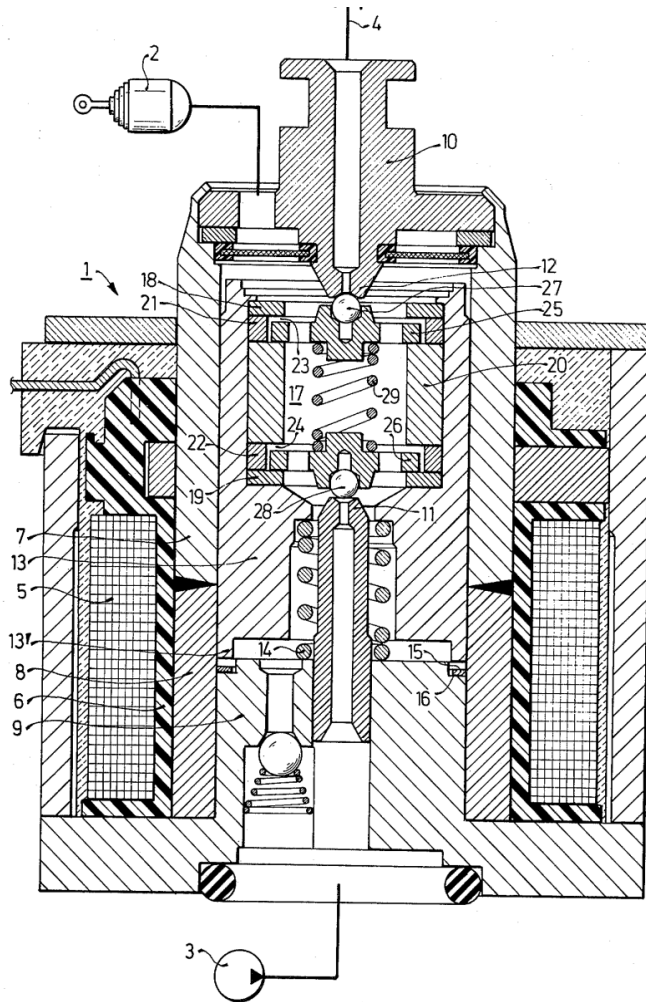
Εικόνα 40 Συνήθης συμβολισμός βαλβίδας 3/3

3/3 από τον οποίο μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα τρία κουτιά που φαίνεται να χωρίζουν το σύμβολο σε τρία κομμάτια, υποδεικνύουν τις 3 θέσεις που μπορεί να λάβει η βαλβίδα. Επίσης, εντός αυτών των τριών κουτιών διακρίνουμε βελάκια και σχήματα "T" εκ των οποίων το καθένα υποδηλώνει ένα ακροφύσιο της βαλβίδας, με τα βελάκια να δείχνουν την συνέχεια μεταξύ δύο ακροφυσίων και τα "T" να δηλώνουν τα ακροφύσια τα οποία παρουσιάζουν αδυναμία διέλευσης του υγρού. Έτσι κοιτώντας το σύμβολο μπορούμε να καταλάβουμε σε

ποια από τις θέσεις βρίσκεται η βαλβίδα στην προκειμένη περίπτωση και ποιές είναι οι δίοδοι από τις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί η διέλευση του υγρού φρένων. Για την κατανόηση της δομής και της λειτουργίας των βαλβίδων 3/3 θα χρησιμοποιηθούν οι σχεδιαστικές τομές και οι περιγραφές που κατατέθηκαν το 1974 υπό την πατέντα US3989063A, μία από τις πρώτες βαλβίδες 3/3 που είχαν ως πεδίο εφαρμογής το ABS του αυτοκινήτου [5].

3.5.1. Δομή βαλβίδας 3/3

Όπως διακρίνουμε στην εικόνα 41 η βαλβίδα δέχεται υγρό φρένων από τον εντολοδότη κύλινδρο 3, το οποίο ανάλογα με την κατάσταση (κλειστές ή ανοιχτές) των εδρών 11 και 12 διοχετεύεται είτε στον εντολοδόχο κύλινδρο είτε στην δίοδο ανακούφισης πίεσης 4. Ο έλεγχος του οπλισμού 13 επιτυγχάνεται μέσω της διαρροής του πηνίου 5 από ρεύμα και του ελατηρίου 14. Το πηνίο (5) μαζί με το περίβλημά του 6 τοποθετούνται γύρω από τους οδηγούς 7 και 8. Μία ροδέλα 15 αποτρέπει την επαφή μεταξύ του οπλισμού 13 και της βάσης 9 περιορίζοντας έτσι την διαδρομή του οπλισμού. Στον οπλισμό 13 δημιουργείται ένας κενός χώρος 17 στον οποίο εμπεριέχονται οι ροδέλες 18 και 19 που κρατούνται σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους από τους δακτυλίους 20, 21 και 22. Εντός των χώρων 23 και 24 τοποθετούνται οι φορείς 25 και 26 που συγκρατούν τα στοιχεία στεγανοποίησης 27 και 28 και τα διατηρούν σχεδόν



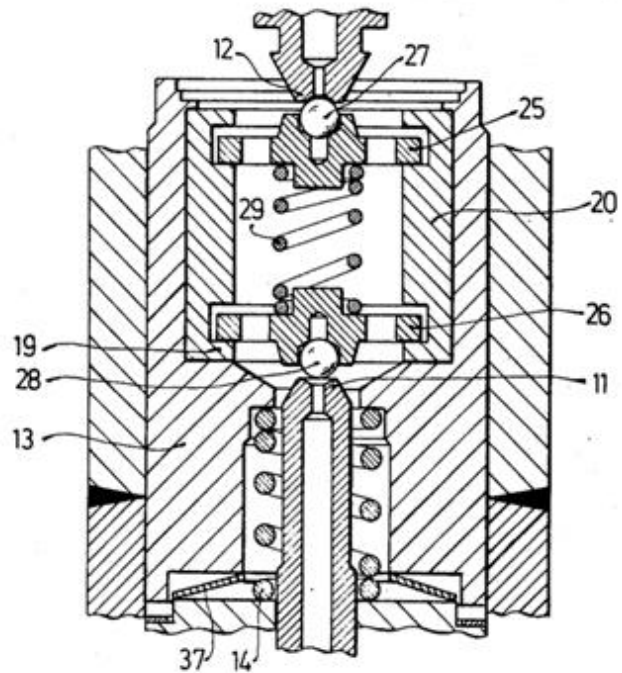
Εικόνα 41 Τομή βαλβίδας ABS 3/3 σύμφωνα με την πατέντα "US3989063A"

ομόκεντρα με τις έδρες 10 και 12. Τα στοιχεία αυτά κρατούνται χωριστά μέσω του ελατηρίου 29 δημιουργώντας τους δύο μηχανισμούς στεγανοποίησης 11/28 και 12/27

Στις παρακάτω εικόνες 35 με 37 αναπαριστώνται οι τρεις διαφορετικές πιθανές θέσεις τις οποίες η βαλβίδα μπορεί να διατηρήσει μέσω της μεταβολής του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από το πηνίο 5 και επενεργεί στον οπλισμό 13 ο οποίος συμπαρασύροντας με την σειρά τα στοιχεία στεγανοποίησης 27 και 28 και σε συνδυασμό με τις δυνάμεις των ελατηρίων 14 και 29 επιτυγχάνουν τον έλεγχο της πίεσης εντός του εντολοδόχου κυλίνδρου 2 και συνεπώς την δύναμη πέδησης. Όπως θα δούμε παρακάτω οι δακτύλιοι 20, 21, 22 και οι ροδέλες 18 και 19 αναπαρίστανται από ένα μονομερές τμήμα 20 καθώς οι αποστάσεις μεταξύ τους και με τα σημεία επαφής τους παραμένουν σταθερές ασχέτως από την θέση της βαλβίδας και των υπόλοιπων μερών της.

3.5.2. Θέση 1 (αύξηση πίεσης)

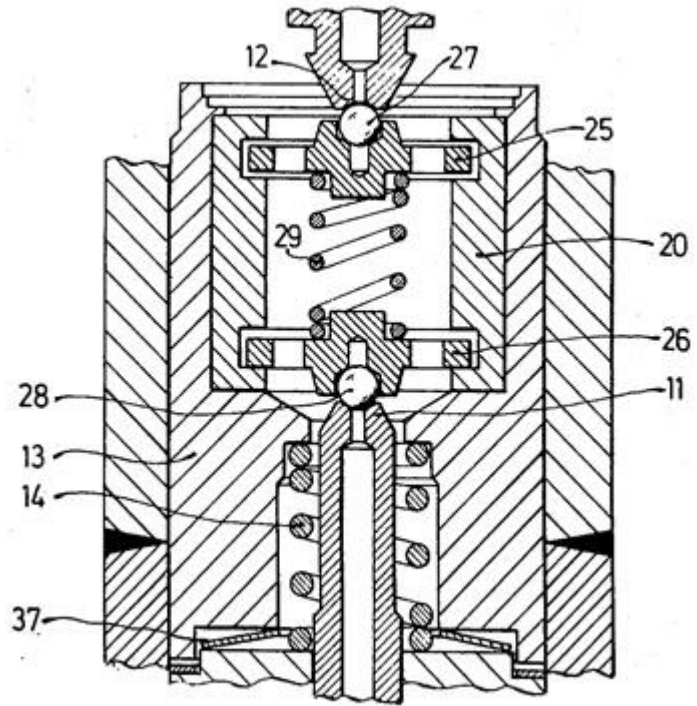
Η εικόνα 42 αναπαριστά την διαρρύθμιση της βαλβίδας 1 στην ελεύθερη θέση της, δηλαδή στην θέση στην οποία διαρρέεται από ρεύμα μηδενικής έντασης. Ο μηχανισμός στεγανοποίησης 12/27 είναι κλειστός. Ο μηχανισμός στεγανοποίησης 11/28 είναι ανοιχτός λόγω της πλήρους απώθησης του οπλισμού 13 από την βάση 9 λόγω του ελατηρίου 14. Ο οπλισμός 13 ανασηκώνει, μέσω της ροδέλας 19, τον φορέα 26 και κατ' επέκταση το στοιχείο στεγανοποίησης 28 ώστε να μην υπάρχει επαφή με την έδρα 11. Συνεπώς ο εντολοδόχος κύλινδρος 2 είναι σε επικοινωνία με τον εντολοδότη 3 άρα είναι δυνατή η αύξηση της πίεσης εντός του κυλίνδρου 2.



Εικόνα 42 Βαλβίδα 3/3 σε ελεύθερη θέση, σύμφωνα με την πατέντα "US3989063A"

3.5.3. Θέση 2 (διατήρηση πίεσης)

Στην παρακάτω εικόνα 43 αναπαρίσταται η βαλβίδα με τον οπλισμό της να έχει λάβει την μεσαία, δεύτερη, θέση. Για την κατάληψη της θέσης αυτής, το πηνίο 5 θα πρέπει να διαρρέεται από ένα μόνο μέρος της μέγιστης έντασης ρεύματος που μπορεί να καταναλώσει η βαλβίδα. Η μεσαία αυτή ένταση ωθεί τον οπλισμό 13 στο να διαγράψει μία σχετικά μικρή διαδρομή. Από την αρχή και καθ' όλη την διάρκεια της διαδρομής αυτής η δύναμη που ασκείται στον οπλισμό είναι ίδιας φοράς με την δύναμη που του ασκείται από το μαγνητικό πεδίο, πράγμα το οποίο μπορούμε να διακρίνουμε και στο διάγραμμα δύναμης του ελατηρίου 29 στην εικόνα 37. Όταν ο οπλισμός φθάσει σχεδόν στην θέση 2 η

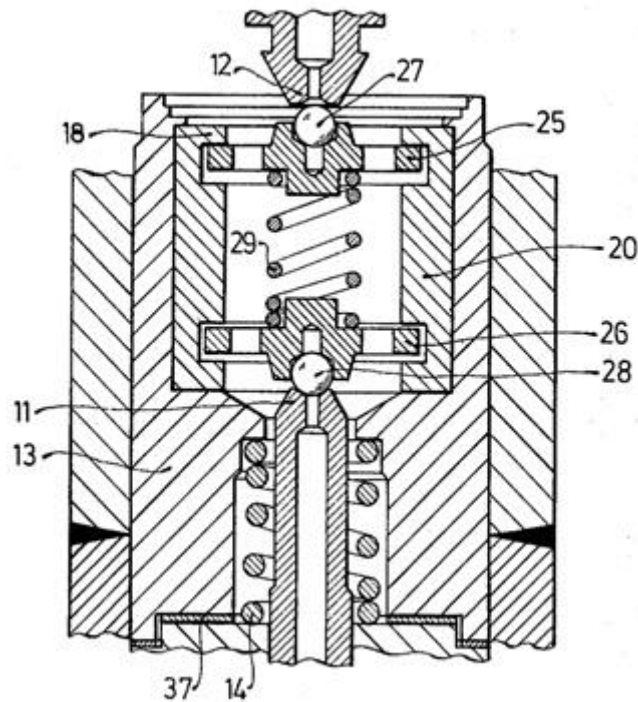


Εικόνα 43 Βαλβίδα 3/3 σε ενδιάμεση θέση, σύμφωνα με την πατέντα "US3989063A"

δύναμη του ελατηρίου 29 σχεδόν εξαλείφεται, όπως φαίνεται στο σημείο 32 του διαγράμματος εικόνα 45, πράγμα το οποίο προσδίδει ισορροπία και ευστάθεια του οπλισμού της βαλβίδας στην ενδιάμεση αυτήν θέση. Ο συνδυασμός της εξουδετέρωσης της δύναμης 32 με την επανεμφάνιση της δύναμης 31 αμφίπλευρα της θέσης 2 εγγυάται την διατήρησή της θέσης αυτής από τον οπλισμό. Στην θέση αυτήν οι δύο μηχανισμοί στεγανοποίησης 11/28 και 12/27 είναι κλειστοί, δηλαδή ο εντολοδόχος κύλινδρος 2 δεν είναι σε επικοινωνία με τον εντολοδότη 3 αλλά ούτε και με το ακροφύσιο ανακούφισης 10, άρα έχουμε διατήρηση της πίεσης εντός του κυλίνδρου 2.

3.5.4. Θέση 3 (μείωση πίεσης)

Για την πλήρη περαιτέρω μετατόπιση του οπλισμού 13 στην ακραία θέση 3 η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο 5 θα πρέπει να αυξηθεί στην μέγιστή της τιμή μεγιστοποιώντας έτσι και την δύναμη του μαγνητικού πεδίου που έλκει τον οπλισμό και τοποθετώντας τον έτσι στην διαρρύθμιση που αναπαρίσταται στην εικόνα 44.

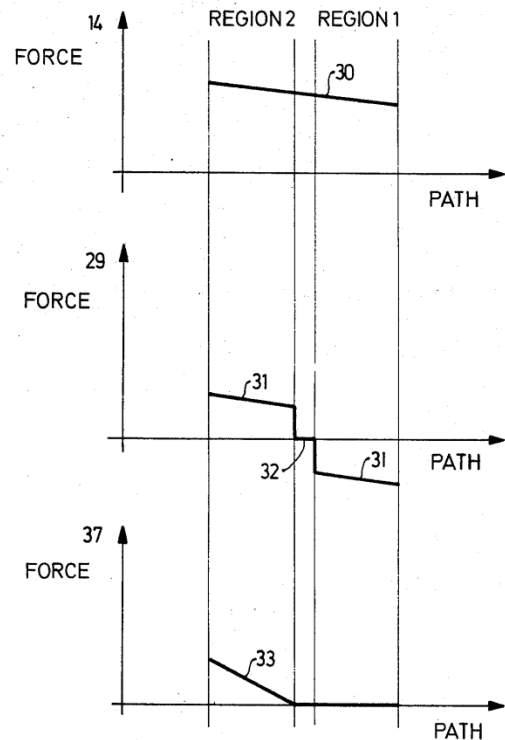


Εικόνα 44 Βαλβίδα 3/3 σε θέση μείωσης πίεσης, σύμφωνα με την πατέντα "US3989063A"

Σε αυτό το σημείο, όπως βλέπουμε και στο διάγραμμα εικόνα 45, η το ελατήριο 14 συμπιέζεται ακόμα περισσότερο όπως και το ελατήριο 29 το οποίο όμως πλέον ασκεί στον οπλισμό δύναμη (31) αντίθετη από αυτήν του μαγνητικού πεδίου.

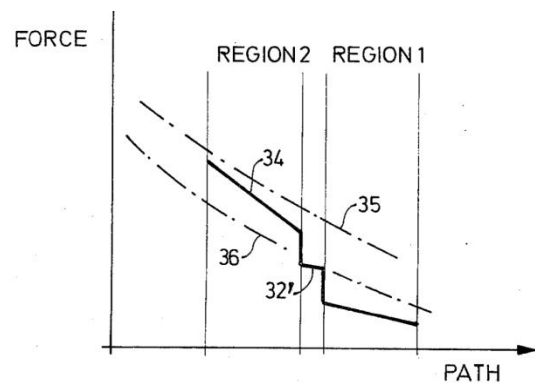
Σε αυτήν την θέση ο φορέας 25, που συγκρατεί το στοιχείο στεγανοποίησης 27, μετατοπίζεται μέσω της επαφής του με την ροδέλα 18 και έτσι το στοιχείο 27 δεν μπορεί πλέον να παρεμποδίσει την ροή του υγρού φρένων από την έδρα 12. Έτσι με τον μηχανισμό στεγανοποίησης 12/27 να είναι ανοιχτός η πίεση εντός του εντολοδόχου κυλίνδρου 2 μπορεί να ανακουφιστεί από την δίοδο ανακούφισης 4 επιτυγχάνοντας **μείωση της πίεσης** εντός του κυλίνδρου 2.

Στο διάγραμμα εικόνα 45 φαίνονται οι δυνάμεις που ασκούνται ξεχωριστά από τα ελατήρια στον οπλισμό με την περιοχή 1 (REGION 1) να αντιστοιχεί στην μετατόπιση από την ουδέτερη θέση 1 στην ενδιάμεση θέση 2 η οποία βρίσκεται μεταξύ των κάθετων γραμμών του διαγράμματος. Η γραμμή 33 δείχνει την δύναμη που ασκείται από το ελατήριο 37 στον οπλισμό 13 η οποία έχει ως μόνο σκοπό την γρήγορη επαναφορά της βαλβίδας από την θέση 3 στην θέση 2.



Εικόνα 45 Διάγραμμα ασκούμενης δύναμης-θέσης οπλισμού βαλβίδας 3/3

Στο διάγραμμα εικόνα 46 φαίνονται οι δυνάμεις που ασκούνται συνολικά από τα ελατήρια στον οπλισμό με την γραμμή 34 να αποτελεί το άθροισμα των γραμμών 30,31 και 33. Επιπρόσθετα στο διάγραμμα αναπαρίστανται οι δυνάμεις που ασκούνται από το μαγνητικό πεδίο στον οπλισμό 13 με την δύναμη 36 να εφαρμόζεται έως και την θέση 2 (εικόνα 43) και την δύναμη 35 από την θέση 2 έως και την θέση 3 (εικόνα 44). Παρατηρούμε ότι η δύναμη του μαγνητικού στην μέγιστη έντασή του πηνίου 5 είναι μεγαλύτερη από την συνολική δύναμη των ελατηρίων καθ' όλη την διαδρομή του οπλισμού 13 πράγμα που εγγυάται την αξιόπιστη ενεργοποίηση της βαλβίδας στην θέση 3.



Εικόνα 46 Συνολική ασκούμενη δύναμη στον οπλισμό της βαλβίδας 3/3

Παρομοίως διακρίνουμε ότι επιτυγχάνεται η εξισορρόπηση δυνάμεων ελατηρίων και μαγνητικού πεδίου στο σημείο 32' λόγω της επικάλυψης των γραμμών 36 και 32', γεγονός που επιτυγχάνεται μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού των ελατηρίων 29,14, και 37, των δακτυλίων 20,21 και 22 και των ροδελών 18 και 19. Έτσι εξασφαλίζεται η αξιόπιστη διατήρηση της ενδιάμεσης θέσης 2 από τον οπλισμό της.

3.6. Βαλβίδες δύο θέσεων/δύο δρόμων "2/2"

Πλέον στα συστήματα ABS και ESP έχει επικρατήσει η χρήση ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων δύο θέσεων και δύο δρόμων-ακροφύσιων, οι οποίες είναι ηλεκτρομαγνητικές σωληνοειδείς βαλβίδες των οποίων ο οπλισμός μπορεί να λάβει 2 θέσεις μεταβάλλοντας την ροή των 2 ακροφύσιών του. Από τα παραπάνω κατασκευαστικά χαρακτηριστικά οι βαλβίδες παίρνουν και το όνομά τους "2/2". Στην εικόνα 48 φαίνεται ο συμβολισμός μίας βαλβίδας 2/2 από τον οποίο μπορούμε να διακρίνουμε

τις δύο θέσεις που μπορεί να λάβει η βαλβίδα καθώς και την συνέχεια ή ασυνέχεια των ακροφυσίων της στις

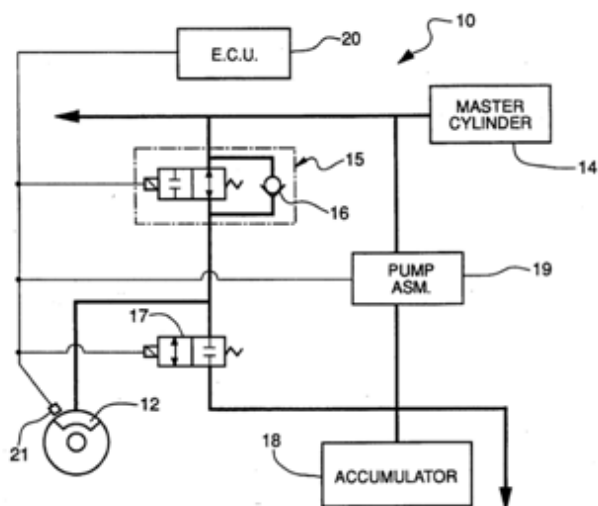
δύο αυτές θέσεις. Επίσης, δίπλα από το κουτάκι που συμβολίζει την συνέχεια ή ασυνέχεια μεταξύ των

δρόμων της βαλβίδας στην ουδέτερη θέση γίνεται προσθήκη ενός τριγωνοειδούς κύματος, το οποίο συμβολίζει το εσωτερικό ελατήριο της σωληνοειδούς βαλβίδας. Όταν το ελατήριο αυτό είναι δίπλα από κουτάκι το οποίο συμβολίζει την αποτροπή της διέλευσης υγρού μεταξύ των ακροφυσίων, τότε λέμε ότι η βαλβίδα είναι κανονικά κλειστή - N.C. (Normally Closed). Στην αντίθετη περίπτωση λέμε ότι η βαλβίδα είναι N.O. (Normally Open), άρα αφήνει το ρευστό να την διαπεράσει. Έτσι κοιτώντας το σύμβολο μπορούμε να καταλάβουμε σε ποια από τις θέσεις βρίσκεται η βαλβίδα στην ελεύθερη θέση της και ποιές είναι οι δίοδοι από τις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί η διέλευση του υγρού φρένων. Για την κατανόηση της

δομής και της λειτουργίας των βαλβίδων 2/2 θα χρησιμοποιηθούν οι σχεδιαστικές τομές και οι περιγραφές που κατατέθηκαν το 1995 υπό την πατέντα US5603483A. Σε αντίθεση με τις βαλβίδες 3/3, προκειμένου να γίνει δυνατή η εναλλαγή μεταξύ των τριών καταστάσεων της πίεσης, είναι απαραίτητη η χρήση δύο βαλβίδων 2/2 ανά τροχό μεταβάλλοντας έτσι το σύστημα σε αυτό της εικόνα 47 [6].



Εικόνα 48 σύμβολο κανονικά κλειστής βαλβίδας 2/2

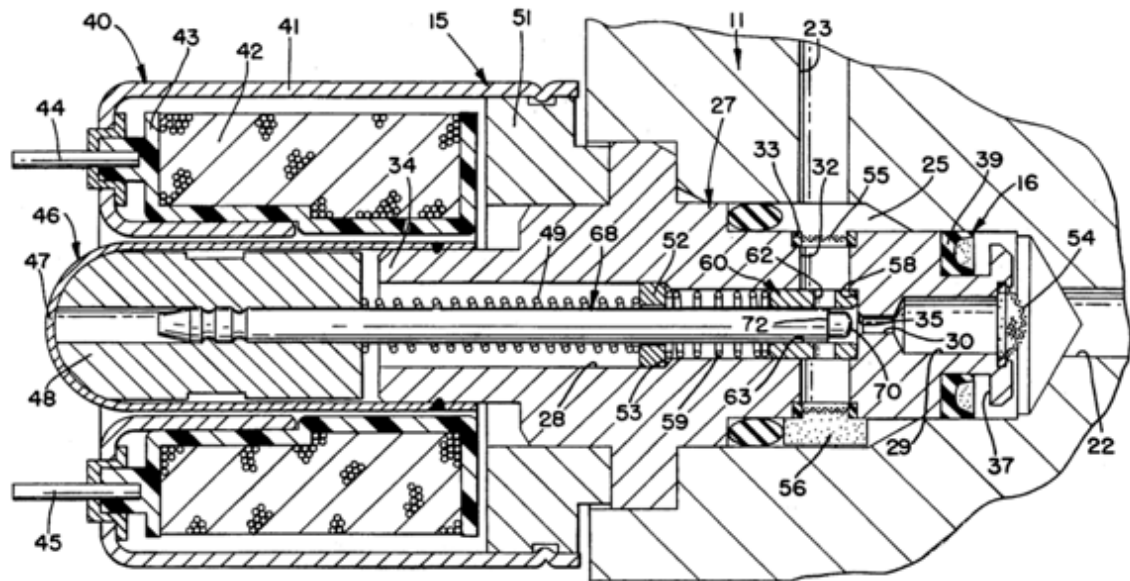


Εικόνα 47 Διάταξη βαλβίδων 2/2 για την ολοκλήρωση του ABS

3.6.1. Δομή βαλβίδας 2/2

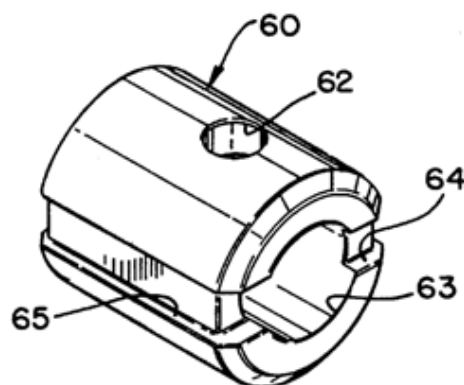
Στην εικόνα 47 παρουσιάζεται, σε απλοποιημένη μορφή, το τμήμα του συστήματος πέδησης που πραγματοποιεί την λειτουργία του ABS μέσω της χρήσης δύο βαλβίδων 2/2. Ο εντολοδότης κύλινδρος (14) συνδέεται με τον εντολοδόχο (12) μέσω μίας κανονικά ανοιχτής σωληνοειδούς βαλβίδας (15) παρέχοντας μια ανοιχτή διαδρομή που διοχετεύει το υγρό για την λειτουργία του συστήματος πέδησης. Μια κανονικά κλειστή σωληνοειδής βαλβίδα (17) ενσωματώνεται στο σύστημα πέδησης (10) ανάμεσα στον εντολοδόχο κύλινδρο (12) και στον συσσωρευτή (18) στην μεριά εισόδου-αναρρόφησης της αντλίας του ABS (19). Η βαλβίδα N.O. (15) διαθέτει μία βαλβίδα μονής ροής (16) ώστε να δίνει την δυνατότητα στα υγρά των φρένων να επιστρέψουν στον εντολοδότη κύλινδρο (14) σε περίπτωση που ο οδηγός αφήσει το φρένο κατά την διάρκεια που η βαλβίδα N.O. είναι ενεργοποιημένη, πράγμα που κανονικά θα απέτρεπε τα υγρά φρένων από το να δραπετεύσουν από τον εντολοδόχο κύλινδρο, μειώνοντας έτσι την πίεση στον εντολοδόχο κύλινδρο όταν ο εντολοδότης κύλινδρος αφηθεί ελεύθερος και η βαλβίδα N.O. 15 είναι ενεργοποιημένη. Μια μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου (20) παρέχεται ώστε να επικοινωνεί με την N.O. βαλβίδα (15), με την N.C. βαλβίδα (17), με το την αντλία (19) και τον WSS (21).

Στην εικόνα 49, η βαλβίδα N.O. (15) απεικονίζεται με περισσότερη λεπτομέρεια. Η βαλβίδα (15) εγκαθίσταται στον θάλαμο (11) με την οπή (22) να οδηγεί στον εντολοδότη κύλινδρο (14) και η οπή (23) να οδηγεί στον εντολοδόχο κύλινδρο (12) όπως φαίνεται στο FIG 1. Οι οπές (22) και (23) επικοινωνούν με την κοιλότητα (25) του θαλάμου (11). Η σωληνοειδής βαλβίδα (15) συμπεριλαμβάνει ένα περίβλημα (27) το οποίο βρίσκεται μέσα στην κοιλότητα (25). Το περίβλημα συμπεριλαμβάνει ένα μακρόστενο άνοιγμα το οποίο καταλαμβάνεται από έναν τμηματικό θάλαμο (28), τον θάλαμο (29) και την οπή βασικού ελέγχου (30) που συνδέεται με τους δύο θαλάμους. Στο περίβλημα (27) είναι διαμορφωμένη η έδρα της βαλβίδας (35). Στην εγκοπή (37) τοποθετείται ένα στεγανοποιητικό στοιχείο (39) το οποίο σε συνδυασμό με το μικρό διάκενο μεταξύ του τοιχώματος της κοιλότητας (25) και του τοιχώματος του περιβλήματος (27) αποτελούν την βαλβίδα μονής ροής ανάμεσα στις οπές (22 & 23), δηλαδή την βαλβίδα (16) όπως φαίνεται στην εικόνα 47.



Εικόνα 49 Τομή βαλβίδας 2/2, σύμφωνα με την πατέντα "US5603483A"

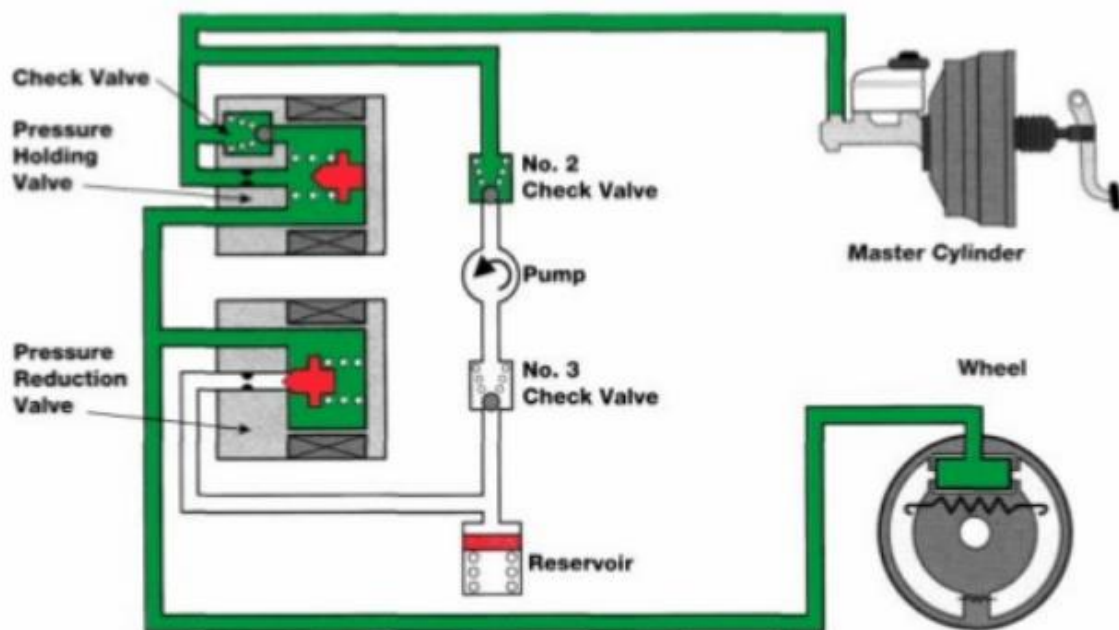
Το περίβλημα (27) υποστηρίζει, μέσω του δίσκου (51), έναν ενεργοποιητή (40) ο οποίος περιλαμβάνει το περίβλημα (41) το οποίο φέρει ένα πηνίο (42) τυλιγμένο στο μονωτικό καρούλι (43). Στο κέντρο από το καρούλι (43) τοποθετείται η θήκη (46) του ενεργοποιητή, η οποία έχει ένα κλειστό άκρο (47) στο οποίο τοποθετείται ο οπλισμός (48). Στο οπλισμό (48) είναι πρεσαρισμένος ένας άξονας (68) ο οποίος σε συνδυασμό με την έδρα (35) αποτελούν το κυρίως στεγανοποιητικό στοιχείο της βαλβίδας 2/2. Ένας δακτύλιος (52), σφηνωμένος στην έδρα (53), στηρίζει τα ελατήρια (49) και (59) τα οποία είναι υπεύθυνα για την διατήρηση του οπλισμού (48 & 68) και του, κατάλληλα διαμορφωμένου, ακραίου υποστηρίγματος του (60) στις σωστές θέσεις. Το ακραίο υποστήριγμα του οπλισμού φαίνεται απομονωμένο στην εικόνα 50.



Εικόνα 50 Ακραίο υποστήριγμα του οπλισμού

3.6.2. Θέση 1 (αύξηση πίεσης)

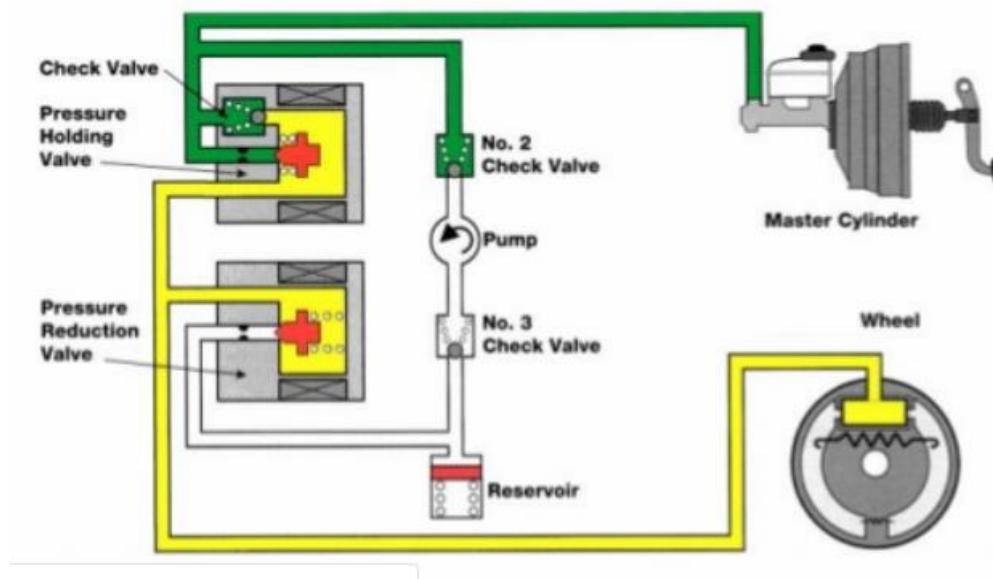
Υπό φυσιολογικές συνθήκες με το ABS να μην λειτουργεί παρεμβατικά, οι βαλβίδες N.O. και N.C., ή όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 51 (Pressure holding και Pressure reduction valve αντίστοιχα), είναι απενεργοποιημένες. Ο οδηγός πατάει το φρένο, χωρίς να παρουσιάσει εμπλοκή των τροχών, και η πίεση αυξάνεται στο εσωτερικό του εντολοδότη κυλίνδρου. Κατ' επέκταση αύξηση της πίεσης παρουσιάζεται και στο εσωτερικό της κανονικά ανοιχτής (pressure holding) βαλβίδας η οποία με την σειρά της και λόγω της ανοιχτής της κατάστασης αφήνει την πίεση να αυξηθεί στο εσωτερικό του εντολοδότη κυλίνδρου. Αντιθέτως, η N.C. (pressure holding) βαλβίδα αποτρέπει την διαρροή του υγρού προς τον συσσωρευτή λόγω της κλειστής φύσης της στην απενεργοποιημένη της κατάσταση. Καθ' όλη αυτήν την χρονική περίοδο, η δύναμη που ο οδηγός εφαρμόζει στο πεντάλ του φρένου είναι ανάλογη της δύναμης πέδησης που εφαρμόζεται στο όχημα, άρα λέμε ότι το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση **αύξησης της πίεσης**. Αξίζει να σημειωθεί πως η πίεση αδυνατεί να διαφύγει μέσω της αντλίας καθώς αυτήν έχει στα δύο άκρα της βαλβίδας μονής κατεύθυνσης που αποτρέπουν την ροή των υγρών φρένων ανάποδα από την ροή που μπορεί η αντλία να παράγει. Με άλλα λόγια οι βαλβίδες αυτές αποτρέπουν την ροή των υγρών φρένων από τον εντολοδότη κύλινδρο προς την αντλία και από την αντλία προς τον συσσωρευτή κύλινδρο.



Εικόνα 51 Μη παρεμβατική λειτουργία του ABS, Αύξηση της πίεσης

3.6.3. Θέση 2 (διατήρηση πίεσης)

Στην συνέχεια, με την περαιτέρω αύξηση της δύναμης πέδησης παρουσιάζεται πολύ έντονη επιβράδυνση κάποιου τροχού του οχήματος, αφού γίνει αντιληπτή από το ABSCM η έντονη αυτήν επιβράδυνση και αφού αυτήν έχει ξεπεράσει κάποιο όριο, ο εγκέφαλος ενεργοποιεί την βαλβίδα N.O., μετακινώντας έτσι τον οπλισμό της και φέρνοντάς την στην κλειστή της θέση. Λόγω της κλειστής φύσης της η βαλβίδα αποτρέπει την διαφυγή του υγρού από τον εντολοδόχη προς τον εντολοδόχο με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πλέον αναλογία μεταξύ της ασκούμενης πίεσης στο ποδόφρενο και της δύναμης πέδησης του οχήματος. Η βαλβίδα N.C. παραμένει απενεργοποιημένη, άρα λόγω της κλειστής κατάστασής της είναι αδύνατη η διαφυγή του υγρού από το κύκλωμα του εντολοδόχου προς τον συσσωρευτή. Έτσι η πίεση στο εσωτερικό του εντολοδόχου, μη έχοντας τρόπο διαφυγής λόγω της πλέον κλειστής κατάστασης όλων των βαλβίδων, παραμένει σταθερή στην τιμή που είχε λίγο πριν την ενεργοποίηση της βαλβίδας N.O. και έτσι λέμε ότι έχουμε **διατήρηση της πίεσης.**



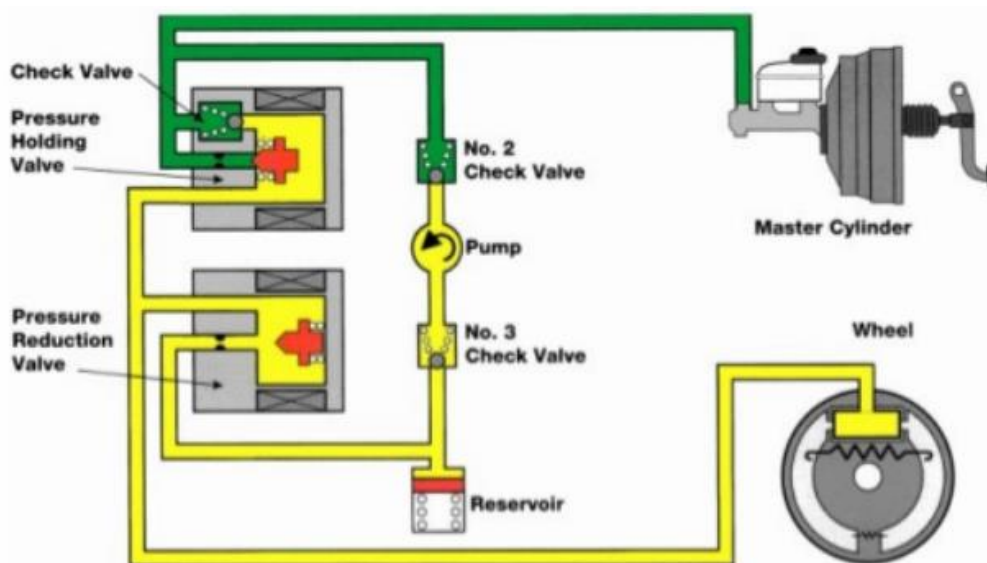
Εικόνα 52 Παρεμβατική λειτουργία του ABS, διατήρηση της πίεσης

Παράλληλα, ενεργοποιείται και η αντλία ώστε να είναι διαθέσιμη στο επόμενο στάδιο λειτουργίας του ABS. Στην προκειμένη περίπτωση εμφανής γίνεται η χρησιμότητα και η λειτουργία της βαλβίδας μονής ροής στο εσωτερικό της βαλβίδας N.O., χωρίς την ύπαρξη της οποίας εάν ο οδηγός αφήνε το φρένο η πίεση που έχει εγκλωβιστεί στο εσωτερικό του εντολοδόχου δεν θα μπορούσε να διαφύγει με αποτέλεσμα το όχημα να εξακολουθεί να

φρενάρει. Αντιθέτως, με την μείωση της πίεσης στον εντολοδότη αναπτύσσεται αρκετή διαφορά πίεσης στα δύο άκρα της βαλβίδας μονής ροής ώστε να υπερνικηθεί η δύναμη του ελατηρίου της και να μειωθεί η πίεση στο εσωτερικό του εντολοδόχου κυλίνδρου μειώνοντας έτσι και την δύναμη πέδησης.

3.6.4. Θέση 3 (μείωση πίεσης)

Η διατήρηση της πίεσης συνήθως ακολουθείται από την εξολοκλήρου ακινητοποίηση του τροχού πράγμα που οδηγεί το ABSCM στην λήψη των πραγματοποιήσεων των παρακάτω ενεργειών. Ο εγκέφαλος κρατάει την N.O. βαλβίδα και την αντλία του ABS ενεργοποιημένες, από την προηγούμενη ακόμα φάση, αλλά επιπλέον ενεργοποιεί και την βαλβίδα N.C.. Με την ενεργοποίηση της βαλβίδας N.C. παρουσιάζεται στο υγρό που βρίσκεται στο κύκλωμα του εντολοδόχου μία διαδρομή διαφυγής διαμέσου της ανοιχτής πλέον βαλβίδας N.C.. Έτσι το υγρό διοχετεύεται στον συσσωρευτή, μειώνοντας την πίεσή του, από όπου αντλείται από την αντλία και διοχετεύεται στο κύκλωμα του εντολοδότη. Η διοχέτευση του υγρού στον εντολοδότη αυξάνει την πίεση στο κύκλωμά του, χωρίς όμως να μπορεί να περάσει από την βαλβίδα N.O. λόγω της κλειστής της κατάστασης. Η επανειλημμένη αύξηση της πίεσης του εντολοδότη δημιουργεί τον παλμικό κραδασμό, ή αλλιώς τρέμουλο, που νιώθει ο οδηγός κατά την παρεμβατική λειτουργία του ABS.

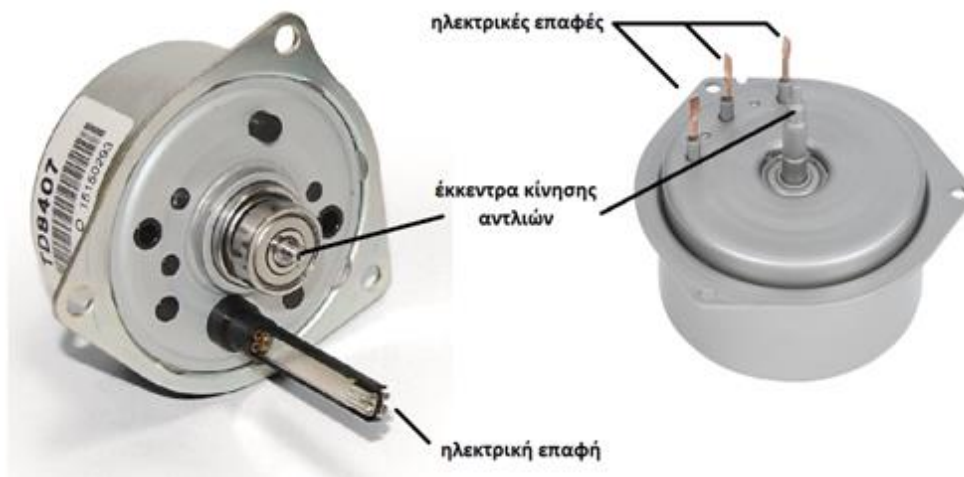


Εικόνα 53 Παρεμβατική λειτουργία ABS, μείωση της πίεσης

3.7. Ηλεκτρική αντλία και συσσωρευτές

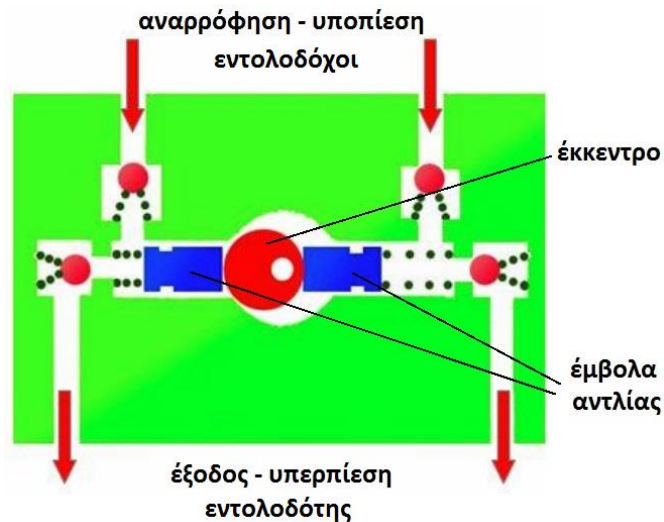
Προκειμένου το σύστημα ABS να χειραγωγήσει την πίεση, πέρα από τον κατάλληλο έλεγχο των βαλβίδων, χρειάζεται την βοήθεια μίας ηλεκτρικής αντλίας την οποία χρησιμοποιεί για την άντληση του υγρού φρένων. Η άντληση του υγρού φρένων είναι απαραίτητη για την αύξηση της πίεσης εντός του συστήματος πέδησης αφού αυτήν έχει ήδη μειωθεί τουλάχιστον μία φορά διοχετεύοντας έτσι το υγρό από τον συσσωρευτή, στον οποίο καταλήγει μετά την μείωση της, πίσω στον εντολοδότη κύλινδρο του συστήματος πέδησης. Επίσης, αναγκαία είναι η λειτουργία της προκειμένου η ταχύτητα με την οποία θα παρουσιαστεί η πτώση πίεσης στην εντολοδόχο κύλινδρο να είναι αρκετά μεγάλη, μειώνοντας έτσι την περίοδο του κύκλου λειτουργίας του ABS.

Η άντληση του υγρού επιτυγχάνεται μέσω δύο μικρών εμβολοφόρων αντλιών οι οποίες κινούνται μέσω ενός έκκεντρου προσαρμοσμένο στον άξονα ενός ηλεκτρικού κινητήρα. Η χρήση κινητήρων συνεχούς ρεύματος με καρβουνάκια-ψύκτρεις (brushed DC /BDC motor) έχει επικρατήσει λόγω της απλής κατασκευής, του απλού τρόπου ελέγχου τους, και της ικανοποιητικής απόδοσης και μακροζωίας τους. Η απόδοση των ηλεκτρικών κινητήρων (εικόνα 54) στο ABS και TCS κυμαίνεται περίπου στα 135 Watts σε αντίθεση με τους κινητήρες που χρησιμοποιούνται στο ESP όπου η ισχύς κυμαίνεται περίπου στα 350W φτάνοντας σπανιότερα έως και τα 800W. Παρόλα αυτά στα συστήματα EBB, όπου δεν χρησιμοποιείται σερβομηχανισμός υποπίεσης αλλά ηλεκτρικός κινητήρας για τον πολλαπλασιασμό της δύναμης που ασκείται από τον οδηγό στο ποδόφρενο, συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς καρβουνάκια-ψύκτρεις (BLDC) λόγω της αυξημένης μακροζωίας, της καλύτερης σχέσης απόδοσης-όγκου, της παραγωγής της ονομαστικής ισχύος του κινητήρα σε πολύ χαμηλότερες στροφές και του μεγαλύτερου εύρους στροφών. Όλα αυτά είναι πλεονεκτήματα που κρίνονται απαραίτητα λόγω της συνεχούς λειτουργίας του κινητήρα και της πλέον ακόμα περισσότερο σημαντικής λειτουργίας του. Μαζί με τα πολλά πλεονεκτήματα του κινητήρα αυτού παρουσιάζεται το μειονέκτημα του περίπλοκου ελέγχου του.



Εικόνα 54 Αριστερά: κινητήρας BDC, Δεξιά: κινητήρας BLDC

Το πλήθος των αντλιών σχεδόν πάντα είναι 2 διότι το σύστημα των φρένων σχεδόν πάντα διαιρείται σε 2 απομονωμένα κυκλώματα διατηρώντας την ικανότητα μερικής πέδησης σε περίπτωση παρουσίας διαρροής του συστήματος πέδησης.

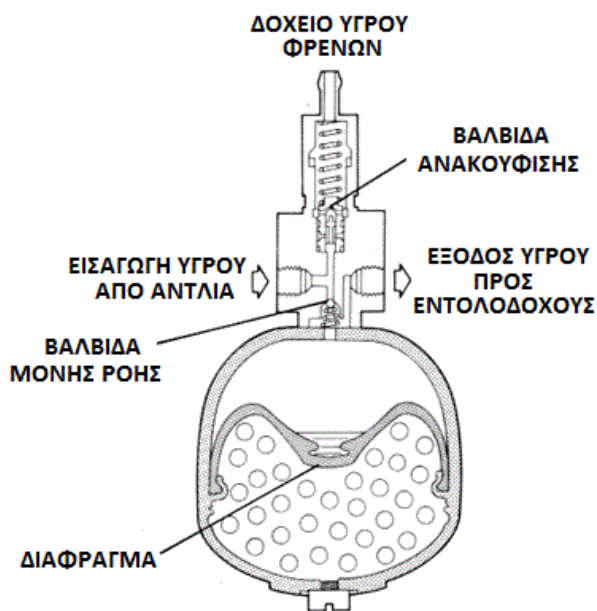


Εικόνα 55 Αναπαράσταση της αντλίας και των βαλβίδων μονής ροής

Τα περισσότερα ABS κατά την μείωση της πίεσης διοχετεύουν το υγρό φρένων σε ένα συσσωρευτή (accumulator) υγρού ο οποίος είναι προφορτισμένος με την δύναμη ενός ελατηρίου. Η χρήση συσσωρευτών στην μεριά της αντλίας όπου έχουμε αναρρόφηση κρίνεται απαραίτητη λόγω του τρόπου λειτουργίας της αντλίας. Η εμβολοφόρος αντλία κατατάσσεται σε μία κατηγορία αντλιών οι οποίες ονομάζονται "αντλίες θετικής εκτόπισης". Οι αντλίες αυτές χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι μετά την εισροή του υγρού στην αντλία αυτό θα πρέπει να εξέλθει από την αντλία κατά την κίνηση του

εμβόλου προς την αντίθετη κατεύθυνση, δημιουργώντας έναν νεκρό χρόνο στην μεριά αναρρόφησης της αντλίας κατά τον οποίο δεν είναι δυνατή η άντληση περεταίρω υγρού. Αφού το έμβολο κινηθεί προς την άλλη ακραία θέση του και το υγρό εξέλθει από την αντλία, τότε το έμβολο αρχίζει πάλι να κινείται αντίθετα δημιουργώντας υποπίεση στην μεριά αναρρόφησης και αντλώντας ξανά υγρό φρένων. Για την κάλυψη του νεκρού αυτού χρόνου που παρουσιάζεται στην μεριά της αναρρόφησης, τοποθετείται ο συσσωρευτής του οποίου το ελατήριο συμπιέζεται κατά τον νεκρό χρόνο από την πίεση εντός του εντολοδόχου κυλίνδρου και στην συνέχεια διοχετεύει το υγρό στην αντλία όταν αυτήν επανεμφανίσει υποπίεση. Επίσης, συσσωρευτές χρησιμοποιούνται στην έξοδο της αντλίας με σκοπό την μερική απορρόφηση των κραδασμών που παρουσιάζονται στο πεντάλ του φρένου.

Σε πολλά αυτοκίνητα μετά το 2000 οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν τις αντλίες αυτές και για την επαύξηση της δύναμης πέδησης καταργώντας έτσι το πνευματικό σύστημα υποβοήθησης servo. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν συσσωρευτές μέσα στους οποίους διαχωρισμένα, μέσω ενός διαφράγματος, βρίσκονται πεπιεσμένα, περίπου στα 2000 psi, άζωτο και υγρό φρένων (εικόνα 56). Έτσι όταν το ESPCM αντιληφθεί πίεση του πεντάλ φρένου διοχετεύει μέρος του πιεσμένου υγρού στον εντολοδόχο κύλινδρο υποβοηθώντας έτσι την δύναμη που



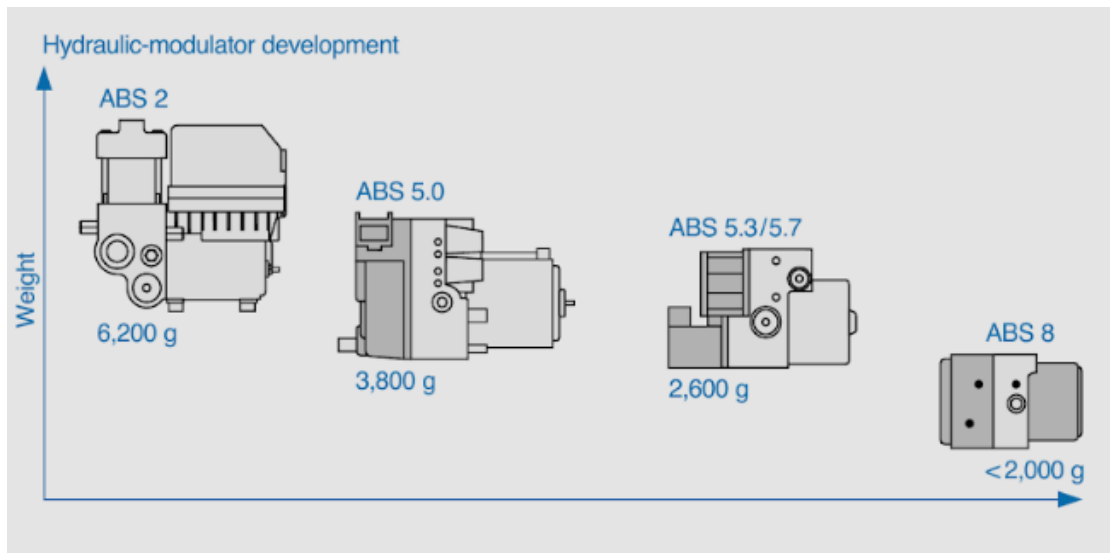
Εικόνα 56 Συσσωρευτής συστήματος υποβοήθησης EBB

ασκείται στο πεντάλ του φρένου. Μετά την επιτυχή επαύξηση της δύναμης και αφού το σύστημα πλέον δεν χρησιμοποιείται η αντλία αντλεί το υγρό πίσω στον συσσωρευτή αυξάνοντας την δύναμη υποβοήθησης στην αρχική της τιμή. Εάν υπάρξει βλάβη στην αντλία το αποθηκευμένο υπό πίεση υγρό επαρκεί για περίπου 10 με 20 υποβοηθούμενα φρεναρίσματα μετά το πέρας των οποίων το σύστημα λειτουργεί χωρίς υποβοήθηση.

3.8. Μονάδα υδραυλικού ρυθμιστή (HU)

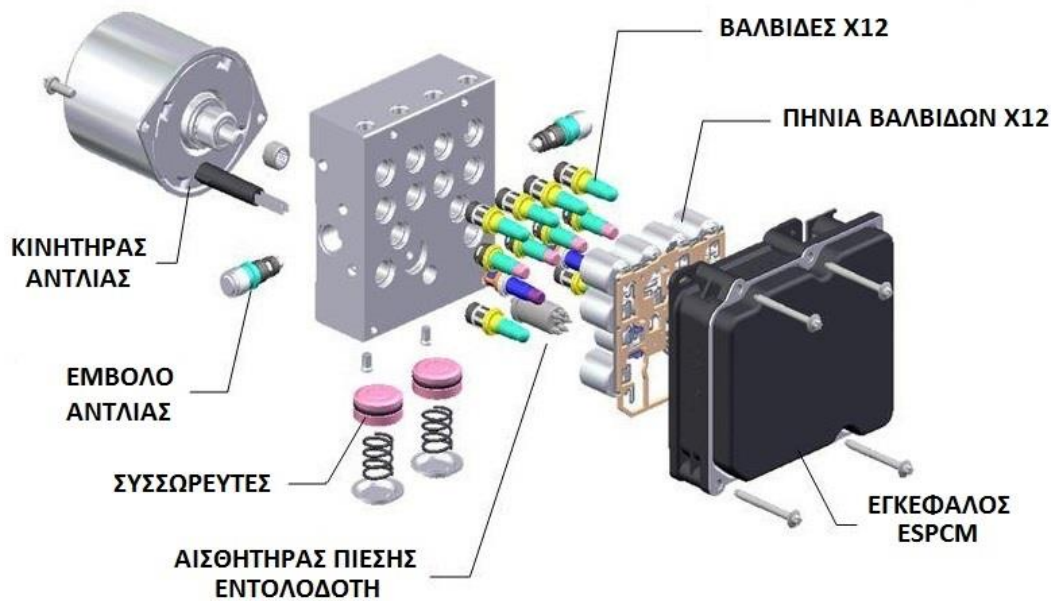
Υδραυλικός ρυθμιστής ή HCU/HU ονομάζεται η συσκευή μέσα στην οποία τοποθετούνται οι υδραυλικές βαλβίδες, οι 2 αντλίες, οι 2 συσσωρευτές καθώς επίσης και οι διάυλοι μέσα από τους οποίους διοχετεύεται στα κατάλληλα σημεία το υγρό φρένων. Συνεπώς μέσα σε αυτή την συσκευή λαμβάνει χώρα η ρύθμιση της πίεσης του υγρού φρένων.

Ο HCU είναι ίσως το αντικείμενο που δέχτηκε κατά την πάροδο του χρόνου τις περισσότερες τροποποιήσεις, όπως αυτές φαίνονται στην παρακάτω εικόνα 57, έχοντας ως σκοπό πάντα την βελτιστοποίηση αυτού και του συστήματος ABS.



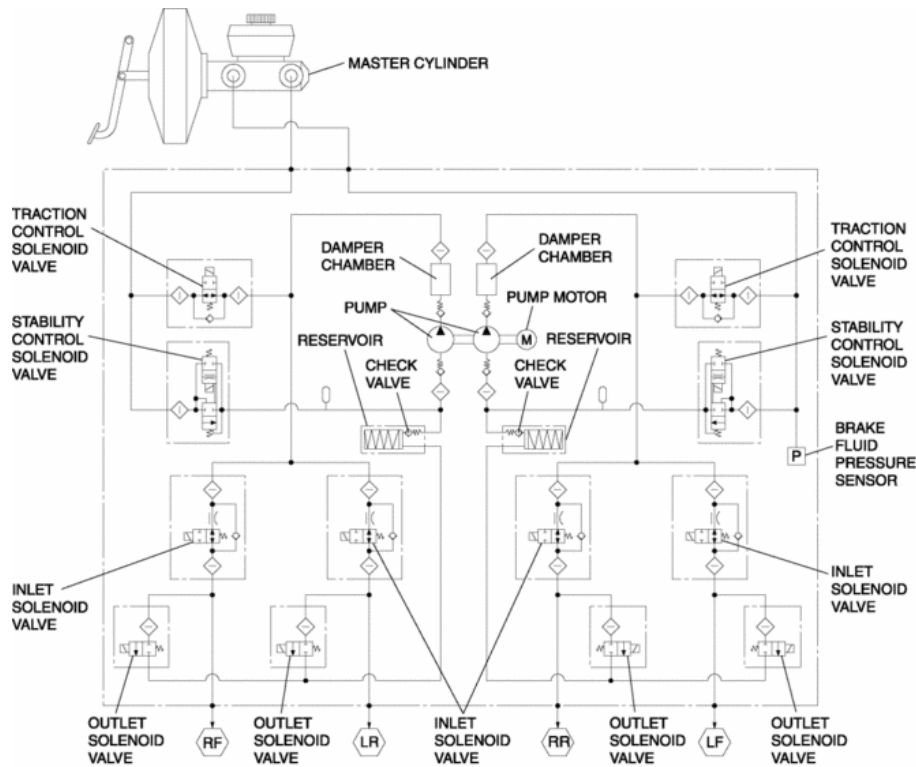
Εικόνα 57 εξέλιξη του HCU με το χρόνο

Καταλήγοντας το 2004 στον πιο πρόσφατο και ευρέως χρησιμοποιούμενο τύπο HCU της BOSCH ABS/ESP 8 (εικόνα 58) με δυνατότητα πραγματοποίησης όλων των λειτουργιών ABS, ESP και TCS μέσω μίας ολοκληρωμένης συσκευής στην οποία επίσης προσαρμόζεται ο εγκέφαλος ESPCM, προσδίδοντας έτσι αυξημένη ευελιξία και δίνοντας μέχρι και την δυνατότητα χρήσης του συστήματος σε μηχανές μειώνοντας απλά τα κανάλια από 4 σε 2.



Εικόνα 58 Ανοιγμένο διάγραμμα ABS/ESP 8

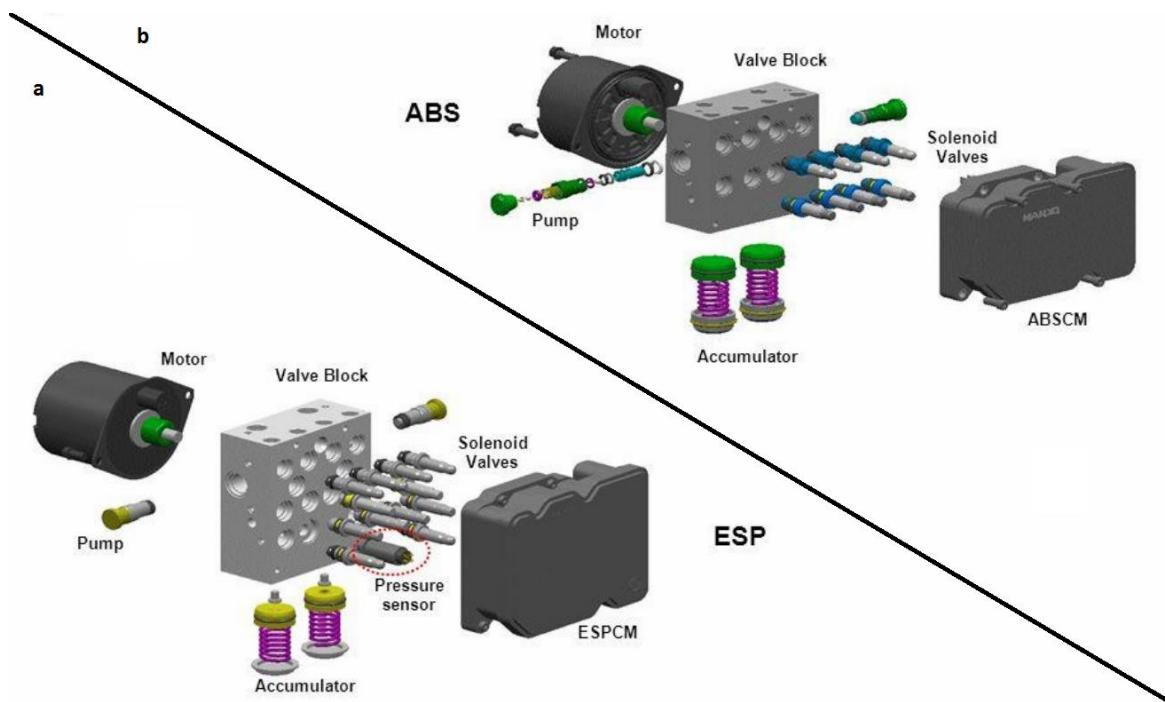
Όπως είδαμε και παραπάνω στα κεφάλαια 2.4 και 3 η λειτουργία του ABS, πλέον επιτυγχάνεται μέσω της χρήση πολλαπλών "ζευγαριών" βαλβίδων 2/2 τα οποία αποτελούνται από μία βαλβίδα N.O. και μία N.C., μέσω του κατάλληλου χειρισμού των οποίων επιτυγχάνεται η χειραγώγηση της πίεσης του υγρού φρένου. Παρόλα αυτά για την επίτευξη της λειτουργικότητας του TCS είναι απαραίτητη η προσθήκη μίας ακόμα βαλβίδας N.O. στο κάθε ζευγάρι, η οποία έχει ενσωματωμένη και αυτή μία βαλβίδα μονής ροής. Η προσθήκη αυτή σε ένα δίκινητο όχημα μεταβάλλει τον αριθμό των βαλβίδων του HCU από 8 που ήταν στο ABS σε 10. Η βαλβίδα N.O. ή TCV (traction control valve) τοποθετείται σε σειρά μετά τον εντολοδότη, η έξοδος της συμπίπτει με την έξοδο της αντλίας και ένας διάυλος ενώνει τις δύο αυτές εξόδους με τις δύο βαλβίδες N.O. (εικόνα 59). Κατά την έντονη διαφορά της ταχύτητας περιστροφής των κινητήριων τροχών το TCSCM αποφασίζει ότι πρέπει να λειτουργήσει παρεμβατικά και να αυξήσει την πίεση σε έναν από τους κινητήριους τροχούς, κάτι το οποίο κάτι το οποίο θα ήταν αδύνατον χωρίς την βαλβίδα TCV καθώς ο διάυλος μεταξύ εντολοδόχου και εντολοδότη είναι ανοιχτός. Με την ενεργοποίηση της βαλβίδας TCV ο διάυλος μεταξύ εντολοδότη και εντολοδόχου κλείνει δίνοντας έτσι την δυνατότητα, μέσω της ενεργοποίησης της αντλίας να αυξηθεί η πίεση στο εσωτερικό του κατάλληλου εντολοδόχου. Η βαλβίδα μονής ροής στο εσωτερικό της TCV δίνει την δυνατότητα ροής από τον εντολοδότη προς τον εντολοδόχο ώστε εάν ο οδηγός πατήσει φρένο και η TCV βρίσκεται στην κλειστή της θέση να μπορεί η πίεση να



Εικόνα 59 Συνδεσμολογία βαλβίδων συστήματος ESP

αυξηθεί στο σύστημα φρένων. Κατά την παρεμβατική λειτουργία του TCS, στα αυτοκίνητα όπου ο εντολοδόχος τροφοδοτεί "χιαστί" το σύστημα φρένων του οχήματος, παρουσιάζεται επίσης αύξηση της πίεσης στον διαγώνιο τροχό του κινητήριου μας. Για να αποτραπεί η αύξηση αυτήν ο τροχός που δεν είναι κινητήριος τίθεται σε κατάσταση διατήρησης πίεσης με την βαλβίδα N.O. του να μετακινείται στην κλειστή θέση της.

Παράλληλα με την ανάγκη για τοποθέτηση των TCV για την λειτουργία TCS εμφανίζεται και η ανάγκη για τοποθέτηση των βαλβίδων Shuttle ή STV (εικόνα 59). Κατά την λειτουργία του ESP επίσης είναι αναγκαία η άσκηση δύναμης πέδησης χωρίς όμως ο οδηγός να ασκεί πίεση στο πεντάλ του φρένου. Η STV επιτρέπει στην αντλία να αναρροφά υγρό από το δοχείο του εντολοδόχου με την διαφορά ότι σε περίπτωση που ο οδηγός ασκήσει πίεση στο πεντάλ του φρένου, η τιμή της πίεσης τροφοδοτείται στην εισαγωγή της αντλίας αυξάνοντας περαιτέρω την πίεση εξόδου. Κατά την λειτουργία του ESP ο διαγώνιος τροχός του τροχού που το ESP προσπαθεί να ελέγξει δεν επηρεάζεται λόγω της μετακίνησης της βαλβίδας N.O. στην κλειστή της θέση. Το συνολικό πλήθος των βαλβίδων γίνεται πλέον 10, εκ των οποίων 4 είναι υπεύθυνες για την είσοδο του υγρού στον εντολοδόχο, 4 για την έξοδο του υγρού από τον εντολοδόχο, 2 για την λειτουργία του TCS και 2 για την λειτουργία του ESP.



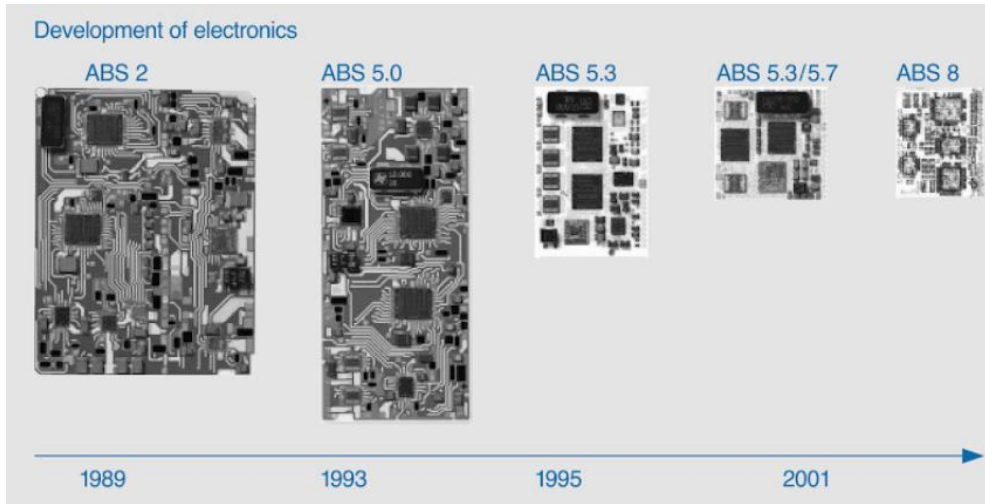
Εικόνα 60 a) ESPCM και η ΗΥ του, b) ABSCM και η ΗΥ του

Παρά την παραπάνω αναφορά των βαλβίδων που είναι υπεύθυνες για την είσοδο του υγρού στον εντολοδόχο ως N.O. και των βαλβίδων που είναι υπεύθυνες για την έξοδο του ως N.C., πολλές φορές χρησιμοποιούνται βαλβίδες των οποίων η φύση στην ουδέτερη θέση είναι η ανάποδη χωρίς όμως αυτό να αλλάζει τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Η μόνη διαφορά μεταξύ των συστημάτων αυτών είναι ο προγραμματισμός των εγκεφάλων των συστημάτων αυτών.

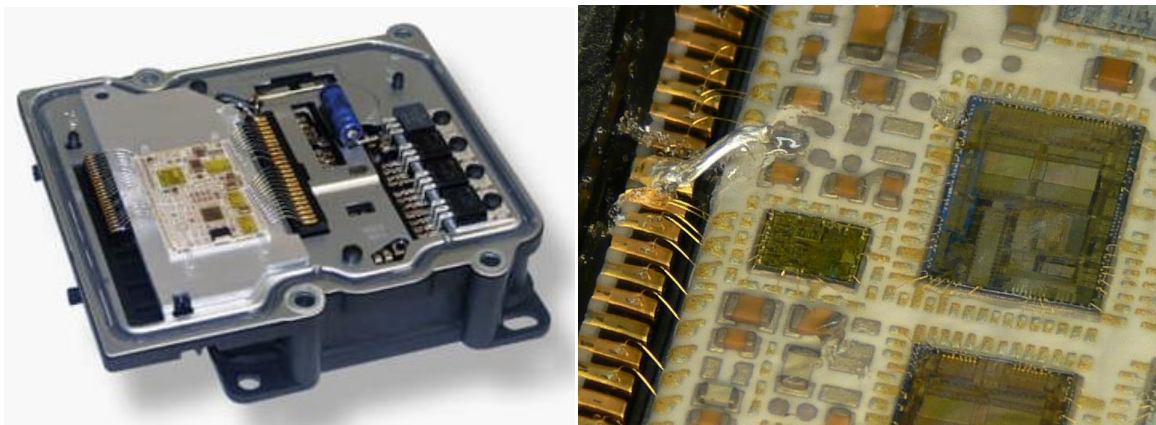
3.9. Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU)

Στην παρακάτω εικόνα 61 φαίνονται τα στάδια εξέλιξης της πλακέτας του εγκεφάλου από τα οποία πέρασαν και οι αλλαγές τις οποίες αυτοί επιδέχτηκαν. Καταλήγοντας, σήμερα, τα ολοκληρωμένα κυκλώματα, τοποθετούνται χωρίς το πλαστικό τους περίβλημα (εικόνα 62) στην επιφάνεια της πλακέτας γεγονός που μειώνει το βάρος και τον όγκο τους αλλά κυρίως αποτρέπει την μάζα του πλαστικού από το να σπάσει κάποιον ακροδέκτη του chip λόγω των κρουστικών δονήσεων που της ασκούνται κατά την διάρκεια λειτουργίας του ESP. Επίσης στα συστήματα 5.3 και αργότερα, η πλακέτα του ECU καλύπτεται με μία

παχύρευστη ουσία μορφής Gel η οποία προστατεύει τα chip και τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά εξαρτήματα από την οξείδωση καθώς ακόμα βοηθάει στην απόσβεση των δονήσεων που αναπτύσσονται.

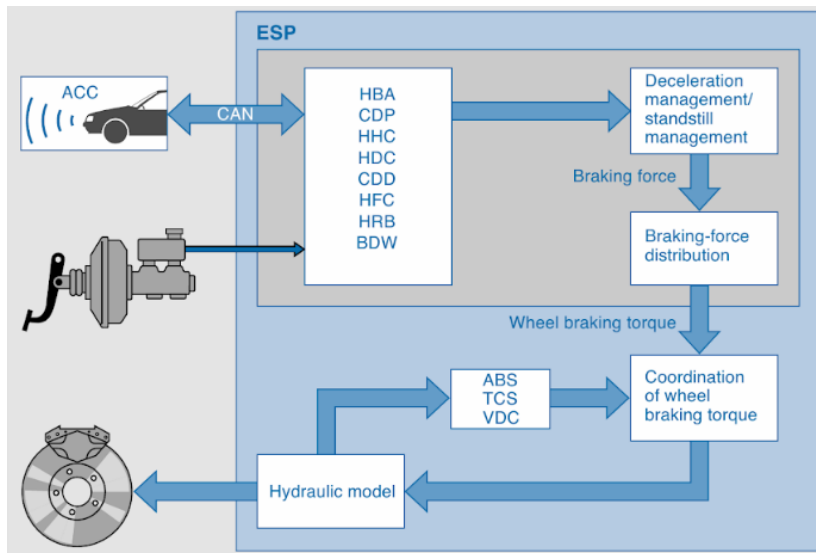


Εικόνα 61 εξέλιξη του εγκεφάλου ABS και ESP



Εικόνα 62 Η πλακέτα στο εσωτερικό ABSCM 8

Με την πολύπλοκη δομή των υποσυστημάτων που λειτουργούν εντός του ECU απαραίτητη είναι η ιεράρχηση τους ώστε να παίρνονται οι κατάλληλες αποφάσεις χωρίς αυτές να αλλοιώνονται ή να διαγράφονται από κάποιο άλλο υποσύστημα. Η ιεράρχηση των συστημάτων εντός του ECU φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 63 με τα συστήματα ABS, TCS και VDC να λαμβάνουν τα αιτήματα των υπόλοιπων συστημάτων και να αποφασίζουν για το τι θα γίνει στον εσωτερικό του HCU [7].



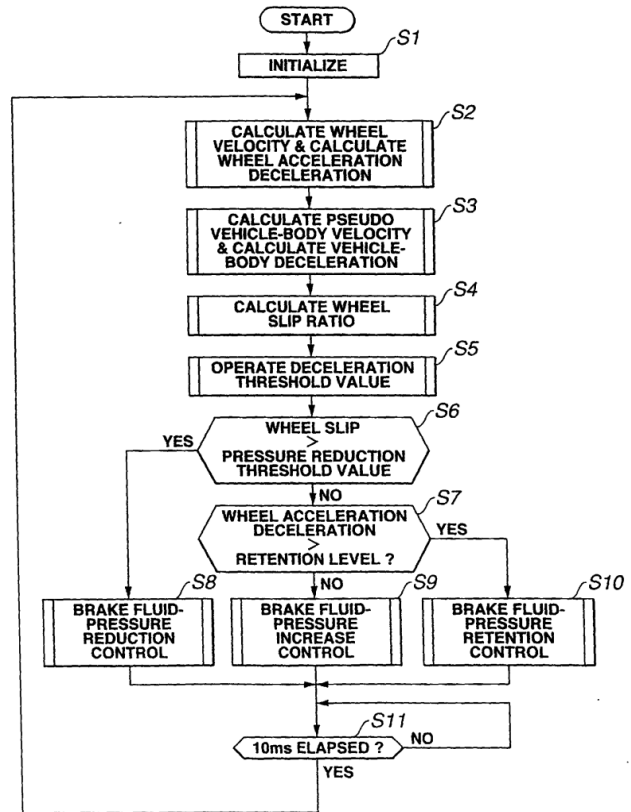
Εικόνα 63 Ιεράρχηση των συστημάτων εντός του ESP

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται τα παρακάτω υποσυστήματα:

- HBA-hydraulic brake assist
- CDP-controlled deceleration for parking
- HHC-hill hold control
- HDC-hill decent control
- CDD-controlled deceleration for driver assistance systems
- HFC-hydraulic fading compensation
- HRB-hydraulic rear wheel boost
- BDW-brake disc wiping

Παρακάτω (εικόνα 64) βλέπουμε σε απλοποιημένο διάγραμμα την λογική την οποία χρησιμοποιεί η ECU κατά την λειτουργία του ABS. Συγκεκριμένα βλέπουμε την εκκίνηση των υπολογισμών (S1) η οποία πυροδοτείται από τον διακόπτη φρένων που βρίσκεται κάτω από το ποδόφρενο, στην συνέχεια (S2) καταγράφεται η ταχύτητα των τροχών μέσα από την οποία και υπολογίζεται η επιτάχυνση του καθενός τροχού. Έπειτα από τις ταχύτητες, από τις μεταβολές τους και από τα δεδομένα του επιταχυνσιόμετρου, εάν αυτό υπάρχει, υπολογίζονται (S3) η ψευδό-ταχύτητα και η ψευδό-επιβράδυνση του οχήματος. Συγκρίνοντας τις επιταχύνσεις των τροχών μεταξύ τους αλλά και με την ψευδό-επιβράδυνση υπολογίζεται (S4) το ποσοστό ολίσθησης του κάθε τροχού. Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα και τις υπολογισμένες μεταβλητές επιλέγεται (S5) μία

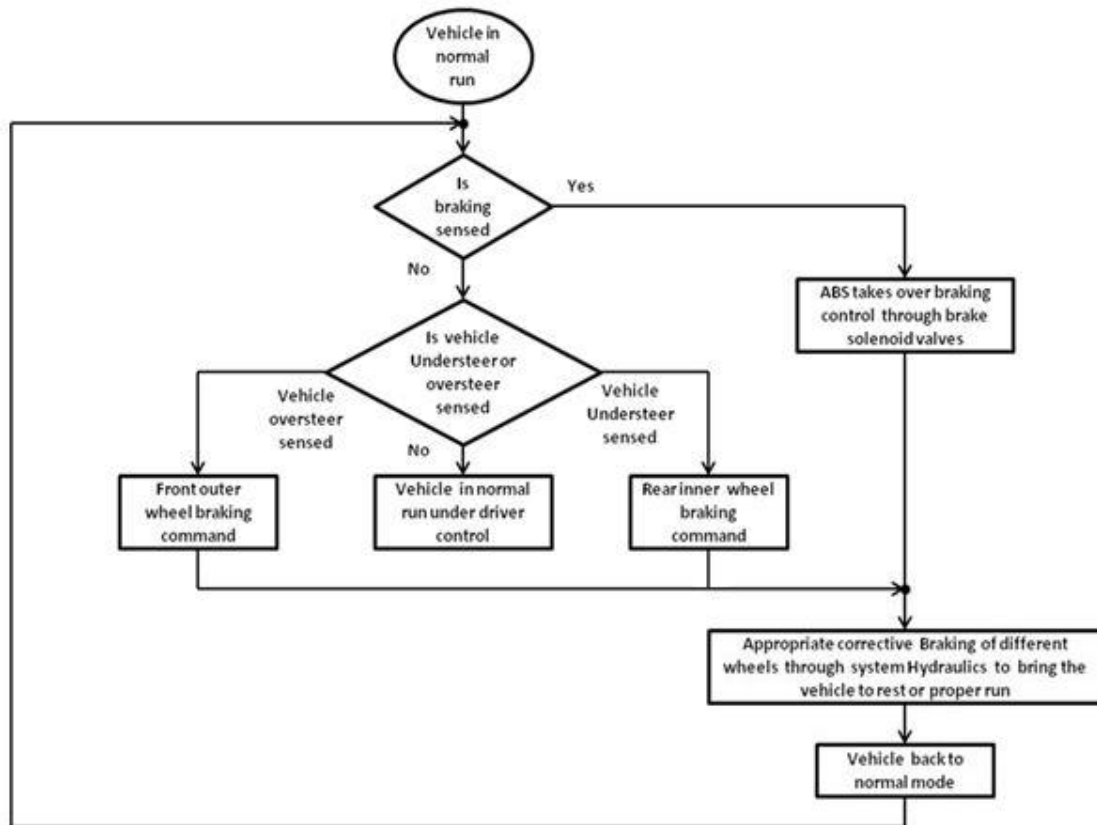
προκαθορισμένη, για τις συγκεκριμένες συνθήκες, μέγιστη επιτρεπόμενη επιβράδυνση του οχήματος. Στην συνέχεια (S6) συγκρίνονται η επιβράδυνση αυτήν με τα ποσοστά ολίσθησης των τροχών, εάν η ολίσθηση των τροχών είναι αρκετά μεγάλη, τότε εφαρμόζεται μείωση της πίεσης (S8) στους αντίστοιχους εντολοδόχους, αντιθέτως εάν αυτήν είναι κατώτερη της επιτρεπόμενης (S7) συνεχίζεται η σύγκριση με μια άλλη προκαθορισμένη τιμή διατήρησης της πίεσης. Αντίστοιχα εάν η ολίσθηση των τροχών είναι μεγαλύτερη από αυτήν την τιμή ακολουθεί εφαρμογή διατήρησης της πίεσης (S10),



Εικόνα 64 Απλοποιημένη λογική λειτουργίας ABS, σύμφωνα με την πατέντα EP1065 678A1

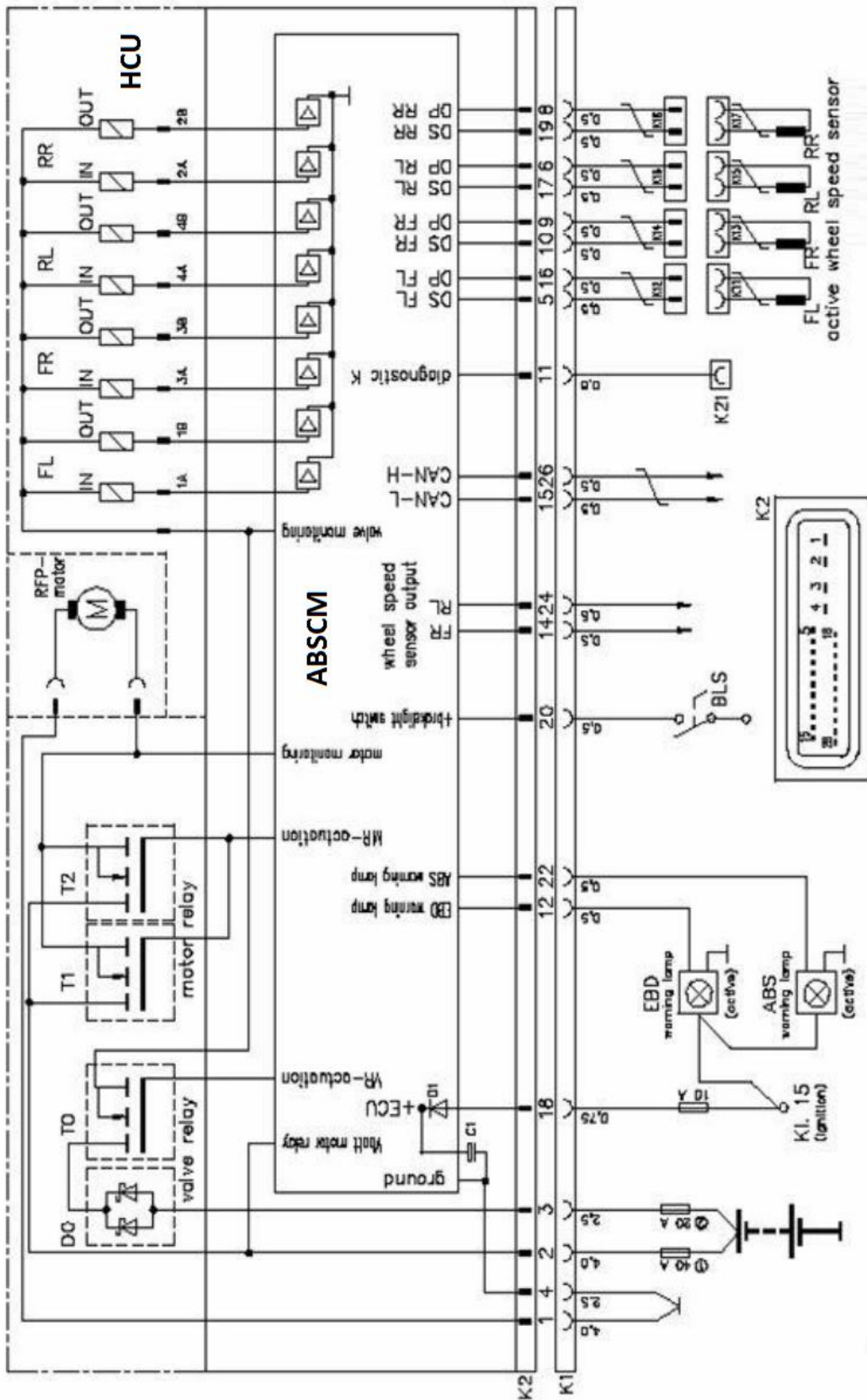
αντιθέτως, εάν είναι μικρότερη αυτής της τιμής συνεχίζεται κανονικά το φρενάρισμα επιτρέποντας την αύξηση πίεσης (S9). Μετά τα στάδια S8, 9, 10 ελέγχεται εάν πέρασε επαρκής χρόνος, 10ms στην συγκεκριμένη περίπτωση, και επανεκκινεί την διαδικασία από την αρχή [10].

Παρομοίως στην παρακάτω εικόνα 65 φαίνεται η απλοποιημένη λογική ενός ESPCM κατά την οποία εάν παρατηρηθεί φρενάρισμα τότε ακολουθείται η λογική του ABS ενώ εάν δεν παρατηρηθεί φρενάρισμα από το πεντάλ του οδηγού ακολουθεί μία σειρά αποφάσεων για το εάν το όχημα παρουσιάζει υπερστροφή, υποστροφή ή ουδέτερη αντίδραση. Εάν το όχημα παρουσιάζει υπερστροφή τότε εφαρμόζεται δύναμη πέδησης στον εμπρός εξωτερικό τροχό του οχήματος, ενώ εάν το όχημα παρουσιάζει υποστροφή εφαρμόζεται δύναμη πέδησης στον πίσω εσωτερικό τροχό. Μετά από την πρώτη αυτήν εφαρμογή της δύναμης πέδησης ακολουθεί μια περίπλοκη και ασταθής σειρά από διορθωτικές πράξεις ώστε το όχημα να συνεχίσει να ακολουθεί μία ουδέτερη πορεία.

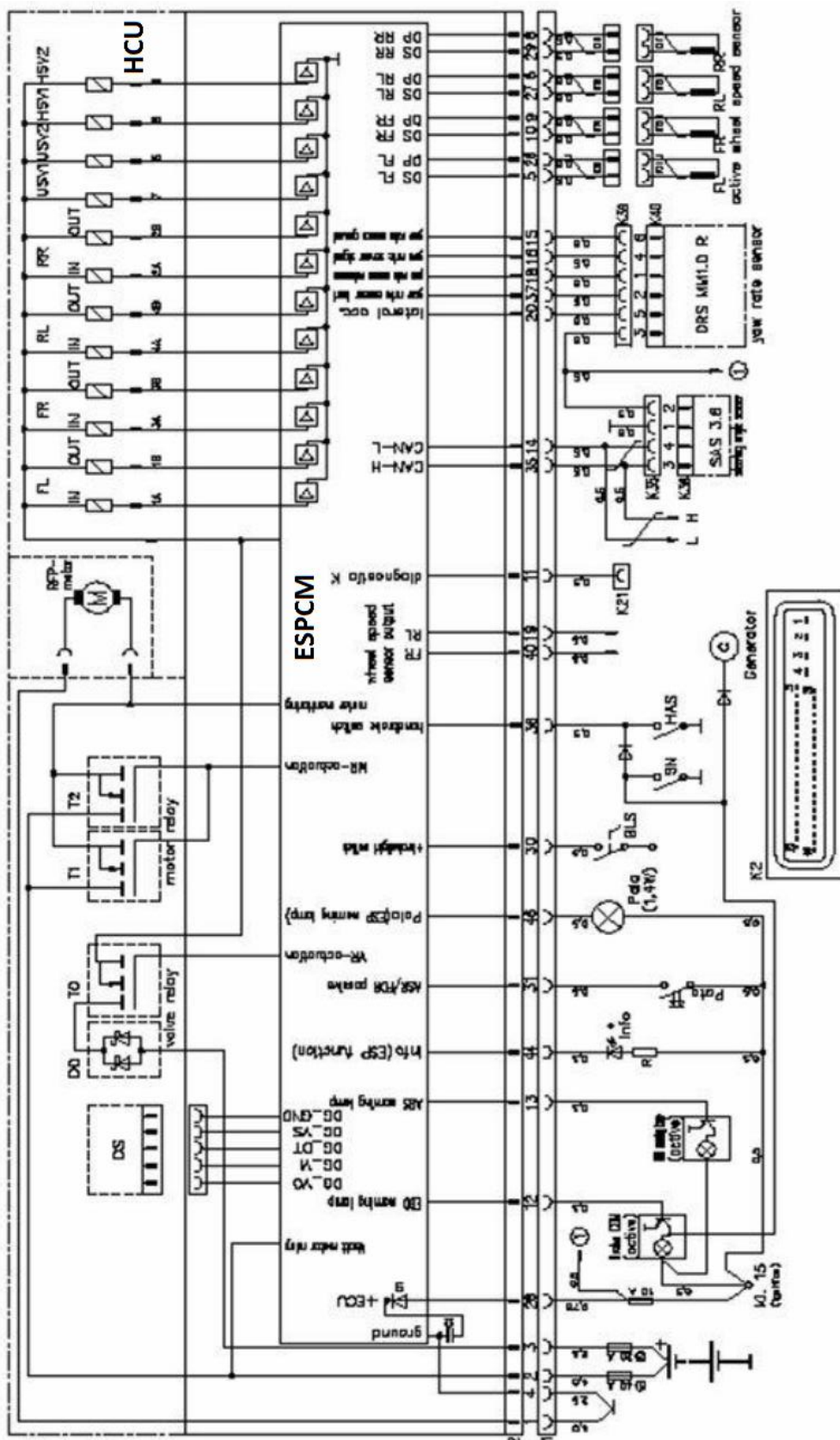


Εικόνα 65 Απλοποιημένη λογική ESP

Στις δύο παρακάτω εικόνες απεικονίζονται τα ηλεκτρικά σχεδιαγράμματα ενός συστήματος με ABS και ενός με ESP. Εμφανής γίνεται η αυξημένη πολυπλοκότητα και ο αυξημένος αριθμός αισθητήρων στο ESP.



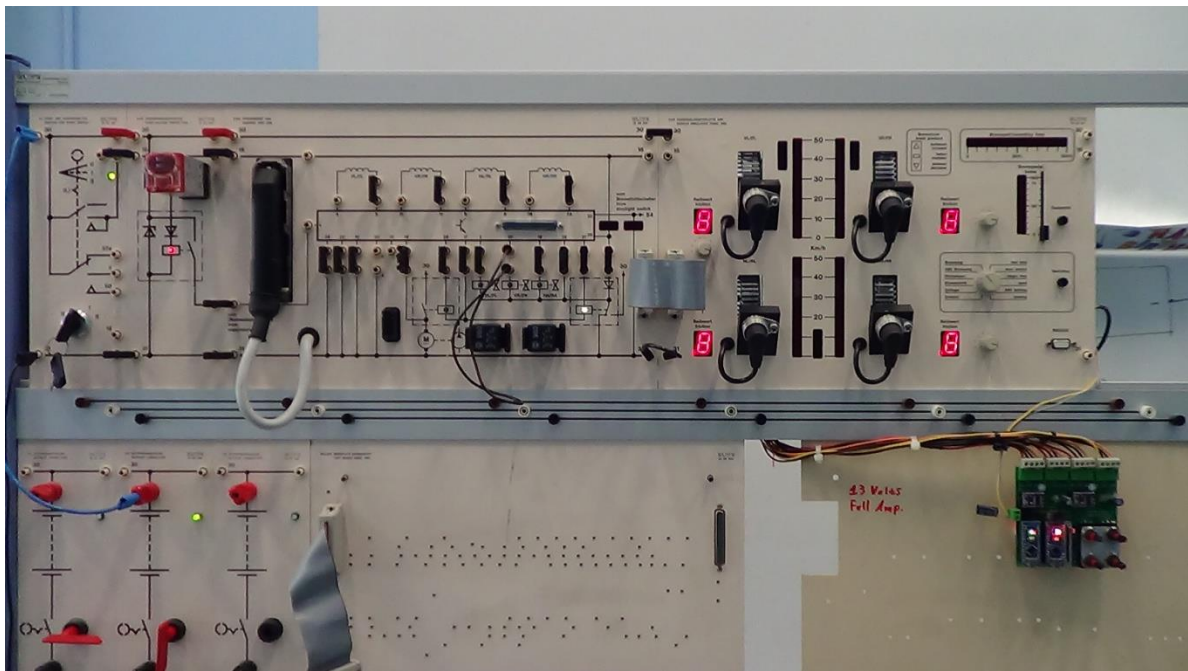
Εικόνα 66 Τοπική συνδεσμολογία του ABS και των περιφερειακών του



Εικόνα 67 τυπική συνδεσμολογία του ESP και των περιφερειακών του

4. Πινακίδα αναπαράστασης του ABS

Για την εκπαίδευση των φοιτητών πάνω στο σύστημα του ABS το τμήμα Μηχανολόγων Οχημάτων του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. διαθέτει μία εργαστηριακή πινακίδα (εικόνα 68) η οποία αποτελεί μέσο αναπαράστασης του ABS και προσομοίωσης του οχήματος.

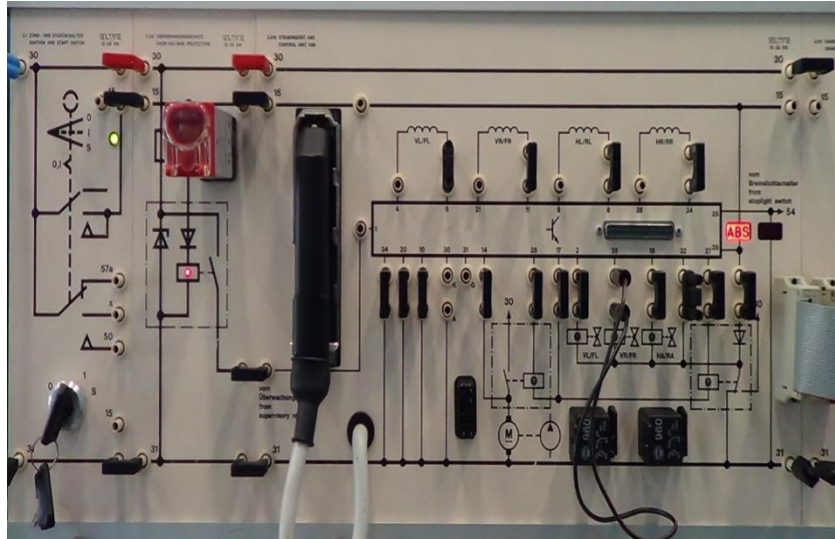


Εικόνα 68 Εργαστηριακή πινακίδα αναπαράστασης ABS

Η πινακίδα αποτελείται από το (αριστερό) κομμάτι αναπαράστασης του οχήματος (εικόνα 69) το οποίο διαθέτει τον εγκέφαλο, τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές του ABS και το (δεξί) κομμάτι ελέγχου των κινητήρων προσομοίωσης των τροχών (εικόνα 70).

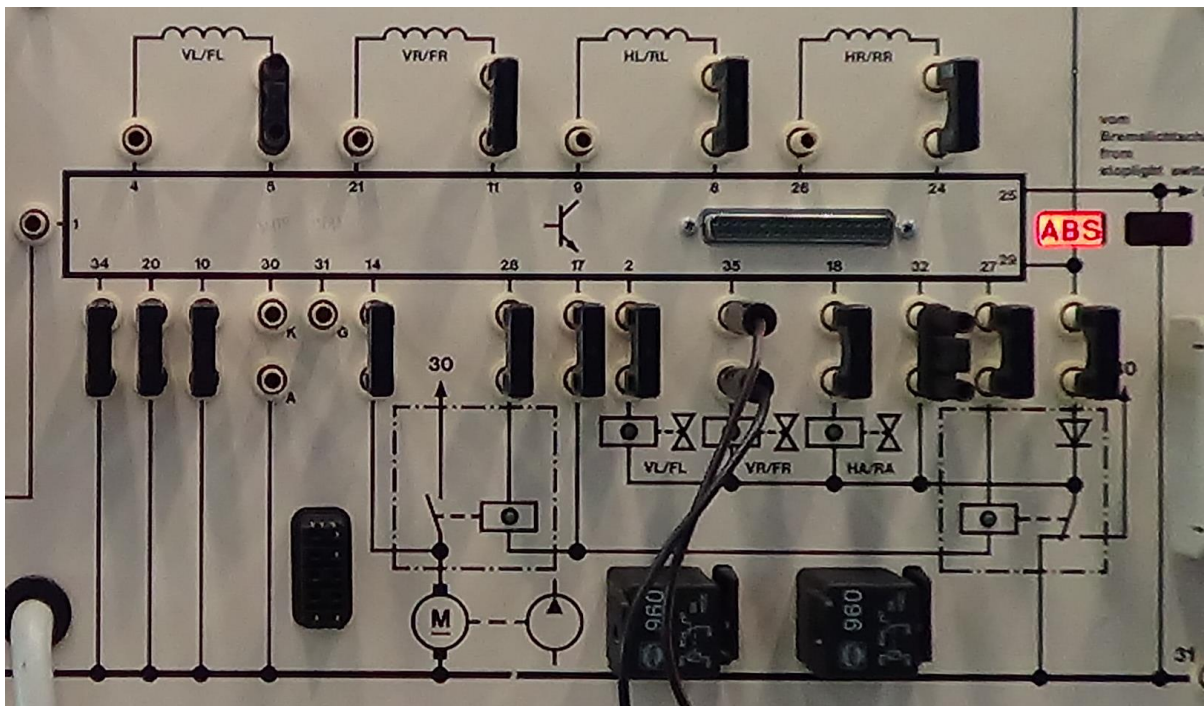
Παρατηρώντας το τμήμα αναπαράστασης του ABS, διαπιστώνουμε την συνδεσμολογία του εγκεφάλου η οποία χρησιμοποιήθηκε σε Opel Cadet μεταξύ του 1989 και του 1991. Στους ακροδέκτες 4/5, 21/11, 9/8, 24/26 είναι συνδεδεμένοι οι αισθητήρες των τροχών μπροστά αριστερά (FL), μπροστά δεξιά (FR), πίσω αριστερά (RL) και πίσω δεξιά (RR) αντίστοιχα. Επίσης, βλέπουμε τις τρεις βαλβίδες, τύπου 3/3, του ABS μπροστά αριστερά (FL), μπροστά δεξιά (FR) και του πίσω άξονα (RA), ο οποίος χρησιμοποιεί μία κοινή βαλβίδα για τον αριστερό και τον δεξί τροχό του. Αυτές γειώνονται στους ακροδέκτες 2, 35 και 18 από τους προκειμένου να ενεργοποιηθούν.

Για την τροφοδοσία των βαλβίδων με ρεύμα υπεύθυνο είναι το ρελέ που συνδέεται στους ακροδέκτες 17 και 27. Το δεύτερο ρελέ, το οποίο παρατηρούμε ότι συνδέεται στους ακροδέκτες 17 και 28, είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση του κινητήρα της αντλίας του ABS.

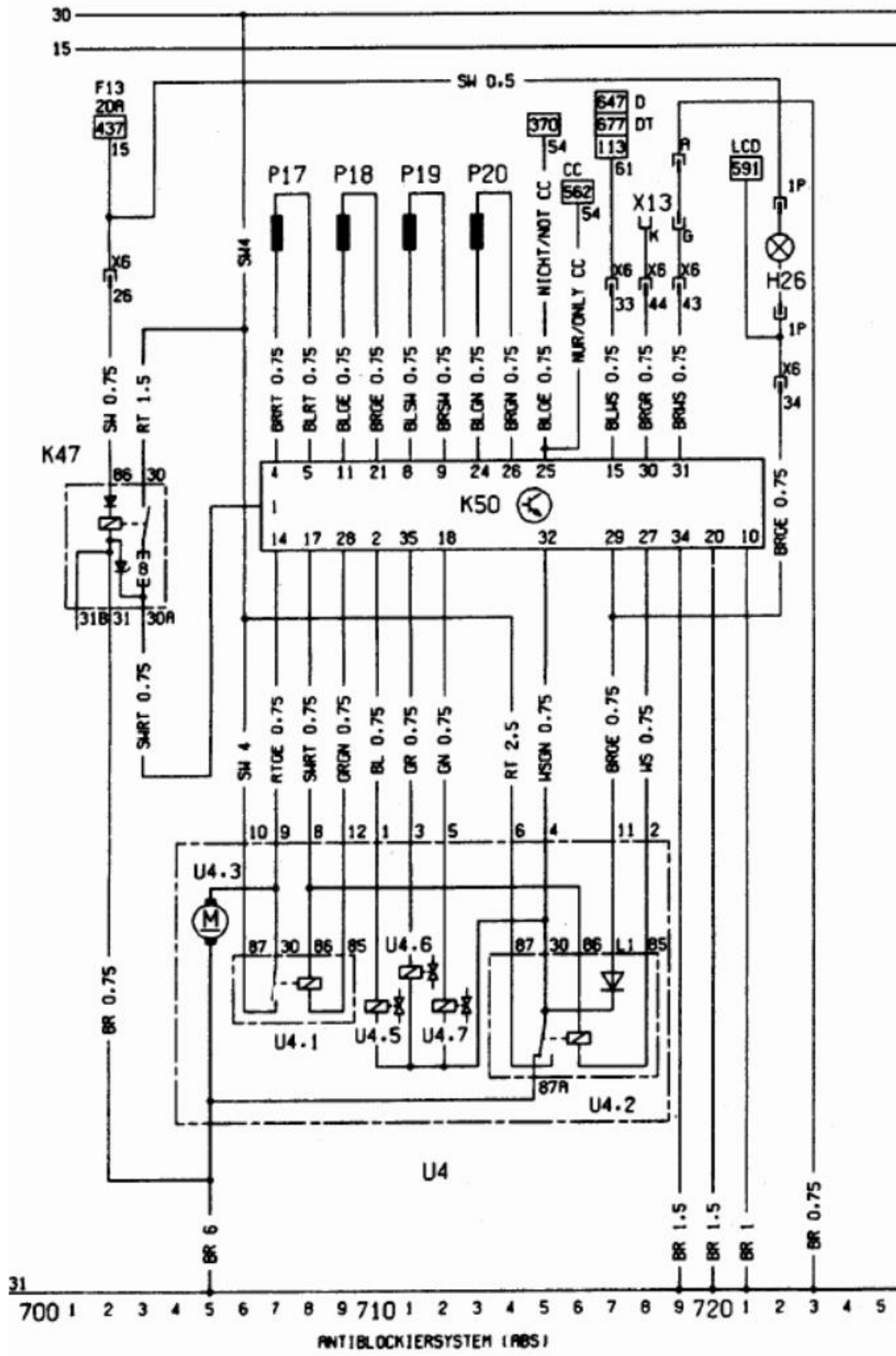


Εικόνα 69 Τμήμα αναπαράστασης του ABS

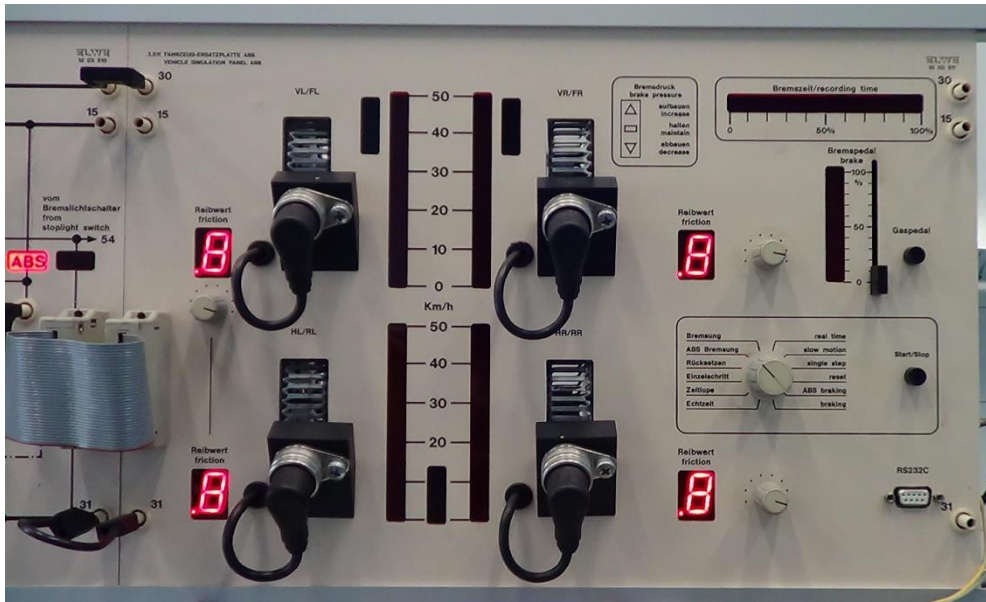
Προκειμένου να είναι δυνατή η αυτοδιάγνωση κάποιας πιθανής βλάβης, το ABSCM επιβεβαιώνει την ορθή λειτουργία του ελέγχοντας τους ακροδέκτες 14 και 32 οι οποίοι κατά την ενεργοποίηση των δύο ρελέ θα πρέπει να φέρουν τάση ίση με αυτήν της μπαταρίας. Ο εγκέφαλο επίσης φέρει τους ακροδέκτες 34, 20 και 10 οι οποίοι παρέχουν την γείωση και τον ακροδέκτη 1 ο οποίος τροφοδοτεί τον εγκέφαλο με την απαραίτητη τάση για την λειτουργία του.



Εικόνα 70 Τμήμα αναπαράστασης του ABS



Εικόνα 71 Ηλεκτρικό σχεδιάγραμμα του ABS από το εγχειρίδιο του Opel Cadet



Εικόνα 72 Τμήμα προσομοίωσης των τροχών

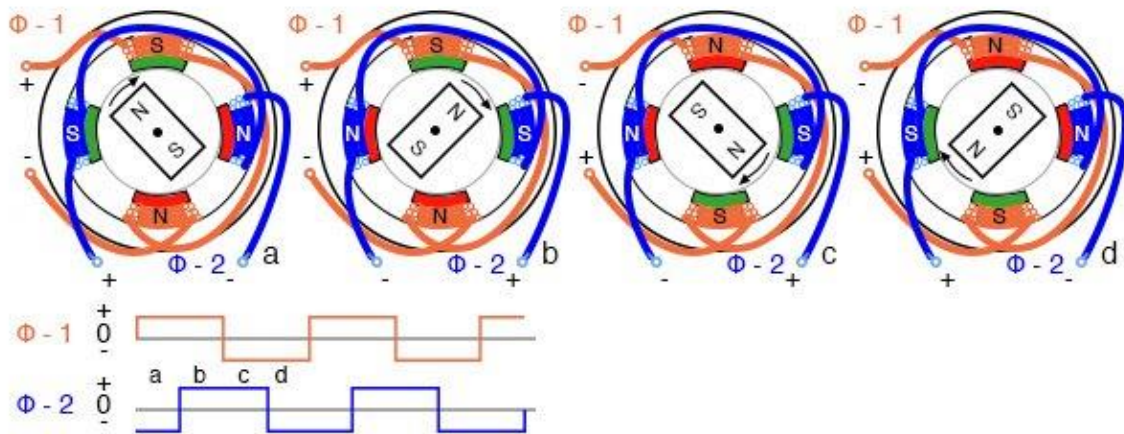
Η εργαστηριακή πινακίδα του ABS με την πάροδο των χρόνων σταμάτησε να λειτουργεί σωστά γεγονός που έγινε εμφανές από την αδυναμία του ABSCM να ενεργοποιήσει τις βαλβίδες 3/3 κατά την προσομοίωση ενός φρεναρίσματος με μειωμένη πρόσφυση χωρίς όμως να ενεργοποιεί το λαμπάκι βλάβης του ABS. Αντιθέτως, εάν κατά το φρενάρισμα σταματήσουμε στιγμιαία έναν από τους τροχούς με το χέρι το ABSCM αντιλαμβάνεται το μπλοκάρισμα του τροχού και προχωράει στην ενεργοποίηση των βαλβίδων, γεγονός που μας ανάγκασε να στρέψουμε την προσοχή μας στο τμήμα προσομοίωσης των τροχών.

Μετά από την παρακολούθηση, μέσω παλμογράφου, των αισθητήρων καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι κανένας από τους τροχούς του κομματιού προσομοίωσης δεν επιβράδυνε πλέον με ρυθμό ο οποίος να οδηγεί το ABSCM στην ενεργοποίηση των βαλβίδων, δηλαδή με ρυθμό ο οποίος να μπορεί να προσομοιώσει την απότομη επιβράδυνση των τροχών κατά το μπλοκάρισμά τους. Στην συνέχεια, μετά από περαιτέρω έλεγχο του κομματιού προσομοίωσης και αφού δεν κατάφερε να εντοπισθεί ο λόγος για τον οποίο οι κινητήρες δεν επιβραδύνουν αρκετά απότομα, αποφασίσαμε να προχωρήσουμε στον σχεδιασμό και στην κατασκευή ενός καινούριου συστήματος το οποίο θα διαχειρίζεται κατάλληλα τους κινητήρες προσομοίωσης των τροχών ώστε να ενεργοποιείται η παρεμβατική λειτουργία του συστήματος ABS.

Το σύστημα αυτό θα πρέπει να είναι ικανό να ελέγχει τους 4 κινητήρες, να εφαρμόζει την απαραίτητη επιβράδυνση προκαλώντας την παρεμβατική λειτουργία του ABS και να δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να μεταβάλει την πρόσφυση στον κάθε τροχό ξεχωριστά.

5. Βηματικοί κινητήρες

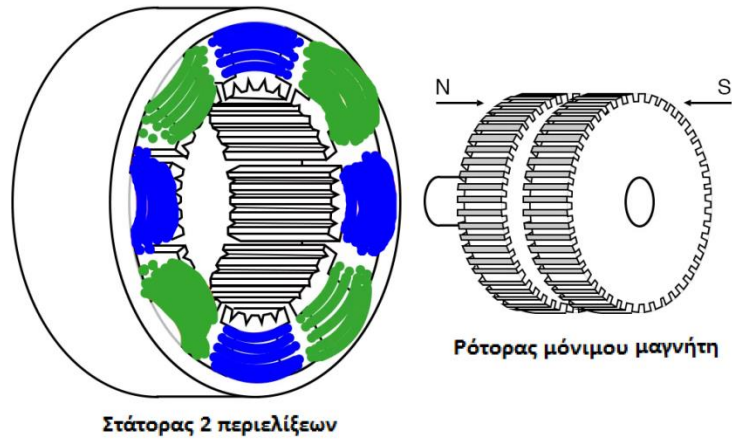
Η δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί τον κατάλληλο έλεγχο των κινητήρων οι οποίοι ήδη βρίσκονται πάνω στο κομμάτι προσομοίωσης. Οι κινητήρες αυτοί με κωδικό "KH56JM2-803" ονομάζονται βηματικοί κινητήρες. Οι κινητήρες αυτού του τύπου αποτελούνται από δύο περιελίξεις οι οποίες συνήθως ονομάζονται φάση 1 και φάση 2 και είναι κατάλληλα τοποθετημένες και πλεγμένες στο εσωτερικό μέρος του στάτη του κινητήρα. Ο ρότορας αυτών των κινητήρων αποτελείται από λαμάκια μόνιμου μαγνήτη. Με την διέλευση συνεχούς ρεύματος από μια περιέλιξη ο ρότορας περιστρέφεται έως ότου οι πόλοι του μόνιμου μαγνήτη να προσανατολιστούν με το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από την περιέλιξη, εάν αντιστρέψουμε την φορά της έντασης στο πηνίο τότε οι πόλοι του μαγνήτη που πριν έλκονταν από την ενεργοποιημένη περιέλιξη τώρα θα απωθηθούν από αυτήν με αποτέλεσμα την περαιτέρω περιστροφή του ρότορα έως ότου να προσανατολιστούν οι πόλοι του κατάλληλα.



Εικόνα 73 Λειτουργία βηματικού κινητήρα

Η λειτουργία αυτή του κινητήρα του δίνει και το όνομά του καθώς με κάθε ενεργοποίηση των περιελίξεών του, ο κινητήρας πραγματοποιεί περιστροφή κατά ένα μικρό μόνο μέρος ή αλλιώς κάνει ένα βήμα. Για την συνέχιση της περιστροφής του κινητήρα απαιτείται η συχνή εναλλαγή της πολικότητας των περιελίξεων. Στην εικόνα 75 φαίνεται η σειρά με την οποία πρέπει να γίνεται η εναλλαγή της πολικότητας των περιελίξεων ώστε ο κινητήρας να περιστρέφεται προς την μία μεριά. Η ενεργοποίηση των περιελίξεων με ανάποδη φορά από αυτήν του πίνακα οδηγεί στην περιστροφή του κινητήρα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Σε αντίθεση με την απλοποιημένη αναπαράσταση του κινητήρα στην εικόνα 73, στην

πραγματικότητα οι κινητήρες φέρουν δύο περιελίξεις οι οποίες αποτελούνται από πολλά πηνία κατάλληλα διανεμημένα και όχι μόνο 2. Μία πλησιέστερη στην πραγματική δομή των κινητήρων αυτών φαίνεται παρακάτω.



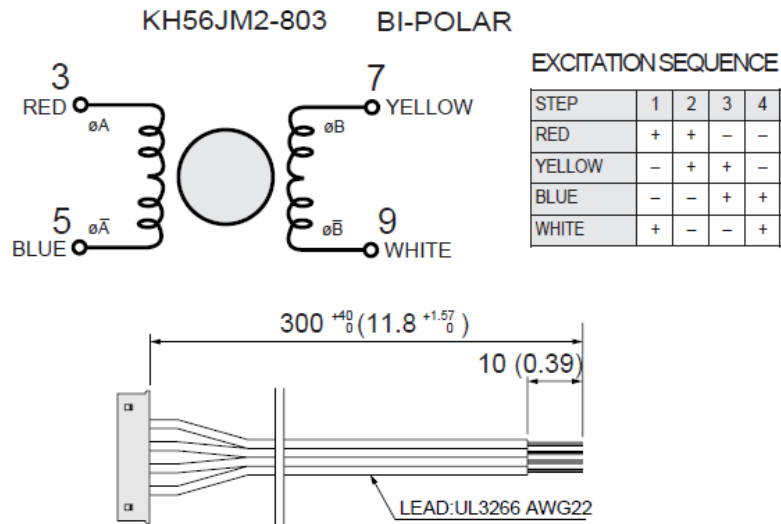
Εικόνα 74 Βηματικός κινητήρας

Παρακάτω (εικόνα 75) παρουσιάζονται τα στοιχεία των κινητήρων μας τα οποία είναι απαραίτητα για τον έλεγχό τους.

| M O D E L | | KH56JM2 |
|-----------------------|---------------------|---------------------------|
| | SINGLE SHAFT | -803 |
| DRIVE METHOD | ———— | UNI-POLAR |
| NUMBER OF PHASES | ———— | 2 |
| STEP ANGLE | deg./step | 1.8 |
| VOLTAGE | V | 4.8 |
| CURRENT | A/PHASE | 1.0 |
| WINDING RESISTANCE | Ω /PHASE | 4.8 |
| INDUCTANCE | mH/PHASE | 5.9 |
| HOLDING TORQUE | mN • m | 422 |
| DETENT TORQUE | mN • m | 25 |
| ROTOR INERTIA | g • cm ² | 140 |
| WEIGHT | g | 400 |
| INSULATION RESISTANCE | ———— | 500VDC 100M Ω min. |
| DIELECTRIC STRENGTH | ———— | 500VAC 50HZ 1min. |
| OPERATING TEMP. RANGE | °C | 0 to 50 |
| ALLOWABLE TEMP.RISE | deg. | 70 |

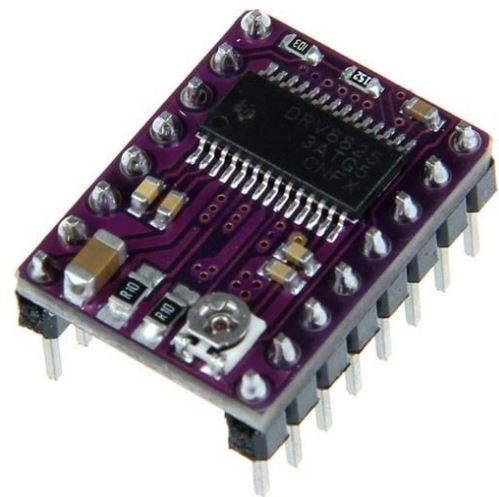
Εικόνα 75 Στοιχεία των κινητήρων της πινακίδας, KH56JM2-803

Επίσης μέσω του κατασκευαστή μας παρέχεται η συνδεσμολογία του κινητήρα καθώς και η σειρά ενεργοποίησης των πηνίων του (εικόνα 76), στην οποία επίσης φαίνεται η εναλλαγή της πολικότητας των πηνίων.



Εικόνα 76 Συνδεσμολογία και σειρά ενεργοποίησης των πηνίων του κινητήρα μας

Για την διαχείριση των κινητήρων επιλέχθηκε ο οδηγός κινητήρων DRV8825 (εικόνα 77) καθώς έχει ενσωματωμένη δυνατότητα περιορισμού της έντασης που διαρρέει το πηνίο πράγμα που μας δίνει την δυνατότητα αύξησης της τάσης σε υψηλότερα επίπεδα από τα 4,8V που προτείνονται στα δεδομένα του κινητήρα. Η αύξηση της τάσης πέρα από την ευκολία που μας προσδίδει λόγω της ανάγκης χρήσης παροχής τάσης 13V με τα οποία δουλεύει το ABSCM, μας δίνει την δυνατότητα να επιταχύνουμε τον κινητήρα σε υψηλότερες στροφές λόγω του ταχύτερου χρόνου φόρτισης των πηνίων του. Στο chip αυτό επίσης είναι ενσωματωμένη η λογική εναλλαγής της πολικότητας των πηνίων. Προκειμένου να γίνει η εναλλαγή αυτή απαιτείται η είσοδος ενός τετραγωνικού παλμού DC εύρους 0V έως 5V του οποίου η εναλλαγή από LOW σε HIGH αποτελεί την εντολή για πραγματοποίηση ενός βήματος. Συνεπώς με την μεταβολή της συχνότητας του τετραγωνικού σήματος μεταβάλλεται

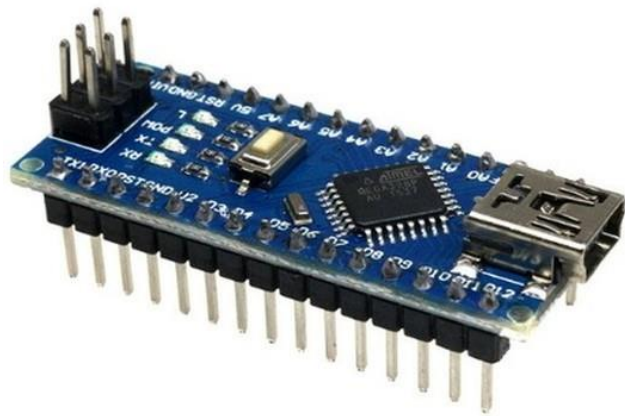


Εικόνα 77 Οδηγός βηματικού κινητήρα, DRV8825

ανάλογα και η συχνότητα εναλλαγής πολικότητας των πηνίων. Έχοντας εξηγήσει τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι προκειμένου ο κινητήρας να κάνει $360^\circ/\text{λεπτό}$ απαιτούνται $360/1,8=200$ βήματα/λεπτό. Άρα είναι απαραίτητη η εισαγωγή στο DRV8825 ενός τετραγωνικού σήματος με 200 εναλλαγές κατάστασης από LOW σε HIGH σε ένα λεπτό ή αλλιώς συχνότητας 3,3Hz. Ο παλμός αυτός θα παραχθεί, σε συνδυασμό με τον υπολογισμό της κατάλληλης επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, δηλαδή τον υπολογισμό της κατάλληλης μεταβολής της συχνότητας του παλμού, από τον μικροελεγκτή Arduino Nano (εικόνα 78).

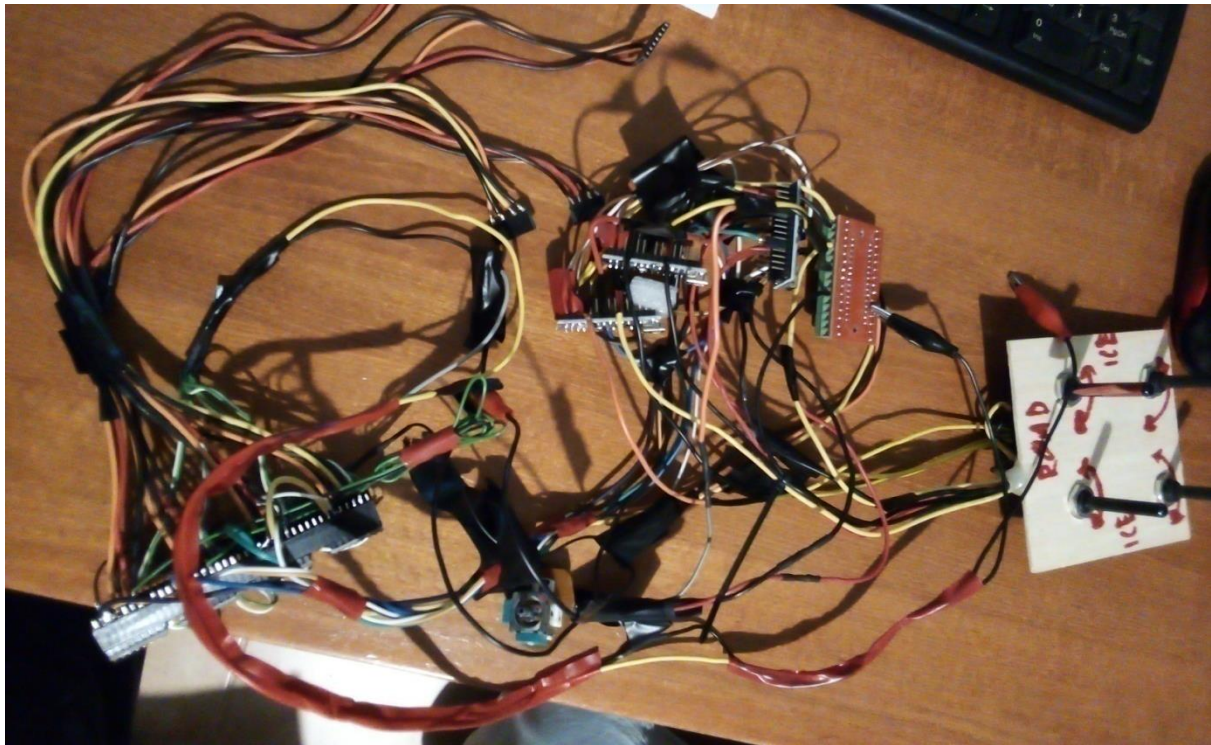
Απαραίτητη είναι η προσθήκη ενός κουμπιού αναπαράστασης του γκαζιού, ενός ποτενσιόμετρου αναπαράστασης του φρένου καθώς και τεσσάρων ποτενσιόμετρων μέσω των οποίων θα μπορεί ο χρήστης να μεταβάλει την πρόσφυση του κάθε τροχού μεμονωμένα.

Μετά την κατάλληλη (εικόνα 79) συνδεσμολογία μεταξύ των μικροελεγκτών, του οδηγού του



Εικόνα 78 Μικροελεγκτής Arduino Nano

κινητήρα, των ποτενσιόμετρων πρόσφυσης και φρένου και του κουμπιού γκαζιού προχωρήσαμε σε δοκιμές ώστε να δούμε κατά πόσο είναι εφικτό να προκαλέσουμε την παρεμβατική λειτουργία του ABSCM μέσω του κατάλληλου προγραμματισμού του Nano.



Εικόνα 79 Πρωτότυπη πειραματική διάταξη, βλέπουμε αντίστοιχα κάτω αριστερά τους οδηγούς κινητήρων, στα δεξιά τα ποτενσιόμετρα πρόσφυσης και στο κέντρο τα Nano

Μετά από διάφορες επιτυχείς δοκιμές δοκιμάσαμε να χρησιμοποιήσουμε τους μικροελεγκτές Attiny85 (εικόνα 80 & 82) αντί του Arduino Nano με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους καθώς και την σμίκρυνση του αποτυπώματος το τελικού συστήματος, το οποίο τελικά αποδείχτηκε αδύνατον καθώς η συνδεσμολογία των περιφερειακών, διακόπτες, ποτενσιόμετρα και οδηγός κινητήρα, δέσμευαν όλους τους ακροδέκτες του μικροελεγκτή μη επιτρέποντας έτσι τον επαναπρογραμματισμό του χωρίς την προσωρινή αφαίρεση κάποιων από τα περιφερειακά.



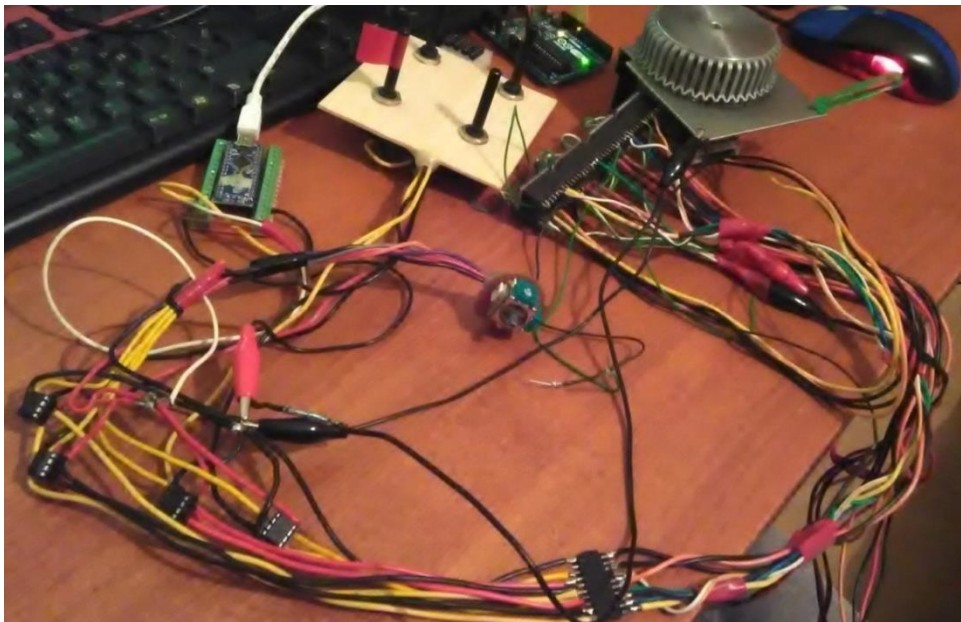
Εικόνα 80 MCU Attiny85

Προσπάθεια αντικατάστασης του Arduino Nano έγινε επίσης με την χρήση του Raspberry pi 3B+ (εικόνα 77) έχοντας ως σκοπό αυτήν την φορά όχι την ελαχιστοποίηση του κόστους αλλά την απλούστευση του κυκλώματος μέσω της αντικατάστασης και των τεσσάρων Nano με ένα μόνο Raspberry λόγω της πολύ υψηλής ταχύτητας και υπολογιστικής του δύναμης καθώς επίσης και την αύξηση της ανάλυσης των υπολογισμών που διεξάγονται κατά των έλεγχο των κινητήρων.

Η αντικατάσταση του και αυτήν την φορά κρίθηκε αδύνατη λόγω της παραγωγής αποτελεσμάτων τα οποία δεν ήταν επαρκή ώστε να θεωρηθεί ικανοποιητική η λειτουργία του συστήματος. Στην αποτυχία βασικό ρόλο έπαιξε η ανικανότητα του μικροελεγκτή να καταγράψει αναλογικά μεγέθη όπως η έξοδος των ποτενσιόμετρων πράγμα που θα μπορούσε μεν να προσπεραστεί μέσω της προσθήκης ενός εξωτερικού ADC chip (Analog to Digital Converter) αλλά κάτι τέτοιο θα καταπατούσε τον αρχικό στόχο της απλούστευσης του συστήματος.



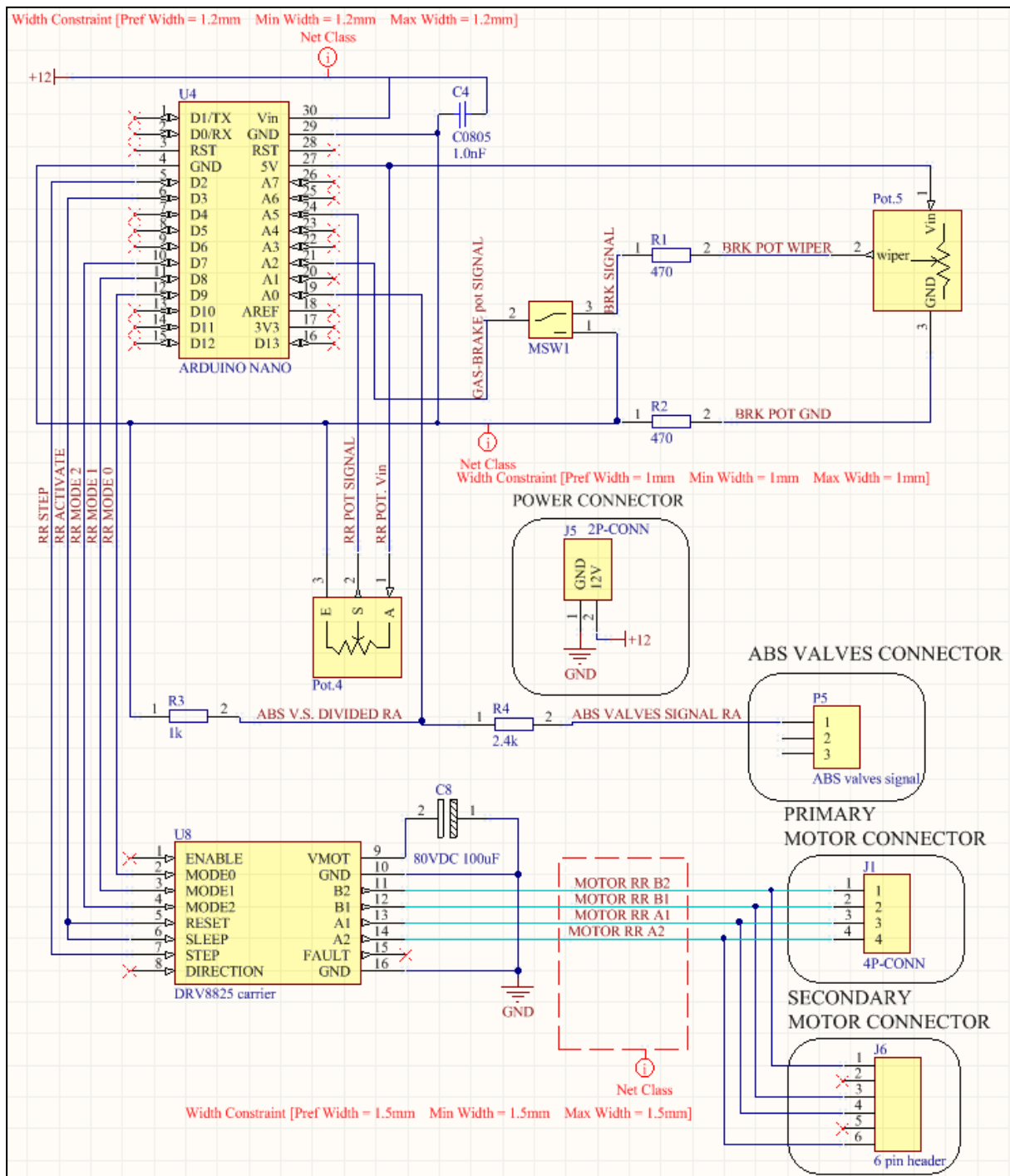
Εικόνα 81 Μικροελεγκτής Raspberry Pi 3B+



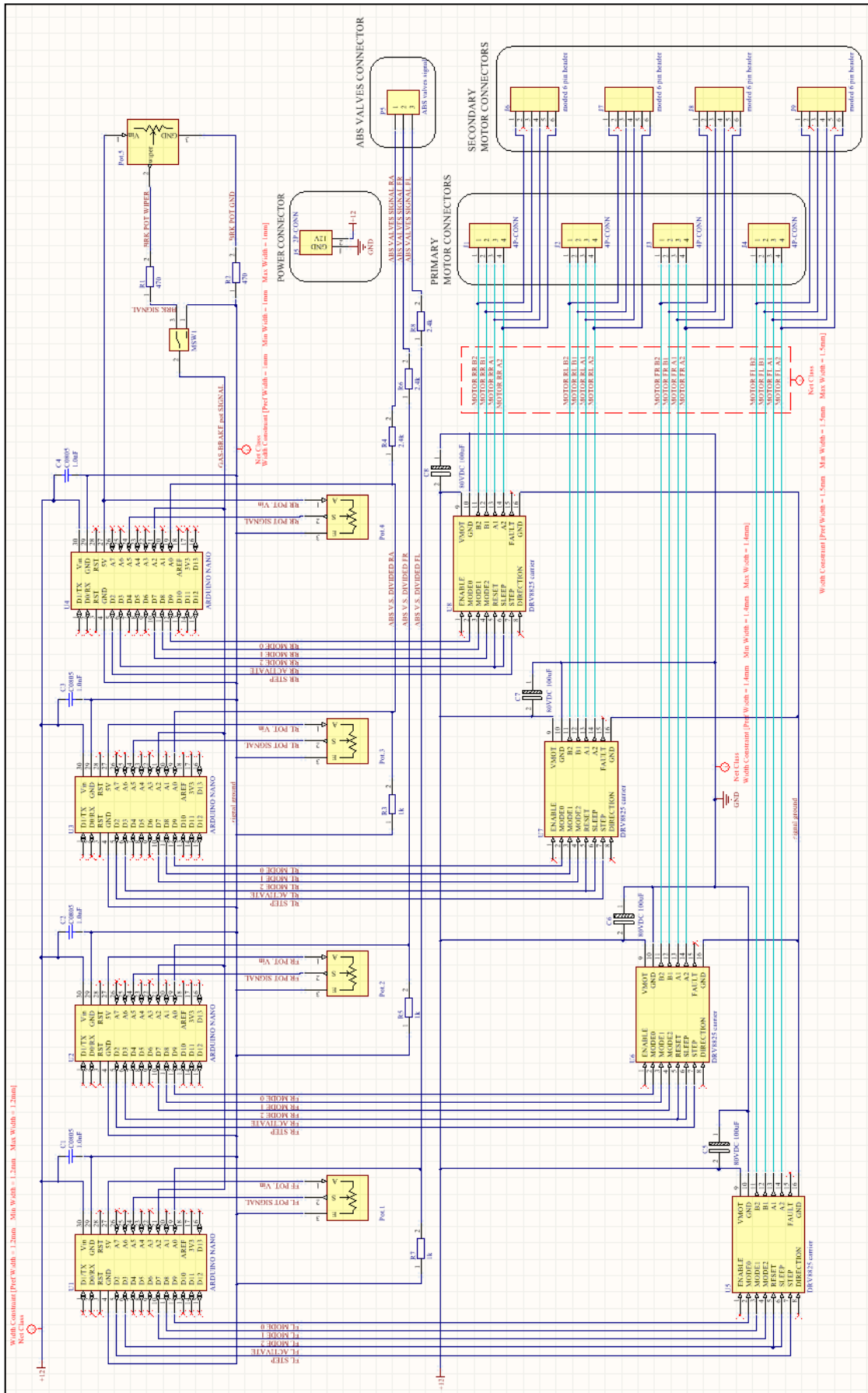
Εικόνα 82 Δοκιμαστική χρήση Attiny85, βλέπουμε αντίστοιχα κάτω αριστερά τα Attiny85, πάνω έναν από τους βηματικούς κινητήρες και δίπλα του τους οδηγούς και τα ποτενσιόμετρα πρόσφυσης

6. Σχεδιασμός πλακέτας (PCB)

Με την χρήση των Arduino Nano να έχει αποφασιστεί, προχωρήσαμε στην δημιουργία του τελικού ηλεκτρολογικού κυκλώματος (εικόνα 83) το οποίο αφού δοκιμάστηκε, χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό της πλακέτας PCB (Printed Circuit Board).







Εικόνα 83 Σχεδιάγραμμα ελέγχου ενός κινητήρα

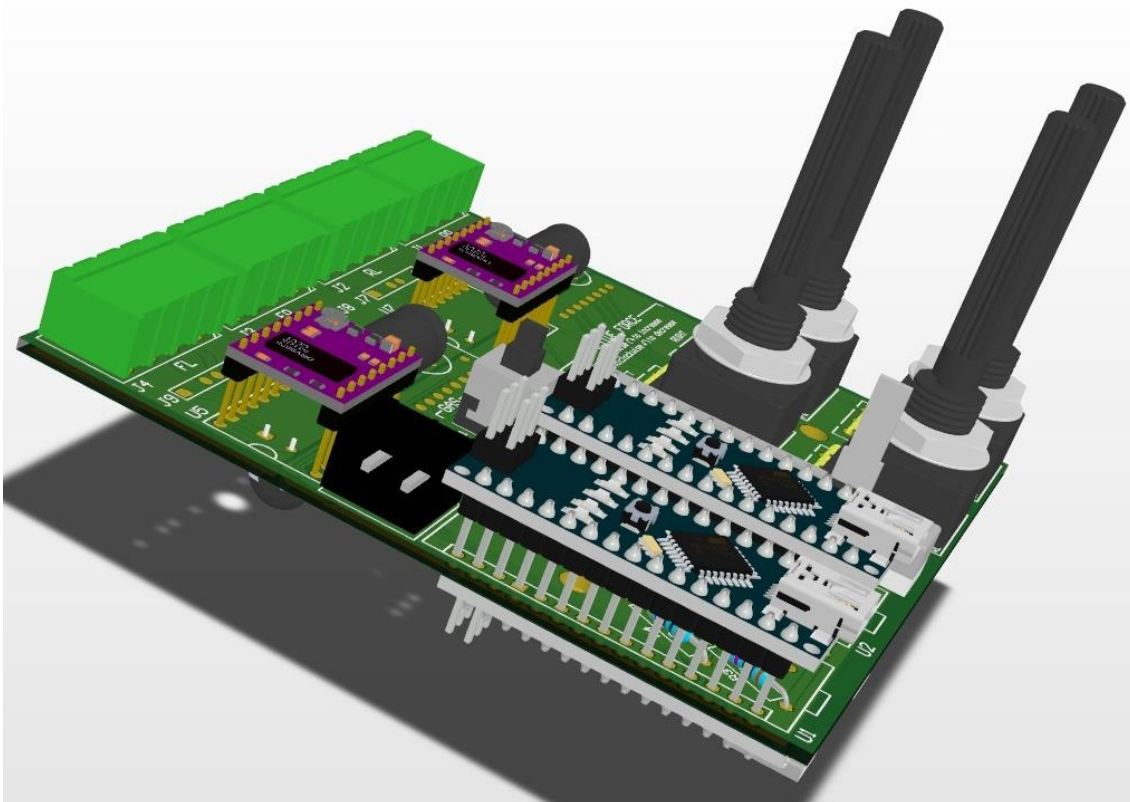


Εικόνα 84 Ολοκληρωμένο σχεδιάγραμμα πάνω στο οποίο δημιουργήθηκε η πλακέτα

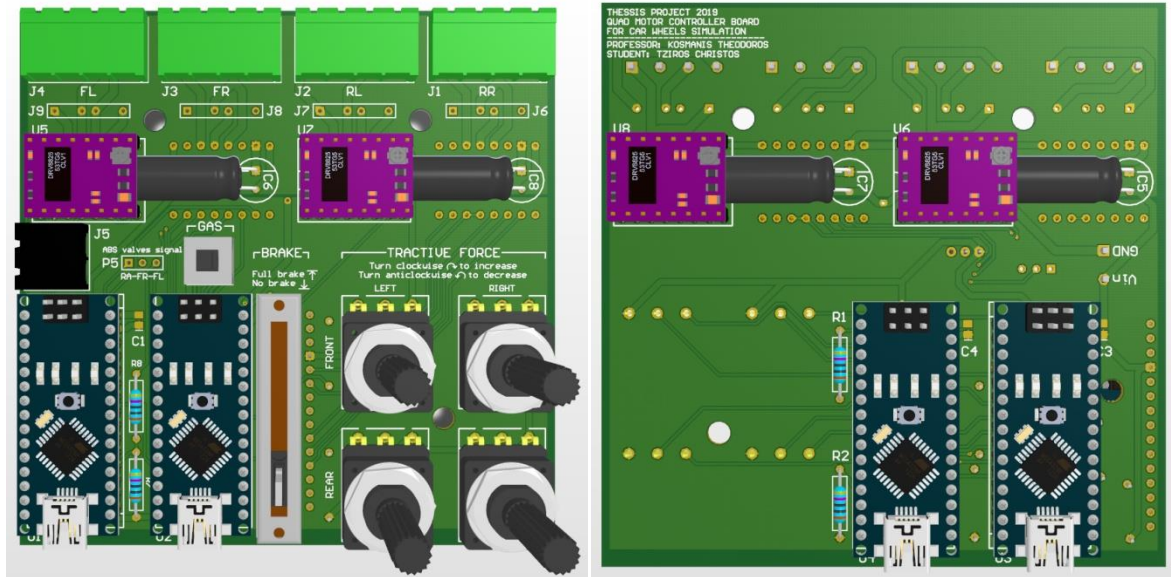
Σκοπός της πλακέτας είναι η σταθερή έδραση των αντικειμένων του κυκλώματος παρέχοντας παράλληλα ένα "καθαρότερο" και λιγότερο μπερδεμένο παρουσιαστικό στο όλο κύκλωμα. Στις παρακάτω εικόνες 86 και 87 φαίνονται διάφορες όψεις της πλακέτας όπως αυτές φαίνονταν στο σχεδιαστικό πρόγραμμα καθώς επίσης και τα αρχεία Gerber (εικόνες 88-93) τα οποία είναι απαραίτητα για την κατασκευή της πλακέτας. Προκειμένου να κατασκευαστεί η πλακέτα ο κατασκευαστής χρησιμοποιεί τα Gerber files για να αντιληφθεί σε ποιά σημεία πρέπει να γίνουν οι τρύπες, να αφαιρεθεί ο χαλκός της πλακέτας (signal layers), να καλυφθεί η επιφάνεια της πλακέτας με διηλεκτρικό στρώμα (solder mask layer) αλλά και να αποτυπωθούν τα σχέδια τα οποία τοποθετήσαμε ώστε να βοηθήσουνε στην χρήση της πλακέτας και στην συναρμολόγησή της (overlay layer).

| | | | | |
|--|----------------|----------------------|------------------|---------------|
|  | Top Overlay | Overlay | | |
|  | Top Solder | Solder Mask/Coverlay | Surface Material | Solder Resist |
|  | Top Layer | Signal | Copper | |
|  | Dielectric 1 | Dielectric | None | FR-4 |
|  | Bottom Layer | Signal | Copper | |
|  | Bottom Solder | Solder Mask/Coverlay | Surface Material | Solder Resist |
|  | Bottom Overlay | Overlay | | |

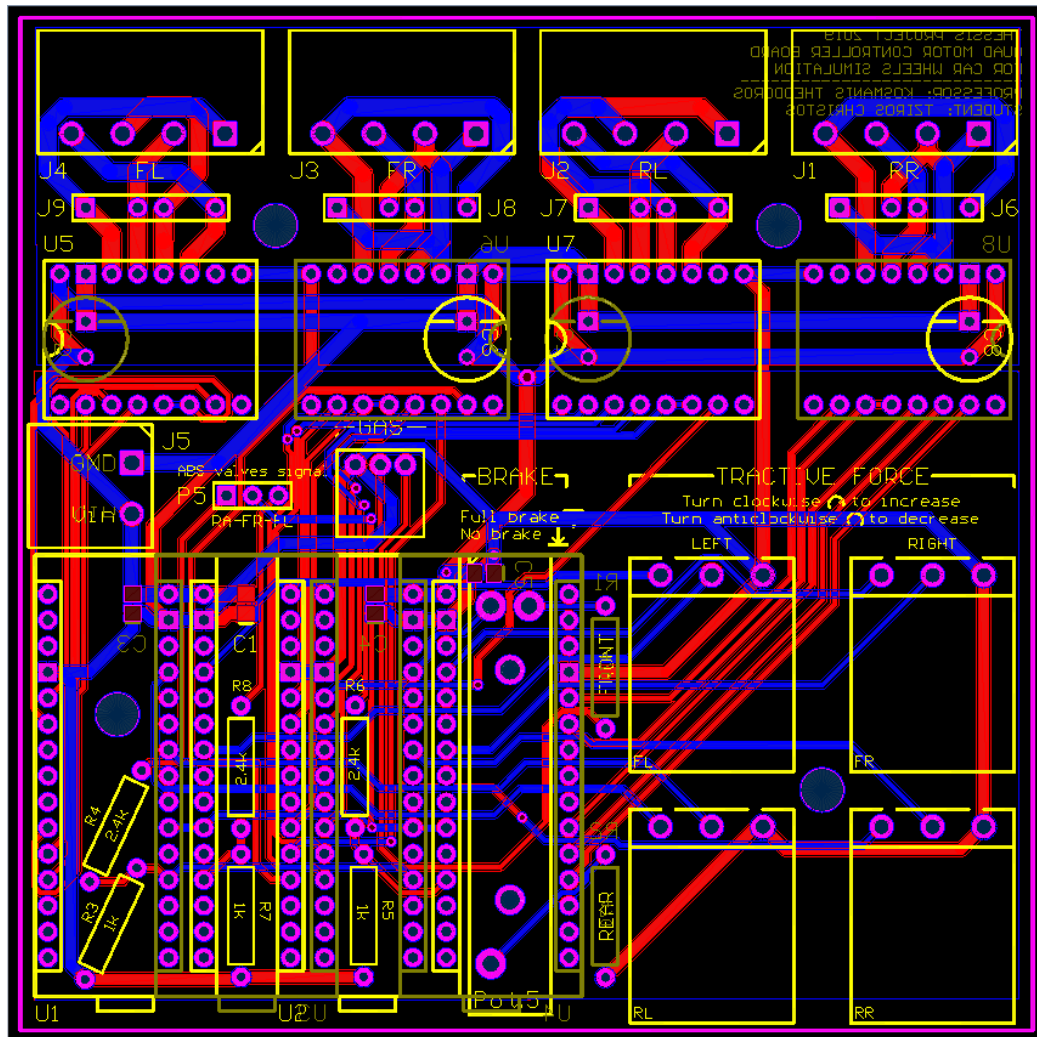
Εικόνα 85 Τομή PCB 2 στρωμάτων



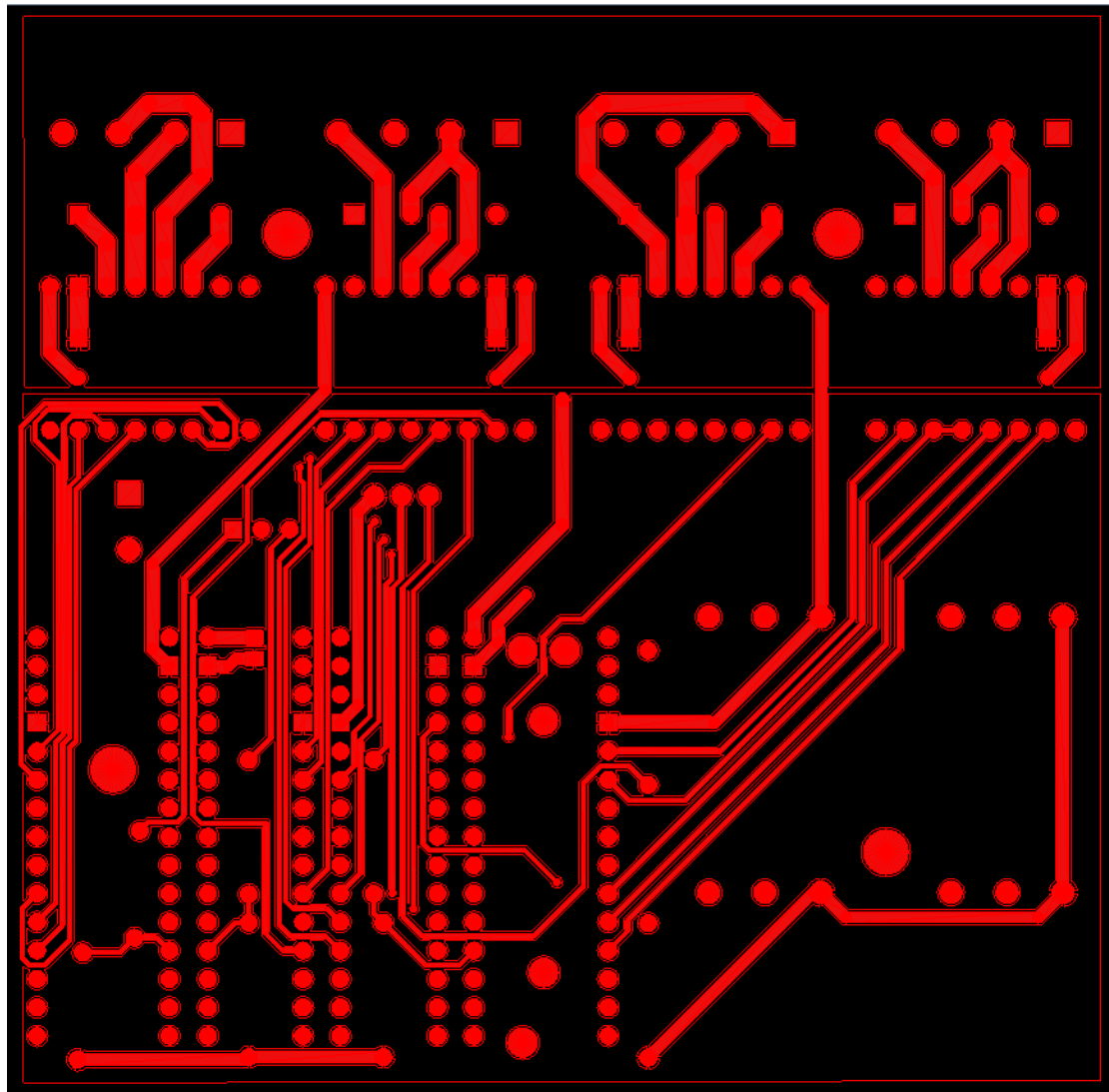
Εικόνα 86 Τρισδιάστατη όψη της τελικής PCB



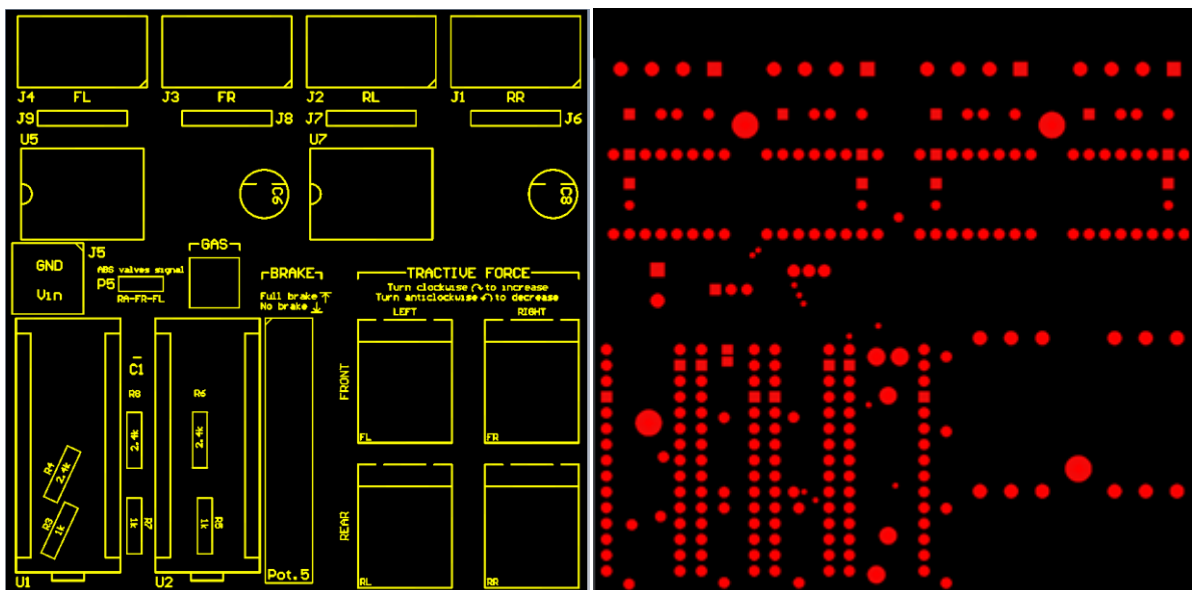
Εικόνα 87 Κάτω και πάνω όψη PCB



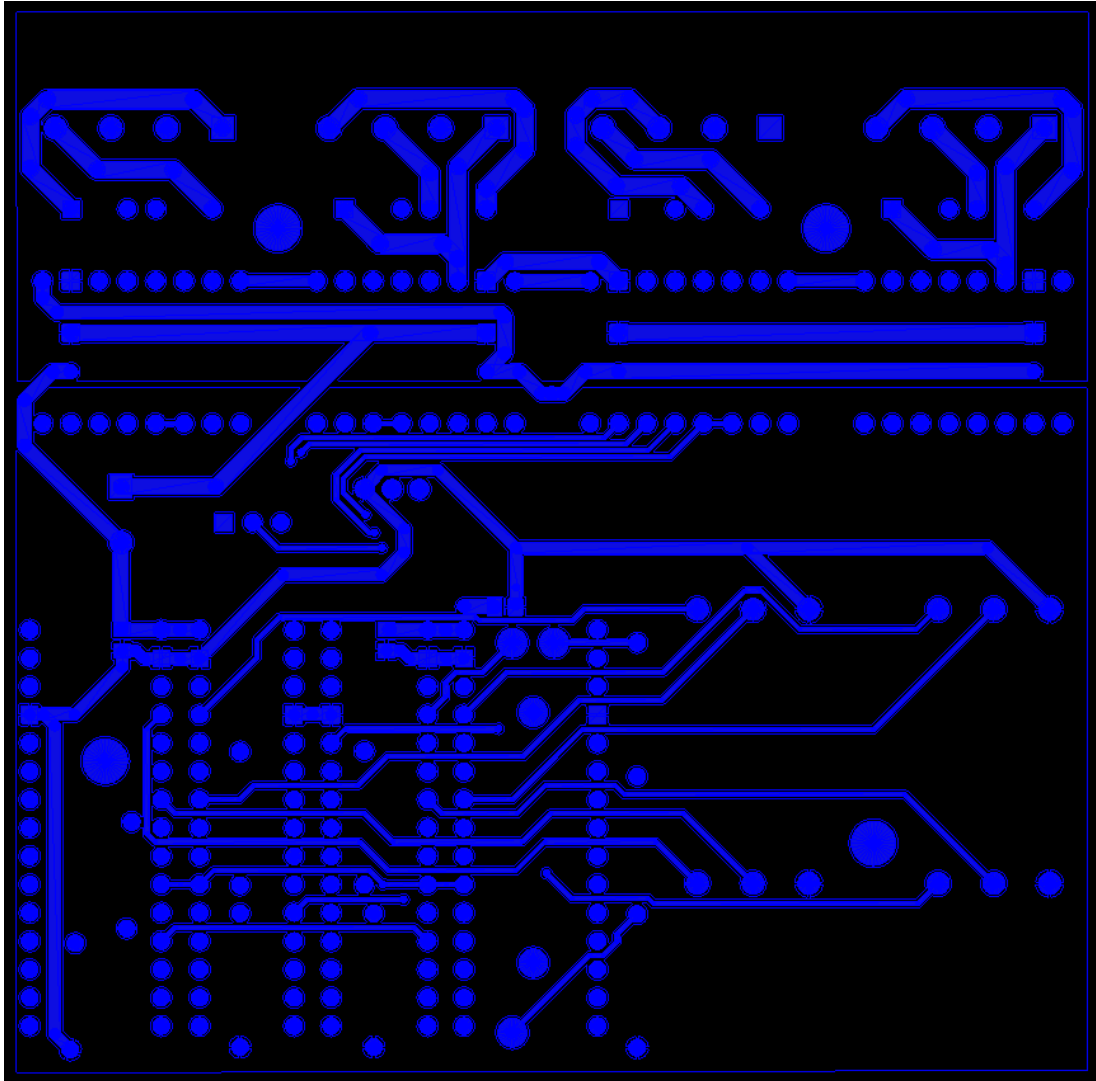
Εικόνα 88 Συνδυασμός των στρωμάτων της πλακέτα



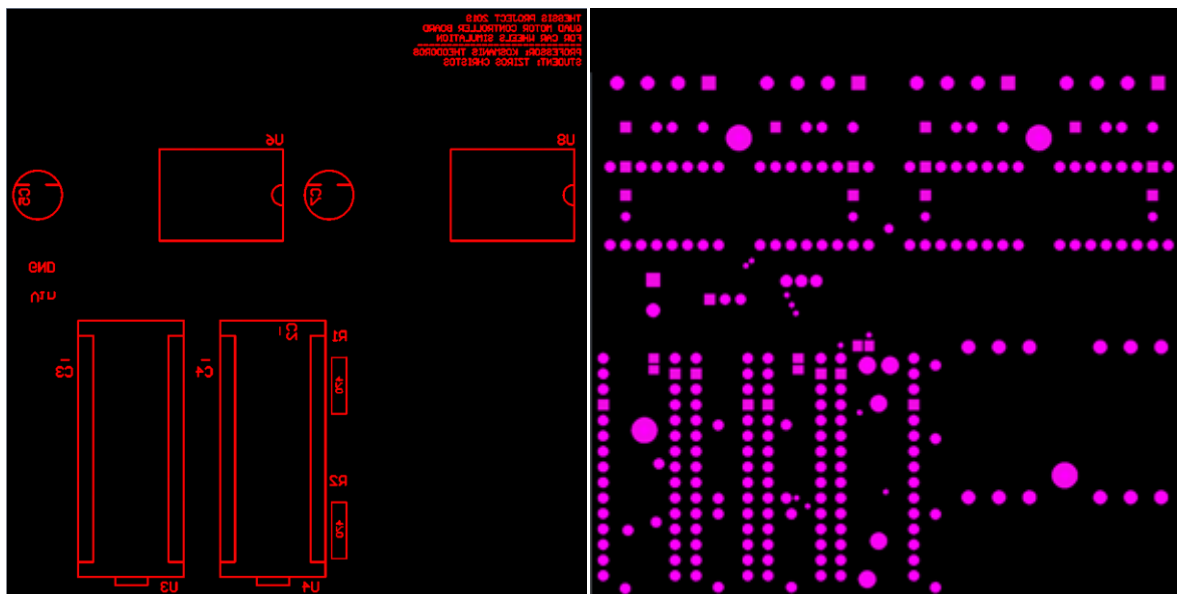
Εικόνα 89 Πάνω στρώμα-ίχνη χαλκού (top layer)



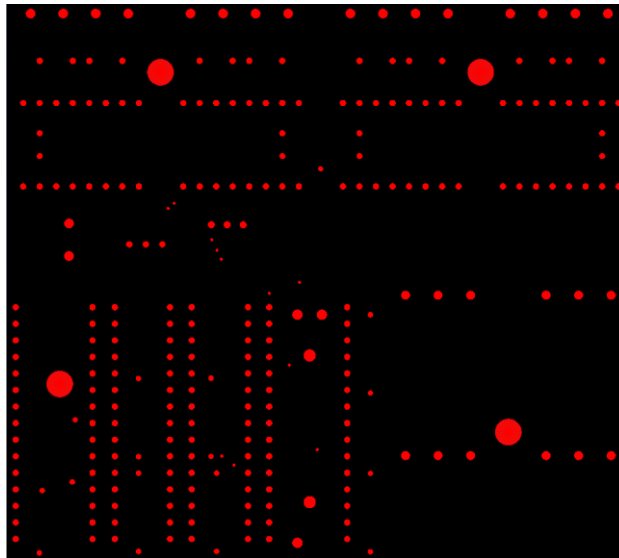
Εικόνα 90 Αριστερά: επάνω στρώμα με γράμματα (top overlay) , Δεξιά: επάνω στρώμα εκτεθειμένου χαλκού (top solder)



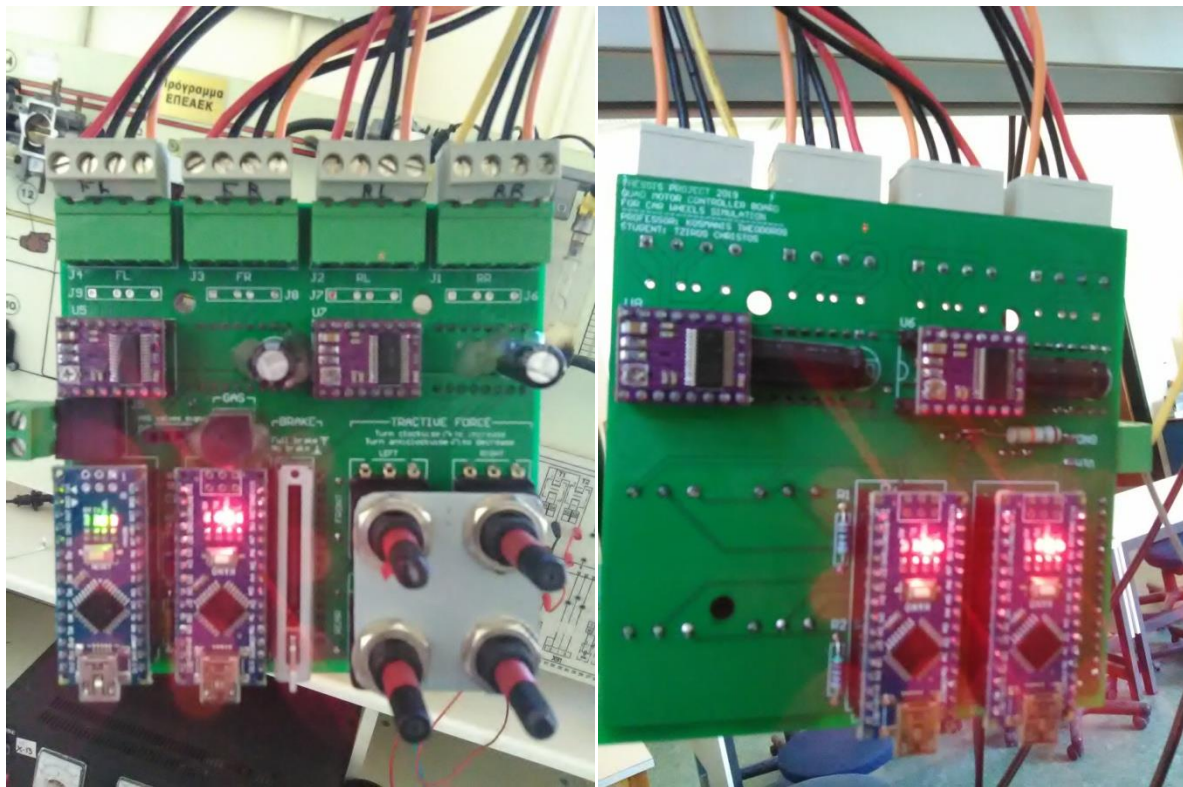
Εικόνα 91 Κάτω στρώμα-ίχνη χαλκού (bottom layer)



Εικόνα 92 Αριστερά: κάτω στρώμα με γράμματα (bottom overlay) , Δεξιά: κάτω στρώμα εκτεθειμένου χαλκού (bottom solder)

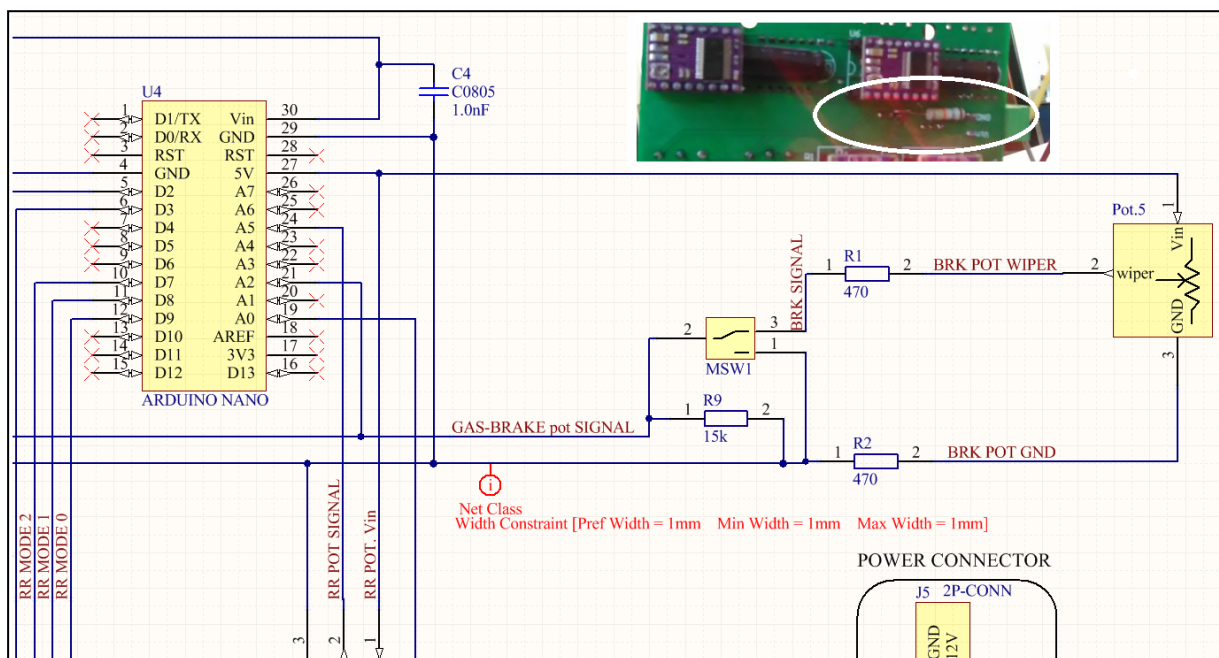


Εικόνα 93 Αρχείο περιγραφής τοποθεσίας και μεγέθους οπών



Εικόνα 94 Αριστερά: εμπρός όψη της πλακέτας, Δεξιά: Πίσω όψη πλακέτας

Μετά την ολοκλήρωση και την δοκιμή της πλακέτας παρουσιάστηκε κάποιο πρόβλημα στον διακόπτη γκαζιού-ρύθμισης στροφών το οποίο λύθηκε με την προσθήκη μίας ακόμα αντίστασης "R9" στο κύκλωμα αλλά και στην πίσω μεριά της πλακέτας, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 95. Το πρόβλημα προκαλούνταν από την αιώρηση του ακροδέκτη 2 του διακόπτη κατά το πάτημά του και όταν αυτός βρισκόταν περίπου στο μέσο της διαδρομής του. Κατά την αιώρηση του διακόπτη, το Nano μετέφραζε τις παρεμβολές που υπήρχαν στον διακόπτη ως ανάγκη για φρενάρισμα με αποτέλεσμα κάθε φορά που ο διακόπτης περνούσε από το μέσο του να εμφανίζεται ένα ανεπιθύμητο στιγμιαίο φρενάρισμα. Με την προσθήκη της R9 δημιουργείται ένα μονοπάτι υψηλής αντίστασης προς την γείωση το οποίο καταναλώνει την οποιαδήποτε τάση δημιουργείτε από παρεμβολές κατά την αιώρηση του διακόπτη.



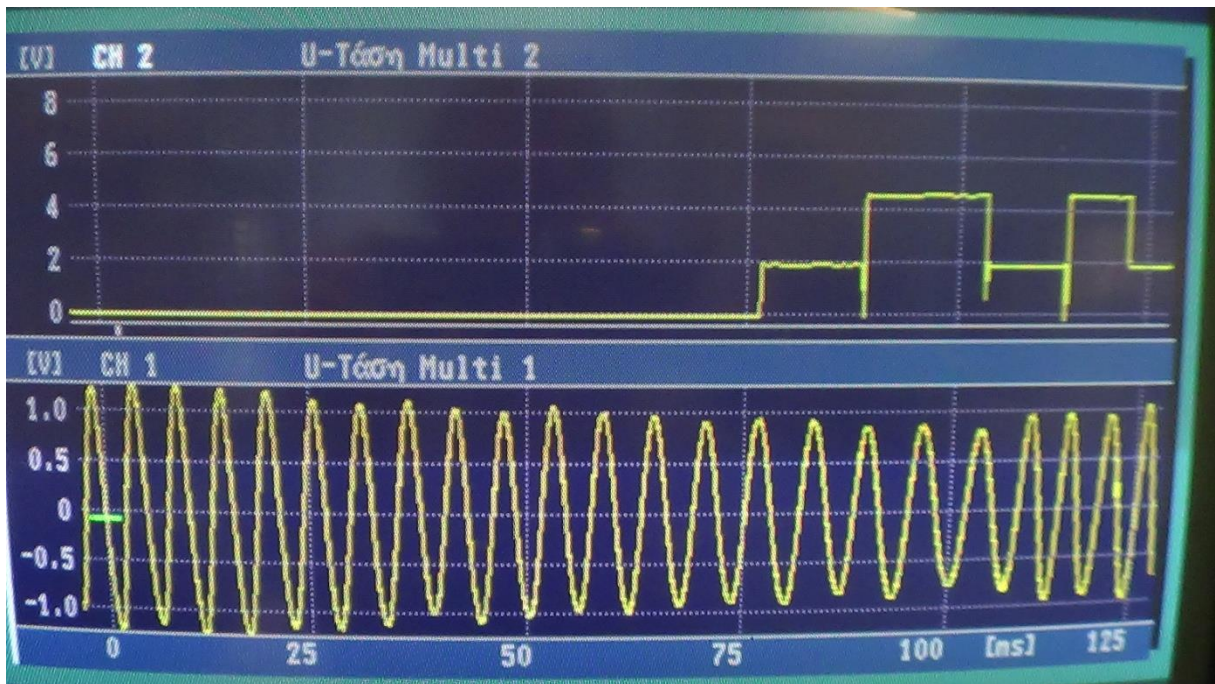
Εικόνα 95 Προσθήκη αντίστασης R9 στο κύκλωμα και στην πλακέτα

Στην συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε ένας παλμογράφος για να κάνει δυνατή τη λήψη διαφόρων μετρήσεων καθώς και την οπτικοποίηση των τριών διακριτών φάσεων της πίεσης των υγρών φρένων σε συνάρτηση με το χρόνο. Παράλληλα φαίνεται η απότομη μεταβολή του σχεδόν ημιτονοειδούς σήματος των επαγωγικών αισθητήρων στροφών κατά το μπλοκάρισμα των τροχών.

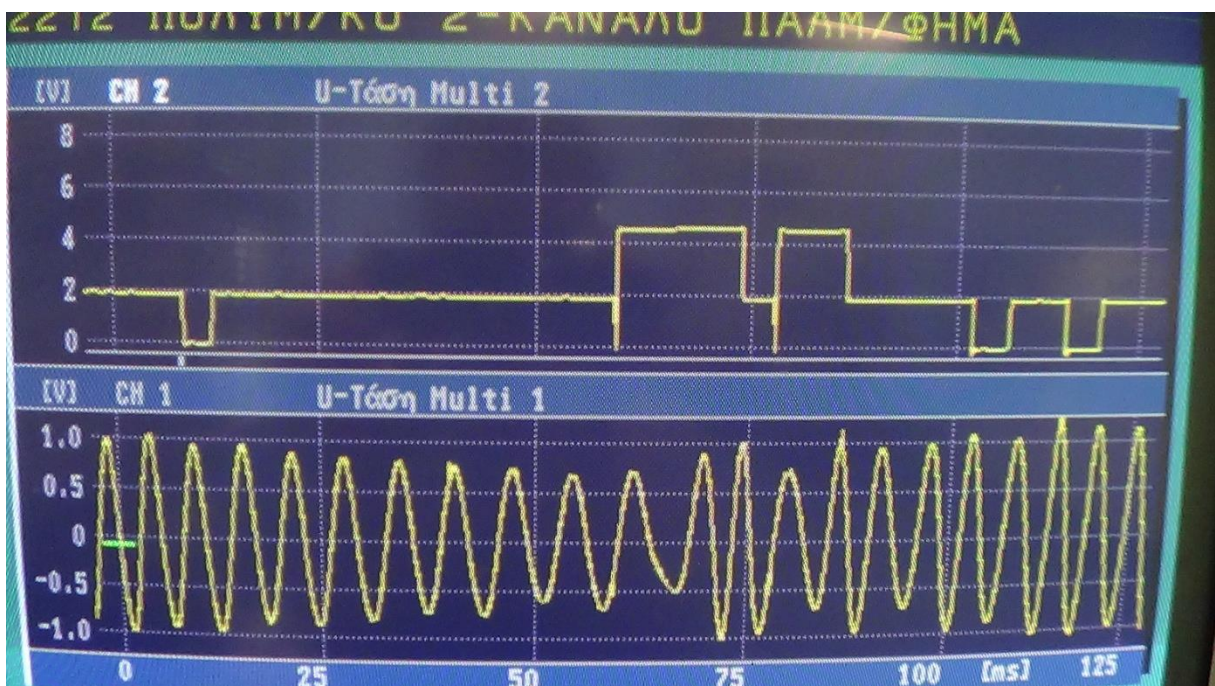
Στις παρακάτω εικόνες 97 και 98 γίνεται μέτρηση της τάσης στα άκρα της βαλβίδας FR στο κανάλι 2 (CH-2) και μέτρηση της τάσης του αισθητήρα στροφών στον τροχό FR στο κανάλι 1 (CH-1). Έτσι μπορούν να διακριθούν οι φάσεις αύξησης, διατήρησης και μείωσης της

πίεσης των υγρών φρένων στον τροχό FR της πινακίδας. Οι φάσεις αυτές διακρίνονται μέσω της εμφάνισης τάσης τριών διαφορετικών επιπέδων στα άκρα της βαλβίδας FR:

- i. στα 0 Volt έχουμε αύξηση της πίεσης
- ii. στα 2 Volt έχουμε διατήρηση της πίεσης
- iii. στα 4.5 Volt έχουμε μείωση της πίεσης



Εικόνα 96 CH-2 τάση στα άκρα της βαλβίδας FR , CH-1 τάση του αισθητήρα στροφών στον τροχό FR



Εικόνα 97 CH-2 τάση στα άκρα της βαλβίδας FR , CH-1 τάση του αισθητήρα στροφών στον τροχό FR

7. Κώδικας

Ο κώδικας ο οποίος χρησιμοποιείται από τον MCU Arduino Nano αποτελείται από εντολές της γλώσσας προγραμματισμού C και C++. Το πρόγραμμα το οποίο έχει δημιουργηθεί προκειμένου να επιτευχθεί ο έλεγχος των βηματικών κινητήρων, το χωρίσουμε σε τρία διακριτά τμήματα. Τις εντολές που εκτελούνται μόνο μία φορά καθ' όλη την λειτουργία του συστήματος και συγκεκριμένα κατά την εκκίνηση του MCU, αυτές που εκτελούνται από το κυρίως πρόγραμμα επανειλημμένα μέχρι την απενεργοποίηση του συστήματος, και αυτές που εκτελούνται από το υποπρόγραμμα το οποίο είναι υπεύθυνο για την προσομοίωση του μπλοκαρίσματος των τροχών.

Οι εντολές που εκτελούνται μία μόνο φορά κατά την εκκίνηση του MCU αποτελούνται κυρίως από εντολές που στοχεύουν στην εκκίνηση των μεταβλητών και των σταθερών που θα χρησιμοποιηθούν αργότερα, στον χαρακτηρισμό των ακροδεκτών του MCU ως εισόδους και εξόδους και στην εκκίνηση ορισμένων χρονομέτρων τα οποία αργότερα θα χρησιμοποιηθούν για την επιβολή μεταβολής της συχνότητας του παλμού.

Στο κυρίως πρόγραμμα, αρχικά γίνεται αντιληπτή η ανάδραση μεταξύ του χειριστή της πινακίδας και των κουμπιών και των ποτενσιόμετρων τα οποία αφού αναγνωστούν ελέγχονται με ορισμένες συνθήκες «αν» προκειμένου να αποφασιστεί η επιθυμητή ενέργεια.

Οι τρεις κύριες συνθήκες αν που χρησιμοποιούνται ελέγχουν αν είναι επιθυμητή:

1. η επιτάχυνση
2. η επιβράδυνση χωρίς ABS
3. η επιβράδυνση με ABS

Παράλληλα με αυτές τις συνθήκες ελέγχεται, μέσω των χρονομέτρων, το χρονικό διάστημα που πέρασε από την προηγούμενη μεταβολή της συχνότητας του παλμού ώστε να περιορίζεται ο ρυθμός μεταβολής του, δηλαδή η επιτάχυνση του κινητήρα. Αν κριθεί αληθής μία από τις συνθήκες επιβράδυνσης ή επιτάχυνσης χωρίς ABS και ο χρόνος είναι επαρκής, τότε προχωράμε στην αντίστοιχη μεταβολή της μεταβλητής της συχνότητας του παλμού. Επίσης, στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η επιτάχυνση ελέγχεται αν ο κινητήρας έχει φθάσει τις μέγιστες στροφές του προκειμένου να αποτραπεί η περαιτέρω αύξηση της συχνότητας του παλμού. Τέλος, με μία ξεχωριστή συνθήκη ελέγχεται αν ο κινητήρας έχει

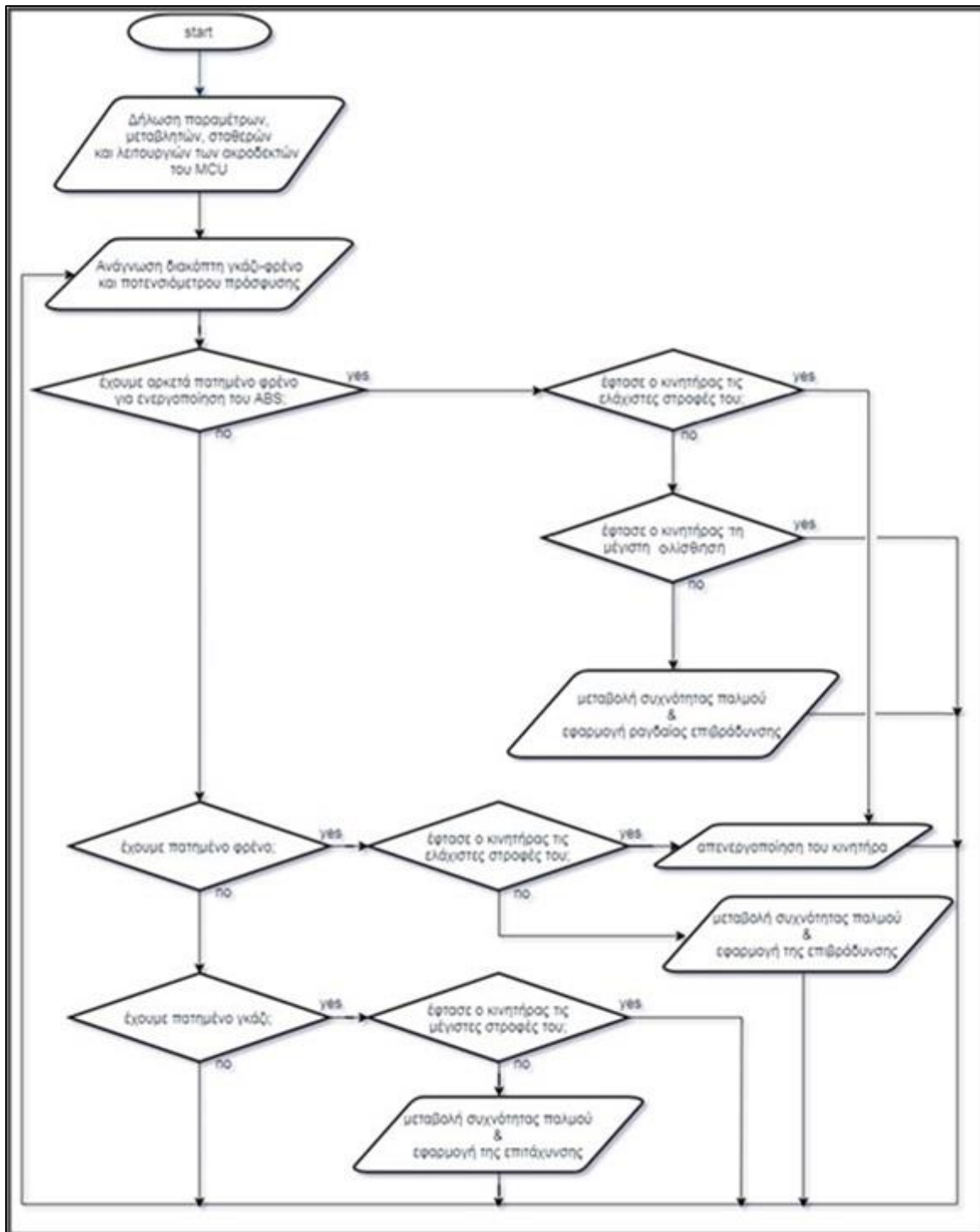
φθάσει τις ελάχιστες στροφές του προκειμένου να διακοπεί το ρεύμα που τον τροφοδοτεί. Έτσι, απαραίτητη καθίσταται η τροφοδοσία του κινητήρα με ρεύμα την επόμενη φορά που θα γίνει αντιληπτή η ανάγκη για επιτάχυνση.

Το υποπρόγραμμα καλείται αν συνθήκη ύπαρξης ABS βγει αληθής. Στην συνθήκη αυτήν ελέγχεται η επιθυμία του χειριστή από το ποτενσιόμετρο του φρένου, η πρόσφυση που έχει ο τροχός από το ποτενσιόμετρο της πρόσφυσης καθώς επίσης και πόσες φορές έχει μεταβληθεί η συχνότητα του παλμού με μικρή επιβράδυνση, δηλαδή χωρίς ABS. Ο έλεγχος του αριθμού μεταβολής του παλμού με μικρή επιβράδυνση χρησιμεύει στην προσομοίωση της φάσης 7 του κύκλου λειτουργίας ABS (κεφάλαιο 2.5.1., εικόνα 7) κατά την οποία ο τροχός έχει ξεμπλοκάρει και αρχίζει ξανά να επιβραδύνει με μικρό ρυθμό. Το ελάχιστο όριο του αριθμού αυτού μεταβάλλεται γραμμικά σε σχέση με το ποτενσιόμετρο της πρόσφυσης.

Αφού λοιπόν ικανοποιηθεί η παραπάνω συνθήκη, καλείται το υποπρόγραμμα ABS εντός του οποίου γίνεται η είσοδος σε βρόχο επανάληψης όπου ο παλμός μεταβάλλεται πλέον κατά 2Hz ανά μεταβολή σε αντίθεση με την απλή επιβράδυνση όπου ο παλμός μεταβάλλεται κατά 1Hz ανά μεταβολή. Η μεταβολή αυτή συμβαίνει ανά μικρότερο χρονικό διάστημα, συγκεκριμένα ανά 500μs ενώ στην κανονική επιβράδυνση συμβαίνει ανά 10ms. Έτσι επιτυγχάνεται η αύξηση του ρυθμού μείωσης της περιστροφικής ταχύτητας του τροχού, δηλαδή της επιβράδυνσης. Στην συνθήκη του βρόχου επανάληψης ελέγχεται αν η ολίσθηση του τροχού έχει ξεπεράσει το 20% προσομοιώνοντας έτσι το όριο ταχύτητας "λ₁" του κύκλου λειτουργίας ABS (κεφάλαιο 2.5.1., εικόνα 7). Επίσης ελέγχεται αν ο χειριστής πατάει ακόμη φρένο, αν ο κινητήρας έφτασε τις ελάχιστες στροφές καθώς και το πλήθος των μεταβολών του παλμού, το οποίο οριοθετείται επίσης γραμμικά σε σχέση με το ποτενσιόμετρο της πρόσφυσης.

Με την έξοδο από τον βρόχο επιβράδυνσης ABS και την επιστροφή στην συνθήκη AN του ABS, ο πλέον επιβραδυσμένος κινητήρας θα πρέπει να ακολουθήσει μια σειρά απότομων επιταχύνσεων προσομοιώνοντας την φάση 4 του κύκλου ABS.

Το παρακάτω απλοποιημένο σχεδιάγραμμα αναπαριστά την λογική με την οποία διεκπεραιώνεται ο έλεγχος των κινητήρων από τα Arduino.



Εικόνα 98 Διάγραμμα ροής του κώδικα

Παρακάτω αναρτάται ο κώδικας σύμφωνα με τον οποίον τα Arduino Nano ελέγχουν την κίνηση των κινητήρων, υπολογίζουν την μεταβολή της συχνότητας του παλμού και μεταβάλλουν την πρόσφυση των τροχών.

```
//---- TIMER LIBRARY ----
#include <Chrono.h>
Chrono OvTmThreshold(Chrono::MICROS); // Normal Step alteration
Chrono absTmThreshold(Chrono::MICROS); // ABS Step alteration
Chrono transTimeMtr(Chrono::MICROS); // Transitional Step alteration
Chrono timeMtr(Chrono::MICROS); // Step command

//---- PINOUTS ----
#define mtr 2 // Step Command
#define mtrEn 3 // Motor Enable
#define M0 9 // Mode 0
#define M1 8 // Mode 1
#define M2 7 // Mode 2

//---- BUTTON THRESHOLDS ----
#define brkThr 200 // Normal Braking
#define absBrkThr 700 // ABS Braking
#define gasThr 10 // RPM

//---- TIMER THRESHOLDS ----
#define ThrTm 10000 // Step alteration
#define absActTm 500 // Step alteration

//---- OTHER ----
#define maxHz 900 // Max RPM
#define minHz 120 // Min RPM
#define DifDivider 15 // Smooth Reacceleration

//---- VARIABLES ----
unsigned int RMPedal ;
```



```

unsigned int traction ;
unsigned int x ;
unsigned int y ;
unsigned int dif ;

unsigned int NHz = minHz-1;
unsigned int absHz = minHz-1;
unsigned int transHz = minHz-1;

unsigned int absCounter = 0;
unsigned int NHzCounter = 0;
unsigned int transCounter = 0;

bool power = false;           // En/Disable mtr

void setup() {
  //Serial.begin (2000000);    //DEBUG only *

  pinMode (mtrEn,OUTPUT);     //PIN 3
  digitalWrite (mtrEn,0);
  tone (mtr,NHz);             //PIN 2

  // Mode selector pins all pulled to GND
  pinMode (M0,OUTPUT);        //PIN 9
  pinMode (M1,OUTPUT);        //PIN 8
  pinMode (M2,OUTPUT);        //PIN 7
  digitalWrite (M0,0);
  digitalWrite (M1,0);
  digitalWrite (M2,0);

  pinMode (A0,INPUT_PULLUP);  // Unused pins
  pinMode (A1,INPUT_PULLUP);
  pinMode (A3,INPUT_PULLUP);
  pinMode (A4,INPUT_PULLUP);

```

```

pinMode (A6,INPUT_PULLUP);
pinMode (A7,INPUT_PULLUP);
pinMode (0,INPUT_PULLUP);
pinMode (1,INPUT_PULLUP);
pinMode (4,INPUT_PULLUP);
pinMode (5,INPUT_PULLUP);
pinMode (6,INPUT_PULLUP);
pinMode (10,INPUT_PULLUP);
pinMode (11,INPUT_PULLUP);
pinMode (12,INPUT_PULLUP);
pinMode (13,INPUT_PULLUP);
}

```

```

void loop() {

```

```

    RPMPedal = analogRead(A2);           // Read the pot input (accel/deccel)
    traction = analogRead(A5);          // Read the pot input (adjust threshold times)
    x = map(traction, 0, 1023, 500, 1000);
    y = map(traction, 0, 1023, 100, 50); // Works fine set at (0,1023,90,50)
    //Serial.print (RMPPedal);          //DEBUG only *
    //Serial.print ("    x: ");         //DEBUG only *
    //Serial.print (x);                 //DEBUG only *
    //Serial.print ("    traction: ");  //DEBUG only *
    //Serial.print (traction);          //DEBUG only *
    //Serial.print ("    NHz: ");       //DEBUG only *
    //Serial.println (NHz);             //DEBUG only *

    //-->    -- ABS LOOP --
    if ((RMPPedal >= absBrkThr) && (NHzCounter > x) && (traction < 1000) && (NHz >
minHz)){
        lockingSequence();              // Call subroutine
        for (int transCounter = 1; transCounter < DifDivider;){ // Perform smooth
//reaccelaration of the stepper

```

```

    transHz = absHz + (transCounter * dif);
    if (transTimeMtr.hasPassed(absActTm)){ // Calculate the steps that took place while in
//"For Loop" and increment "transCounter"
        transTimeMtr.restart();
        transCounter = transCounter + 1;
        tone (mtr,transHz);}
    if ((OvTmThreshold.hasPassed(ThrTm)){ // Keeps track of "normal RPM"
        OvTmThreshold.restart();
        if ((RPMPedal >= brkThr) && (NHZ >= minHz)){
            NHZ = NHZ - 1;}
        else if ((RPMPedal <= gasThr) && (NHZ < maxHz)){
            NHZ = NHZ + 1;}
        }
        dif = (NHZ - absHz)/ DifDivider; // Calculates dif based on the new NHZ
    }
    absHz = NHZ; // Update initial "lockingSequence" step time
}

//--> -- NORMAL ACCEL-DECCEL --
    if ((RPMPedal >= brkThr) && (NHZ >= minHz) &&
(OvTmThreshold.hasPassed(ThrTm))){ // Deccelerate only to minimum RPM
        NHZ = NHZ - 1;
        absHz = NHZ;
        OvTmThreshold.restart();
    }
    if ((RPMPedal <= gasThr) && (NHZ < maxHz) && (OvTmThreshold.hasPassed(ThrTm))){
// Accelerate only to maximum RPM
        NHZ = NHZ + 1;
        absHz = NHZ;
        OvTmThreshold.restart();
    }
    if (timeMtr.hasPassed((1/NHz)*1000000)){ // Calculate the steps that took
place after "LockingSequence"
        timeMtr.restart();

```

```

    NHzCounter = NHzCounter + 1;
}
tone (mtr,NHz);                // Change motor frequency (NHz)

/-->    -- CONTROL MOTOR NEAR "LOWER RPM LIMIT" --
if ((NHz < minHz) && (power)){    // Disable motor bellow min. RPM
    digitalWrite (mtrEn,LOW);
    power = false;
}
if ((NHz > minHz) && (!power)){    // Enable motor above min. RPM
    digitalWrite (mtrEn,HIGH);
    power = true;}
}

void lockingSequence() {
    while ((RMPedal >= absBrkThr) && (absCounter < y) && (absHz > minHz) && (NHz >
minHz) && ((80*NHz/100) < absHz)){
        if (absTmThreshold.hasPassed(absActTm)){    // EXCESSIVE decel || wheel lock up
            absTmThreshold.restart();
            absHz = absHz - 2;
            absCounter = absCounter + 1;
        }
        tone (mtr,absHz);
        if (OvTmThreshold.hasPassed(ThrTm)){    // Keeps track of "normal RPM"
            OvTmThreshold.restart();
            NHz = NHz - 1;
        }
    }
}
dif = (NHz - absHz)/ DifDivider;    // "DifDivider" #defined in the start
absCounter = 0;                    // Reset before leaving subroutine
NHzCounter = 0;                    // Reset before leaving subroutine
transTimeMtr.restart();            // Reset before leaving subroutine
}

```

8. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, για την βελτίωση της ενεργητικής ασφάλειας του οχήματος απαραίτητη είναι η προσθήκη ενός συστήματος το οποίο θα περιορίζει την λειτουργία των ελαστικών του οχήματος στο εύρος με τον μέγιστο δυνατό συντελεστή τριβής. Η επίτευξη του περιορισμού αυτού επιτυγχάνεται μέσω της λειτουργίας των επιπρόσθετων συστημάτων ABS, ESP και TCS. Στοχεύοντας στην επισκευή μίας ήδη υπάρχουσας εκπαιδευτικής πινακίδας του συστήματος ABS, δημιουργήθηκε η πλακέτα η οποία αποτελεί την βάση για την προσομοίωση των τροχών του οχήματος. Με την πλακέτα να προσομοιώνει την μεταβολή της ταχύτητας των τροχών, δυνατή είναι πλέον η λήψη μετρήσεων από το σύστημα ABS κατά την διάρκεια της παρεμβατικής του λειτουργίας. Η ύπαρξη της πλακέτας αυτής δίνει επίσης την δυνατότητα για μελλοντική βελτίωση της εκπαιδευτικής πινακίδας. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να γίνει αντικαθιστώντας το ήδη υπάρχον σύστημα ABS το οποίο χρησιμοποιεί βαλβίδες 3/3 με ένα εκσυγχρονισμένο και συνηθέστερο πλέον σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί βαλβίδες 2/2 χωρίς όμως να εμπεριέχει λειτουργίες όπως ESP και TCS, όπως το σύστημα που χρησιμοποιείται στα Honda CR-V από το 2002-2004 ή στα Honda Civic από το 1996-2000. Επιπλέον, μέσω της αντικατάστασης των μικροελεγκτών με κάποιους μεγαλύτερων επιδόσεων δυνατή θα μπορούσε να γίνει και η προσομοίωση συνθηκών υπό τις οποίες θα παρουσιάζεται η λειτουργία των συστημάτων ESP και TCS, δεδομένου ότι και η υπόλοιπη πινακίδα έχει εξοπλιστεί με αυτά τα συστήματα και τους αισθητήρες και ενεργοποιητές τους.

Συνομογραφίες

A.

ABS (Anti-lock Braking System)

ALB (Anti-Locking Brakes)

ABSCM (ABS Control Module)

ASR (Anti-Slip Regulation)

ADC (Analog to Digital Converter)

B.

BDC motor (Brushed Direct Current motor)

BLDC motor (BrushLess Direct Current motor)

BDW (Brake Disc Wiping)

C.

CAN (Controller Area Network)

CDP (Controlled Deceleration for Parking)

CDD (Controlled Deceleration for Driver assistance systems)

D.

DBC (Downhill Brake Control)

DSC (Dynamic Stability Control)

E.

ESP (Electronic Stability Control)

ESPCM (Electronic Stability Program Control Module)

ECU (Electronic Control Unit)

EBD (Electronic Brake-force Distribution)

EDTC (Engine Drag Torque Control)

EBB (Electric Brake Booster)

ECM (Electronic Control Module)

G.

GM (General Motors)

H.

HCU (Hydraulic Control Unit)

HBA (Hydraulic Brake Assist)

HAB (Hill start Assist Control)

HHC (Hill Hold Control)

HDC (Hill Decent Control)

HFC (Hydraulic Fading Compensation)

HRB (Hydraulic Rear wheel Boost)

I.

IMSA (International Motor Sports Association)

IMU (Inertia Measurement Unit)

L.

LED (Light Emitting Diode)

M.

MEMS (MicroElectroMechanical Systems)

MCU (Micro Controller Unit)

N.

NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)

N.C. (Normally Closed)

N.O. (Normally Open)

P.

PBA (Panic Brake Assist)

PCB (Printed Circuit Board)

R.

ROP (Roll Over Prevention)

S.

SAE (Society of Automotive Engineers)

SCCA (Sports Car Club of America)

SUV (Sport Utility Vehicle)

SAS (Steering Angle Sensor)

SWAS (Steering Wheel Angle Sensor)

STV (Shuttle Valve)

T.

TCS (Traction Control System)

TTL (Transistor-Transistor Logic)

V.

VSA (Vehicle Stability Assist)

VR (variable reluctance)

W.

WSS (Wheel Speed Sensor)

Αναφορές

Παρακάτω παρατίθενται οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την σύνταξη της παραπάνω πτυχιακής εργασίας με την σειρά που αυτές εμφανίζονται κατά την διάρκεια της εργασίας.

- [1] Flight International. (October 1953). "Non-Skid Braking". [Online] pp. 587–588.
Available:
<https://www.flightglobal.com/pdfarchive/view/1953/1953%20-%201433.html>
- [2] Robert Bosch GmbH., Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics, Publisher Springer Vieweg, 2007
- [3] Shaun Milano. (retrived 20-1-2019). "Allegro Hall-Effect Sensor ICs". [Online].
Available: <https://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications/Allegro-Hall-Effect-Sensor-ICs.aspx>
- [4] Kyron SM. (2005). "ABS ESP System". [Online]. Available:
http://www.servotechnica.spb.ru/viewdocument/BOOKS/CAR/SsangYong/Kyron/Kyron_2_Chasis_008_02_013.pdf?page=11
- [5] Sytze Brouwers, Gerhard Brune, Waldemar Hans Helmut Staib. (February 1976). patent application number "US3989063A". [Online]. Available:
<https://patents.google.com/patent/US3989063A/en>
- [6] David F. Reuter, William D. Cornwell, Viswanath Seetharaman. (February 1997). patent application number "US5603483A". [Online]. Available:
<https://patents.google.com/patent/US5603483A/en>
- [7] Robert Bosch GmbH., Safety, Comfort and Convenience Systems, publisher Robert Bosch, 2006
- [8] Jecs Corporation. (January 2001). patent application number "EP1065678A1". [Online].
Available: <https://patents.google.com/patent/EP1065678A1/en>

Πηγές εικόνων

Παρακάτω παρατίθενται οι πηγές των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την σύνταξη της παραπάνω πτυχιακής εργασίας με την αρίθμηση που φέρουν οι εικόνες κατά την διάρκεια της εργασίας.

- [1] Flight International. (October 1953). "Non-Skid Braking". [Online] pp. 587–588.
Available:
<https://www.flightglobal.com/pdfarchive/view/1953/1953%20-%201433.html>
- [2] John B Turnbull. (February 1964). patent application number "US3231315A". [Online].
Available:
<https://patents.google.com/patent/US3231315A/en?q=anti-lock&before=priority:19720101&after=priority:19680101>
- [3] Bosch Engineering GmbH. (January 2019). "Operation Manual". [Online]. p. 5.
Available:
<http://www.bosch-motorsport.de/content/downloads/Raceparts/en-GB/54592523141183115.html#/Tabs=54676107/>
- [4] Karthik S.G.. (July 2017). "How does ABS work on cars that have drum brakes?". [Online]. Available: <https://www.quora.com/How-does-ABS-work-on-cars-that-have-drum-brakes>
- [7] & [8] Konrad Reif, Automotive Mechatronics, publisher Springer Vieweg, 2015
- [9] Meritor Wabco. (March 1999). "Anti-Lock Braking System Training Program- TP-9738". [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/355267199/tp9738-pdf>
- [14] & [60] Hyundai Motor Company. (retrieved 26-5-2019) "ESP MGH-40". [Online]. pp. 5-6. Available: <http://www.myshared.ru/slide/885176/>
- [15] William Connor.(September 2017) "Why Don't All Bikes Have ABS?". [Online].
Available: <https://www.rideapart.com/articles/254246/why-dont-all-bikes-have-abs/>
- [16] (retrieved 26-05-2019). "ABS Sensors".[Online]. Available:
<https://www.apecbraking.co.uk/Resources/TechniciansGuides/ABS-Sensors.aspx>
- [17] & [22] FAE, (retrieved 13-8-2018). " Revolution and Timing Sensors, Breakdown". [Online]. Available: <http://www.fae.es/en/products/revolution-timing-sensor>

- [20] Shaun Milano. (retrived 20-1-2019). "Allegro Hall-Effect Sensor ICs". [Online]. Available: <https://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications/Allegro-Hall-Effect-Sensor-ICs.aspx>
- [21] Daniel Dwyer. (retrieved 20-1-2019). " Back-Biased Packaging Advances". [Online]. Available: <https://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Semiconductor-Packaging-Publications/Back-Biased-Packaging-Advances.aspx>
- [24] Bosch Engineering GmbH. (retrieved 20-06-2019). " Acceleration Sensor MM5.10". [Online]. Available: <https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/en-GB/51546379119226251.html>
- [25] Aravind Rb. (July 2017). "Motorcycle Inertial Measurement Unit (IMU) Explained". [Online]. Available: <https://www.bikesmedia.in/reviews/motorcycle-inertial-measurement-unit-imu-explained.html>
- [26] .(retrieved 20-09-2018). "Introduction to DSC ". [Online]. p.15. Available: <http://www.ge39.com/files/dsc.pdf>
- [27] μέγρι και [30]. Andrew Bookholt. (June 2010). " iPhone 4 Gyroscope Teardown". [Online]. Available: <https://www.ifixit.com/Teardown/iPhone+4+Gyroscope+Teardown/3156>
- [31] (retrieved 20-09-2018). "Repair Guide". [Online]. Available: https://www.autozone.com/repairguides/Nissan-Frontier-Xterra-1998-05/Anti-Lock-Brake-System/Steering-Angle-Sensor/_/P-0996b43f8037fd71
- [32] Robert Bosch Ltda..(retrieved 25-05-2019)." Precise and Non-Contact: Steering Angle Sensors". [Online]. Available: http://br.bosch-automotive.com/en/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_sytems/electronic_driving_safety_systems/sensors_2/sensors_8.html
- [33] Mazda North American Operations. (2014). "STEERING ANGLE SENSOR". [Online]. Available: <http://mazdaman.x10host.com/sh13393/>
- [34] Barley Li. (February 2018). "Magnetoresistive vs. Hall Effect in Sensor Applications". [Online]. Available: <https://forum.digkey.com/t/magnetoresistive-vs-hall-effect-in-sensor-applications/1185>
- [36] .(retrieved 26-05-2019)." STEERING ANGLE SENSOR CONSTRUCTION/OPERATION". [Online]. Available:

<http://www.mazda3forums.co.uk/workshopmanual/esicont/en/srvc/html/B3E041543000T07.html>

[38] Kyron SM. (2005). "ABS ESP System". [Online]. Available:

http://www.servotechnica.spb.ru/viewdocument/BOOKS/CAR/SsangYong/Kyron/Kyron_2_Chasis_008_02_013.pdf?page=11

[39] Preeti Jain. (retrieved 20-05-2019). "Pressure Sensors". [Online]. Available:

<https://www.engineersgarage.com/articles/pressure-sensors-types-working>

[41] μέγρι και [46] Sytze Brouwers, Gerhard Brune, Waldemar Hans Helmut Staib. (February 1976). patent application number "US3989063A". [Online]. Available:

<https://patents.google.com/patent/US3989063A/en>

[47] μέγρι και [50] David F. Reuter, William D. Cornwell, Viswanath Seetharaman. (February 1997). patent application number "US5603483A". [Online]. Available:

<https://patents.google.com/patent/US5603483A/en>

[51] μέγρι και [53] .(retrieved 10-04-2019). "OTHER ABS ACTUATORS". [Online]. Available:

<http://www.testroete.com/car/Toyota/mr2%20spyder/References/Technical%20Training/05%20-%20Brake%20Systems/22.pdf>

[54] MAHLE. (retrieved 05-04-2019)." Motors for brake systems". [Online]. Available:

<https://www.mahle.com/en/products-and-services/passenger-cars/mechatronics/motors-for-braking-systems/>

[56] Scott Justusson. (retrieved 18-10-2018)." Brake & Hydraulic Problems". [Online].

Available: <http://www.20v.org/brakprob.htm>

[57],[61] & [63] Konrad Reif, Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems, publisher Springer Vieweg, 2014

[58],[66] & [67] Hyundai Motor Company. (retrieved 26-5-2019). "ESP". [Online]. p. 11,49 & 50. Available: <http://www.myshared.ru/slide/885243/>

[59] www.mcx5.org. (retrieved 24-05-2019)" Mazda CX-5 Service & Repair Manual: DSC HU/CM". [Online]. Available: http://www.mcx5.org/dsc_hu_cm-876.html

[60]

[62] ACtronics LTD. (retrieved 22-09-2018). " BOSCH ABS 8.0". [Online]. Available:

<https://www.actronics.co.uk/acinsights/bosch-abs-8-0>

[64] Jecs Corporation. (January 2001). patent application number "EP1065678A1". [Online].

Available: <https://patents.google.com/patent/EP1065678A1/en>

- [65].(December 2015)." Electronic Stability Programme". [Online]. Available:
<https://autoelectricalsystems.wordpress.com/2015/12/20/electronic-stability-programme-esp/>
- [73] & [74] Tony R. Kuphaldt. (July 2007). "Lessons In Electric Circuits Volume II - AC" sixth edition. [Online]. Available:
<https://www.allaboutcircuits.com/assets/pdf/alternating-current.pdf>
- [75] & [76] Nidec servo corporation." NEMA 23 KH56-800 Series".[Online]. Available:
https://www.color-technik.net/wp-content/uploads/2017/08/KH56J-800_ct1814.pdf

Βιβλιογραφία

1. Δημήτρης Πράπας. "Τεχνολογία μετρήσεων-Αρχές και εφαρμογές", Εκδ. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2014
2. Δρ Γ. Παραδεισιάδης. (2012). "ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΡΙΒΟΛΟΓΙΑ". [Online]. Available:
<https://moodle.teithe.gr>
3. Μαλατέστας Παντελής, " Ηλεκτρική Κίνηση", 4η έκδοση., Εκδ. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2015
4. Daniel Dwyer. (retrieved 20-1-2019). " Back-Biased Packaging Advances". [Online]. Available: <https://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Semiconductor-Packaging-Publications/Back-Biased-Packaging-Advances.aspx>
5. Elizabeth N. Mazzae, Frank Barickman, G.H. Scot Baldwin, Garrick Forkenbrock, (January 1999)," Driver Crash Avoidance Behavior with ABS in an Intersection Incursion Scenario on Dry Versus Wet Pavement", [Online], Available:
<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/1999-01-1288/>
6. Elizabeth N. Mazzae, G.H. Scot Baldwin, Daniel V. McGehee, (January 1999), [Online]," Driver Crash Avoidance Behavior with ABS in an Intersection Incursion Scenario on the Iowa Driving Simulator", [Online], Available: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/1999-01-1290/>
7. Ellen Hertz,(September, 2000)," Analysis of the Crash Experience of Vehicles Equipped with All Wheel Antilock Braking Systems (ABS)", [Online], Available:

[https://one.nhtsa.gov/Research/Light-Vehicle-Antilock-Brake-Systems-\(ABS\)-Research-Program#absstats](https://one.nhtsa.gov/Research/Light-Vehicle-Antilock-Brake-Systems-(ABS)-Research-Program#absstats)

8. Garrick Forkenbrock, Mark Flick, W. Riley Garrott, (January 1999), "A Comprehensive Light Vehicle Antilock Brake System Test Track Performance Evaluation", [Online], Available: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/1999-01-1287/>
9. Garrick Forkenbrock, Mark Flick, W. Riley Garrott, (January 1999), "A Test Track Study of Light Vehicle ABS Performance Over a Broad Range of Surfaces and Maneuvers", [Online], Available: [https://one.nhtsa.gov/Research/Light-Vehicle-Antilock-Brake-Systems-\(ABS\)-Research-Program#abshw](https://one.nhtsa.gov/Research/Light-Vehicle-Antilock-Brake-Systems-(ABS)-Research-Program#abshw)
10. Konrad Reif, Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems, pp 28-153, publisher Springer Vieweg, 2014
11. Konrad Reif, Automotive Mechatronics, pp. 354-411 publisher Springer Vieweg, 2015
12. Petruzella Frank D., " Ηλεκτρικό ηλεκτρονικό σύστημα αυτοκινήτου", 1η έκδοση., Εκδ. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 1997
13. Shaun Milano. (retrived 20-1-2019). "Allegro Hall-Effect Sensor ICs". [Online]. Available: <https://www.allegromicro.com/en/Design-Center/Technical-Documents/Hall-Effect-Sensor-IC-Publications/Allegro-Hall-Effect-Sensor-ICs.aspx>
14. Tony R. Kuphaldt. (November 2007). "Lessons In Electric Circuits Volume IV - Digital" fourth edition. [Online]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/assets/pdf/digital.pdf>
15. Tony R. Kuphaldt. (July 2007). "Lessons In Electric Circuits Volume II - AC" sixth edition. [Online]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/assets/pdf/alternating-current.pdf>
16. W. Riley Garrott, Elizabeth N. Mazzae, (January 1999), "An Overview of the National Highway Traffic Safety Administration's Light Vehicle Antilock Brake Systems Research Program", [Online], Available: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/1999-01-1286/>