

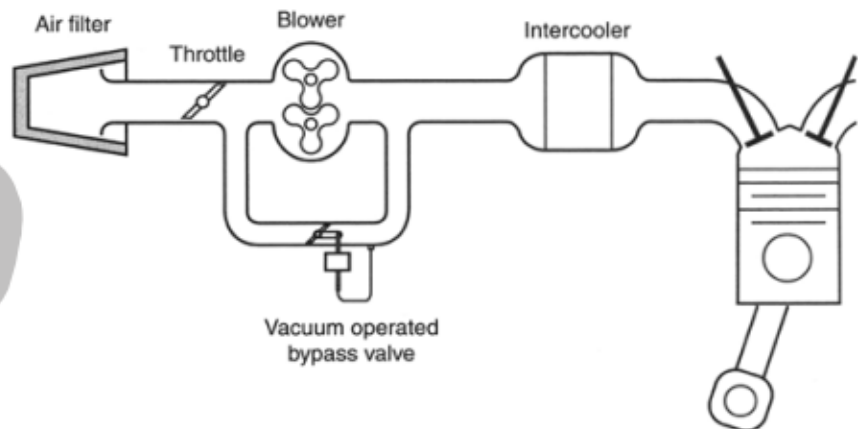


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ



ΛΟΥΚΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΛΑΪΤΖΑΚΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Αφιερωμένο,

στους γονείς μου Παύλο Λουκάκη και Ουρανία Σίδηρη

στον αδερφό μου Ηλία Λουκάκη

στον φίλο και συνεργάτη Αθανάσιο Μαλισόβα

στους συγκατοίκους μου Ορέστη Λοϊζίδη και Εμμανουήλ Γιαννόπουλο

Πρόλογος

Η εξέλιξη των δυνατοτήτων των ηλεκτρονικών επεξεργαστών σε συνδυασμό με το φθηνό αναλογικά κόστος τους, ο έντονος ανταγωνισμός μεταξύ των αυτοκινητοβιομηχανιών, καθώς και η απαίτηση χαμηλής κατανάλωσης καυσίμου και εκπομπής ρύπων έχουν επιβάλει σε κάθε νέο αυτοκίνητο που εξέρχεται από την παραγωγή, τη χρήση ηλεκτρονικών μονάδων διαχείρισης, ή αλλιώς ECU (Electronic Control Unit). Η τεχνολογία τους ωστόσο, δεν αποτελεί προνόμιο μόνο για τις αυτοκινητοβιομηχανίες. Τώρα πλέον, είναι διαθέσιμες στο ευρύ κοινό σε προσιτές τιμές. Πρόκειται για ηλεκτρονικές μονάδες που λειτουργούν είτε αυτόνομα (stand alone), είτε παράλληλα με τις προεγκατεστημένες, παρέχοντας με τον τρόπο αυτό μεγάλη ευελιξία σε εφαρμογές που αφορούν από αυτοκίνητα δρόμου μέχρι αγωνιστικά. Μια τέτοια μονάδα προτείνεται στην παρούσα εργασία, για να διαχειριστεί τις μετατροπές που γίνονται στο όχημα, αναβαθμίζοντας τον τρόπο διαχείρισης του κινητήρα και των περιφερειακών του συστημάτων. Συγκεκριμένα, ένας μόνιμα εγκατεστημένος στο αυτοκίνητο ηλεκτρονικός υπολογιστής αποθηκεύει δεδομένα από τη μονάδα διαχείρισης, δίνοντας έτσι στο χρήστη τη δυνατότητα μελέτης και παραμετροποίησής της, προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Προκειμένου να επιτευχθεί το αποτέλεσμα της παρούσης εργασίας, συνέβαλαν αρκετά άτομα προσφέροντας τη βοήθεια και την υποστήριξή τους. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο και συνεργάτη Αθανάσιο Μαλισόβα του οποίου η συνεισφορά στο ηλεκτρολογικό τμήμα της εργασίας ήταν ανεκτίμητη. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές μου κ. Αντωνιάδη Αριστομένη και κ. Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο και το μέλος της επιτροπής κ. Νικολό Ιωάννη, οι οποίοι μου έδωσαν την αφορμή για να κάνω μια πιο ολοκληρωμένη και επιστημονικά καταρτισμένη μελέτη.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στο φίλο μου Μaráκη Βαλάντη για τη συμβολή του στη σύλληψη της ιδέας και τις πρακτικές συμβουλές του, στον μηχανικό αυτοκινήτων κ. Πατεράκη Νώε για την αφιλοκερδή βοήθεια που μου προσέφερε, καθώς και στον κ. Λεβάκη Ιωάννη για την καλή ποιότητα των συγκολλήσεων που χρειάστηκαν για το σύστημα εισαγωγής του αέρα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω για την ένθερμη υποστήριξή τους, τους φίλους μου Λοιζίδη Ορέστη, Αστέρη Μεγασθένη, Γιαννόπουλο Εμμανουήλ, Μαλισόβα Αικατερίνη, Γεωργοπούλου Μαρία, Τζεδάκη Αικατερίνη, Καμπιανάκη Ελευθέριο, Τζουρμπάκη Γεώργιο, Αγαδάκο Νικόλαο, Αγαδάκο Ιωάννη και φυσικά τους γονείς μου και τον αδερφό μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ηλεκτρονικής διαχείρισης ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης, ο οποίος με τη χρήση ενός ιμαντοκίνητου υπερσυμπιεστή (supercharger) μπορεί να λειτουργήσει σε πίεση εισερχόμενου αέρα μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική στην οποία λειτουργούσε αρχικά, αυξάνοντας έτσι την παραγόμενη ισχύ του.

Ο κινητήρας, ο οποίος υφίσταται τη μετατροπή, είναι κυβισμού 1796 cm^3 της εταιρίας BMW, ενώ ο υπερσυμπιεστής που προστίθεται είναι τύπου Roots της εταιρίας Eaton Roots και έχει αφαιρεθεί από αυτοκίνητο της Mercedes-Benz. Η μετατροπή αυτή έχει νέες απαιτήσεις τις οποίες η εργοστασιακή ηλεκτρονική μονάδα διαχείρισης του κινητήρα δεν μπορεί να καλύψει επαρκώς και για τον λόγο αυτό αντικαθίσταται από μια νέα, αυτόνομη (standalone), της εταιρίας Megasquirt. Σε αυτή συνδέεται ο πίνακας οργάνων, όλοι οι αισθητήρες του κινητήρα, μερικοί αισθητήρες του αυτοκινήτου και κάποιοι επιπρόσθετοι που βοηθούν στην ομαλή και ασφαλή λειτουργία του κινητήρα. Για την καλύτερη κατανόηση του συστήματος και των αναγκών του, επεξηγούνται οι βασικές αρχές της λειτουργίας των κινητήρων εσωτερικής καύσης, τα είδη των συμπιεστών και οι διαφορές τους, ενώ μελετάται ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση του συστήματος υπερτοφοδότησης.

Στη συνέχεια αναλύονται:

- τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της αντικατάστασης της εργοστασιακής μονάδας, καθώς και άλλες εναλλακτικές που εφαρμόζονται
- οι αισθητήρες που χρησιμοποιεί η ηλεκτρονική μονάδα, η χρησιμότητα και ο τρόπος λειτουργίας τους
- η κατασκευή και η συνδεσμολογία της μονάδας, καθώς και άλλα επιπρόσθετα συστήματα
- η παραμετροποίηση της ηλεκτρονικής μονάδας διαχείρισης που προσφέρει ομαλή και ασφαλή διαχείριση του κινητήρα στις νέες απαιτήσεις

Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν στην αύξηση της ισχύος, τη λειτουργικότητα, τις καινοτομίες και τα πλεονεκτήματα του συστήματος, ενώ γίνεται αναφορά σε δυνατότητες για μετέπειτα αναβάθμιση που προσφέρει η μονάδα.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	9
1.1 Ανάγκες διαχείρισης της μετατροπής.....	9
1.2 Κατασκευαστικές ανάγκες της μετατροπής.....	10
1.3 Μια υπάρχουσα δημοφιλής προσέγγιση.....	11
2. Κινητήρες εσωτερικής καύσης και υπερτροφοδότηση.....	13
2.1 Βασικές αρχές τετράχρονων κινητήρων εσωτερικής καύσης	13
2.2 Εσωτερικά φορτία	16
2.3 Σκοπός της υπερτροφοδότησης	21
2.4 Περιορισμοί της μέγιστης ισχύος.....	23
2.4.1 Αυτανάφλεξη και προανάφλεξη	23
2.4.2 Λόγος συμπίεσης	24
3. Συστήματα υπερτροφοδότησης.....	26
3.1 Σημαντικά είδη υπερσυμπιεστών	26
3.2 Υπερσυμπιεστές τύπου Roots	32
3.3 Διαχείριση του εισερχόμενου αέρα	33
4. Σχεδίαση και κατασκευή του συστήματος υπερτροφοδότησης	37
4.1 Αντικείμενα υπό μελέτη.....	37
4.2 Εγκατάσταση του υπερσυμπιεστή	40
4.3 Κατασκευή της νέας εισαγωγής αέρα του κινητήρα	46
4.4 Ψύξη του εισερχόμενου στον κινητήρα αέρα	51
4.5 Σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων	57
5. Ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης	59
5.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης αυτόνομης ηλεκτρονικής μονάδας	59
5.2 Κατασκευή και έλεγχος της μονάδας	61
5.3 Αντικατάσταση της εργοστασιακής μονάδας.....	65
6. Είσοδοι και έξοδοι της ηλεκτρονικής μονάδας	72
6.1 Σχεδιαγράμματα εισόδων και εξόδων της ηλεκτρονικής μονάδας	72
6.2 Σύστημα ψεκασμού καυσίμου	74
6.3 Σύστημα ανάφλεξης	78
6.4 Αισθητήρες θέσης του κινητήρα	81
6.5 Αισθητήρες που χρησιμοποιούν τον νόμο του διαιρέτη τάσης	85
6.5.1 Αισθητήρες πίεσης λαδιού και καυσίμου	87

6.5.2	Αισθητήρας θερμοκρασίας λαδιού	90
6.6	Αισθητήρες οξυγόνου (αισθητήρες λάμδα).....	93
6.7	Αισθητήρες κρουστικής καύσης (knock sensors)	98
6.8	Αισθητήρας θερμοκρασίας καυσαερίων και κύκλωμα ενίσχυσης σήματος ...	102
6.9	Αισθητήρας ταχύτητας του οχήματος και στοφόμετρο.....	106
6.10	Κύκλωμα ελέγχου πίεσης υπερπλήρωσης (boost control)	107
6.11	Υπολογισμός της μάζας του εισερχόμενου αέρα	109
6.12	Μονάδα κλιματισμού (air condition unit)	111
6.13	Περιφερειακά κυκλώματα και εφαρμογές της ηλεκτρονικής μονάδας.....	115
6.13.1	Πίνακας ελέγχου	115
6.13.2	Table switch	116
6.13.3	Flat shift - launch control	117
6.14	Συνεργασία της ηλεκτρονικής μονάδας με car computer.....	117
7.	Παραμετροποίηση της ηλεκτρονικής μονάδας και διαχείριση του κινητήρα	120
7.1	Στόχοι της ηλεκτρονικής διαχείρισης.....	120
7.2	Διαχείριση ηλεκτρικών βαλβίδων	121
7.3	Διαχείριση γωνίας προπορίας ανάφλεξης (timing advance)	123
7.4	Διαχείριση καυσίμου	124
7.5	Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων	127
8.	Αποτελέσματα - Συμπερασματα	129
8.1	Απόδοση του συστήματος	129
8.2	Μελλοντικές επεκτάσεις	132
9.	Βιβλιογραφία	134

1.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ανάγκες διαχείρισης της μετατροπής

Η μετατροπή ατμοσφαιρικών κινητήρων σε υπερτροφοδοτούμενους είναι μια διαδικασία που απαιτεί εκτεταμένη μελέτη, προϋποθέτει χρόνο και απαιτεί σημαντικό οικονομικό κόστος.

Ο προς μετατροπή κινητήρας πρόκειται να υποστεί σημαντικά φορτία, κυρίως θερμικά, για τα οποία δεν έχει σχεδιαστεί από το εργοστάσιο. Για να λειτουργήσει ο κινητήρας σωστά, με ασφάλεια και να αποδώσει τα μέγιστα, μετά από μια τέτοια μετατροπή θα πρέπει να λειτουργεί πάντα με την ακριβή ποσότητα καυσίμου που χρειάζεται, ενώ η ανάφλεξη θα πρέπει να γίνεται τη σωστή στιγμή του κύκλου καύσης (αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο).

Οι δύο αυτοί πολύ σημαντικοί παράγοντες αποτελούν από μόνοι τους αντικείμενο μελέτης και εξέλιξης στο επιστημονικό πεδίο της διαχείρισης των κινητήρων. Οι φθηνές και εύκολες λύσεις που χρησιμοποιούνται από μηχανικούς του χώρου και είναι βασισμένες συνήθως στην εμπειρία τους, υπολείπονται επιστημονικής ανάλυσης κι έχουν ως αποτέλεσμα πολλούς κατεστραμμένους κινητήρες ή κινητήρες που δεν λειτουργούν σωστά.

Στην παρούσα εργασία, η λεπτομερής διαχείριση των παραγόντων αυτών γίνεται από μία ηλεκτρονική μονάδα διαχείρισης, η οποία αντικαθιστά την εργοστασιακή που υπήρχε στο αυτοκίνητο, δίνοντας μεγάλη ευελιξία ταυτόχρονα και στον έλεγχο των περιφερειακών τμημάτων του κινητήρα. Ο τρόπος αυτός διαχείρισης είναι ο πιο κοστοβόρος και χρονοβόρος, σε σχέση με τις άλλες εναλλακτικές. Ωστόσο, εξασφαλίζει το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα ως

αναφορά την ισχύ, την οικονομία και την ομαλή λειτουργία, προσφέροντας επιπλέον και κάποιες πολύ χρήσιμες εφαρμογές. Στα επόμενα κεφάλαια εξετάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του, καθώς και οι άλλοι εναλλακτικοί τρόποι που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αντί αυτού.

1.2 Κατασκευαστικές ανάγκες της μετατροπής

Η υπερτροφοδότηση ενός ατμοσφαιρικού κινητήρα, είναι μια διαδικασία που μπορεί να γίνει κατασκευαστικά με πολλούς τρόπους, ανάλογα με το είδος του υπερσυμπιεστή και τη χρήση για την οποία προορίζεται.

Στη συγκεκριμένη μετατροπή χρησιμοποιείται ένας ιμαντοκίνητος υπερσυμπιεστής τύπου Roots, η λειτουργία του οποίου αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο. Ο υπερσυμπιεστής αυτός έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες αντίστοιχες μετατροπές που αφορούν αυτοκίνητα δρόμου ή αγωνιστικά, ενώ ο τρόπος εγκατάστασης διαφέρει από όχημα σε όχημα, ακόμα και αν το μοντέλο του οχήματος είναι το ίδιο. Σε όλες αυτές τις μετατροπές υπάρχουν κοινές ομοιότητες και κοινές αστοχίες, με πρώτη στη λίστα τη δημιουργία υψηλής πίεσης αέρα χωρίς να υπάρχει σύστημα για την ψύξη του.

Σε επόμενο κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος ψύξης του αέρα που εφαρμόστηκε, καθώς και διάφορες εναλλακτικές προσεγγίσεις που εξετάστηκαν. Μία άλλη συνήθης διαφορά είναι το σημείο τοποθέτησης της βαλβίδας του γκαζιού, ή αλλιώς throttle body. Η τελευταία είναι η βαλβίδα που επιτρέπει στον αέρα να περάσει στον κινητήρα, όταν ο οδηγός πιέζει το πεντάλ του γκαζιού, και μπορεί να εγκατασταθεί πριν ή μετά από έναν υπερσυμπιεστή τύπου Roots.

Η βασική δυσκολία ωστόσο στην χρήση των υπερσυμπιεστών Roots είναι η ανάγκη για χώρο και γερή έδραση. Λόγω του μακρόστενου σχήματός τους, στις περισσότερες εφαρμογές είναι υποχρεωτική η αντικατάσταση της εργοστασιακής εισαγωγής αέρα (intake manifold) με μια νέα, η οποία θα δίνει στον υπερσυμπιεστή τον απαραίτητο χώρο. Οι υπερσυμπιεστές Roots, εκτός από ανάγκη για χώρο, λόγω των κραδασμών που παράγουν, έχουν ανάγκη για πολύ γερή έδραση που δεν θα τους επιτρέπει να κάνουν καμία άλλη ταλάντωση εκτός από αυτή του κινητήρα. Μια

τέτοια κατάσταση θα προκαλούσε καταστροφή του υπερσυμπιεστή, βάζοντας σε κίνδυνο και τον κινητήρα από τυχόν θραύσματα που μπορεί να μεταφερθούν μέσω του εισερχόμενου αέρα.

Κατά τη μελέτη της έδρασης, εκτός από την αντοχή της θα πρέπει να εξεταστεί και η μετάδοση της κίνησης στον υπερσυμπιεστή μέσω του ιμάντα. Ο υπερσυμπιεστής θα πρέπει να τοποθετηθεί σε σημείο τέτοιο που θα επιτρέπεται σε ιμάντα να περάσει και να του μεταδώσει κίνηση, ενώ θα πρέπει να είναι τέλεια ευθυγραμμισμένος μαζί του.

Σε επόμενο κεφάλαιο αναλύεται το κάθε ένα από τα παραπάνω, αλλά και ο τρόπος με τον οποίο συνδυάζονται ώστε να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα, το οποίο συνίσταται στη μέγιστη απόδοση, την άμεση ανταπόκριση στις εντολές του οδηγού, την αξιοπιστία του συστήματος και την ασφάλεια του κινητήρα.

1.3 Μια υπάρχουσα δημοφιλής προσέγγιση

Μια παρόμοια μετατροπή με αυτή που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, έχει κατασκευαστεί στο παρελθόν από μια αμερικανική εταιρία και έχει σημειώσει μεγάλη επιτυχία. Η εταιρία αυτή ονομάζεται Downing Atlanta (D/A), αλλά πλέον δεν παράγει τη μετατροπή αυτή. Ωστόσο, αποτελεί ένα καλό παράδειγμα μιας αξιόπιστης και αξιόλογης μετατροπής που είναι και κλασικό παράδειγμα χρήσης υπερσυμπιεστών τύπου Roots. Η D/A χρησιμοποιούσε τον υπερσυμπιεστή της εταιρίας Eaton Roots με κωδικό M62, ο οποίος είναι παρόμοιος με αυτόν που χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία. Η βασική διαφορά είναι η έλλειψη κάποιου συστήματος ψύξης του εισερχόμενου αέρα και η διατήρηση της εργοστασιακής ECU. Τις αυξημένες ανάγκες καυσίμου τις κάλυπτε μηχανικά, αυξάνοντας την πίεση στο κύκλωμα καυσίμου, χωρίς να παρεμβαίνει καθόλου στο ηλεκτρονικό κύκλωμα του κινητήρα.

Η μέθοδος αυτή εξετάζεται στο επόμενο κεφάλαιο και αποτελεί συνήθως τον πιο απλό τρόπο για την κάλυψη των νέων αναγκών του κινητήρα σε καύσιμο. Η μετατροπή αυτή κόστιζε περίπου 3.500\$ ενώ αύξανε την ισχύ του κινητήρα από 143hp σε σχεδόν 200hp και μπορούσε να εγκατασταθεί εύκολα μέσα σε λίγες ώρες. Η πολύ καλά μελετημένη αυτή μετατροπή αύξανε στο μέγιστο την ισχύ που θα μπορούσε να παράξει ο εν λόγω κινητήρας, με την προϋπόθεση ότι δεν γίνονται περαιτέρω επεμβάσεις σε ηλεκτρονικά και μηχανικά τμήματα. Το σύστημα αυτό

ωστόσο άφησε κάποια κενά σε θέματα κατανάλωσης, ασφάλειας και μέγιστης δυνατής ισχύος, τα οποία θα μπορούσαν να συμπληρωθούν μόνο με ηλεκτρονική παρέμβαση. Στη φωτογραφία που ακολουθεί φαίνονται όλα τα εξαρτήματα της μετατροπής από τα οποία διακρίνονται ο υπερσυμπιεστής (I), η εισαγωγή αέρα (H), το φίλτρο αέρα (A), ο ρυθμιστής πίεσης καυσίμου (G) και ο ιμάντας κίνησης (F).



Σχήμα 1-1. Το σύστημα της Downing Atlanta για κινητήρες M42&M44



Σχήμα 1-2. Το σύστημα της Downing Atlanta εγκατεστημένο σε κινητήρα M44.

2.

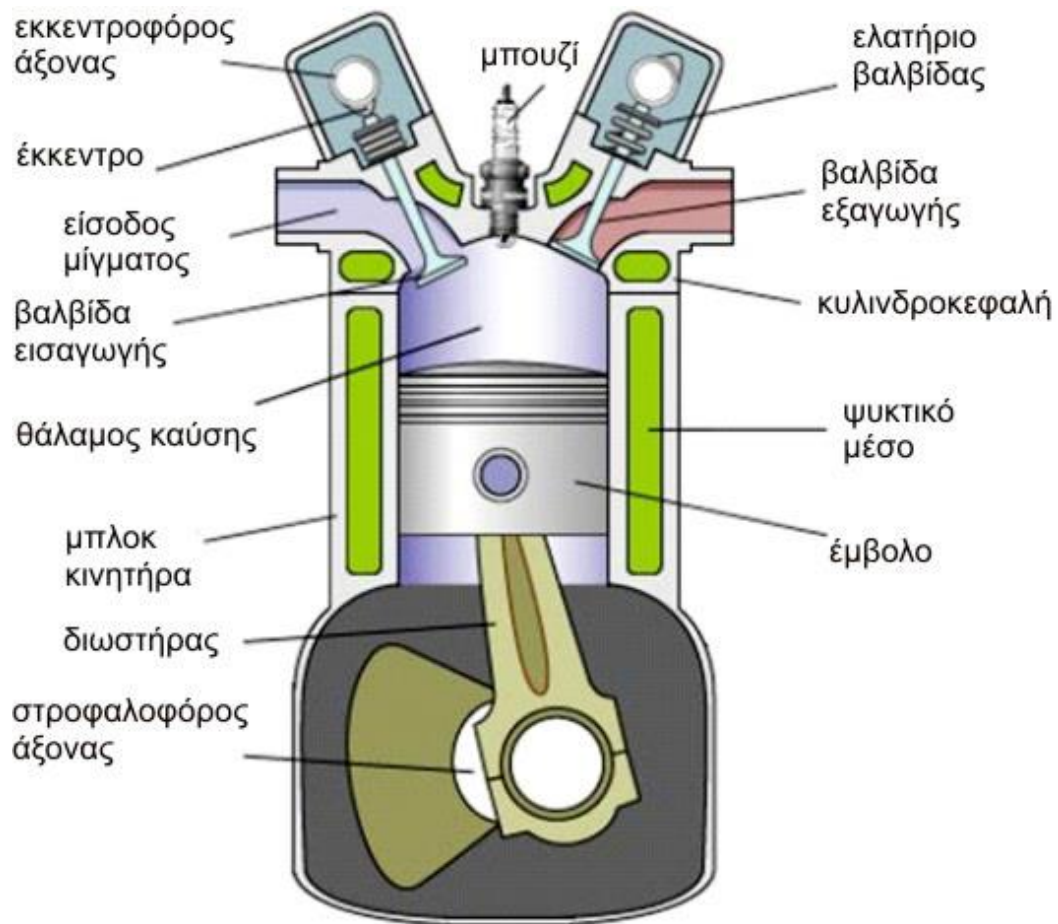
Κινητήρες εσωτερικής καύσης και υπερτροφοδότηση

2.1 Βασικές αρχές τετράχρονων κινητήρων εσωτερικής καύσης.

Το εσωτερικό τμήμα των τετράχρονων εμβολοφόρων κινητήρων εσωτερικής καύσης αποτελείται από 6 βασικά εξαρτήματα, τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-1. Τα εξαρτήματα αυτά είναι:

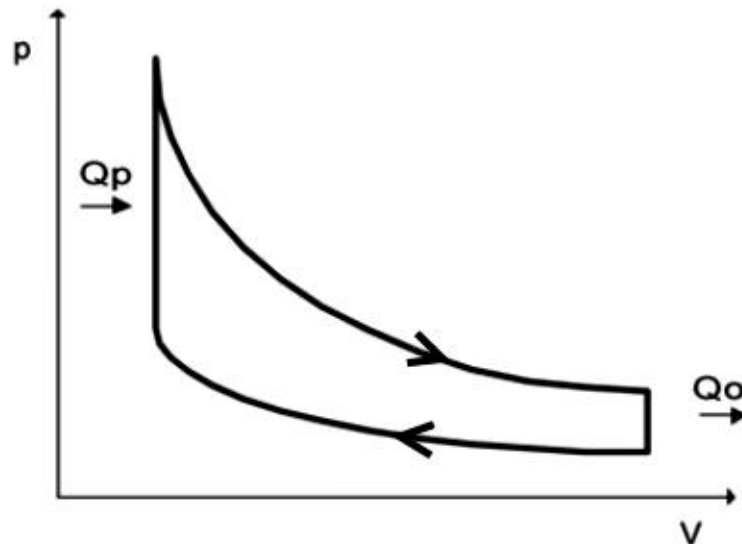
- Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής του αέρα και των καυσαερίων αντίστοιχα (intake & exhaust valves)
- Ο εκκεντροφόρος άξονας (camshaft), ο οποίος περιστρέφεται και φροντίζει να ανοίγουν και να κλείνουν οι βαλβίδες τη σωστή χρονική στιγμή
- Τα έμβολα, ή αλλιώς πιστόνια (pistons)
- Ο στροφαλοφόρος άξονας (crankshaft), ο οποίος περιστρέφεται και μεταφέρει την παραγόμενη ισχύ στο σύστημα μετάδοσης κίνησης του αυτοκινήτου

- Οι διωστήρες, ή αλλιώς μπιέλες (connecting rods), που συνδέουν το έμβολο με τον στροφαλοφόρο άξονα
- Τα μπουζί, ή αλλιώς σπινθηριστές (spark plugs), τα οποία δημιουργούν την ηλεκτρική εκκένωση που προκαλεί την ανάφλεξη του μείγματος αέρα-καυσίμου



Σχήμα 2-1. Μοντέλο τετράχρονου εμβολοφόρου κινητήρα εσωτερικής καύσης.

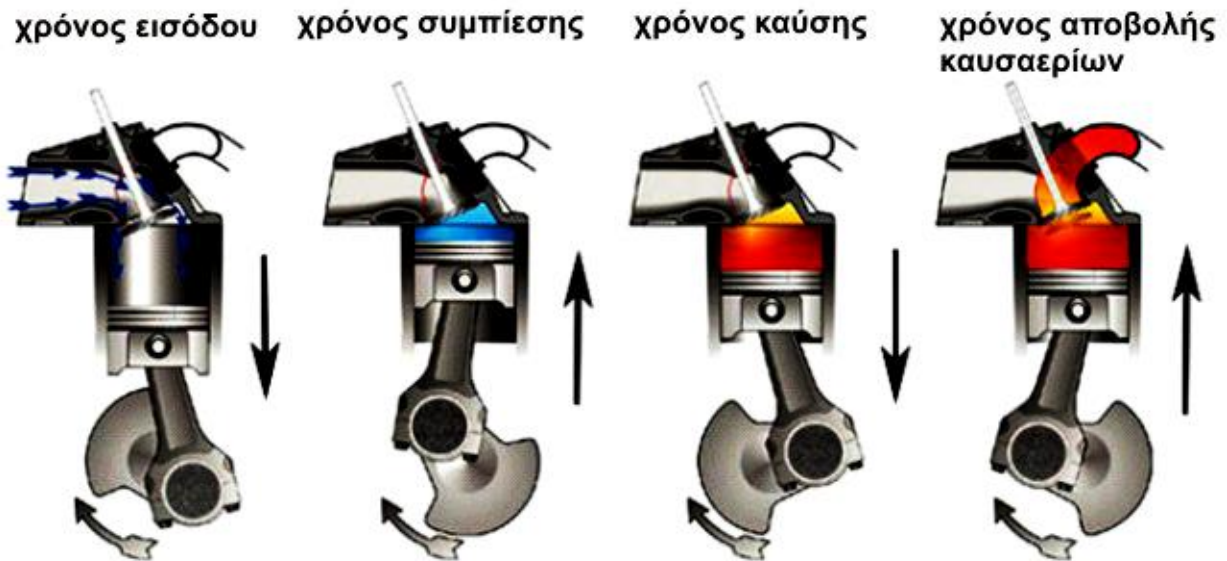
Στην παρούσα εργασία ο υπό μετατροπή κινητήρας που εξετάζεται είναι ένας τετράχρονος τετρακύλινδρος εμβολοφόρος κινητήρας εσωτερικής καύσης και για το λόγο αυτό στη συνέχεια με τον όρο “κινητήρας” εννοείται η συγκεκριμένη κατηγορία κινητήρων. Οι κινητήρες αυτοί λειτουργούν βάση του ιδανικού θερμοδυναμικού κύκλου του Otto (Σχήμα 2-2). Για να ολοκληρωθεί ένας κύκλος καύσης πραγματοποιούνται δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα, όπου η κάθε περιστροφή περιλαμβάνει τους δύο από τους τέσσερις χρόνους, ή αλλιώς φάσεις (Σχήμα 2-3). Από τις τέσσερις αυτές φάσεις μόνο στη μια παράγεται.



Σχήμα 2-2. Διάγραμμα πίεσης-όγκου του ιδανικού κύκλου Otto, όπου Q_p είναι η θερμότητα που προσφέρεται από την καύση και Q_o η θερμότητα που εξέρχεται με τα καυσαέρια. Το εμβαδό που περιγράφεται είναι το συνολικό ωφέλιμο έργο που παράγεται.

Οι τέσσερις χρόνοι του κύκλου είναι:

- Ο χρόνος εισόδου (induction stroke). Είναι η πρώτη φάση της πρώτης περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα. Στη φάση αυτή είναι ανοιχτή η βαλβίδα της εισαγωγής αέρα και το μείγμα αέρα-καυσίμου εισέρχεται στο θάλαμο καύσης καθώς το έμβολο κατεβαίνει.
- Ο χρόνος συμπίεσης (compression stroke). Είναι η δεύτερη φάση της πρώτης περιστροφής, κατά την οποία η βαλβίδα εισαγωγής έχει κλείσει και το έμβολο ανεβαίνει συμπιέζοντας το μείγμα. Λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο άνω νεκρό σημείο (ΑΝΣ), ξεκινάει η καύση του μείγματος.
- Ο χρόνος καύσης (power stroke). Είναι η πρώτη φάση της δεύτερης περιστροφής, η οποία είναι και η φάση στην οποία παράγεται το ωφέλιμο έργο. Η ηλεκτρική εκκένωση, έχει ήδη προκαλέσει ανάφλεξη του μείγματος, το οποίο ωθεί το έμβολο προς τα κάτω, παράγοντας έτσι το ωφέλιμο έργο.
- Ο χρόνος καύσης (exhaust stroke). Είναι η δεύτερη φάση της δεύτερης περιστροφής, κατά την οποία η βαλβίδα της εξαγωγής ανοίγει και το έμβολο ανεβαίνοντας οδηγεί τα καυσαέρια εκτός του θαλάμου καύσης.



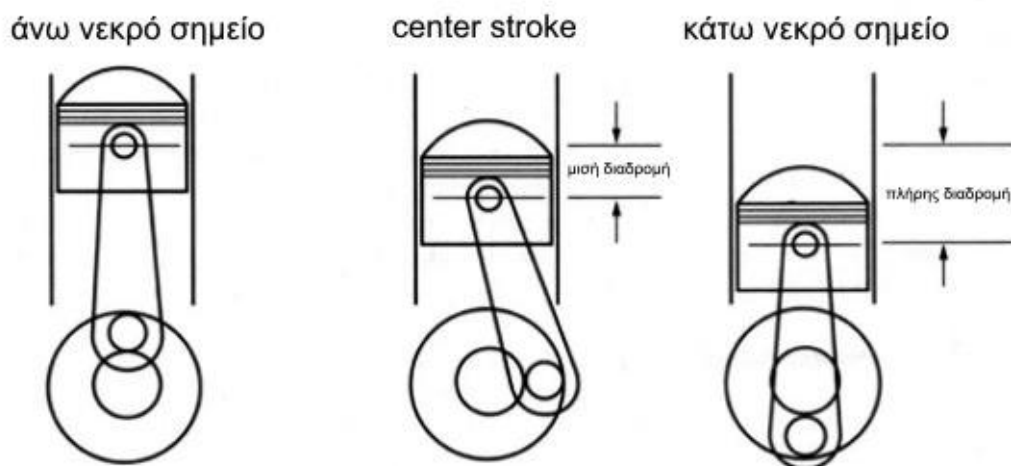
Σχήμα 2-3. Οι τέσσερις χρόνοι του κύκλου καύσης (Πηγή: <http://shaikmoin.wordpress.com/tag/petrol-engine>)

2.2 Εσωτερικά φορτία

Οι κινητήρες καλούνται να αντιμετωπίσουν δύο είδη εσωτερικών φορτίων, τα αδρανειακά φορτία και τα φορτία καύσης. Τα πρώτα μπορεί να είναι φορτία θλίψης ή εφελκυσμού και προκαλούνται από την αδράνεια των ίδιων των κινούμενων τμημάτων του κινητήρα, ενώ τα δεύτερα είναι πάντα φορτία θλίψης και προκαλούνται από την αύξηση της πίεσης που προκαλεί το φλεγόμενο μείγμα αέρα-καυσίμου.

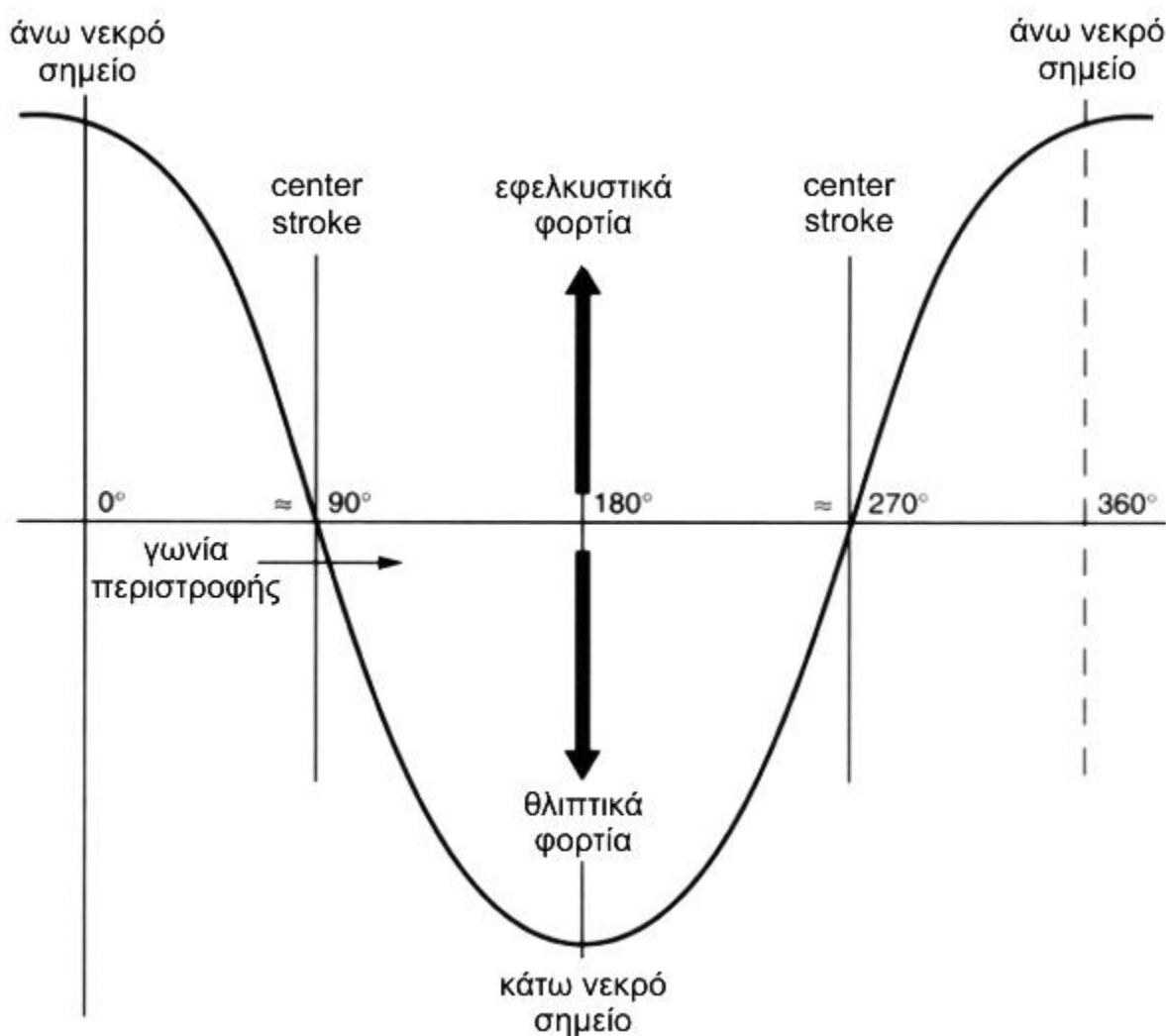
Αδρανειακά φορτία

Τα αδρανειακά φορτία παίρνουν την μέγιστη τιμή τους στο άνω νεκρό σημείο (ΑΝΣ) και στο κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ), στα σημεία δηλαδή στα οποία το έμβολο έχει μηδενική ταχύτητα και μέγιστη επιτάχυνση. Τα σημεία αυτά φαίνονται στο Σχήμα 2-4, όπως και ένα νοητό σημείο το οποίο είναι στη μέση αυτών των δυο και ονομάζεται “center stroke”. Ομοίως, το έμβολο έχει μηδενική επιτάχυνση και μέγιστη ταχύτητα όταν περνάει από το center stroke.



Σχήμα 2-4. Άνω νεκρό σημείο (αριστερά), center stroke (κέντρο) και κάτω νεκρό σημείο (δεξιά).

Ασχέτως της φοράς κίνησης, το έμβολο επιταχύνει πάντα προς το center stroke. Στο άνω νεκρό σημείο εμφανίζεται η μέγιστη εφελκυστική τάση, ενώ στο κάτω νεκρό σημείο εμφανίζεται η μέγιστη θλιπτική τάση. Οι τάσεις αυτές είναι πάρα πολύ μεγάλες και είναι ανάλογες με το τετράγωνο της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Αν παραδείγματος χάρη τριπλασιαστεί η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, οι τάσεις αυτές εννεαπλασιάζονται. Ενδεικτικά σε έναν μεγάλης χωρητικότητας κινητήρα που περιστρέφεται με 7000 στροφές ανά λεπτό, ο διωστήρας δέχεται φορτίο μεγαλύτερο από 1.800 κιλά. Στο Σχήμα 2-5 παρουσιάζονται οι αδρανειακές τάσεις που αναπτύσσονται στον διωστήρα ανάλογα με την γωνία του στροφαλοφόρου άξονα.



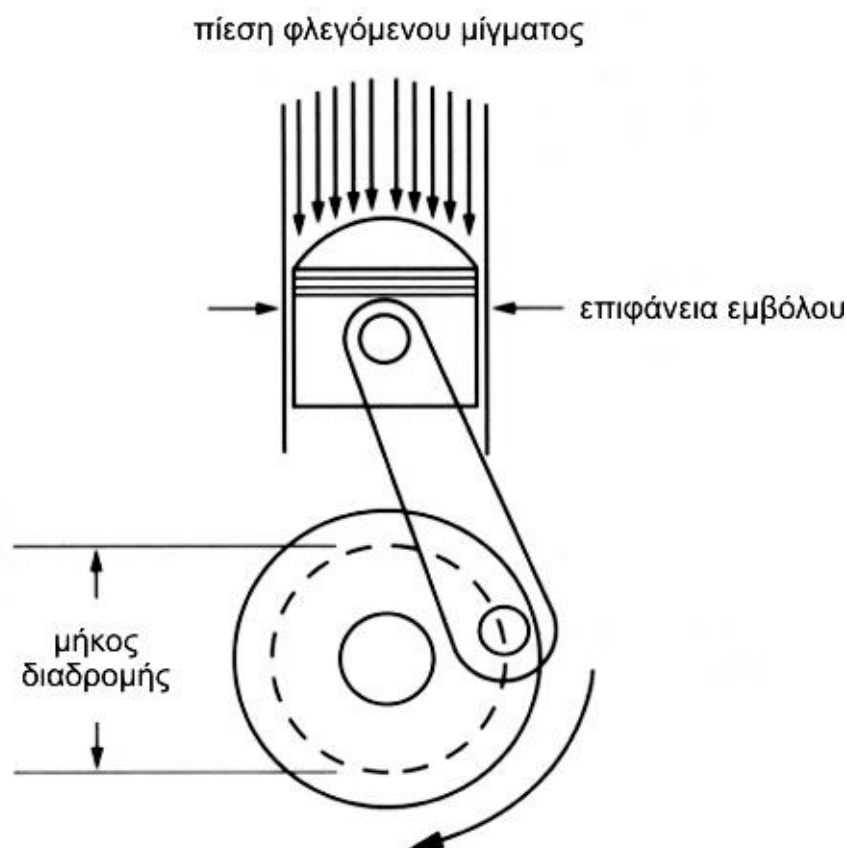
Σχήμα 2-5. Αδρανειακές τάσεις που εφαρμόζονται στον διωστήρα ανάλογα με την γωνία του στροφάλου.

Φορτία καύσης

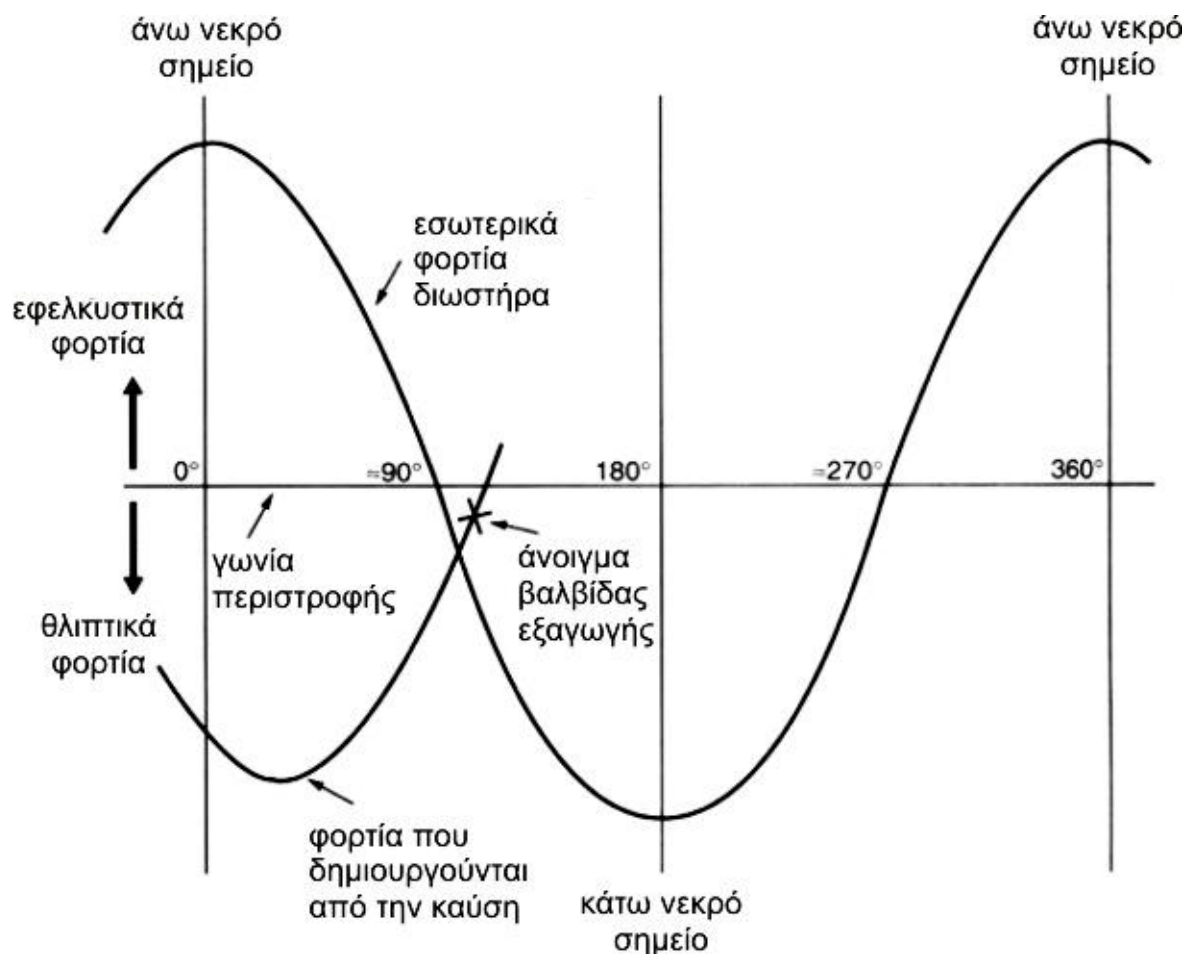
Τα φορτία καύσης είναι αποτέλεσμα της πίεσης που δημιουργείται από τη διαστολή του αερίου κατά την καύση του (Σχήμα 2-6). Η δύναμη που εφαρμόζεται στο έμβολο, ισούται με την επιφάνεια του άνω μέρους του εμβόλου πολλαπλασιασμένη με την πίεση που υπάρχει στον θάλαμο. Η δύναμη αυτή προφανώς δεν είναι ούτε σταθερή ούτε στιγμιαία, καθώς η καύση έχει κάποια διάρκεια και η πίεση κυμαίνεται σε κάποιο εύρος τιμών ανάλογα με τον όγκο του θαλάμου κάθε στιγμή και το ποσοστό ολοκλήρωσης της καύσης. Η ανάφλεξη του καυσίμου γίνεται λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο άνω νεκρό σημείο, όπου προφανώς αρχίζει η σημαντική

αύξηση της πίεσης στον θάλαμο καύσης. Ενδεικτικά, ένα έμβολο διαμέτρου 90mm που υπόκειται σε πίεση 5.500kPa (800psi), δέχεται θλιπτικό φορτίο 3,5 τόνων.

Από τα παραπάνω λοιπόν προκύπτει ότι όταν το έμβολο δέχεται τα μέγιστα αδρανειακά φορτία εφελκυσμού δέχεται και θλιπτικά λόγω της πίεσης. Αποτέλεσμα είναι η ύπαρξη δύο αντιθέτων δυνάμεων και επομένως, η δημιουργία μιας συνισταμένης δύναμης, πολύ μικρότερης από τις προηγούμενες. Στο Σχήμα 2-7 παρουσιάζονται τα δύο είδη των δυνάμεων μαζί.



Σχήμα 2-6. Αναπαράσταση της πίεσης που δημιουργείται από την καύση του μείγματος.



Σχήμα 2-7. Συνδυασμός των δύο ειδών φορτίων ανάλογα με την γωνία του στροφάλου.

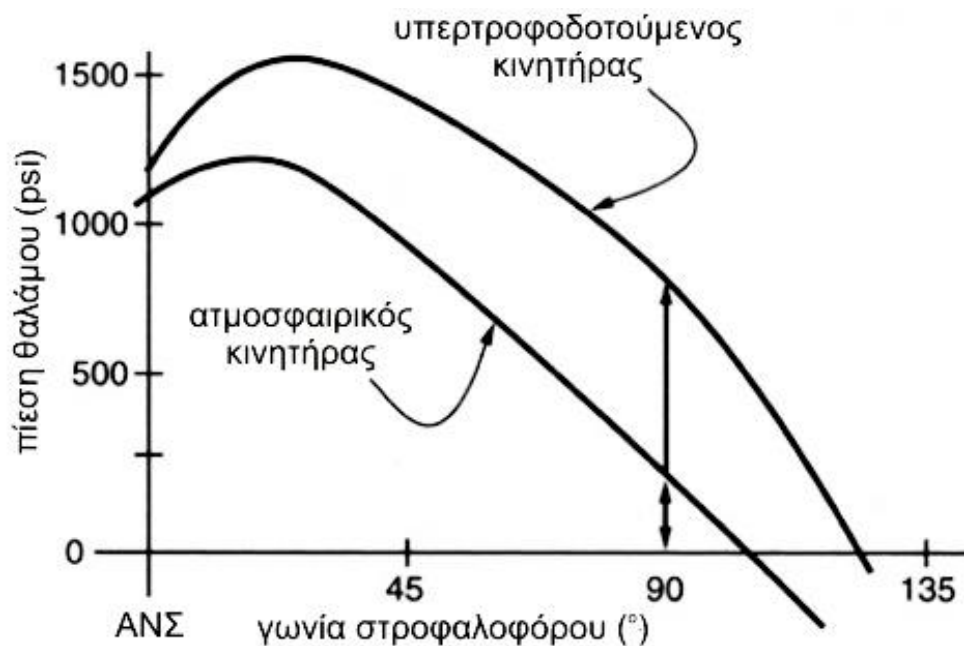
Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι μέγιστες δυνάμεις στο έμβολο και τον διωστήρα εμφανίζονται στο κάτω νεκρό σημείο, αλλά και στο άνω νεκρό σημείο στη φάση της εξαγωγής των καυσαερίων, στο οποίο προφανώς δεν υπάρχει καύση για να δημιουργήσει την αντίθετη δύναμη. Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό, ότι το βασικό ρόλο στις δυνάμεις που αναπτύσσονται τον έχουν τα αδρανειακά φορτία και όχι τα φορτία που σχετίζονται με την παραγόμενη κατά την καύση πίεση, η οποία και παράγει εν τέλει το ωφέλιμο έργο. [2][3]

2.3 Σκοπός της υπερτροφοδότησης

Όπως ειπώθηκε, η ροπή που μεταφέρεται στον στροφαλοφόρο άξονα είναι αποτέλεσμα της πίεσης που παράγεται στον θάλαμο καύσης. Η πίεση αυτή είναι αποτέλεσμα της φυσικής πίεσης που παράγεται λόγω της μείωσης του όγκου του θαλάμου κατά την άνοδο του εμβόλου, καθώς επίσης και της πίεσης που παράγεται από την ανάφλεξη του μείγματος αέρα-καυσίμου. Επομένως, όσο περισσότερο μείγμα μπορεί να κάψει ο κινητήρας τόσο μεγαλύτερο έργο μπορεί να παράξει.

Οι υπερσυμπιεστές αυξάνοντας την πίεση του εισερχόμενου στον κινητήρα αέρα, αυξάνουν την πυκνότητά του, με αποτέλεσμα να εισέρχεται περισσότερη μάζα αέρα στον θάλαμο καύσης και κατ' επέκταση περισσότερο μείγμα αέρα-καυσίμου. Εύκολα μπορεί να δημιουργηθεί η εσφαλμένη εντύπωση ότι για να διπλασιαστεί το ωφέλιμο έργο θα πρέπει να διπλασιαστεί και η μέγιστη πίεση στον θάλαμο καύσης. Στο Σχήμα 2-8 γίνεται φανερό πως διπλασιάζοντας το μείγμα μέσω ενός υπερσυμπιεστή, η μέγιστη πίεση στον θάλαμο καύσης αυξάνεται μόνο κατά 20% περίπου. Αυτό συμβαίνει για τους δύο παρακάτω λόγους:

- το παραγόμενο έργο είναι συνάρτηση της μέσης πίεσης σε ολόκληρο τον χρόνο καύσης και όχι της μέγιστης.
- Εφόσον η συνολική πίεση στο θάλαμο καύσης είναι αποτέλεσμα και της φυσικής πίεσης που δημιουργείται από την μείωση του όγκου του θαλάμου, είναι αδύνατον λοιπόν να διπλασιαστεί η συνολική πίεση χωρίς να διπλασιαστούν και οι δύο συνιστώσες της.



Σχήμα 1-8. Η πίεση που δημιουργείται στον θάλαμο καύσης συναρτήσει της γωνίας του στροφάλου για έναν ατμοσφαιρικό και έναν υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα που καίει το διπλάσιο μείγμα.

Στο Σχήμα 2-8 μπορούν να γίνουν κάποιες πολύ σημαντικές παρατηρήσεις. Όταν η γωνία του στροφάλου είναι στις 90 μοίρες, η πίεση στο έμβολο (το οποίο βρίσκεται στο center stroke) του υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα είναι υπερδιπλάσια από αυτή του ατμοσφαιρικού. Αυτή λοιπόν είναι η περιοχή στην οποία παράγεται η σχεδόν διπλάσια ροπή στον στρόφαλο, ενώ εκείνη τη στιγμή η πίεση είναι αρκετά πιο κάτω από τη μέγιστη. Επίσης, από φυσικής πλευράς, το εμβαδό κάθε καμπύλης αντιπροσωπεύει έργο. Από τη διαφορά των δύο εμβαδών γίνεται φανερό ότι μπορεί να διπλασιαστεί το έργο χωρίς να διπλασιαστεί και η μέγιστη πίεση στον θάλαμο καύσης.

Η λειτουργία ωστόσο του κινητήρα με διπλάσιο μείγμα δεν είναι καθόλου εύκολη υπόθεση, ειδικά χωρίς να χρειαστεί παρέμβαση στο εσωτερικό του κινητήρα. Τα θερμικά φορτία που δέχεται σε μια τέτοια περίπτωση ο κινητήρας είναι πολύ σημαντικά, ενώ φαινόμενα όπως η προ-ανάφλεξη (pre-ignition) και η αυτανάφλεξη (detonation) μπορούν καταστρέψουν τον κινητήρα σε κλάσματα του δευτερολέπτου. Τα φαινόμενα αυτά θα αναφερθούν στη συνέχεια και είναι οι κύριοι παράγοντες που περιορίζουν την μέγιστη ισχύ του κινητήρα. [2][3]

2.4 Περιορισμοί της μέγιστης ισχύος

2.4.1 Αυτανάφλεξη και προανάφλεξη

Η αυτανάφλεξη και η προανάφλεξη είναι δύο διαφορετικά φαινόμενα, άκρως επικίνδυνα για τον κινητήρα και μπορούν να προκαλέσουν την άμεση αστοχία του. Για τον λόγο αυτό αποτελούν και τους βασικούς παράγοντες που περιορίζουν τη μέγιστη δυνατή παραγόμενη ισχύ από τον κινητήρα. Σε επόμενα κεφάλαια αναλύονται οι τρόποι αντιμετώπισής τους, κάνοντας χρήση αισθητήρων και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, προετοιμάζοντας κατάλληλα το σύστημα και προγραμματίζοντας σωστά τον κινητήρα.

Αυτανάφλεξη

Η αυτανάφλεξη είναι ένα φαινόμενο το οποίο συμβαίνει μετά την έναρξη της καύσης, λόγω της αυξημένης πίεσης και θερμοκρασίας στον θάλαμο καύσης. Μετά την έναρξη της καύσης, το υπολειπόμενο μείγμα αναφλέγεται μόνο του, δημιουργώντας ένα δεύτερο κύμα καύσης στον θάλαμο. Το δεύτερο κύμα συγκρούεται με το κανονικό προκαλώντας απότομη και στιγμιαία αύξηση της πίεσης, άρα και της θερμοκρασίας, στο θάλαμο. Το φαινόμενο αυτό, δεν είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο σε χαμηλά φορτία του κινητήρα, εφόσον ο κινητήρας το αντιμετωπίσει έγκαιρα, αλλά είναι καταστροφικό σε υψηλά. Προϊόν του φαινομένου αυτού, είναι ένας μεταλλικός ήχος, ο οποίος προκαλείται, από τα μηχανικά μέρη του κινητήρα που δέχονται την απότομη αύξηση της πίεσης. Η συχνότητα του ήχου αυτού είναι χαρακτηριστική και ανάλογη της διαμέτρου του εμβόλου και μπορεί να ανιχνευτεί από τους κατάλληλους αισθητήρες (knock sensors). Οι αισθητήρες αυτοί, λειτουργούν σαν ακουστικά και η διαχείρισή τους αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.

Προανάφλεξη

Κατά την προανάφλεξη, κάποιο πολύ θερμό σημείο στο θάλαμο καύσης προκαλεί ανάφλεξη του μείγματος, πριν από την ηλεκτρική εκκένωση που σηματοδοτεί κανονικά την έναρξη της καύσης. Τέτοια σημεία είναι συνήθως τα μπουζί, ή οι επικαθήσεις άνθρακα που υπάρχουν στις βαλβίδες εξαγωγής και το έμβολο. Η αύξηση της πίεσης στο θάλαμο γίνεται αρκετά πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, έχοντας ως αποτέλεσμα την προσπάθεια του εμβόλου να συμπίεσει τα υπέρθερμα αέρια.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω φαινομένων, έχουν κατασκευαστεί ειδικοί υπερευαίσθητοι αισθητήρες πίεσης, αλλά η χρήση του δεν γίνεται ακόμα μαζικά.

2.4.2 Λόγος συμπίεσης

Ο λόγος συμπίεσης ($\Lambda\Sigma$) ενός κινητήρα ισούται με τον όγκο του θαλάμου καύσης όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ, προς τον όγκο του θαλάμου καύσης όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ. Ο $\Lambda\Sigma$ εκφράζει το πόσο πολύ συμπιέζεται το εισερχόμενο στον κινητήρα μείγμα. Η συμπίεση αυτή υποδηλώνει προφανώς και αύξηση της θερμοκρασίας του. Η τελική πίεση και θερμοκρασία του μείγματος, δεν είναι ωστόσο συνάρτηση μόνο του $\Lambda\Sigma$, καθώς στους υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες ο αέρας εισέρχεται ήδη συμπιεσμένος και θερμασμένος στον κινητήρα από τον υπερσυμπίεστή.

Με βάση τα παραπάνω λοιπόν, μπορεί να γίνει εύκολα πλέον κατανοητό ότι τα φαινόμενα της αυτανάφλεξης και της προανάφλεξης είναι συνάρτηση τόσο του λόγου συμπίεσης, όσο και της πίεσης και της θερμοκρασίας του εισερχόμενου στον κινητήρα αέρα. Κατά την υπερτροφοδότηση ενός ατμοσφαιρικού κινητήρα αυτές είναι οι βασικές παράμετροι που πρέπει να προσδιορίζονται πρώτα, ανάλογα με τα επιθυμητά αποτελέσματα. Ο $\Lambda\Sigma$ αποτελεί λοιπόν ένα άνω φράγμα στη μέγιστη πίεση εισερχόμενου αέρα, στην οποία μπορεί να λειτουργήσει ένας κινητήρας, και κατ' επέκταση στη δύναμη που μπορεί να παράξει. Ωστόσο, με αποδοτική ψύξη του αέρα, σωστό προγραμματισμό του κινητήρα και με τη χρήση εναλλακτικών μεθόδων που αναφέρονται στη συνέχεια, το φράγμα αυτό μπορεί να μετατοπιστεί.

Ο $\Lambda\Sigma$ ενός κινητήρα μπορεί να μειωθεί, προκειμένου να επιτραπεί υψηλότερη πίεση εισερχόμενου αέρα, αλλά η μείωση αυτή, θα έχει αντίκτυπο σε πολλές παραμέτρους του κινητήρα, μεταξύ των οποίων είναι, η κατανάλωση καυσίμου, η απόκριση στις εντολές του

χρήστη, αλλά και η παραγόμενη ισχύς ανά μονάδα πίεσης. Η μείωση του ΛΣ μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, από τους οποίους οι μόνοι που ενδείκνυνται είναι:

- Αντικατάσταση του εμβόλου
- Επεξεργασία του υπάρχοντος εμβόλου
- Επεξεργασία της κεφαλής του κινητήρα

Η χρήση άλλων εναλλακτικών μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την λειτουργικότητα του θαλάμου καύσης, και εν τέλει να αυξήσει την πιθανότητα αυτανάφλεξης αντί να τη μειώσει.

Στην παρούσα εργασία δεν πραγματοποιείται καμία παρέμβαση στο εσωτερικό μέρος του κινητήρα, επομένως ο λόγος συμπίεσης παραμένει σταθερός. [1][2][3]

3.

Συστήματα υπερτροφοδότησης

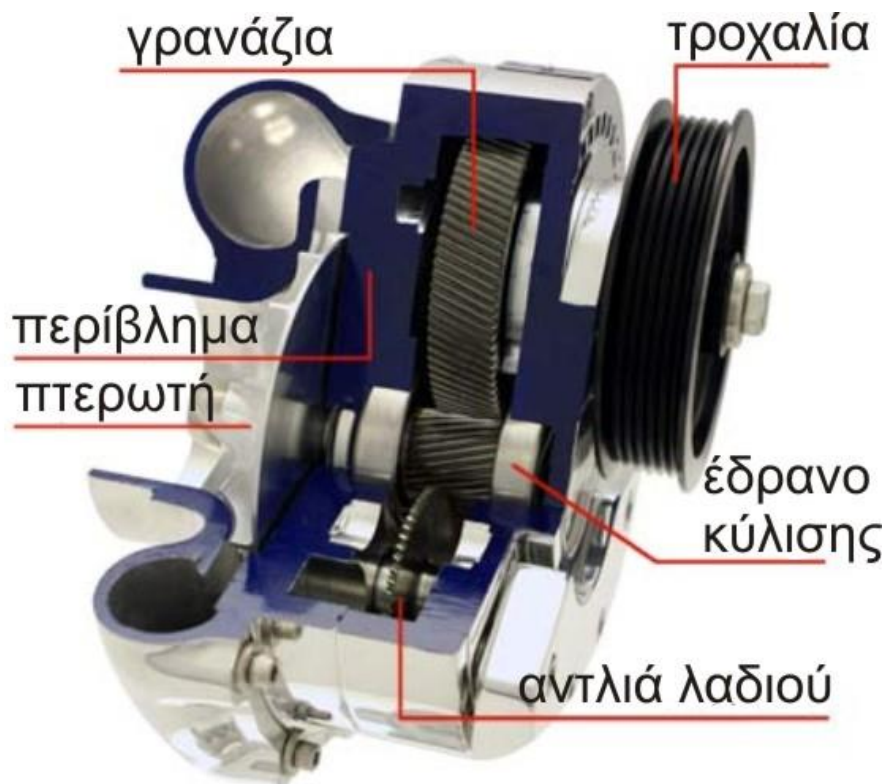
3.1 Σημαντικά είδη υπερσυμπιεστών

Ως υπερσυμπιεστής μπορεί να θεωρηθεί οποιοσδήποτε μηχανισμός που μπορεί να παρέχει στον κινητήρα περισσότερο αέρα από αυτόν που ο κινητήρας μπορεί να αναρροφήσει από μόνος του. Στη συνέχεια αναφέρονται οι τρεις βασικές κατηγορίες ιμαντοκίνητων υπερσυμπιεστών που έχουν αποδείξει την αξία τους διαχρονικά και είναι συγκρίσιμοι με τον υπερσυμπιεστή που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία. Οι υπερσυμπιεστές αυτοί είναι οι twin-screw (Σχήμα3-1), οι centrifugal (Σχήμα3-2) και οι Roots(Σχήμα3-3).

Οι υπερσυμπιεστές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το αν έχουν ή όχι σταθερό εκτόπισμα (fixed-displacement και non-fixed-displacement αντίστοιχα) και ανάλογα με το αν έχουν ή όχι εσωτερικό λόγο συμπίεσης (internal compression ratio).



Σχήμα 3-1. Μηχανικά μέρη ενός twin-screw supercharger (Πηγή: <http://www.chevyhiperformance.com>).



Σχήμα 3-2. Τομή centrifugal supercharger (Πηγή: <http://www.procharger.com/centrifugalsupercharger.shtml>).



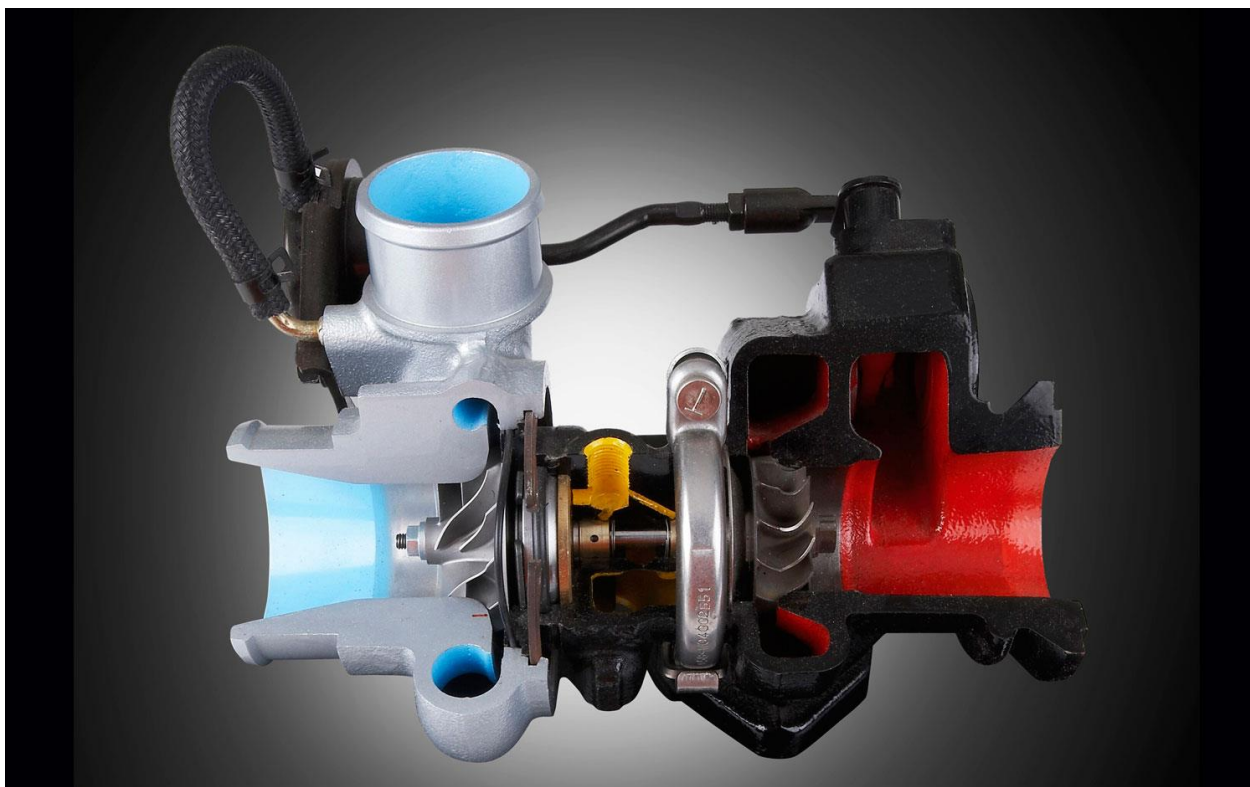
Σχήμα 3-3. Ρότορες ενός Roots supercharger (Πηγή: hotrod.com)

Σταθερού εκτοπίσματος

Οι υπερσυμπιεστές που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία, αναρροφούν από το περιβάλλον συγκεκριμένη ποσότητα αέρα στην αρχή κάθε περιστροφής από την είσοδό τους και την προσδίδουν στον κινητήρα στο τέλος της περιστροφής από την έξοδό τους. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας καθιστά αδύνατη την ύπαρξη ροής αέρα με αντίθετη κατεύθυνση. Στην κατηγορία αυτοί ανήκουν οι twin-screw και Roots. Νοητά, οι υπερσυμπιεστές αυτοί, μπορούν να παρομοιαστούν με την διάταξη κυλίνδρου εμβόλου ενός κινητήρα, υποθέτοντας ότι ο αέρας εισέρχεται από νοητές βαλβίδες εισαγωγής και εξέρχεται από νοητές βαλβίδες εξαγωγής.

Μη σταθερού εκτοπίσματος

Σε αντίθετη περίπτωση, η αρχή της λειτουργίας των υπερσυμπιεστών αυτού του είδους, μπορεί να παρομοιαστεί με αυτή ενός ανεμιστήρα δωματίου, ο οποίος παρέχει αέρα προς μια κατεύθυνση, αλλά με την ύπαρξη των κατάλληλων συνθηκών η ροή αέρα με αντίθετη κατεύθυνση δεν είναι αδύνατη. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι centrifugal. Οι υπερσυμπιεστές αυτοί, λειτουργούν όμοια με τους υπερσυμπιεστές της διάταξης turbine-compressor (Σχήμα 3-4) με βασική διαφορά, ότι ο συμπιεστής περιστρέφεται από ιμάντα και όχι από στρόβιλο.



Σχήμα 3-4. Τομή διάταξης turbine-compressor γνωστή και ως turbocharger.

Εσωτερικός λόγος συμπίεσης

Από τα τρία προαναφερθέντα είδη, μόνο οι Roots δεν έχουν εσωτερικό λόγο συμπίεσης. Η έλλειψη εσωτερικού λόγου συμπίεσης δηλώνει ότι ο εισερχόμενος στον υπερσυμπιεστή αέρας, εξέρχεται από αυτόν ασυμπίεστος. Αντίθετα, στα άλλα δύο είδη, ο αέρας συμπιέζεται στο εσωτερικό του συμπιεστή και εξέρχεται από αυτόν συμπιεσμένος. Το πλεονέκτημα του εσωτερικού λόγου συμπίεσης, έγκειται στο γεγονός ότι ο αέρας βρίσκεται σε υψηλότερη πίεση κατά την έξοδό του από τον υπερσυμπιεστή, σε σχέση με την πίεση του κυκλώματος που συναντά. Στους υπερσυμπιεστές που δεν έχουν εσωτερικό λόγο συμπίεσης συμβαίνει το αντίθετο, με αποτέλεσμα ο εξερχόμενος αέρας να έχει την τάση να εισέλθει πάλι στον υπερσυμπιεστή.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι Roots, δημιουργούν πίεση στο κύκλωμα αέρα του κινητήρα όταν ο αέρας βρει αντίσταση από τον ίδιο τον κινητήρα. Το συγκριτικό πλεονέκτημα των συμπιεστών που διαθέτουν εσωτερικό λόγο συμπίεσης, είναι η αρκετά καλύτερη θερμική απόδοση. Έχουν δηλαδή, τη δυνατότητα να προσφέρουν στον κινητήρα, συμπιεσμένο αέρα

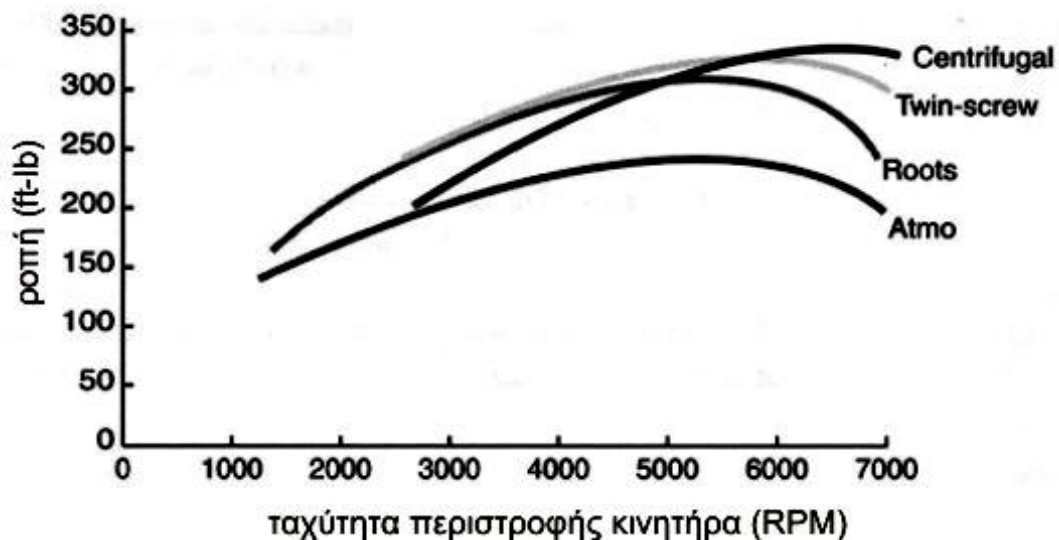
χαμηλότερης θερμοκρασίας. Στα Σχήματα 3-5, 3-6, 3-7 και 3-8 παρουσιάζονται τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τριών ειδών. [1][2][3]

Είδος υπερσυμπιεστή	Σταθερής εκτόπιση	Εσωτερικός λόγος συμπίεσης
Roots	Ναι	Όχι
Centrifugal	Όχι	Ναι
Screw	Ναι	Ναι

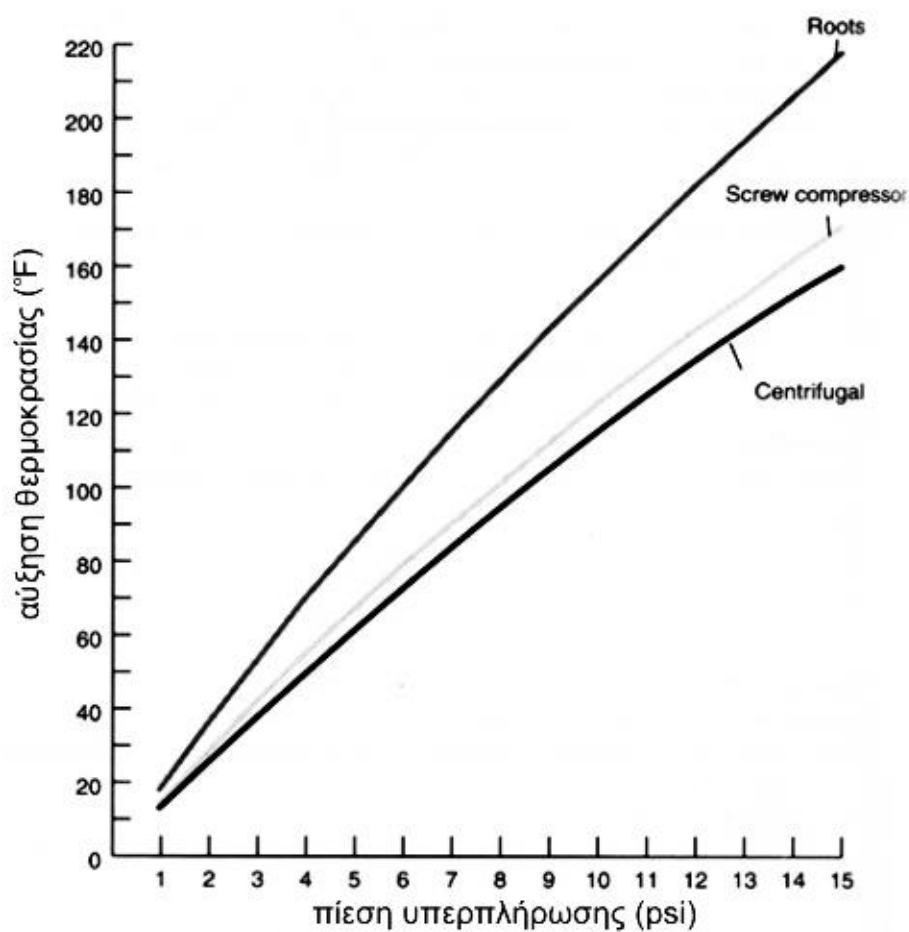
Σχήμα 3-5. Κατηγοριοποίηση των υπερσυμπιεστών βάσει του τρόπου λειτουργίας τους

Χαρακτηριστικά	Roots	Centrifugal	Screw
Πίεση υπερπλήρωσης σε χαμηλή ταχύτητα	A	D	A
Δημιουργία υψηλής πίεσης υπερπλήρωσης	B	A	A
Ταχεία δημιουργία πίεσης υπερπλήρωσης	A	B	A
Θερμική απόδοση	C	A	A
Ογκομετρική απόδοση	B	B	A
Ευκολία ψύξεως	C	A	C
Απώλεια δύναμης μέσω υπερσυμπιεστή	C	C	C
Απλότητα εγκατάστασης	B	A	B
Θόρυβος	C	C	C
Δόνηση	B	B	B
Απαιτήσεις χώρου	C	B	C
Ευκολία εγκατάστασης	C	B	C
Κόστος	B	A	C

Σχήμα 3-6. Συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεταξύ των ειδών.



Σχήμα 3-7. Παράδειγμα μεταβολής της καμπύλης ροπής ενός κινητήρα που υφίσταται υπερτροφοδότηση από τα τρία διαφορετικά είδη.



Σχήμα 3-8. Μεταβολή της θερμοκρασίας του εισερχόμενου στον κινητήρα αέρα που προκαλείται από τους υπερσυμπιεστές

3.2 Υπερσυμπιεστές τύπου Roots

Οι υπερσυμπιεστές τύπου Roots, είναι το επικρατέστερο είδος μαντοκίνητων υπερσυμπιεστών, που χρησιμοποιείται σε σημερινά οχήματα παραγωγής. Ο βασικός λόγος που συμβαίνει αυτό, είναι η χαρακτηριστική γραμμική καμπύλη ροπής, που προσφέρουν σε όλο το φάσμα στροφών του κινητήρα. Οι υπερσυμπιεστές Twin-screw έχουν επίσης γραμμική συμπεριφορά (όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3-7) και μάλιστα με καλύτερη απόδοση, αλλά το υψηλό τους κόστος παραγωγής αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στην μαζική τους χρήση. Οι centrifugal απεναντίας, χαρακτηρίζονται από χαμηλή απόδοση σε μικρές ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα και για το λόγο αυτό η χρήση τους είναι σκόπιμη σε κινητήρες μεγαλύτερου κυβισμού, οι οποίοι έχουν αρκετή ροπή σε αυτό το φάσμα στροφών και σκοπός είναι η μεγιστοποίηση της ισχύος σε υψηλό φάσμα στροφών.

Το βασικό πλεονέκτημα των Roots είναι η ταχύτατη αύξηση της πίεσης, η οποία παίρνει την μέγιστη τιμή της από πολύ μικρές ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Απεναντίας, το βασικό τους μειονέκτημα είναι η χαμηλή θερμική απόδοση και αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι η έλλειψη εσωτερικού λόγου συμπίεσης, και ο δεύτερος είναι η συγκράτηση ενός μικρού ποσοστού του θερμικά φορτισμένου αέρα από τους ρότορες, το οποίο ανακυκλώνεται από αυτούς.

Η παραδοσιακή εικόνα που υπάρχει για τους Roots, τους εμφανίζει τοποθετημένους στο κέντρο της εισαγωγής αέρα κινητήρων μεγάλου κυβισμού διάταξης “V” (Σχήμα 3-9). Η εικόνα αυτή, δίνει εύκολα την εσφαλμένη εντύπωση, ότι πρώτον οι υπερσυμπιεστές αυτοί αναφέρονται κυρίως σε μεγάλους κινητήρες υψηλής απόδοσης και δεύτερον αποκρύπτει την ανάγκη που έχουν για ψύξη του συμπιεσμένου αέρα. [1][2]



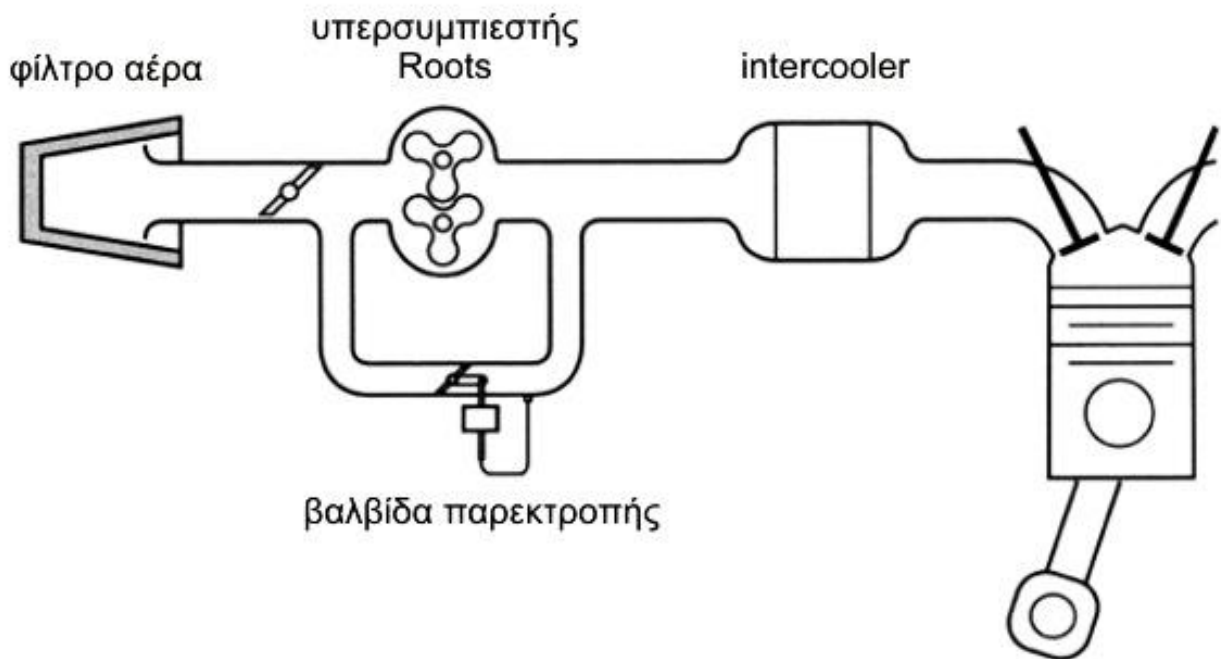
Σχήμα 3-9. Hotrod Toyota 1UZFE V8 Engine Supercharger Kit.

3.3 Διαχείριση του εισερχόμενου αέρα

Κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος υπερτροφοδότησης, θα πρέπει να μελετηθεί και ο τρόπος εκτόνωσης του συμπιεσμένου αέρα. Όπως προαναφέρθηκε, οι Roots μετακινούν σε κάθε περιστροφή τους μια συγκεκριμένη ποσότητα αέρα, ενώ η τελική ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα ρυθμίζεται από την βαλβίδα του γκαζιού, ανάλογα με την πίεση που ασκεί ο οδηγός στο πεντάλ του γκαζιού. Όσο μεγαλύτερη πίεση ασκεί ο οδηγός στο πεντάλ του γκαζιού, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα αέρα επιτρέπει να εισέλθει στον κινητήρα. Όταν επομένως ο οδηγός δεν ασκεί πίεση στο πεντάλ, η παροχή αέρα που εισέρχεται στον θάλαμο καύσης ελαχιστοποιείται. Σε περίπτωση που η βαλβίδα του γκαζιού είναι εγκατεστημένη μεταξύ του υπερσυμπιεστή και του κινητήρα, δημιουργείται λοιπόν η ανάγκη εκτροπής του αέρα εκτός του συστήματος, καθώς ο υπερσυμπιεστής περιστρέφεται διαρκώς. Χωρίς την εκτροπή αυτή, όταν ο οδηγός κλείσει την παροχή στον κινητήρα, η πίεση στο σύστημα θα αυξηθεί σημαντικά και θα

προκαλέσει καταστροφή είτε της σωληνογραμμής, είτε του μάντα, είτε του ίδιου του υπερσυμπιεστή. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί εάν η βαλβίδα τοποθετηθεί στην είσοδο του υπερσυμπιεστή, αποκόπτοντας με αυτόν τον τρόπο την παροχή αέρα στον ίδιο τον υπερσυμπιεστή. Ωστόσο, ακόμα και με αυτή τη σχεδίαση ο υπερσυμπιεστής προσπαθεί να αναρροφήσει αέρα, χωρίς να έχει αυτή τη δυνατότητα, προκαλώντας έτσι κάποιες απώλειες ισχύος. Οι απώλειες αυτές, μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη χρήση μιας βαλβίδας παρεκτροπής (bypass valve), η οποία εγκαθίσταται μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του υπερσυμπιεστή και επιτρέπει την ανακύκλωση του αέρα καθορίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη διαφορά πίεσης στα σημεία αυτά.

Στο Σχήμα 3-10 παρουσιάζεται ένα τυπικό τέτοιο σύστημα διαχείρισης του αέρα, στο οποίο περιέχεται και εναλλάκτης θερμότητας για την ψύξη του συμπιεσμένου αέρα.

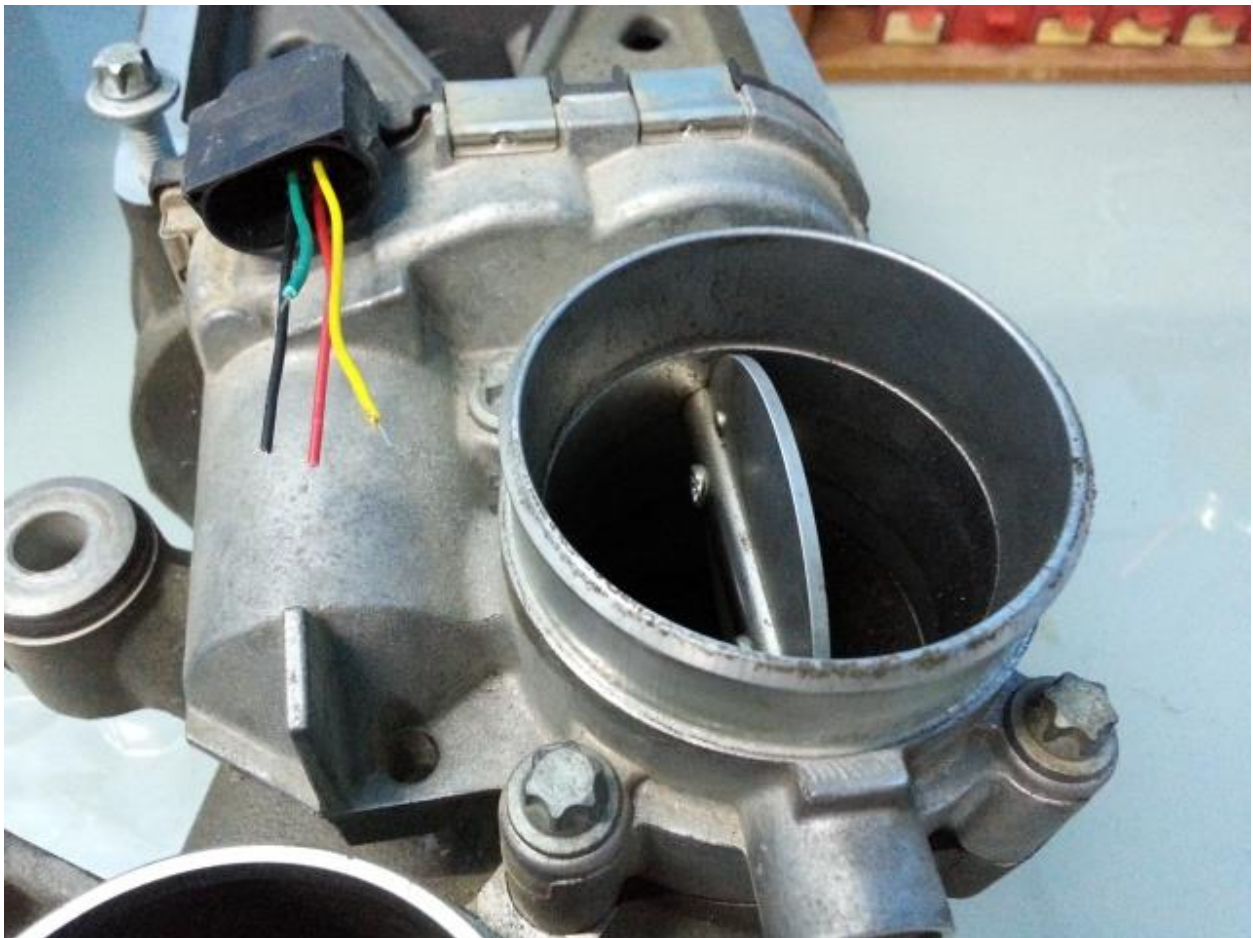


Σχήμα 3-10. Σύστημα διαχείρισης του εισερχόμενου στον κινητήρα αέρα.

Οι βαλβίδες παρεκτροπής, λειτουργούν συνήθως μηχανικά και ενεργοποιούνται όταν δημιουργηθεί υποπίεση αμέσως μετά την βαλβίδα του γκαζιού. Συστήματα όπως αυτό της παραπάνω εικόνας, έχουν σαν αποτέλεσμα την τοποθέτηση της βαλβίδας του γκαζιού σε μεγάλη απόσταση από τις βαλβίδες εισαγωγής στο μπλοκ του κινητήρα. Αν και η διάταξη αυτή δεν επηρεάζει την καμπύλη ισχύος του κινητήρα, έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη απόκριση στις εντολές του οδηγού. Η χρήση βαλβίδας παρεκτροπής, μπορεί ωστόσο να επιτρέψει την

τοποθέτηση της βαλβίδας του γκαζιού και μετά τον υπερσυμπιεστή. Σε μια τέτοια διάταξη όμως, η μηχανική λειτουργία της βαλβίδας παρεκτροπής, δεν επιφέρει πάντα τα επιθυμητά αποτελέσματα στην εκτόνωση τις πίεσης. Στο σημείο αυτό, γίνεται εμφανές και το μοναδικό πλεονέκτημα των συστημάτων, που δεν διαθέτουν σύστημα ψύξης του αέρα, καθώς ο υπερσυμπιεστής και η βαλβίδα του γκαζιού βρίσκονται πολύ κοντά στις βαλβίδες εισαγωγής του κινητήρα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται βαλβίδα παρεκτροπής ηλεκτρονικού τύπου, την οποία χρησιμοποιούσε εξ αρχής ο υπερσυμπιεστής (Σχήμα 3-11). Η λειτουργία αυτής της βαλβίδας δεν θα ήταν βεβαίως εφικτή από την εργοστασιακή ECU και αυτό είναι και ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της νέας αυτόνομης ECU που χρησιμοποιήθηκε, η οποία δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να παραμετροποιήσει τον τρόπο λειτουργίας της. Με τον τρόπο αυτό, δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της πίεσης υπερπλήρωσης, στην εισαγωγή αέρα του κινητήρα, με ηλεκτρονικό τρόπο (boost control), ενώ παράλληλα, καθίσταται εφικτή την ασφαλής τοποθέτηση της βαλβίδας του γκαζιού κοντά στις βαλβίδες εισαγωγής του εκκεντροφόρου.



Σχήμα 3-11. Η ηλεκτρονική βαλβίδα bypass του υπερσυμπιεστή σε ανοικτή θέση.

Όταν η βαλβίδα παρεκτροπής είναι σε κλειστή θέση, δεν επιτρέπει στον αέρα να εξέλθει από το κύκλωμα και όλη η ποσότητα αέρα οδηγείται προς τον κινητήρα δημιουργώντας πίεση στη εισαγωγή του. Όταν η βαλβίδα παρεκτροπής είναι σε ανοικτή θέση, ασχέτως της ταχύτητας περιστροφής του υπερσυμπιεστή, η πίεση στην είσοδο και την έξοδο του υπερσυμπιεστή είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Σε περίπτωση που η εισαγωγή του κινητήρα βρίσκεται υπό πίεση (η bypass βρίσκεται σε κλειστή θέση) και ο οδηγός κλείσει την παροχή αέρα στον κινητήρα, αφήνοντας το πεντάλ του γκαζιού, η βαλβίδα παρεκτροπής ανοίγει, επιτρέποντας την εκτόνωση της πίεσης στο κύκλωμα. Σε όλες τις ενδιάμεσες καταστάσεις, ανάλογα με τη θέση της βαλβίδας παρεκτροπής, καθορίζεται το ποσοστό του αέρα που οδηγείται προς τον κινητήρα για τη δημιουργία πίεσης και το ποσοστό που εισέρχεται ξανά στην είσοδο του υπερσυμπιεστή (δηλαδή εξέρχεται στην ατμόσφαιρα). [1][2]



Σχήμα 3-12. Επάνω στον υπερσυμπιεστή βρίσκεται το τροποποιημένο τμήμα ανακυκλοφορίας-εκτόνωσης του αέρα που αποσκοπεί στην ρύθμιση της πίεσης.

4.

Σχεδίαση και κατασκευή του συστήματος υπερτροφοδότησης

4.1 Αντικείμενα υπό μελέτη

Κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος υπερτροφοδότησης υπάρχουν πάρα πολλοί παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη προκειμένου η κατασκευή να είναι αξιόπιστη και να λειτουργεί ομαλά και αποδοτικά. Τα βασικά προβλήματα σχετίζονται με τη διαχείριση του κινητήρα και τη διαθεσιμότητα χώρου στο μηχανοστάσιο του οχήματος.

Διαχείριση του κινητήρα

Το πρόβλημα της διαχείρισης του κινητήρα επιλύεται με την αντικατάσταση της εργοστασιακής ECU από μια νέα, η οποία είναι πλήρως παραμετροποιήσιμη και μπορεί να προσαρμοστεί τέλεια, στις νέες απαιτήσεις που προκύπτουν από τη μετατροπή. Οι νέες απαιτήσεις του συστήματος, θα μπορούσαν να ικανοποιηθούν μερικώς και από την εργοστασιακή ECU με σχετικά ανορθόδοξους τρόπους, αφήνοντας πολλά περιθώρια αστοχίας του συστήματος και

περιορίζοντας το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα. Το πρόβλημα της διαχείρισης του κινητήρα εξετάζεται σε επόμενο κεφάλαιο.

Χωροταξικά προβλήματα

Στο μηχανοστάσιο του οχήματος ο διαθέσιμος χώρος είναι περιορισμένος και προφανώς δεν έχει κατασκευαστεί για να μπορεί να υποστεί τέτοιες μετατροπές. Πολλά εξαρτήματα που βρίσκονται στο μηχανοστάσιο, χρειάζεται να αφαιρεθούν ή να μετακινηθούν, προκειμένου να δημιουργηθεί χώρος για την εγκατάσταση του συστήματος. Ωστόσο, η εύρεση του απαραίτητου χώρου, δεν είναι εγγυημένη, όπως επίσης και η εξασφάλιση καλής ροής και ψύξης του αέρα.

Η εγκατάσταση ενός Roots απαιτεί πολύ χώρο και η εργοστασιακή εισαγωγή αέρα θα πρέπει να αντικατασταθεί οπωσδήποτε, προκειμένου ο Roots να πάρει τη θέση της. Το γεγονός αυτό, δηλώνει την ανάγκη για κατασκευή νέας εισαγωγής, η οποία θα αφήνει χώρο για τον υπερσυμπιεστή και τις σωληνώσεις που θα εισέρχονται και θα εξέρχονται από αυτόν. Στην παρούσα εργασία ακόμα και μετά την αφαίρεση της εισαγωγής, ο χώρος που δημιουργείται εξακολουθεί να είναι περιορισμένος για την εγκατάσταση του υπερσυμπιεστή και ταυτόχρονα την εξασφάλιση ομαλής ροή του αέρα. Η δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι στη συγκεκριμένη περιοχή του μηχανοστασίου θα πρέπει να εξασφαλίζεται:

- Η είσοδος του αέρα στον υπερσυμπιεστή
- Η έξοδος του αέρα από αυτόν
- Ομαλή ροή αέρα και ισόποση κατανομή του στους κυλίνδρους του κινητήρα
- Σταθερή έδραση του υπερσυμπιεστή
- Τοποθέτηση της βαλβίδας του γκαζιού
- Τοποθέτηση βαλβίδας παρεκτροπής

Οι λόγοι αυτοί καθιστούν πολύ δύσκολη και χρονοβόρα τη διαδικασία, καθώς έπρεπε να μελετηθούν, όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί, στον πολύ περιορισμένο χώρο, προκειμένου να εξασφαλιστεί ένα αξιόπιστο και αποδοτικό αποτέλεσμα. Στο Σχήμα 4-1 παρουσιάζεται, ο χώρος του μηχανοστασίου σε εργοστασιακή μορφή, ενώ στο Σχήμα 4-2 παρουσιάζεται, ο χώρος μαζί με τον υπερσυμπιεστή και τη βαλβίδα του γκαζιού μετά την αφαίρεση της εισαγωγής.



Σχήμα 4-1. Ο χώρος του μηχανοστασίου σε εργοστασιακή μορφή.



Σχήμα 4-2. Ο χώρος του μηχανοστασίου μαζί με τον υπερσυμπιεστή και την βαλβίδα του γκαζιού, χωρίς την εισαγωγή αέρα του κινητήρα.

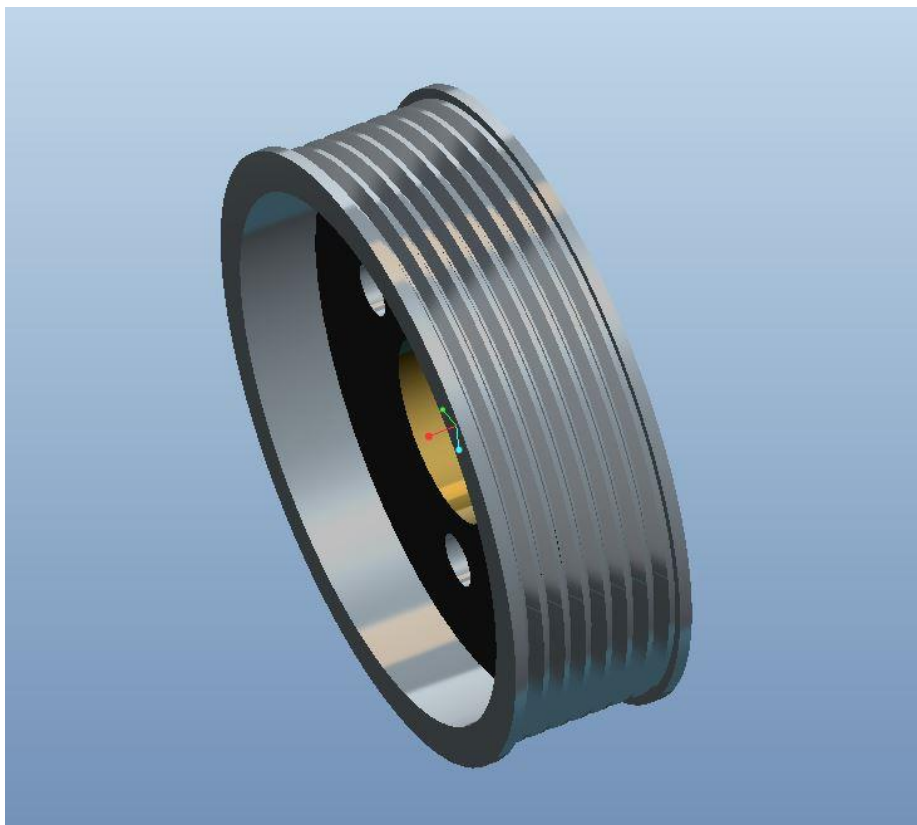
4.2 Εγκατάσταση του υπερσυμπιεστή

Στην παρούσα εργασία αποφασίστηκε η εγκατάσταση του υπερσυμπιεστή με προσανατολισμό σύμφωνα με το Σχήμα 4-3. Η βάση του αποτελείται από δύο τμήματα κατασκευασμένα από αλουμίνιο πάχους 10mm. Η σχεδίαση των τμημάτων έγινε σε λογισμικό Pro/ENGINEER και το τελικό σχέδιο κατασκευάστηκε από CNC μηχάνημα υδροκοπής. Για τη μετάδοση κίνησης στον υπερσυμπιεστή και τον καθορισμό της μέγιστης ταχύτητας περιστροφής, θεωρήθηκε σκόπιμη η χρήση επιπρόσθετου ιμάντα. Η τοποθέτηση του υπερσυμπιεστή αποτελεί ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία, καθώς πρέπει να γίνει με πολύ μεγάλη ακρίβεια, προκειμένου να είναι τέλεια ευθυγραμμισμένος με τον ιμάντα και να μην έχει κανένα περιθώριο ταλάντωσης. Σε αντίθετη περίπτωση, υπάρχει άμεση απώλεια του ιμάντα ή πολύ μεγάλη φθορά που οδηγεί σε αστοχία του. Σε πολλές εφαρμογές, η βάση έχει τη δυνατότητα μετακίνησης του υπερσυμπιεστή στους 3 άξονες, προκειμένου να μπορεί να σταθεί στο σημείο ακριβώς που πρέπει. Στην παρούσα εργασία, οι οπές της βάσης έγιναν χωρίς περιθώρια μετακίνησης, εξαλείφοντας έτσι την πιθανότητα αθέμιτης μετακίνησης του υπερσυμπιεστή και αυξάνοντας προφανώς την απαιτούμενη ακρίβεια και δυσκολία της κατασκευής. Χωρίς το περιθώριο μετακίνησης του υπερσυμπιεστή εξασφαλίζεται ταυτόχρονα και η σωστή επανατοποθέτησή του, σε περίπτωση που χρειαστεί να αφαιρεθεί, για λόγους συντήρησης του συστήματος.

Η τροχαλία που δίνει κίνηση στον υπερσυμπιεστή, κατασκευάστηκε σε πρώτη φάση για δοκιμαστικούς λόγους από συμπαγή δοκό PA6 πολυαμιδίου (ερταλόν) διαμέτρου 100mm. Η δοκός, υπέστη τόννευση προκειμένου να πάρει το κατάλληλο σχήμα και να υπάρξει σωστή εφαρμογή του ιμάντα. Η έδραση της τροχαλίας, γίνεται πάνω στην προϋπάρχουσα τροχαλία της αντλίας του υδραυλικού τιμονιού. Στη συνέχεια, η τροχαλία αντικαταστάθηκε από νέα, μεγαλύτερης διαμέτρου, κατασκευασμένη από αλουμίνιο, με σκοπό την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του υπερσυμπιεστή στα επιθυμητά επίπεδα. Με την τροχαλία αυτή, δημιουργείται στην εισαγωγή του κινητήρα πίεση υπερπλήρωσης 50 kPa (0,5 bar), η οποία αντιστοιχεί, σε πίεση 50% μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, στην οποία λειτουργούσε αρχικά ο κινητήρας.



Σχήμα 4-3. Ο τελικός προσανατολισμός του υπερσυμπιεστή.



Σχήμα 4-4. Ψηφιακό σχέδιο της επιπρόσθετης τροχαλίας.

Κατασκευή της βάσης του υπερσυμπιεστή

Για την κατασκευή της βάσης, χρειάστηκε να γίνει αντίστροφη μηχανική στα σημεία έδρασης, τα οποία είναι το δυνάμο (γεννήτρια) και η βάση της εργοστασιακής εισαγωγής αέρα. Εφόσον, τα τμήματα της βάσης δεν έχουν το περιθώριο μετακίνησης, δημιουργείται η ανάγκη για πάρα πολύ μεγάλη κατασκευαστική ακρίβεια, προκειμένου ο υπερσυμπιεστής να είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένος με τον ιμάντα και να αφήνει ταυτόχρονα χώρο για τις σωληνώσεις του συστήματος. Η βάση του υπερσυμπιεστή, αποτελείται από δύο κάθετα μεταξύ τους τμήματα, τα οποία εξασφαλίζουν εξουδετέρωση των δυνάμεων προς όλες τις διευθύνσεις.

Για να επιτευχθεί ο στόχος, χρειάστηκε να γίνουν πάρα πολλά σχέδια και δοκιμές. Τα σχέδια έγιναν και αυτά σε λογισμικό Pro/ENGINEER και εκτυπώθηκαν σε κλίμακα 1:1. Στη συνέχεια κολλήθηκαν σε ξύλο μπάλσα, για να πάρουν μια πιο σταθερή μορφή και μετά δοκιμάστηκαν πάνω στα σημεία έδρασης για να διαπιστωθεί η ακρίβεια τους. Σε επόμενη φάση, κατασκευάστηκαν από CNC μηχανήματα υδροκοπής από ερταλόν πάχους 10mm και εγκαταστάθηκαν μαζί με τον υπερσυμπιεστή, προκειμένου να ελεγχθεί το αποτέλεσμα του πρωτοτύπου.



Σχήμα 4-5. Πρωτότυπο σχέδιο του μπροστινού τμήματος της βάσης κατασκευασμένο από μπάλσα.

Το πίσω τμήμα της βάσης, εγκαθίσταται μεταξύ της βαλβίδας παρεκτροπής και του υπερσυμπιεστή, χρησιμοποιώντας τις οπές της βαλβίδας παρεκτροπής και τις οπές στις οποίες εδράζονταν η εργοστασιακή εισαγωγή αέρα του κινητήρα. Οι χρήση των οπών της εισαγωγής, εξασφαλίζει ότι ο άξονας περιστροφής του υπερσυμπιεστή, είναι παράλληλος με τον κινητήρα, ενώ η εσωτερική οπή επιτρέπει τη ροή αέρα στο εσωτερικό του τμήμα, για τη ρύθμιση της πίεσης στο κύκλωμα.



Σχήμα 4-6. Πρωτότυπο σχέδιο του δεύτερου τμήματος της βάσης κατασκευασμένο από ερταλόν πάχους 3mm.



Σχήμα 4-7. Τα πρωτότυπα σχέδια της βάσης κατασκευασμένα από ερταλόν πάχους 10mm, μαζί με την πρωτότυπη τροχαλία και το σύστημα ανακυκλοφορίας του αέρα. Στο βάθος φαίνεται το πίσω μέρος της βάσης το οποίο συσφίγγεται μεταξύ της βαλβίδας παρεκτροπής και του υπερσυμπιεστή.



Σχήμα 4-8. Τα τελικά κομμάτια κατασκευασμένα από αλουμίνιο πάχους 10mm, μαζί με τον αντάπτορα για την βαλβίδα του γκαζιού στα αριστερά. Για την κατασκευή του μπροστινού τμήματος απαιτείται συγκόλληση του πάνω και του κάτω τμήματος που φαίνονται στα δεξιά της φωτογραφίας.



Σχήμα 4-9. Τα γρανάζια που περιστρέφουν τους ρότορες του υπερσυμπιεστή και το ημιτελές μπροστινό τμήμα της βάσης πάνω στο δυναμό. Ο υπερσυμπιεστής στηρίζεται μόνο στο πίσω τμήμα της βάσης.



Σχήμα 4-10. Η βάση του υπερσυμπιεστή ολοκληρωμένη.

4.3 Κατασκευή της νέας εισαγωγής αέρα του κινητήρα

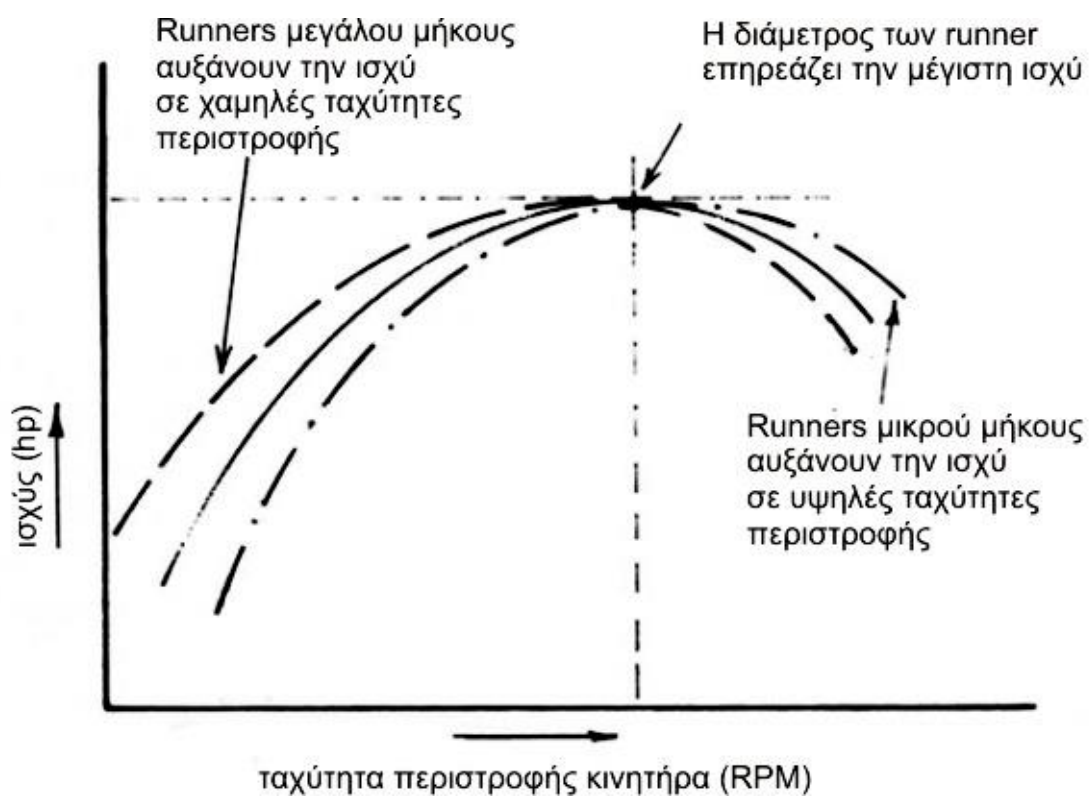
Η νέα εισαγωγή αέρα θα πρέπει να γίνει στον περιορισμένο από τον υπερσυμπιεστή εναπομείναντα χώρο, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να εξασφαλίζεται ομαλή ροή αέρα στο εσωτερικό της και ισόποσος διαμερισμός του στους κυλίνδρους του κινητήρα. Για τους λόγους αυτούς, επιδιώχθηκε κατά τη σχεδίαση η κατά το δυνατό μεγαλύτερη συμμετρία, η αποφυγή απότομων αλλαγών στην πορεία του αέρα και η αποφυγή μεταβολών της διατομής των σωληνώσεων, που προκαλεί αυξομειώσεις στην ταχύτητά του. Η επίτευξη ισόποσης κατανομής του αέρα στους κυλίνδρους του κινητήρα είναι πάρα πολύ σημαντική, καθώς εξασφαλίζει την ίδια αναλογία αέρα καυσίμου, ή αλλιώς AFR (Air Fuel Ratio), σε όλους τους κυλίνδρους και κατ' επέκταση επηρεάζει την απόδοση και την ασφαλή λειτουργία του κινητήρα. Σε περίπτωση που κάποιοι κύλινδροι αναρροφούν περισσότερο αέρα από τους υπόλοιπους (δουλεύουν σε υψηλότερο AFR) κινδυνεύουν από τα φαινόμενα προανάφλεξης και αυτανάφλεξης, θέτοντας σε άμεσο κίνδυνο τον κινητήρα.

Η εισαγωγή, αποτελείται από ένα μεγάλο δοχείο αέρα που καλείται plenum και τους runners. Οι runners οδηγούν τον αέρα από το plenum στους κυλίνδρους του κινητήρα (Σχήμα 4-11). Για κάθε κύλινδρο, υπάρχει ένας runner, του οποίου η διάμετρος και το μήκος παίζει σημαντικό ρόλο στην καμπύλη ισχύος του κινητήρα. Runners, με μεγάλο μήκος, αυξάνουν την αναπνευστική ικανότητα του κινητήρα σε χαμηλό φάσμα στροφών, ενώ runners, με μικρό μήκος αυξάνουν τη μέγιστη ισχύ στο υψηλό φάσμα στροφών του κινητήρα (Σχήμα 4-12).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι Roots διακρίνονται για τη γρήγορη δημιουργία υψηλής πίεσης σε χαμηλό φάσμα στροφών, ενώ σε υψηλό φάσμα στροφών έχουν μειωμένη απόδοση. Για τον λόγο αυτό, στη νέα εισαγωγή αέρα κατασκευάστηκαν runners με μικρό μήκος οι οποίοι βελτιώνουν την απόδοση του κινητήρα σε υψηλότερο φάσμα στροφών και με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται γραμμική και ομοιόμορφη κατανομή της ισχύος σε όλο το φάσμα στροφών του κινητήρα. Για την κατασκευή της νέας εισαγωγής αφαιρέθηκε από την εργοστασιακή εισαγωγή το τμήμα που εφαρμόζει στο μπλοκ του κινητήρα, πάνω στο οποίο τοποθετούνται και τα μπεκ του καυσίμου. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται φωτογραφίες κατά την κατασκευή της νέας εισαγωγής.



Σχήμα 4-11. Plenum και runners ασύμμετρης εισαγωγής αέρα.



Σχήμα 4-12. Η επίραση του μήκους των runner στην καμπύλη ισχύος του κινητήρα.



Σχήμα 4-13. Οι τέσσερις μικρού μήκους runners και το plenum σε αρχικό στάδιο κατασκευής. Η μπάρα θόλων εγκαταστάθηκε για να οριοθετήσει την απόσταση από το καπό του μηχανοστασίου.



Σχήμα 4-14. Το plenum ολοκληρωμένο.



Σχήμα 4-15. Η νέα εισαγωγή αέρα ολοκληρωμένη. Στο άκρο της τοποθετείται η βαλβίδα του γκαζιού.

4.4 Ψύξη του εισερχόμενου στον κινητήρα αέρα

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, σκοπός της υπερτοφοδότησης είναι η εισαγωγή περισσότερης μάζας αέρα στους θαλάμους καύσης του κινητήρα, ώστε ο κινητήρας να μπορεί να καταναλώσει περισσότερο μείγμα αέρα-καυσίμου και συνεπώς να παράξει περισσότερη δύναμη. Εφ' όσον, ο όγκος του θαλάμου καύσης είναι σταθερός, για να εισέλθει περισσότερη μάζα αέρα, θα πρέπει να αυξηθεί η πυκνότητά του. Η αύξηση της πυκνότητάς του αέρα επιτυγχάνεται με την αύξηση της πίεσής του. Προφανώς όμως, η αύξηση της πίεσης του αέρα συνεπάγεται και την θέρμανσή του, η οποία κατ' επέκταση, συνεπάγεται και τη μείωση της πυκνότητάς του. Οι υπερσυμπιεστές φυσικά, δεν είναι ιδανικές μηχανές και ο βαθμός της θερμικής τους απόδοσης είναι μικρότερος της μονάδας. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, που προκαλείται από τον υπερσυμπιεστή, είναι σαφώς μεγαλύτερη από την αύξηση της θερμοκρασίας, που θα υπήρχε, αν η συμπίεση του αέρα γινόταν ιδανικά. Η πραγματική αύξηση της θερμοκρασίας, ισούται με την αύξηση της θερμοκρασίας που θα υπήρχε σε ιδανική συμπίεση, διαιρεμένη με τον βαθμό απόδοσης του υπερσυμπιεστή.

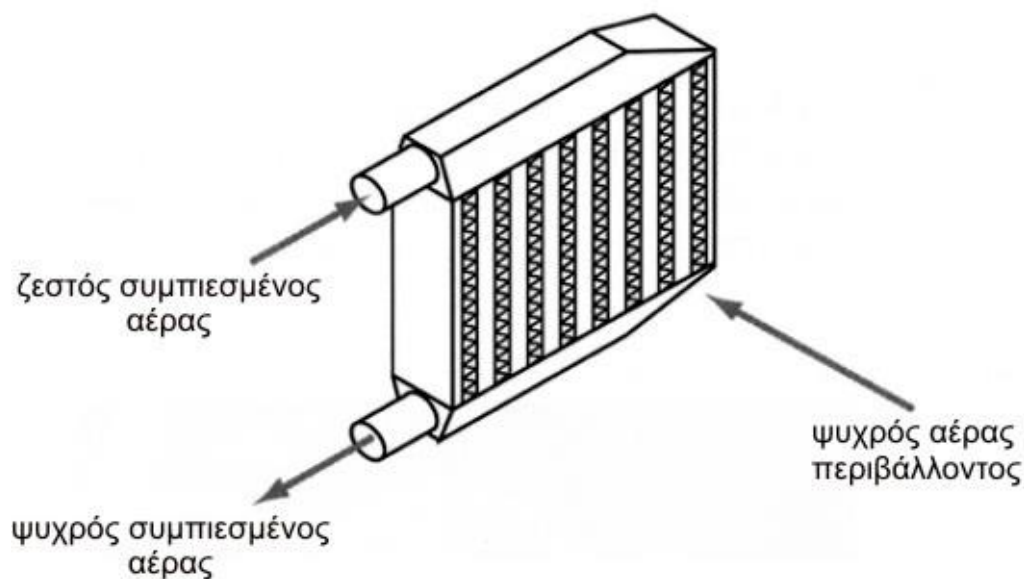
Είδος υπερσυμπιεστή	E_t (%)
Roots	55
Centrifugal	75
Twin-screw	70
Turbocharger(typical)	75

Σχήμα 4-16. Τυπικός θερμικός βαθμός απόδοσης των βασικών ειδών υπερσυμπιεστών.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4-16 οι Roots έχουν αρκετά χαμηλό βαθμό θερμικής απόδοσης. Ο υψηλής θερμοκρασίας αέρας που παράγουν, εκτός από μειωμένη απόδοση του κινητήρα, αυξάνει σημαντικά την πιθανότητα προανάφλεξης και αυτανάφλεξης. Όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 2, τα δύο αυτά φαινόμενα είναι οι βασικοί παράγοντες, που μπορούν να προκαλέσουν την αστοχία του κινητήρα και περιορίζουν με αυτόν τον τρόπο τη μέγιστη προσδοκώμενη ισχύ του. Στο σημείο αυτό, γίνεται εύκολα αντιληπτή η ανάγκη για ψύξη του αέρα, προτού αυτός

εισέλθει στον θάλαμο καύσης. Το όφελος, από την ψύξη του αέρα, είναι διπλό. Αφενός, μειώνεται η πυκνότητά του και αφετέρου, αποτρέπονται τα φαινόμενα προανάφλεξης και αυτανάφλεξης, επιτρέποντας έτσι στον κινητήρα, να παράξει μεγαλύτερη ισχύ με περισσότερη ασφάλεια. Η ψύξη του αέρα, επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος είναι γνωστός ως intercooler και τοποθετείται μεταξύ του υπερσυμπιεστή και της εισαγωγής αέρα του κινητήρα. Τα intercoolers, χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα “air-to-air” και τα “water-to-air”.

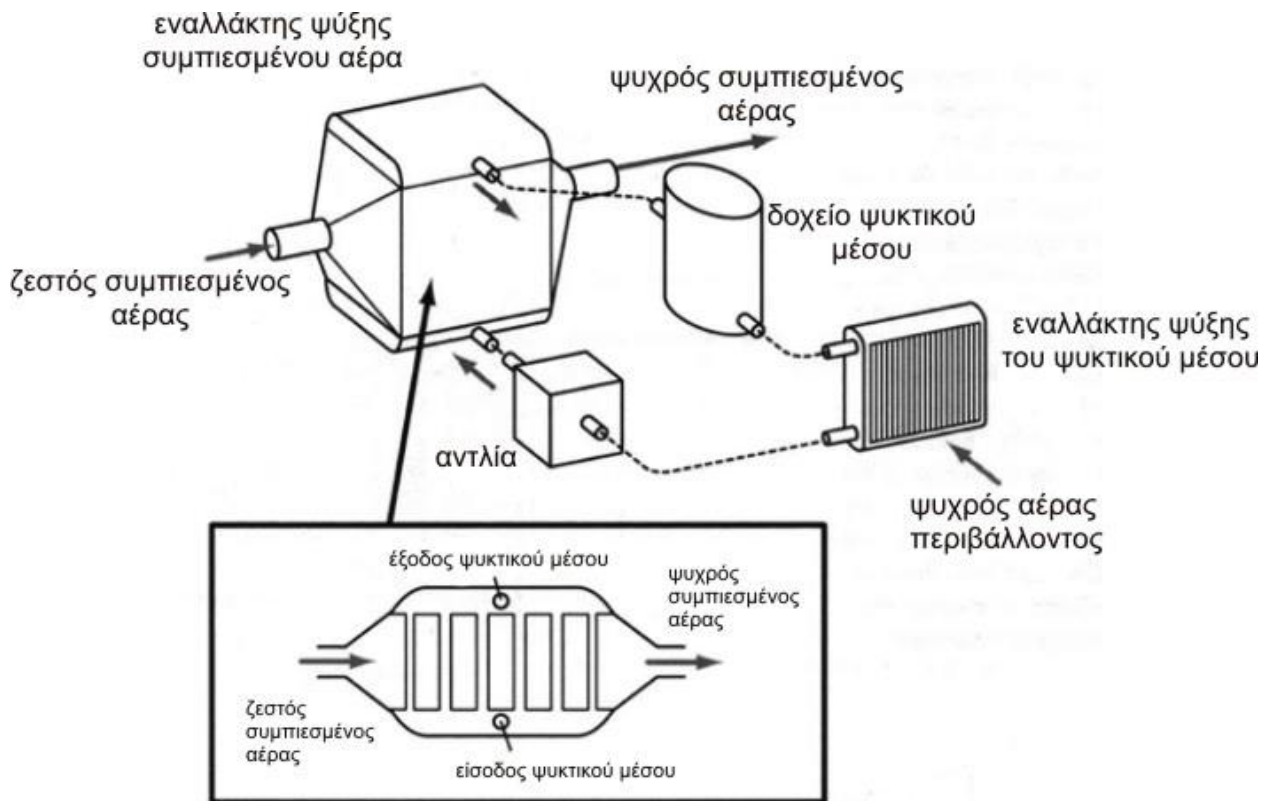
Air-to-air intercoolers



Σχήμα 4-17. Παράδειγμα air-to-air intercooler.

Τα intercoolers αυτού του τύπου, μεταφέρουν θερμότητα από τον συμπιεσμένο αέρα κατευθείαν στο περιβάλλον. Ο θερμός συμπιεσμένος αέρας, διέρχεται στο εσωτερικό τμήμα του εναλλάκτη, του οποίου το εξωτερικό τμήμα ψύχεται από τον αέρα του περιβάλλοντος που τον διαπερνά (Σχήμα 4-17). Με τον τρόπο αυτό, ο θερμός αέρας που εισέρχεται στον εναλλάκτη, εξέρχεται από αυτόν, σε πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία.

Air-to-water intercoolers

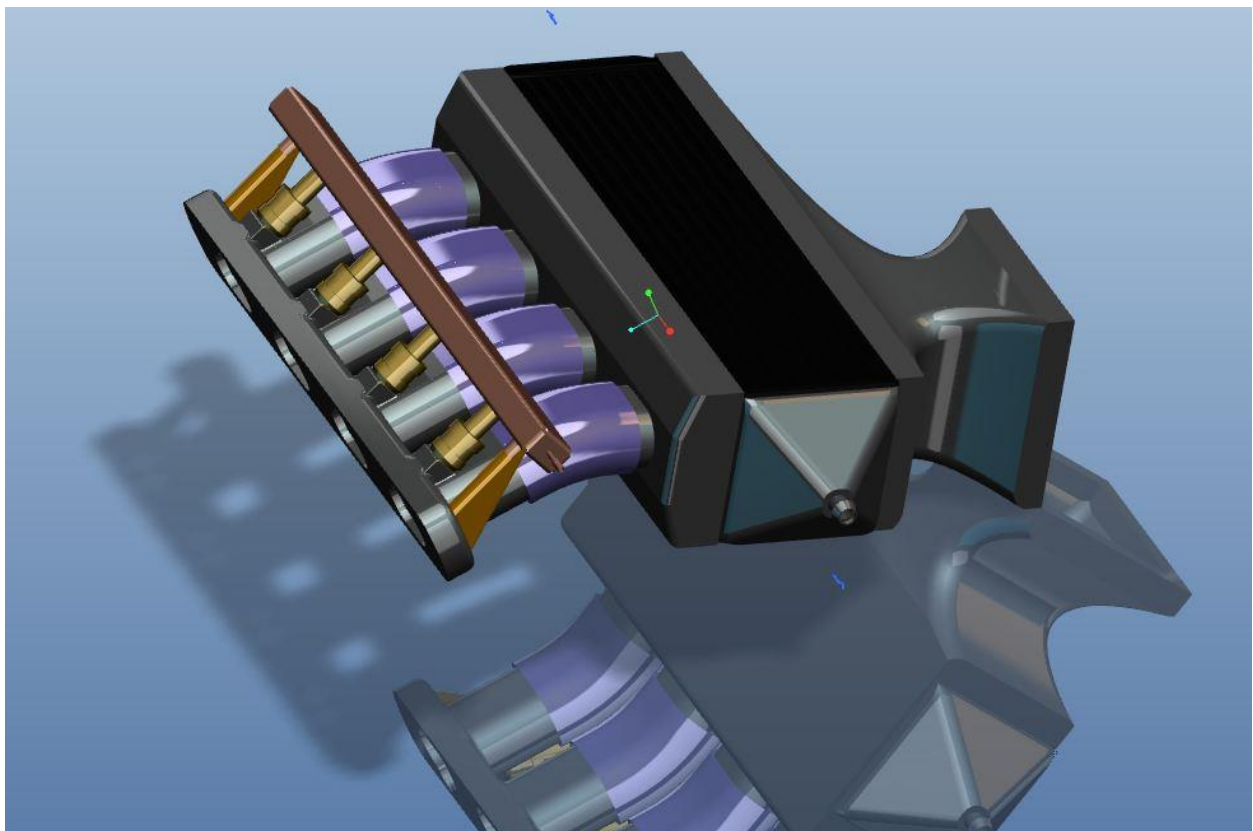


Σχήμα 4-18. Παράδειγμα air-to-water intercooler

Στα συστήματα αυτά, ο θερμός συμπιεσμένος αέρας, καθώς διέρχεται από το εσωτερικό τμήμα του εναλλάκτη, ψύχεται από νερό, το οποίο χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο και απορροφά την θερμότητα. Στη συνέχεια, ένας δεύτερος εναλλάκτης, ο οποίος ψύχεται από τον αέρα του περιβάλλοντος, απορροφά την θερμότητα από το νερό και τη μεταφέρει εκτός του συστήματος. Εκτός από τους δύο εναλλάκτες, τα συστήματα αυτά απαιτούν μια αντλία για τη διακίνηση του νερού και ένα δοχείο αποθήκευσης, το οποίο επιτρέπει ταυτόχρονα και τη συστολή και διαστολή του (Σχήμα 4-18).

Στα air-to-water συστήματα, ο αέρας διανύει πολύ μικρότερη απόσταση, προκειμένου να φτάσει από τον υπερσυμπιεστή στην εισαγωγή αέρα του κινητήρα, προσφέροντας γρηγορότερη αύξηση της πίεσης, όπως και μικρότερη πτώση της λόγω απωλειών. Ταυτόχρονα, εφόσον το νερό βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία, η καλύτερη συναλλαγή θερμότητας που έχει το νερό με το αλουμίνιο σε σχέση με τον αέρα, προσφέρει καλύτερη απόδοση. Επίσης, με την προσθήκη

πάγου στο δοχείο, μπορεί να επιτευχθεί απόδοση του intercooler μεγαλύτερη της μονάδας, καθώς ο συμπιεσμένος αέρας μπορεί να έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα. Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, μελετήθηκε η χρήση ενός τέτοιου συστήματος στη παρούσα εργασία. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε μια εισαγωγή αέρα στην οποία εμπεριέχεται ο εναλλάκτης και υπάρχει άμεση έδραση του υπερσυμπιεστή επάνω της (Σχήμα 4-19). Με αυτόν τον τρόπο εφαρμογής, αποφεύγεται η χρήση σωληνώσεων και συνεπώς μηδενίζεται σχεδόν ολοκληρωτικά η πτώση πίεσης λόγω απωλειών, ενώ παράλληλα, επιτυγχάνεται ακαριαία αύξησης της πίεσης.



Σχήμα 4-19.Πρωτότυπο ψηφιακό μοντέλο υδρόψυκτης εισαγωγής αέρα. Το αριστερό τμήμα εφαρμόζει στο μπλοκ του κινητήρα και το δεξί στην έξοδο του υπερσυμπιεστή, ενώ ο εναλλάκτης-plenum στο ενδιάμεσο αποφορτίζει θερμικά τον συμπιεσμένο αέρα μέσω του διακινούμενου ψυκτικού μέσου.

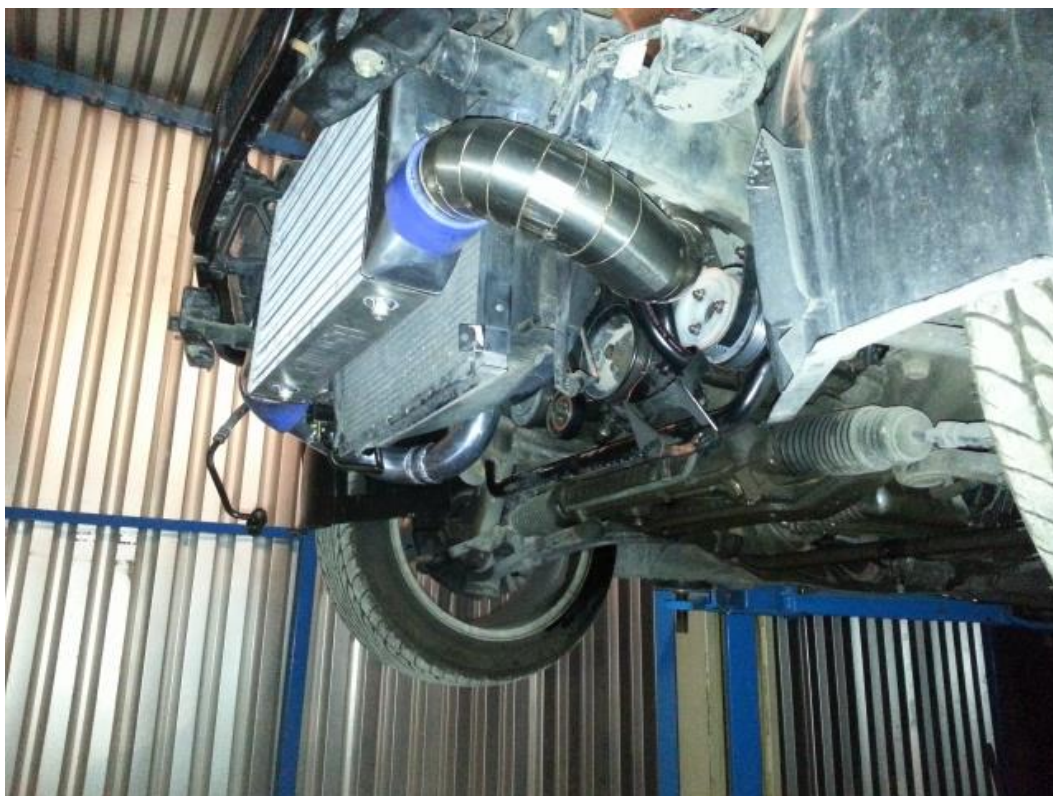
Τα συστήματα αυτά ωστόσο, έχουν ανάγκη συντήρησης και επίβλεψης, καθώς, κάποια διαρροή στο σύστημα μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εισροή νερού εντός του κινητήρα, προκαλώντας μέχρι και την καταστροφή του. Επίσης, τα συστήματα αυτά έχουν υψηλότερο κόστος,

μεγαλύτερο βάρος, καθώς και το μειονέκτημα της θέρμανσης του νερού όταν το όχημα δεν κινείται. Εάν το νερό φτάσει σε μεγάλη θερμοκρασία, τα συστήματα αυτά, αντί να ψύχουν τον αέρα, μπορούν να προκαλέσουν θέρμανσή του, οπότε η μελέτη ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί μεγάλη προσοχή.

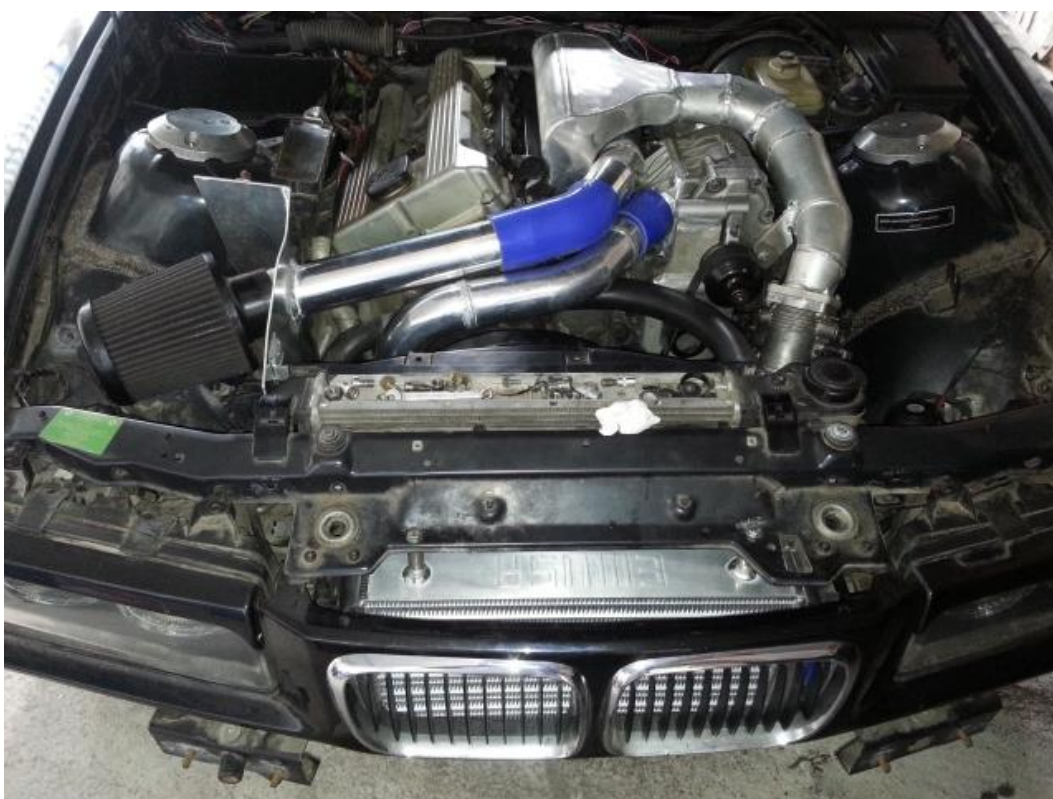
Η χρήση ενός τέτοιου συστήματος, απορρίφθηκε στην παρούσα εργασία για λόγους κόστους, χρηστικότητας και κυρίως αξιοπιστίας, αφήνοντας της θέση του σε ένα κλασσικού τύπου air-to-air intercooler. Η επιλογή του intercooler, έγινε με βάση τις ανάγκες, για ψύξη του συμπιεσμένου αέρα, πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις ,οικονομικά κριτήρια, το βάρος και προφανώς τον διαθέσιμο χώρο του οχήματος στον οποίο υπάρχει καλή ροή ψυχρού αέρα από το περιβάλλον. Αφού έγινε η επιλογή του intercooler, κατασκευάστηκε και τοποθετήθηκε ένα αντίγραφο από φελιζόλ, προκειμένου να διαπιστωθεί, εάν όντως, υπάρχει ο απαραίτητος χώρος (Σχήμα 4-20). [1][2]



Σχήμα 4-20. Τοποθετημένο αντίγραφο του intercooler κατασκευασμένο από φελιζόλ.



Σχήμα 4-21. Το intercooler τοποθετημένο μαζί με τις σωληνώσεις που διακινούν τον εισερχόμενο αέρα.



Σχήμα 4-22. Το σύστημα κυκλοφορίας του αέρα ολοκληρωμένο. Ο αέρας εισέρχεται από το φίλτρο αέρα, οδηγείται στον συμπιεστή, μετά στο intercooler και καταλήγει στην εισαγωγή αέρα του κινητήρα

4.5 Σύστημα εξαγωγής των καυσαερίων

Η διαχείριση των εξερχόμενων από τον κινητήρα καυσαερίων, εκτός από την απόδοση του κινητήρα, επηρεάζει και την ασφάλειά του. Τα καυσαέρια, συναντάνε πολλά εμπόδια κατά τη διαδρομή τους, από τον θάλαμο καύσης μέχρι την απελευθέρωσή τους στην ατμόσφαιρα. Τα εμπόδια αυτά, έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία πίεσης στο σύστημα της εξαγωγής. Η πίεση αυτή δεν είναι επιθυμητή, καθώς έχει σαν αποτέλεσμα τη συγκράτηση θερμών καυσαερίων στον θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια που δεν εξέρχονται από τον θάλαμο, επηρεάζουν τον επόμενο κύκλο καύσης αρνητικά, καθώς αφήνουν λιγότερο χώρο για τον φρέσκο εισερχόμενο αέρα και παράλληλα ανεβάζουν την θερμοκρασία του θαλάμου. Η σχεδίαση λοιπόν της εξαγωγής, είναι κάτι το οποίο δεν πρέπει να αμεληθεί, σε μια τέτοια μετατροπή.

Η εργοστασιακή πολλαπλή εξαγωγής του κινητήρα αντικαταστάθηκε, προκειμένου να βελτιώσει το υψηλό φάσμα στροφών του κινητήρα, στο οποίο η απόδοση των Roots δεν είναι ιδανική. Ταυτόχρονα, εγκαταστάθηκε στο τέλος της πολλαπλής εξαγωγής, μία ηλεκτρική βαλβίδα, η οποία έχει τη δυνατότητα να απελευθερώνει τα καυσαέρια κατευθείαν στην ατμόσφαιρα, μηδενίζοντας έτσι την πίεση στο σύστημα εξαγωγής. Η χρήση της βαλβίδας αυτής είναι φυσικά παράνομη στους δημόσιους δρόμους και η χρήση της αποσκοπεί αποκλειστικά για χρήση σε πίστα. [1][2][3]



Σχήμα 4-23. Η εργοστασιακή (κάτω) και η καινούργια (επάνω) πολλαπλή εξαγωγής.



Σχήμα 4-24. Η βαλβίδα παρεκτροπής των καυσαερίων τοποθετημένη στην πολλαπλή εξαγωγής.

5.

Ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης

5.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης αυτόνομης ηλεκτρονικής μονάδας

Η χρήση αυτόνομης ηλεκτρονικής μονάδας (stand-alone unit) προορίζεται κυρίως για αγωνιστικές εφαρμογές, ή εφαρμογές κατά τις οποίες υπάρχουν σημαντικές μετατροπές στο όχημα. Οι εργοστασιακές ECU των σύγχρονων οχημάτων, μπορούν συνήθως να καλύψουν σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες που προκύπτουν σε αντίστοιχες μετατροπές. Στην παρούσα εργασία όμως, η εργοστασιακή ECU δεν έγκειται σε αυτή την κατηγορία. Η ECU αυτή είναι αρκετά περιορισμένη και έχουν παρουσιαστεί στο παρελθόν αρκετές δυσλειτουργίες ακόμα και με τον κινητήρα σε εργοστασιακή μορφή. Τα βασικά ζητούμενα βέβαια σε οποιαδήποτε μετατροπή είναι δύο, ο ψεκασμός της σωστής ποσότητας του καυσίμου (fuel control) και ο έλεγχος της γωνίας προπορείας ανάφλεξης (spark advance angle), ή αλλιώς ignition advance timing. Οι δύο αυτοί βασικοί παράγοντες, καθορίζουν την απόδοση του κινητήρα, ενώ ταυτόχρονα έχουν ζωτικής σημασίας ρόλο για την ασφαλή λειτουργία του. Λάθος τιμές σε αυτές τις παραμέτρους, έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένη απόδοση του κινητήρα, αυξημένη κατανάλωση καυσίμου και μπορούν να προκαλέσουν άμεσα την αστοχία του. Στην παρούσα εργασία, με τη χρήση της νέας ECU, οι παράμετροι αυτοί είναι εύκολα παραμετροποιήσιμοι με χρήση ηλεκτρονικού

υπολογιστή, από τον οποίο μπορούν και να παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο. Παρόλο που η ρύθμιση των παραμέτρων αυτών είναι το βασικό ζητούμενο, η νέα ECU προσφέρει πολλές ακόμα εφαρμογές, οι οποίες αυξάνουν σημαντικά τη δυνατότητα παρακολούθησης του κινητήρα και μπορούν να αποτρέψουν σε μεγάλο βαθμό την αστοχία του σε περίπτωση που χρειαστεί. Αυτό μπορεί να συμβεί, κάνοντας χρήση όλων των αισθητήρων που υπάρχουν στον κινητήρα, αλλά και επιπρόσθετων που μπορούν να συνδεθούν, καθώς η νέα μονάδα παρέχει τη δυνατότητα χρήσης οποιουδήποτε αισθητήρα. Η αντικατάσταση και προσθήκη αισθητήρων αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.

Η αντικατάσταση ωστόσο της εργοστασιακής ECU είναι μια επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία, καθώς απαιτεί την επανασύνδεση όλων των αισθητήρων του κινητήρα τουλάχιστον, όπως επίσης και προγραμματισμό του κινητήρα από σημείο μηδέν. Στη διαδικασία αυτή η πιθανότητα κάποιας λάθος σύνδεσης είναι αυξημένη, ενώ απαιτείται πολύ καλή γνώση της λειτουργίας των αισθητήρων και πολύ προσεκτική μελέτη των κυκλωμάτων του οχήματος. Σε πολλές εφαρμογές, η πλήρης απομάκρυνση της εργοστασιακής μονάδας δεν είναι δυνατή, καθώς αυτή διαχειρίζεται εκτός από τον κινητήρα και άλλα συστήματα, όπως παραδείγματος χάρη τα συστήματα anti-spin και ABS. Σε αυτές της περιπτώσεις, η αντικατάσταση είναι αδύνατη και η νέα μονάδα λειτουργεί παράλληλα με την εργοστασιακή, αναλαμβάνοντας μόνο τη διαχείριση του κινητήρα, ενώ συχνά μπορεί να συνεργάζεται με την εργοστασιακή. Στην παρούσα εργασία, η αντικατάσταση της εργοστασιακής μονάδας είναι δυνατή, καθώς η εργοστασιακή ECU διαχειρίζεται αποκλειστικά τον κινητήρα.

Μετά το τέλος της εγκατάστασης, ακολουθεί το πιο δύσκολο τμήμα της μετατροπής, που σχετίζεται με την διαχείριση του κινητήρα (engine management). Το τμήμα αυτό, αποτελεί ολόκληρο επιστημονικό κλάδο και απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις. Το βασικό μειονέκτημα, κατά την αντικατάσταση της εργοστασιακής μονάδας, αντί για επαναπρογραμματισμό της, έγκειται στο γεγονός ότι ο προγραμματισμός του κινητήρα δεν ξεκινάει από κάποιο σημείο, στο οποίο ο κινητήρας είναι σε κατάσταση λειτουργίας. Απεναντίας, όλες οι πιθανές συνθήκες λειτουργίας που μπορεί να συναντήσει ο κινητήρας, θα πρέπει να προγραμματιστούν από το μηδέν. Το θέμα της διαχείρισης του κινητήρα, αναλύεται πιο λεπτομερώς σε επόμενο κεφάλαιο.

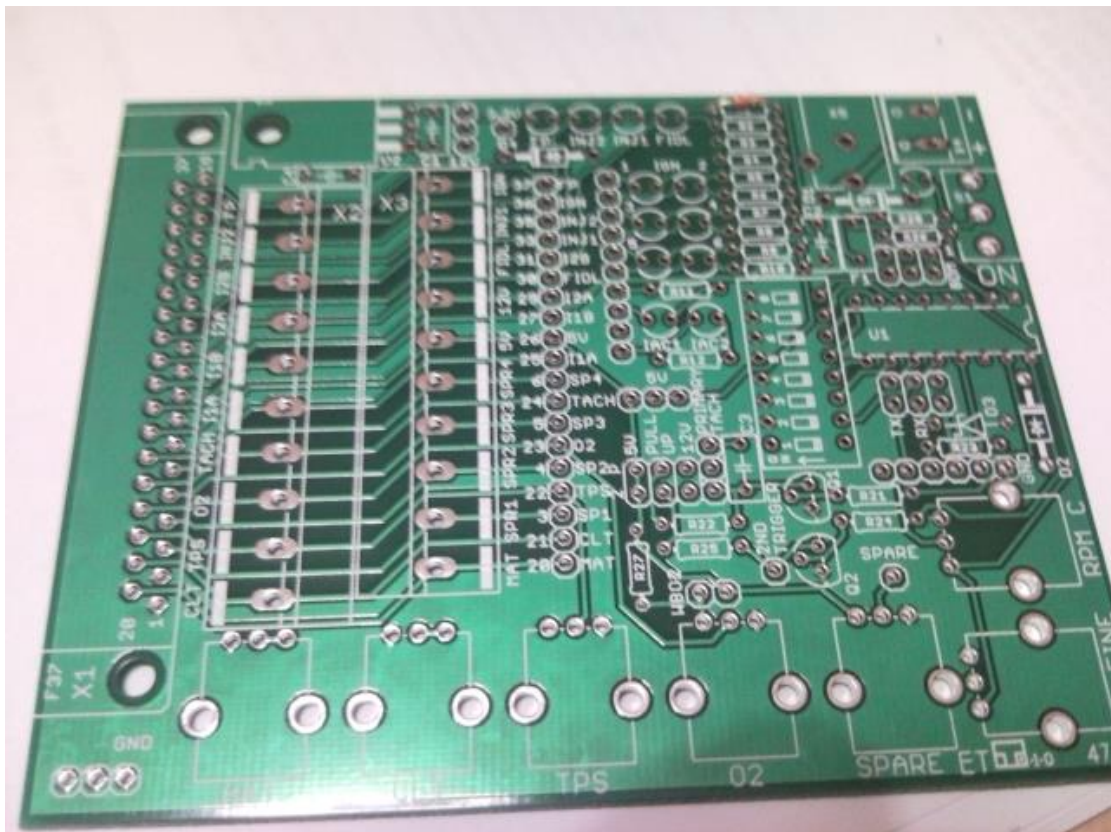
[1][2][3][5]

5.2 Κατασκευή και έλεγχος της μονάδας

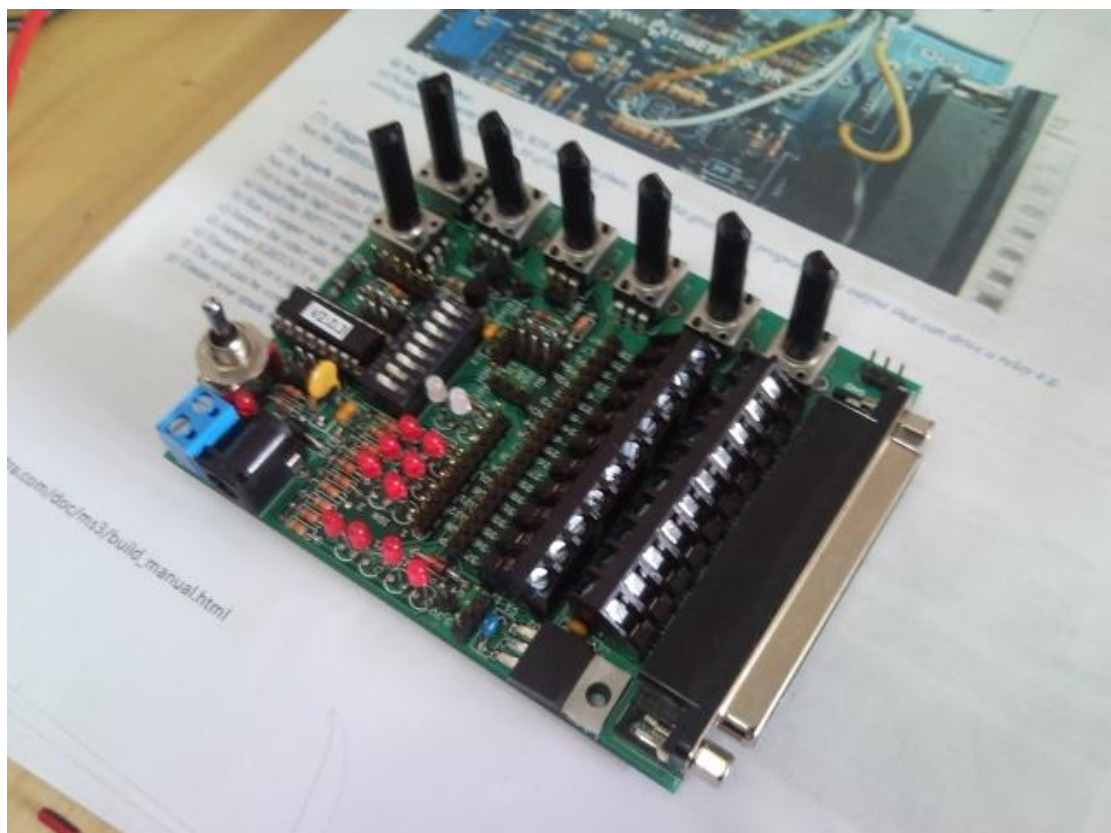
Για λόγους κόστους η ECU αγοράστηκε ασυναρμολόγητη σε κομμάτια. Σε πρώτη φάση λοιπόν έπρεπε η ECU να συναρμολογηθεί και να δοκιμαστεί η ορθή λειτουργία της. Στο εσωτερικό του κουτιού της ECU βρίσκονται συνολικά τέσσερις ηλεκτρονικές πλακέτες, μαζί με κάποια άλλα πρόσθετα κυκλώματα. Το σύνολό τους έχει κατασκευαστεί, συνδεθεί και παραμετροποιηθεί, έτσι ώστε η μονάδα να είναι συμβατή με τους αισθητήρες και τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του συγκεκριμένου κινητήρα. Για την επαλήθευση της σωστής συναρμολόγησης και συμπεριφοράς της ECU, συναρμολογήθηκε μια πρόσθετη ηλεκτρονική πλακέτα εν ονόματι Jimstim. Η πλακέτα αυτή, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να ελέγχει με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή τη διαδικασία συναρμολόγησης κάνοντας σταδιακούς ελέγχους, ενώ διαθέτει ποτενσιόμετρα και φωτεινές ενδείξεις με σκοπό την προσομοίωση βασικών λειτουργιών του κινητήρα. Το Jimstim λοιπόν, συνδέεται στην ECU αντί του κινητήρα και ανάλογα με τη χρήση του προσομοιώνει διαφορετικές καταστάσεις του κινητήρα, όπως, ταχύτητα περιστροφής, θερμοκρασία νερού, θερμοκρασία αέρα, κτλ. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται εικόνες κατά την κατασκευή της ECU.



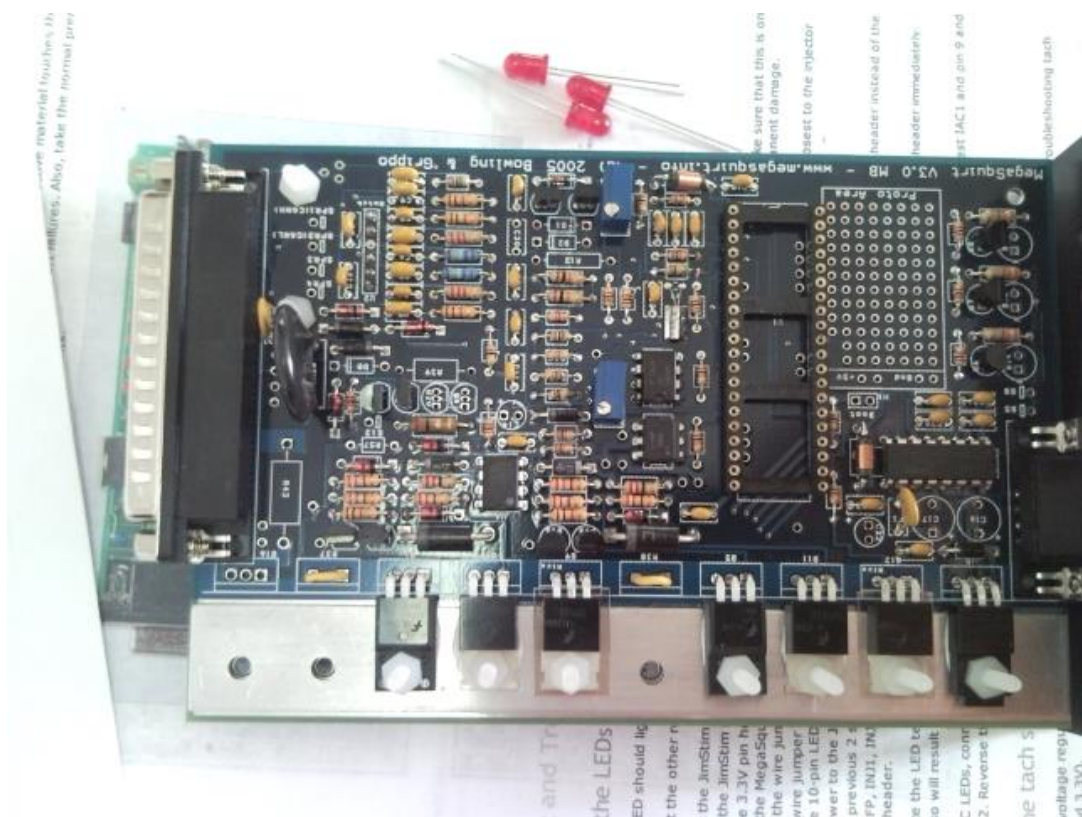
Σχήμα 5-1. Η ECU ασυναρμολόγητη σε κομμάτια. Στα σακουλάκια βρίσκονται όλα τα εξαρτήματα που την αποτελούν, όπως αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία, τρανζίστορ κτλ.



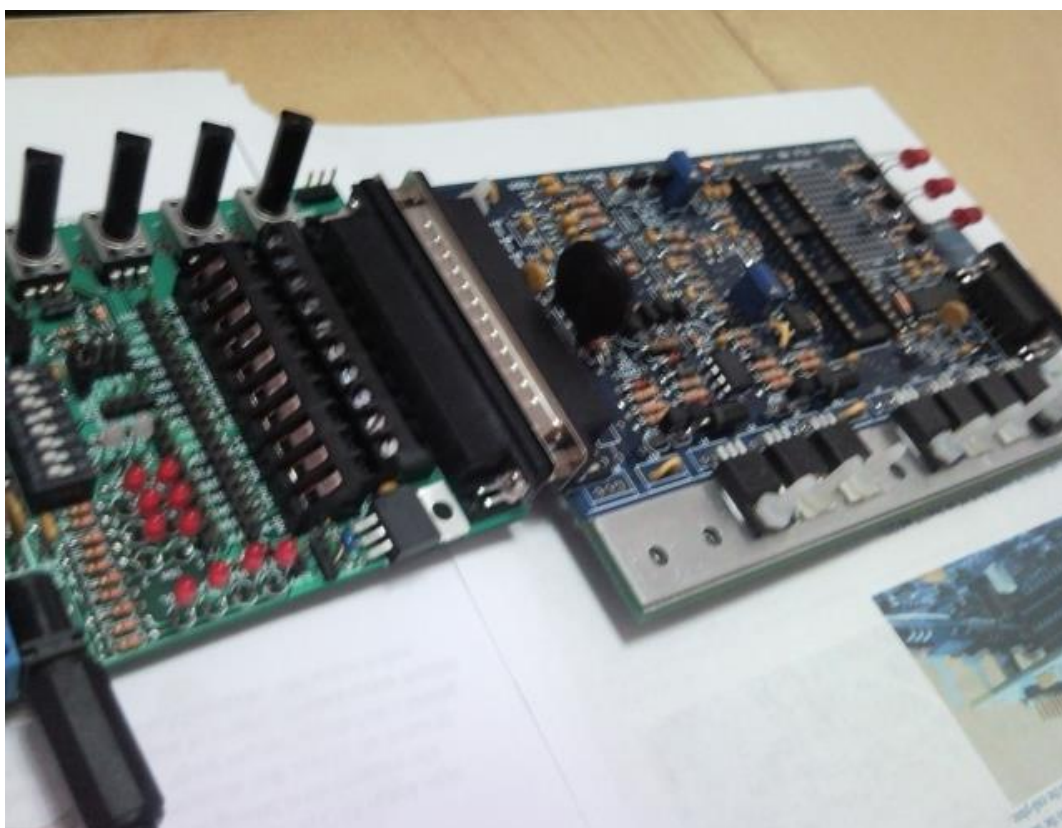
Σχήμα 5-2. Η πλακέτα του Jimstim ασυναρμολόγητη.



Σχήμα 5-3. Το Jimstim στην τελική του μορφή.



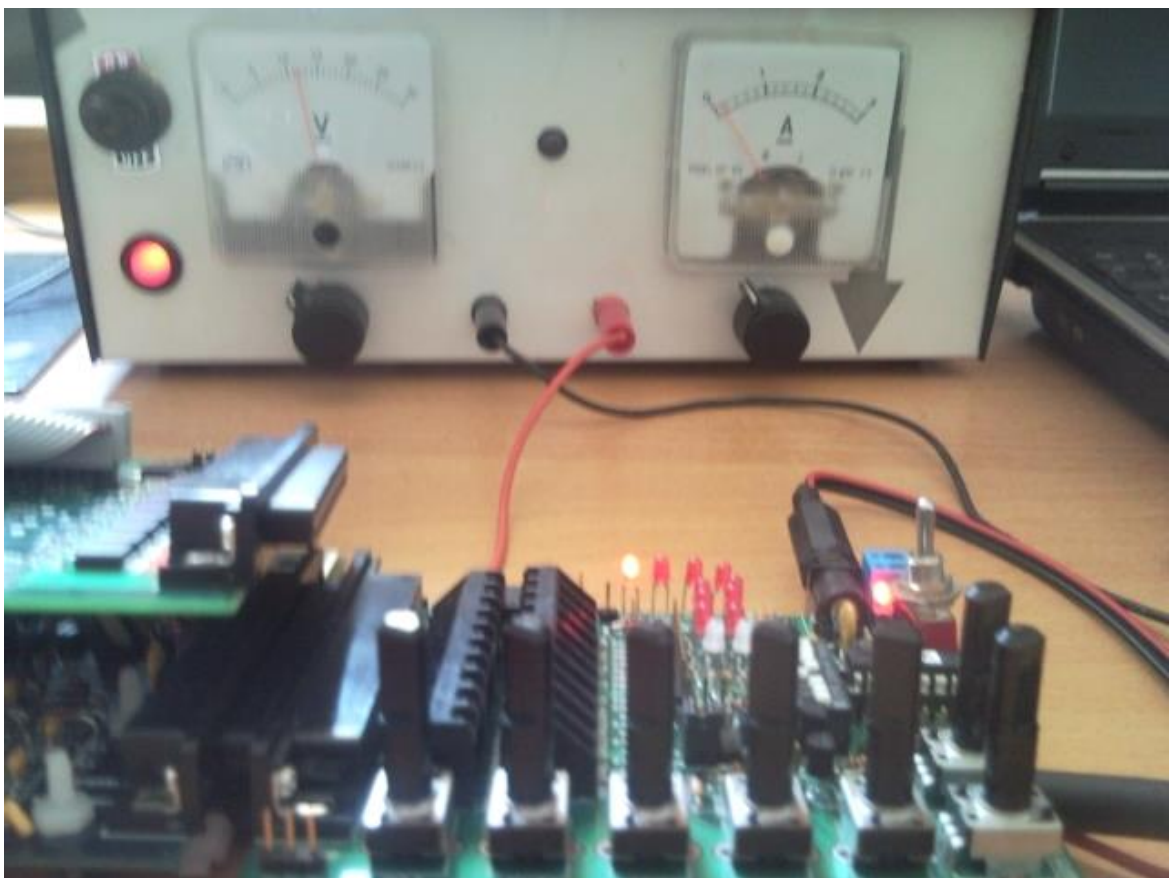
Σχήμα 5-4. Η ECU σε αρχικό στάδιο συναρμολόγησης.



Σχήμα 5-5. Η ECU σε πρώτη επαφή με το Jimstim για τον πρώτο έλεγχο.



Σχήμα 5-6. Η ECU αποτελούμενη από δύο πλακέτες σε δεύτερο έλεγχο με το Jimstim.



Σχήμα 5-6. Η ECU αποτελούμενη από τρεις πλακέτες σε τρίτο έλεγχο με το Jimstim.



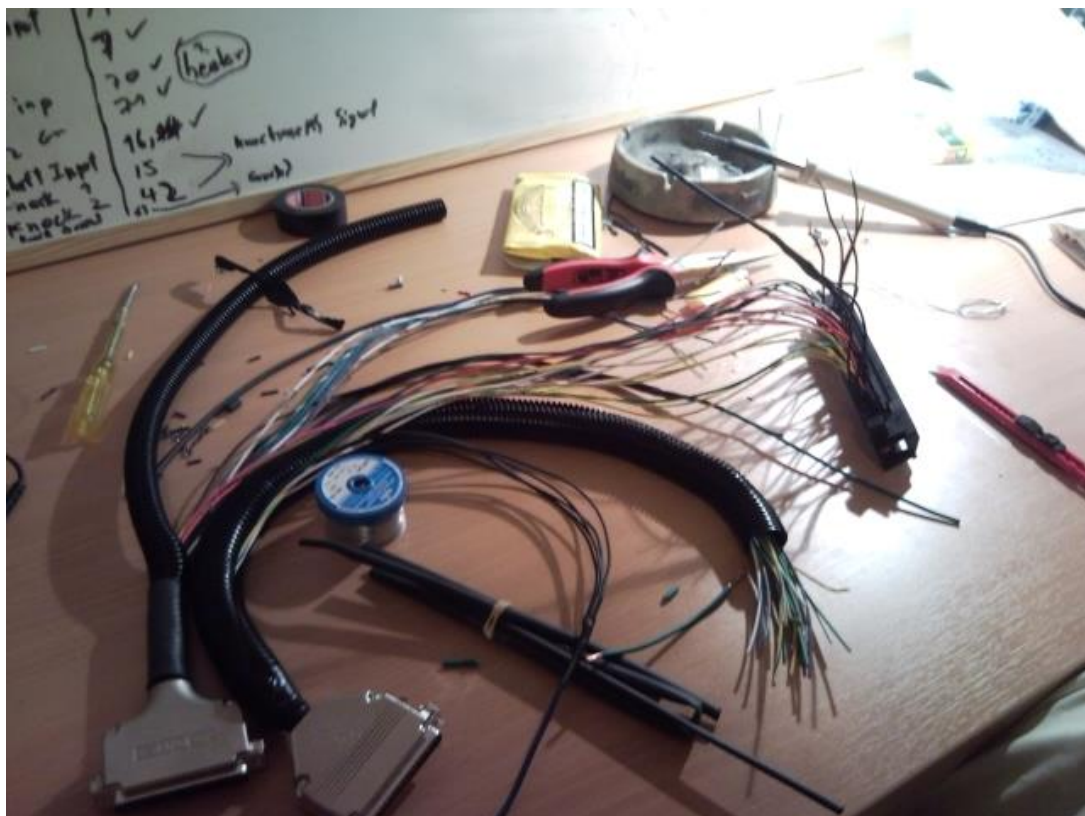
Σχήμα 5-6. Η ECU ολοκληρωμένη περνάει τον τελικό έλεγχο με το Jimstim και είναι πλέον έτοιμη να συνδεθεί με τον κινητήρα.

5.3 Αντικατάσταση της εργοστασιακής μονάδας

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής και τον έλεγχο της νέας ECU, σειρά έχει η εφαρμογή της στον κινητήρα. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι, η αντικατάσταση της εργοστασιακής ECU έγινε πριν την εγκατάσταση του υπερσυμπιεστή. Μετά την εγκατάσταση της νέας ECU, ακολούθησε ο προγραμματισμός του κινητήρα σε εργοστασιακές συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή, σε πίεση εισερχόμενου αέρα μέχρι την ατμοσφαιρική. Εφόσον, ο κινητήρας λειτούργησε σωστά και αξιόπιστα στις εργοστασιακές συνθήκες, ακολούθησε η εγκατάσταση του υπερσυμπιεστή και ο λεπτομερής προγραμματισμός της στις τελικές συνθήκες.

Η ECU χρησιμοποιεί για την επικοινωνία της με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή σειριακή θύρα DB9, και χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας RS232. Αντί αυτής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και θύρα USB και να γίνει με το κατάλληλο λογισμικό μετάφραση σε πρωτόκολλο RS232. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε η θύρα USB για χωροταξικούς κυρίως λόγους. Για τις εισόδους και τις εξόδους της, η μονάδα χρησιμοποιεί δύο θύρες DB37, η κάθε μία από τις οποίες έχει 37 επαφές. Σε αυτές τις δύο θύρες πρέπει να συνδεθούν όλοι οι αισθητήρες του κινητήρα, τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του κινητήρα και οποιοσδήποτε άλλος επιπρόσθετος αισθητήρας ή κύκλωμα το οποίο πρέπει να ανταλλάσει πληροφορίες με την ECU. Για να συμβεί αυτό χρησιμοποιήθηκε η υπάρχουσα καλωδίωση του οχήματος και προστέθηκαν νέες καλωδιώσεις που επέτρεψαν στην ECU να συνδεθεί με όλα τα πρόσθετα κυκλώματα και αισθητήρες της μετατροπής προκειμένου να αξιοποιηθούν όλες οι δυνατότητές της.

Η σύνδεση της εργοστασιακής καλωδίωσης με τις θύρες DB39 της νέας ECU, συνεπάγεται την αφαίρεση της εργοστασιακής φύσας που ήταν συνδεδεμένη με την παλιά ECU. Μια τέτοια κίνηση όμως, έχει σαν αποτέλεσμα την ακινητοποίηση του οχήματος σε περίπτωση που ο κινητήρας δεν λειτουργήσει με την νέα ECU. Επειδή, σε μία τέτοια μετατροπή, μια τέτοια κατάσταση είναι η πλέον αναμενόμενη, κατασκευάστηκε ένας μετατροπέας, ο οποίος μετατρέπει την εργοστασιακή φύσα σε DB37. Για την κατασκευή αυτή, αφαιρέθηκε από κατεστραμμένη εργοστασιακή ECU η φύσα της με τρόχισμα. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίστηκε η δυνατότητα άμεσης επαναφοράς της εργοστασιακής ECU σε περίπτωση που θα χρειαζόταν να γίνουν αλλαγές και τροποποιήσεις στη νέα ECU ή την καλωδίωσή της.



Σχήμα 5-7. Ο μετατροπέας της εργοστασιακής φύσας σε μια διπλή DB37 κατά την κατασκευή του.

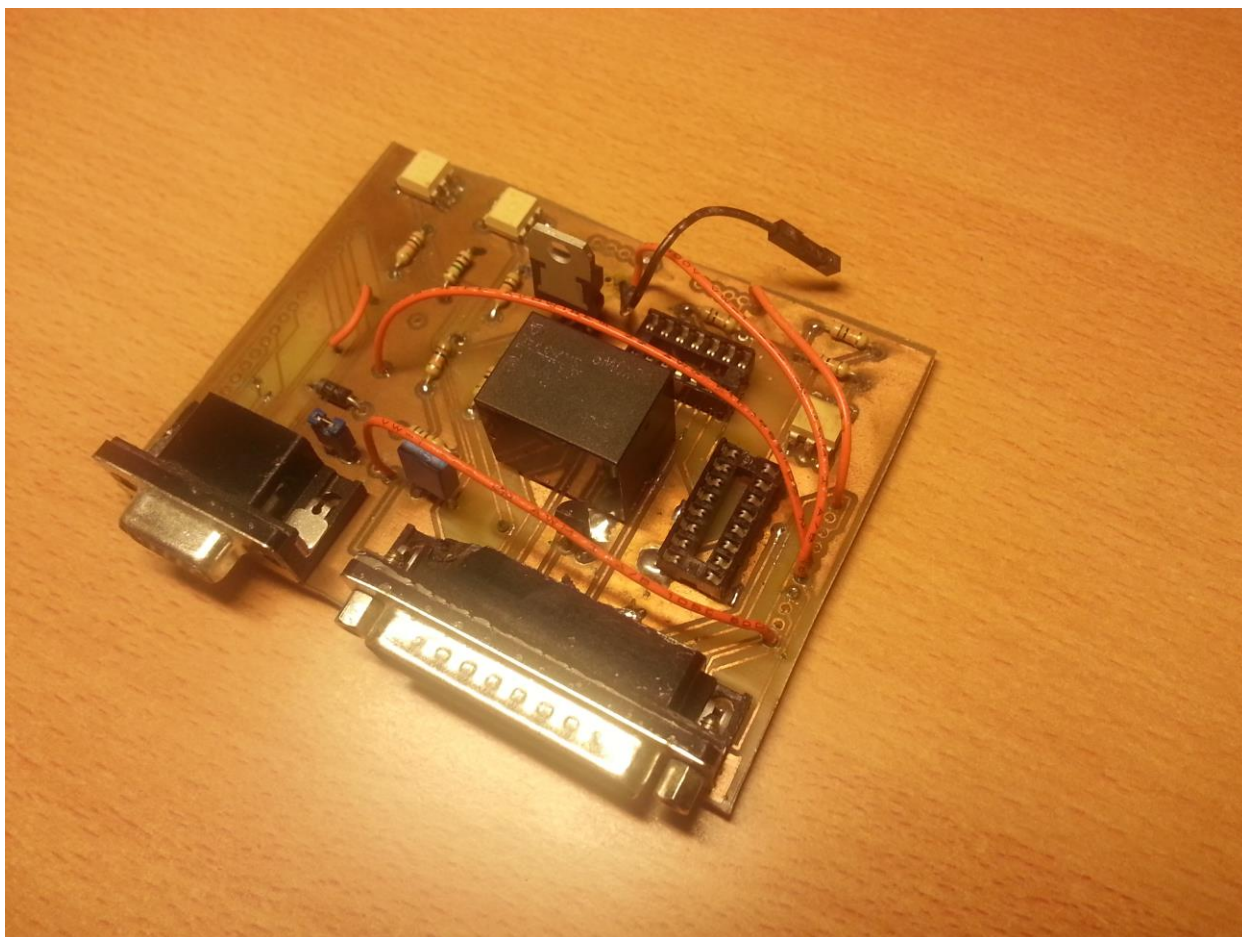


Σχήμα 5-8. Ο μετατροπέας ολοκληρωμένος.

Η νέα ECU, για πρακτικούς λόγους, έπρεπε να τοποθετηθεί στη θέση της εργοστασιακής. Επειδή όμως, ο χώρος αυτός είναι περιορισμένος, κάνοντας χρήση του μετατροπέα, δεν ήταν δυνατό να τοποθετηθεί ξανά, το πλαστικό κάλυμμα που μονώνει τον χώρο της ECU. Μετά από πολλές δοκιμές και τροποποιήσεις, η μόνιμη χρήση της νέας ECU κρίθηκε αξιόπιστη. Έτσι, οι DB37 κολλήθηκαν μόνιμα στην καλωδίωση του οχήματος, αφού αυτή τροποποιήθηκε κατάλληλα για τη δημιουργία του κατάλληλου χώρου. Εν τέλει, η ECU εγκαταστάθηκε μόνιμα στο όχημα και είναι προφυλαγμένη από τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στο μηχανοστάσιο και την υγρασία.

Πριν πάρει η καλωδίωση την τελική της μορφή, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από το μηδέν, μια δοκιμαστική πλακέτα η οποία συνδέθηκε μαζί με την ECU. Η πλακέτα αυτή, σχεδιάστηκε στο λογισμικό Eagle PCB design, της εταιρίας Cadsoft και σκοπός της ήταν να βοηθήσει στην παραμετροποίηση του κυκλώματος της ECU, όπως και άλλων περιφερειακών κυκλωμάτων που συνδέονται με την ECU. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε για:

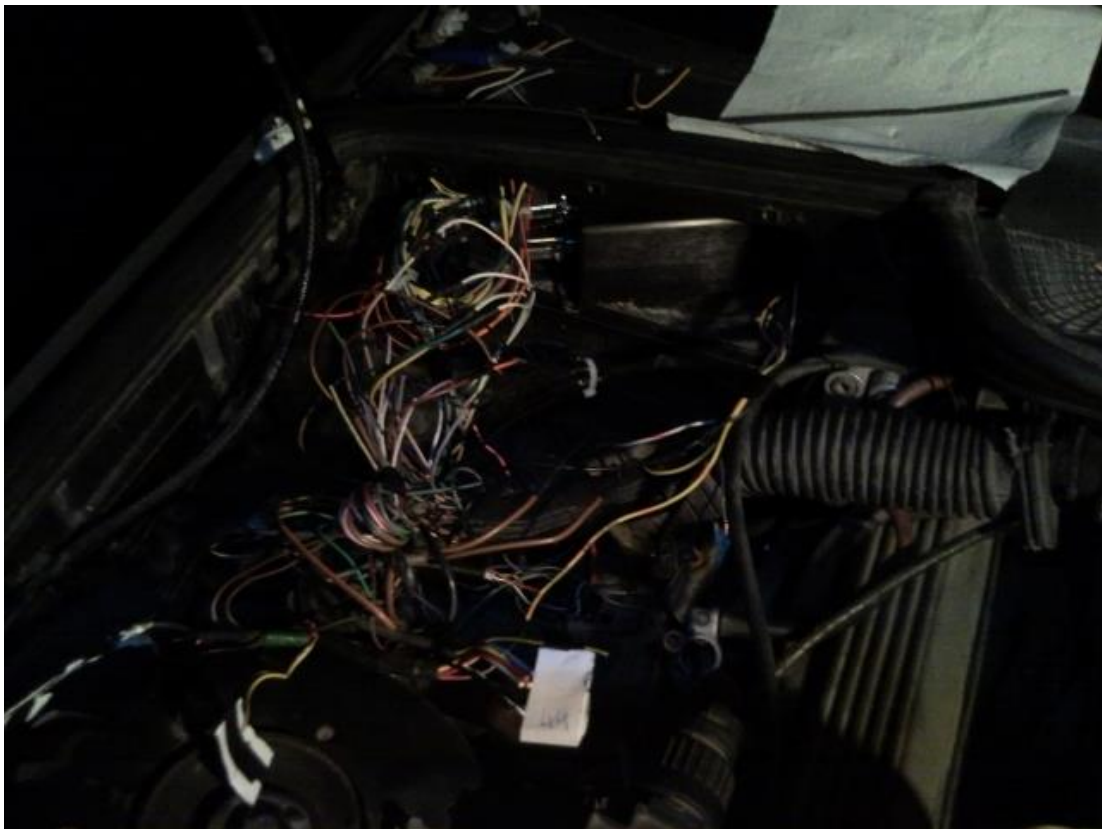
- την παρακολούθηση και ρύθμιση των αισθητήρων θέσης του κινητήρα (§6.4)
- την δοκιμή του κυκλώματος ενίσχυσης σήματος του αισθητήρα θερμοκρασίας των καυσαερίων (§6.9)
- την κατασκευή του κυκλώματος που ελέγχει τον συμπιεστή του συστήματος κλιματισμού (§6.11)
- την παροχή σταθεροποιημένης τάσης 5V



Σχήμα 5-9. Η δοκιμαστική επιπρόσθετη τυπωμένη πλακέτα.



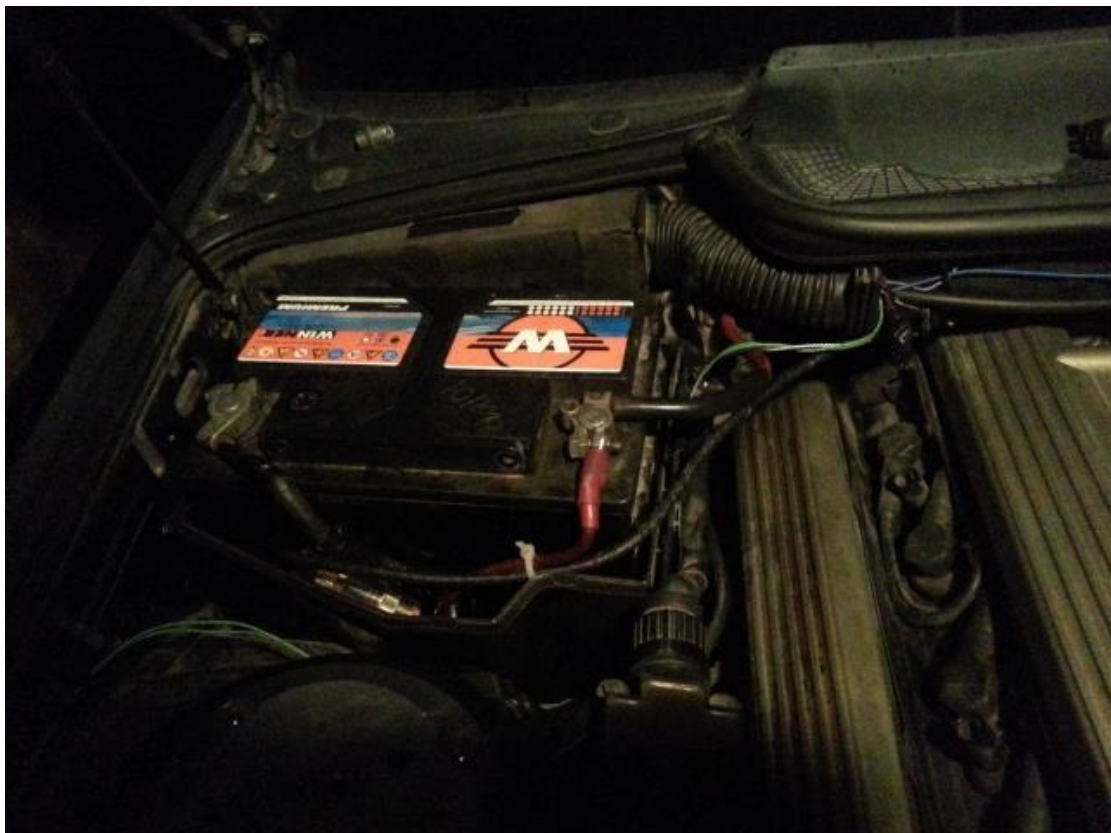
Σχήμα 5-10. Η δοκιμαστική πλακέτα βοηθάει στη παραμετροποίηση του κυκλώματος της ECU.



Σχήμα 5-11. Εικόνα κατά την κατασκευή της καλωδίωσης.



Σχήμα 5-12. Η καλωδίωση ολοκληρωμένη.



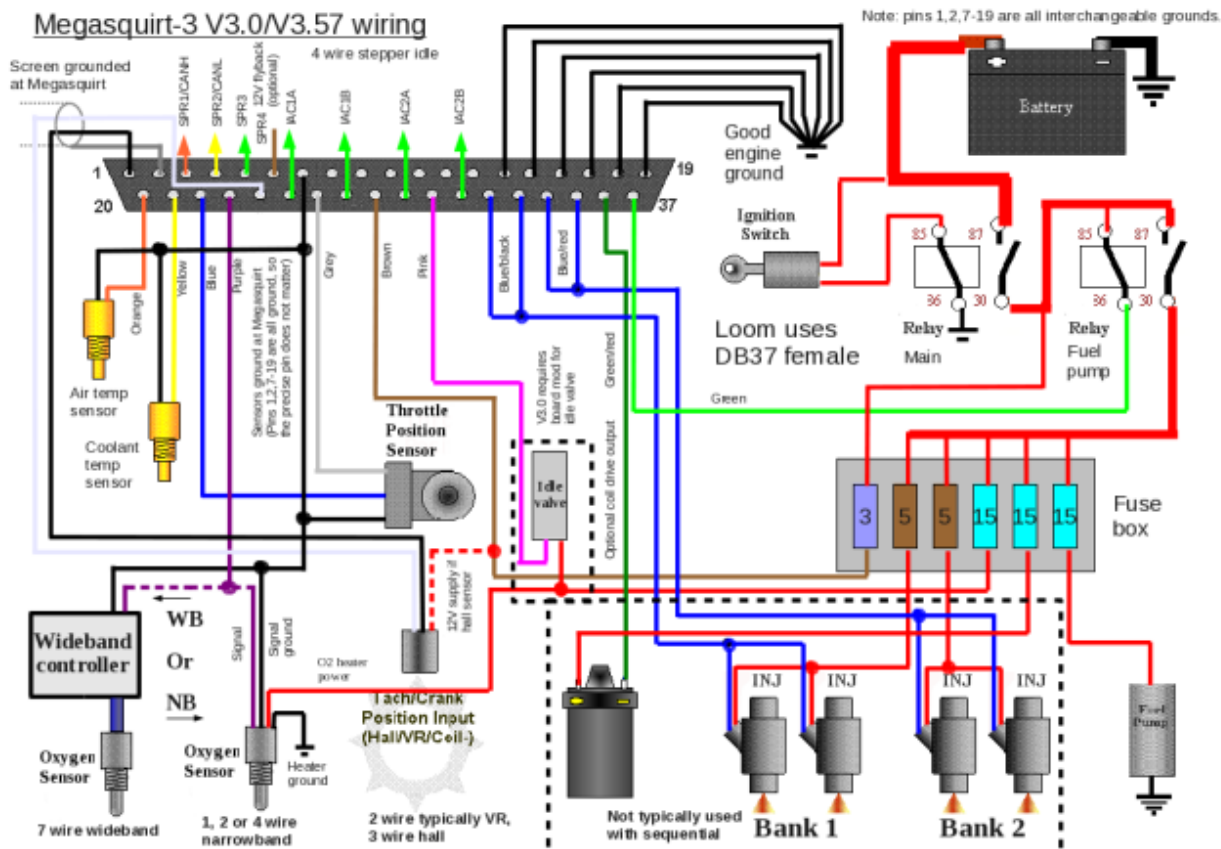
Σχήμα 5-13. Η ECU έχει τοποθετηθεί μόνιμα στο όχημα και είναι μονωμένη από υψηλές θερμοκρασίες και υγρασία.

6.

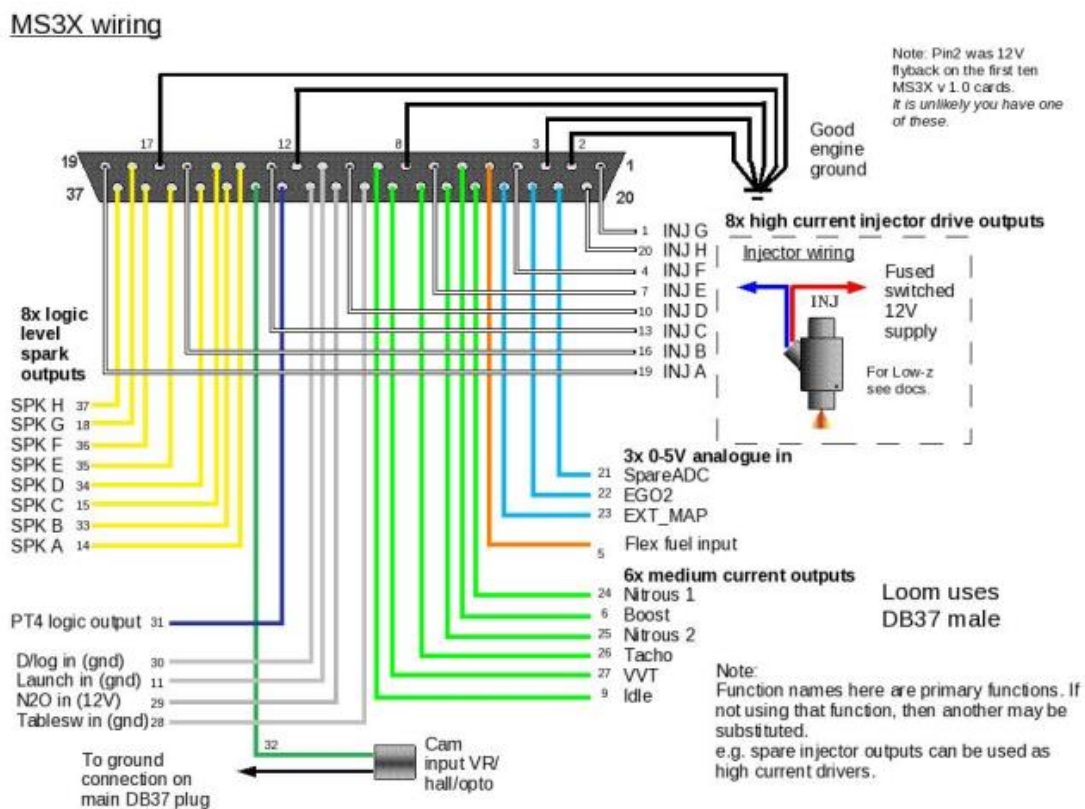
Είσοδοι και έξοδοι της ηλεκτρονικής μονάδας

6.1 Σχεδιαγράμματα εισόδων και εξόδων της ηλεκτρονικής μονάδας

Στα παρακάτω σχεδιαγράμματα παρουσιάζεται η χρησιμότητα των εισόδων-εξόδων των δύο DB37 θυρών. Η μια θύρα βρίσκεται στην mainboard και η άλλη σε μια πρόσθετη πλακέτα που καλείται MS3X (X από το expansion). Η MS3X δεν είναι απαραίτητη για να λειτουργήσει η ECU, ωστόσο προσφέρει μια πληθώρα εισόδων-εξόδων στον χρήστη, απλοποιεί πολύ την εγκατάσταση στο όχημα και επιτρέπει την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του επεξεργαστή και των εφαρμογών του λογισμικού. Στα επόμενα κεφάλαια, παρουσιάζεται ο τρόπος χρήσης αυτών των εισόδων και εξόδων, σύμφωνα με τις ανάγκες της μετατροπής.

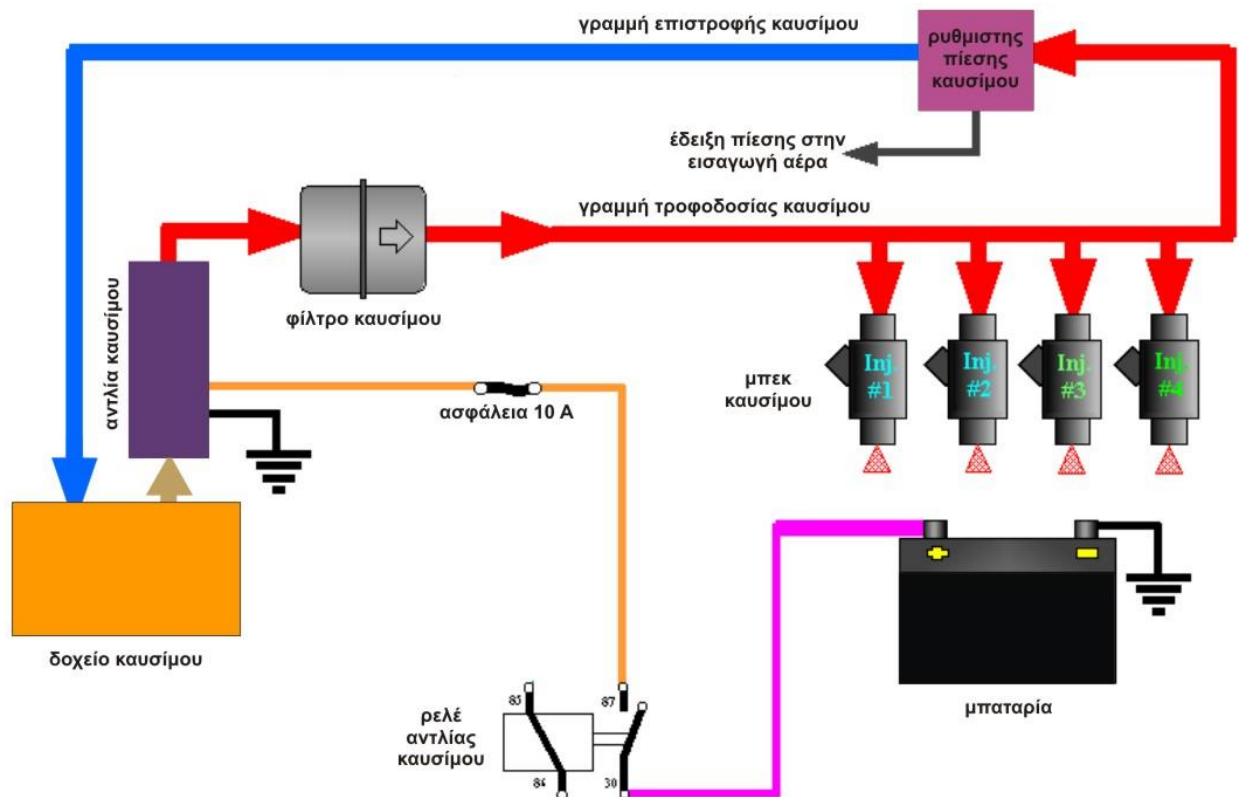


Σχήμα 6-1. Οι εισοδοι και οι εξοδοι της mainboard.



Σχήμα 6-2. Οι εισοδοι και οι εξοδοι της MS3X.

6.2 Σύστημα ψεκασμού καυσίμου



Σχήμα 6-3. Το σύστημα ψεκασμού καυσίμου του κινητήρα.

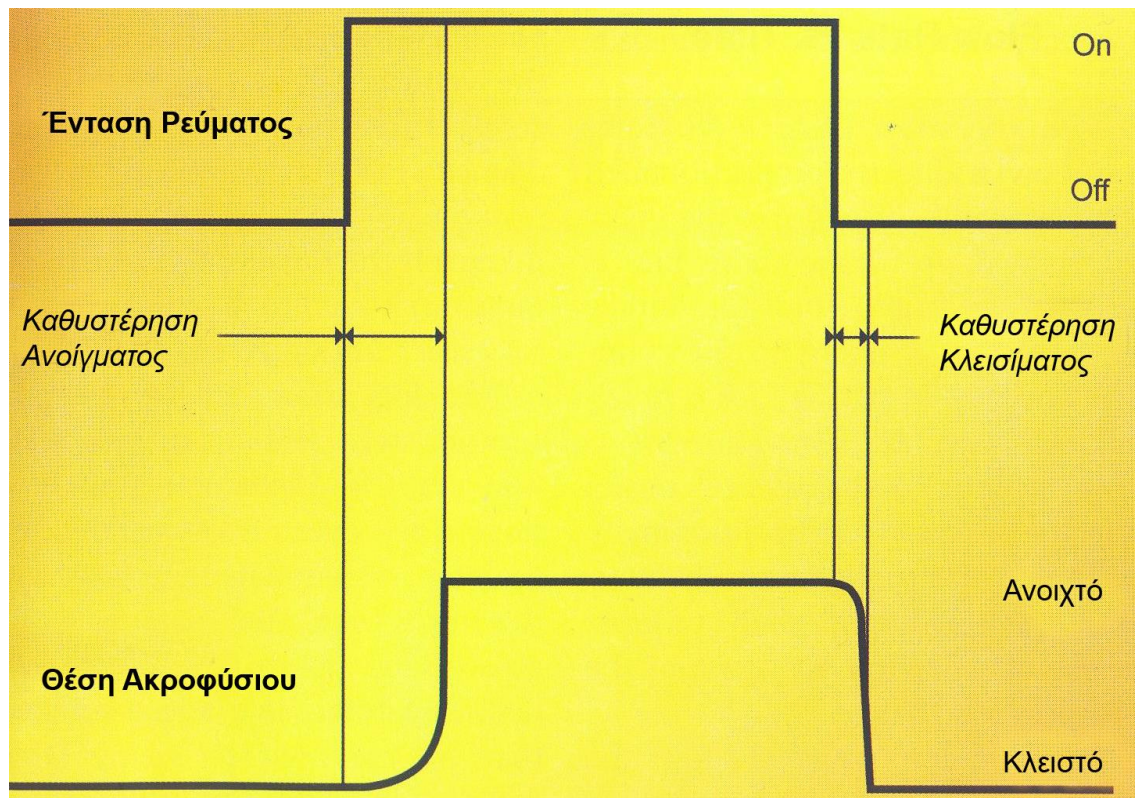
Στο σύστημα ψεκασμού του κινητήρα, η ECU ελέγχει την αντλία καυσίμου (fuel pump) και τα μπεκ καυσίμου (injectors). Η ECU ελέγχει την αντλία μέσω ενός ρελέ και τη θέτει σε λειτουργία όση ώρα λειτουργεί ο κινητήρας, όπως επίσης και ελάχιστα δευτερόλεπτα πριν εκκινήσει ο κινητήρας, προκειμένου να αυξηθεί η πίεση στο κύκλωμα καυσίμου.

Στην παρούσα εργασία, ο κινητήρας χρησιμοποιεί 4 μπεκ (ένα για κάθε κύλινδρο), τα οποία είναι τοποθετημένα στην εισαγωγή αέρα, ακριβώς πριν τις βαλβίδες εισαγωγής του εκκεντροφόρου άξονα. Τα μπεκ καυσίμου έχουν δύο επαφές. Η μία παίρνει σταθερή τάση από τον θετικό πόλο της μπαταρίας του οχήματος και η άλλη συνδέεται με την ECU, η οποία ανάλογα με τη διάρκεια του παλμού που δίνει, καθορίζει την ποσότητα του καυσίμου που εισέρχεται στον κινητήρα.

Η ECU λοιπόν, επιτρέπει τη ροή καυσίμου μέσα από το μπεκ για όση ώρα διαρκεί ο παλμός. Ωστόσο, για να ψεκάζει το μπεκ μια σταθερή ποσότητα καυσίμου ανά μονάδα χρόνου που μένει ανοικτό, θα πρέπει να υπάρχει πάντα σταθερή διαφορά πίεσης μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του μπεκ. Τη δουλειά αυτή την αναλαμβάνει ο ρυθμιστής πίεσης καυσίμου (fuel pressure regulator), ο οποίος μέσω ρυθμιστικών μεμβρανών στο εσωτερικό του, φροντίζει μηχανικά ώστε κάθε χρονική στιγμή να υπάρχει σταθερή διαφορά πίεσης μεταξύ του κυκλώματος του καυσίμου (είσοδος του μπεκ) και της εισαγωγής αέρα (έξοδος του μπεκ). Ο ρυθμιστής συνδέεται μέσω αγωγού με την εισαγωγή αέρα, και ανάλογα με την πίεση που υπάρχει σε αυτή, αυξάνει ή μειώνει την ροή καυσίμου που επιστρέφεται πίσω στο ντεπόζιτο του οχήματος. Στην παρούσα εργασία, λόγω βλάβης του εργοστασιακού ρυθμιστή πίεσης, έγινε αντικατάσταση με έναν μεταβλητό ρυθμιστή πίεσης. Έτσι, είναι δυνατόν να διατηρηθεί μια διαφορετική από την εργοστασιακή διαφορά πίεσης (3bar).

Τα εργοστασιακά μπεκ καυσίμου έχουν την δυνατότητα παροχής 243cc/min (το κάθε ένα), αλλά η παροχή αυτή δεν είναι αρκετή για να καλύψει τις απαιτούμενες ανάγκες της μετατροπής. Η παροχή αυτή μπορεί να αυξηθεί εάν αυξηθεί η πίεση καυσίμου, αλλά για λόγους αξιοπιστίας του συστήματος θεωρήθηκε σκόπιμη η αντικατάστασή τους με μπεκ μεγαλύτερης παροχής. Η παροχή των νέων μπεκ είναι αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες του κινητήρα για ιπποδύναμη μέχρι και 250 ίππους.

Ανεξαρτήτως της αντικατάστασης αυτής ωστόσο, χρειάζεται να γίνει ένα πείραμα, προκειμένου να εξακριβωθεί ο “νεκρός χρόνος” των μπεκ (Dead Time). Κατά την εκκίνηση και τον τερματισμό του παλμού που δημιουργεί η ECU, υπάρχει μια πολύ μικρή χρονική καθυστέρηση μέχρι το μπεκ να ανοίξει και να κλείσει αντιστοίχως. Επίσης, η ροή του καυσίμου χρειάζεται ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα για να μεταβεί από μηδενική σε μέγιστη και το αντίστροφο. Ο χρόνος αυτός προσδιορίζεται πειραματικά και τη τιμή του κυμαίνεται συνήθως από 0,8ms έως 1,1ms. Η τιμή του νεκρού χρόνου, αν και εύκολα μπορεί να δώσει την εντύπωση ότι είναι μια αμελητέα ποσότητα, έχει πολύ σημαντική επίδραση όταν ο κινητήρας βρίσκεται στο ρελαντί ή βρίσκεται σε στάδιο προγραμματισμού. Μετά τον προσδιορισμό του νεκρού χρόνου, η ECU τον προσθέτει στην κανονική διάρκεια του παλμού ώστε η παροχή καυσίμου να είναι η θεμιτή.

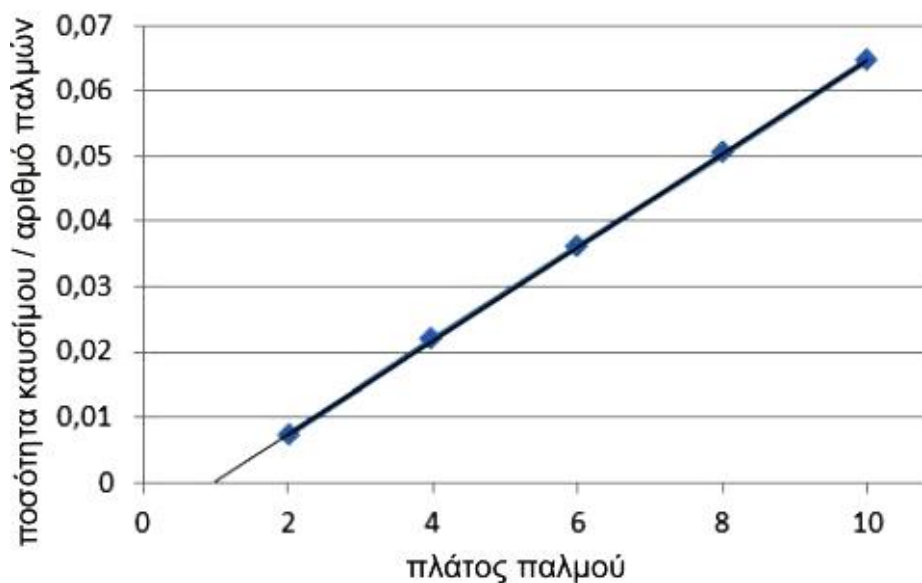


Σχήμα 6-4. Χρονική αναπαράσταση του παλμού (επάνω) και της συμπεριφοράς του μπεκ (κάτω).

Κατά την διεξαγωγή του πειράματος, χρειάζεται να μετρηθεί με ογκομετρικούς σωλήνες η παροχή καυσίμου για διαφορετικά πλάτη παλμών και αριθμό επαναλήψεων. Το software της ECU διαθέτει έτοιμη μια τέτοια εφαρμογή, στη οποία ο χρήστης επιλέγει σε κάθε μέτρηση το επιθυμητό πλάτος του παλμού, των αριθμό των επαναλήψεων και τη χρονική διαφορά μεταξύ τους. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα 5 μετρήσεων που έγιναν σε πίεση καυσίμου ίση με 4bar και τάση μπαταρίας 11,8V.

Πίνακας 1-1. Αποτελέσματα πειράματος για την εύρεση του νεκρού χρόνου		
Πλάτος παλμού (ms)	Αριθμός παλμών	Ποσότητα καυσίμου (cc)
10	1150	74
8	1534	76
6	1900	68
4	2870	62
2	5750	44

Στη συνέχεια χρειάζεται να υπολογιστεί για κάθε μέτρηση ο λόγος της ποσότητας καυσίμου ανά αριθμό παλμών (cc/pulses), και να απεικονισθεί γραφικά συναρτήσει του πλάτους του παλμού (Σχήμα 6-5). Η προέκταση της ευθείας που δημιουργείται μέχρι το σημείο τομή της με τον άξονα των τετμημένων, δίνει τον νεκρό χρόνο. [4][5][6]



Σχήμα 6-5. Ο λόγος ποσότητας καυσίμου ανά αριθμό παλμών, συναρτήσει του πλάτους του παλμού.



Σχήμα 6-6. Εικόνα κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.

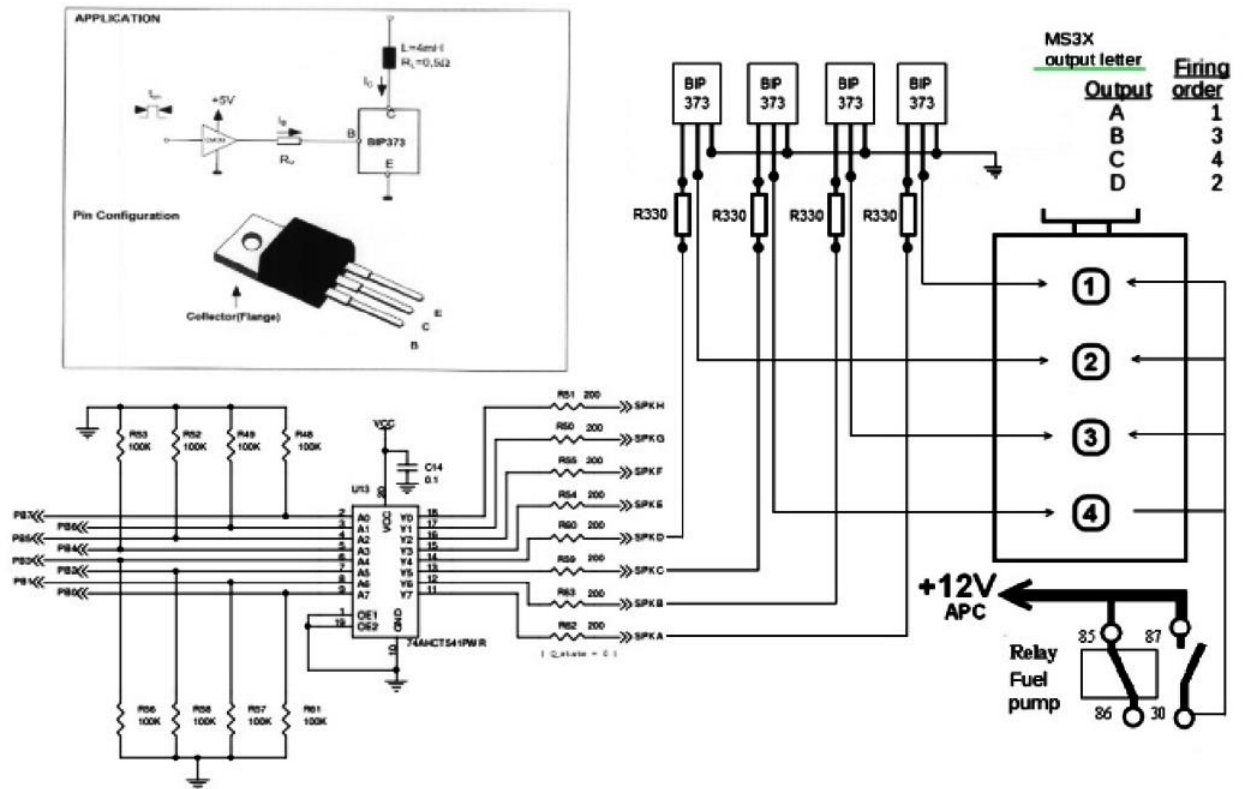
6.3 Σύστημα ανάφλεξης

Η έναρξη της καύσης ξεκινάει, όταν δημιουργηθεί ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ των ηλεκτροδίων του μπουζί. Για να δημιουργηθεί αυτή η εκκένωση, θα πρέπει να υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων, καθώς ο αέρας που υπάρχει ανάμεσά τους είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού. Όσο μεγαλύτερη πίεση επικρατεί στον θάλαμο, άρα και μεγαλύτερη πυκνότητα του αέρα, τόσο μεγαλύτερη μάζα αέρα υπάρχει μεταξύ των ηλεκτροδίων. Επομένως, όσο μεγαλύτερη μάζα υπάρχει, τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων για να γίνει η εκκένωση. Η απαιτούμενη αυτή διαφορά δυναμικού μπορεί να ανέρχεται ακόμα και σε 60.000V ή και περισσότερα, ανάλογα με τις ανάγκες του κινητήρα.

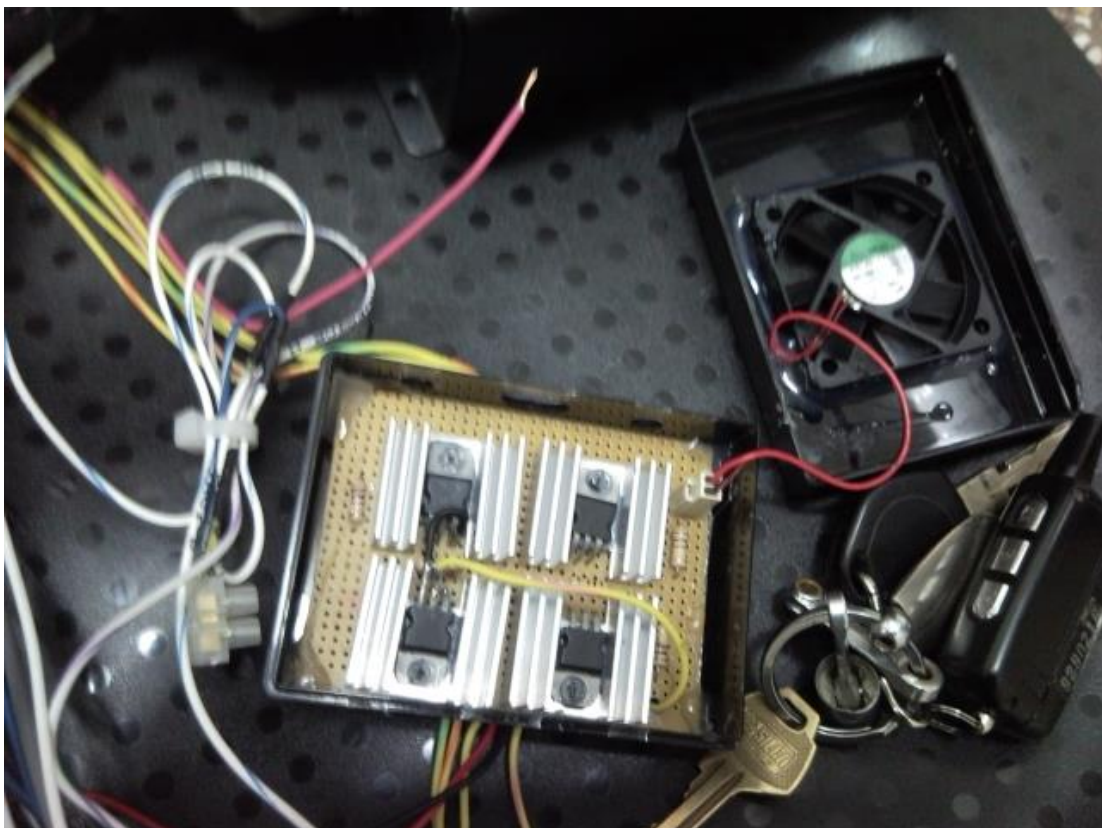
Αυτή τη διαφορά δυναμικού την παράγουν οι πολλαπλασιαστές (ignition coils) και στην παρούσα εργασία υπάρχει ένας για κάθε κύλινδρο. Οι πολλαπλασιαστές, είναι ένα είδος ηλεκτρικού μετασχηματιστή και αποτελούνται από ένα πρωτεύον και ένα δευτερεύον πηνίο, το

ένα μέσα στο άλλο. Το πρωτεύον πηνίο το ελέγχει η ECU, και έχει συνήθως 150 περίπου περιτυλίξεις, ενώ το δευτερεύον είναι αυτό που προκαλεί την εκκένωση στο μπουζί και έχει δεκάδες χιλιάδες περιτυλίξεις. Η τελική διαφορά δυναμικού, που δημιουργεί ένας τέτοιος μετασχηματισμός, είναι ανάλογη της διαφοράς των περιτυλίξεων που έχουν τα δύο πηνία. Αυτό σημαίνει ότι, αν το δευτερεύον πηνίο έχει π.χ. 200 φορές περισσότερες περιτυλίξεις από το πρωτεύον, η αρχική τάση των 12V μετατρέπεται σε 2.400V. Ωστόσο, οι πολλαπλασιαστές δεν είναι απλοί μετασχηματιστές. Λειτουργώντας ως ηλεκτρομαγνήτες, μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια σε μορφή μαγνητικού πεδίου. Κάνοντας χρήση αυτής της ιδιότητας, τα σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα μπορούν να παράξουν δέκα ή και περισσότερες φορές μεγαλύτερη τάση φορτίζοντας το πηνίο πλήρως μόλις σε 2-4 ms (dwell time). Το χρόνο φόρτισης και τη στιγμή που γίνεται η εκκένωση, τα καθορίζει ο χρήστης από την ECU. Εσφαλμένη παραμετροποίηση των τιμών αυτών, μπορεί πολύ εύκολα να καταστρέψει τους πολλαπλασιαστές.

Οι έξοδοι που έχει η ECU για την ανάφλεξη είναι τα logic level spark outputs (Σχήμα 6-2), αλλά στην προκειμένη περίπτωση, δεν έχουν τη δυνατότητα να διαχειριστούν άμεσα τους εργοστασιακούς πολλαπλασιαστές. Για τον λόγο αυτό, χρειάστηκε να κατασκευαστεί μια επιπρόσθετη πλακέτα (ignition module), η οποία κάνοντας χρήση τεσσάρων power transistors καθιστά την ECU ικανή για να ελέγξει τους εν λόγω πολλαπλασιαστές. Τα transistors αυτά είναι τα BIP373 της BOSCH, τα οποία τα χρησιμοποιεί και η ίδια η BOSCH για την κατασκευή των συστημάτων ανάφλεξης εργοστασιακών ECU. Τα BIP373 έχουν πολύ μικρό χρόνο απόκρισης και λειτουργούν στην ουσία ως πολύ γρήγοροι ηλεκτρονικοί διακόπτες, ενώ μπορεί να τα διαπεράσει ρεύμα ισχύος 10A χωρίς πρόβλημα. Συνδέοντας λοιπόν την βάση (Base) του BIP373 με τα logic spark outputs της ECU, τον συλλέκτη (Collector) με τη γείωση και τον εκπομπό (Emitter) με τον πολλαπλασιαστή, η ECU δίνοντας hi και low με τα spark outputs μπορεί να καθορίζει το χρόνο φόρτισης και τη στιγμή της εκκένωσης.[4][5]



Σχήμα 6-4. *BIP373 schematic.*



Σχήμα 6-5. Η πλακέτα με τα BIP373. Για την αξιόπιστη λειτουργία τους έγινε χρήση ανεμιστήρα.



Σχήμα 6-6. Η πλακέτα με τα BIP373 ολοκληρωμένη και έτοιμη να συνδεθεί με την καλωδίωση του κινητήρα.

6.4 Αισθητήρες θέσης του κινητήρα

Στην παρούσα εργασία ο κινητήρας διαθέτει δύο αισθητήρες, οι οποίοι ενημερώνουν την ECU σε ποιο σημείο του κύκλου καύσης βρίσκεται ο κινητήρας. Οι αισθητήρες αυτοί είναι ο αισθητήρας στροφάλου και ο αισθητήρας εκκεντροφόρων. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, ένας κύκλος καύσης αποτελείται από δύο περιστροφές του στροφάλου, εκ των οποίων μόνο στη μια γίνεται καύση (power stroke). Η ECU λοιπόν, πρέπει να γνωρίζει, όχι μόνο τη γωνία του στροφάλου, αλλά και σε ποια από τις δύο περιστροφές βρίσκεται ο κινητήρας. Στα συστήματα που χρησιμοποιείται μόνο ένας αισθητήρας, ο ψεκασμός και η ηλεκτρική εκκένωση γίνονται σε κάθε περιστροφή. Ωστόσο, η καύση γίνεται και πάλι μόνο μια φορά, προφανώς καθώς οι βαλβίδες εισαγωγής επιτρέπουν στο μείγμα να εισέλθει στον θάλαμο μόνο μια φορά. Για τη διαδικασία αυτή οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν διάφορα είδη αισθητήρων και μηχανισμών. Στην παρούσα εργασία ο κινητήρας διαθέτει δύο “Variable Reluctance sensors” (VR sensors) ή αλλιώς μονόπολα.

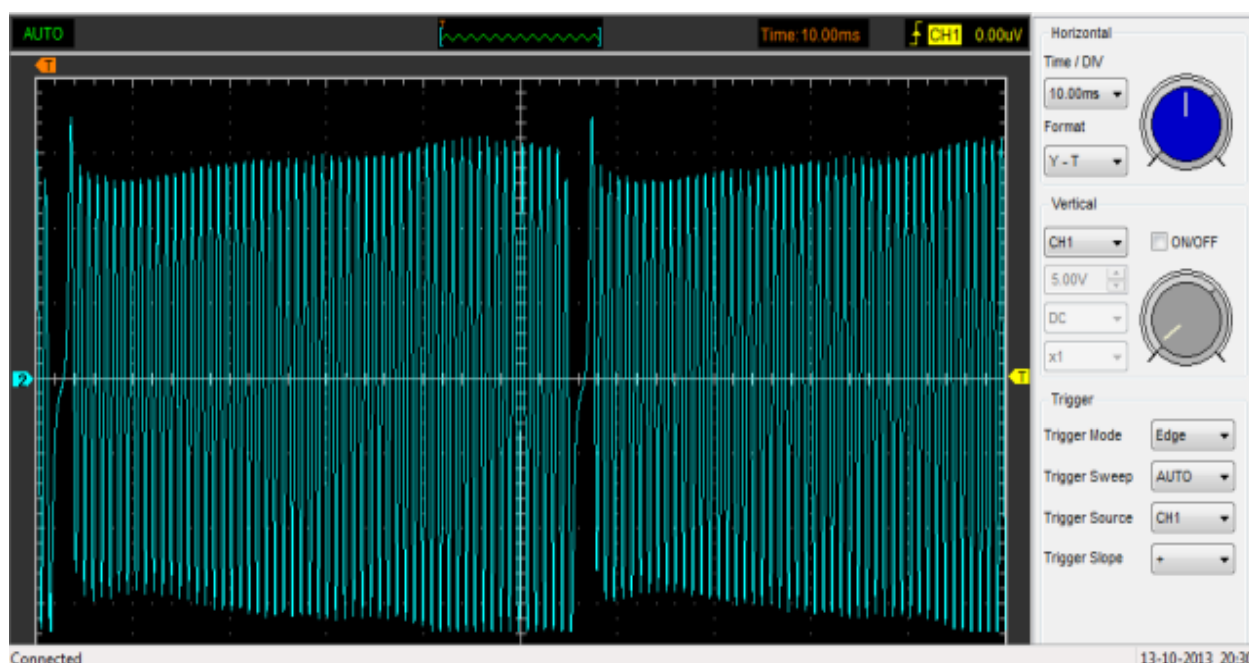
Ο αισθητήρας των εκκεντροφόρων διαβάζει ένα μόνο δόντι το οποίο δίνει στιγμιαία ένα σήμα υψηλότερης τάσης ανά δύο περιστροφές. Έτσι λοιπόν, ανάλογα με το αν έχει δώσει ή όχι σήμα ο αισθητήρας, η ECU γνωρίζει σε ποια από τις δύο περιστροφές βρίσκεται.

Ο αισθητήρας του στρόφαλου, δίνει στην ECU, ένα περίπου ημιτονοειδές σήμα, το οποίο προέρχεται από το σχήμα της οδοντωτής τροχαλίας που διαβάζει. Η τροχαλία αυτή, περιστρέφεται ομοαξονικά με τον στρόφαλο και αποτελείται από 60-2 δόντια. Τα 2 από τα 60 δόντια λείπουν σκόπιμα, προκειμένου η ECU να ενημερώνεται για τη στιγμή κατά την οποία ο πρώτος κύλινδρος βρίσκεται στο ΑΝΣ. Γνωρίζοντας τη χρονική αυτή στιγμή η ECU, ανάλογα με το πόσα δόντια έχει διαβάσει ο αισθητήρας μετά από αυτή τη στιγμή, μπορεί να γνωρίζει την ακριβή γωνία κατά την οποία έχει περιστραφεί ο στρόφαλος. Το σημείο όμως στο οποίο ο αισθητήρας συναντάει το πρώτο δόντι μετά τα δύο κενά, δεν σημαίνει απαραίτητα ότι είναι η στιγμή που ο πρώτος κύλινδρος βρίσκεται στο ΑΝΣ. Έτσι, η ECU θα πρέπει να γνωρίζει πόσα δόντια μετά τα δύο κενά ο κύλινδρος βρίσκεται όντως στο ΑΝΣ. Ο αριθμός των δοντιών αυτών (ή αλλιώς η γωνία περιστροφής) πρέπει να προσδιοριστούν στην ECU πριν καν ο κινητήρας λειτουργήσει για πρώτη φορά. Σε διαφορετική περίπτωση, ο κινητήρας είναι πολύ πιθανό να καταστραφεί ακόμα και κατά την διαδικασία της εκκίνησης, καθώς η ανάφλεξη του καυσίμου θα γίνει πιθανώς σε κάποια εντελώς λάθος στιγμή.

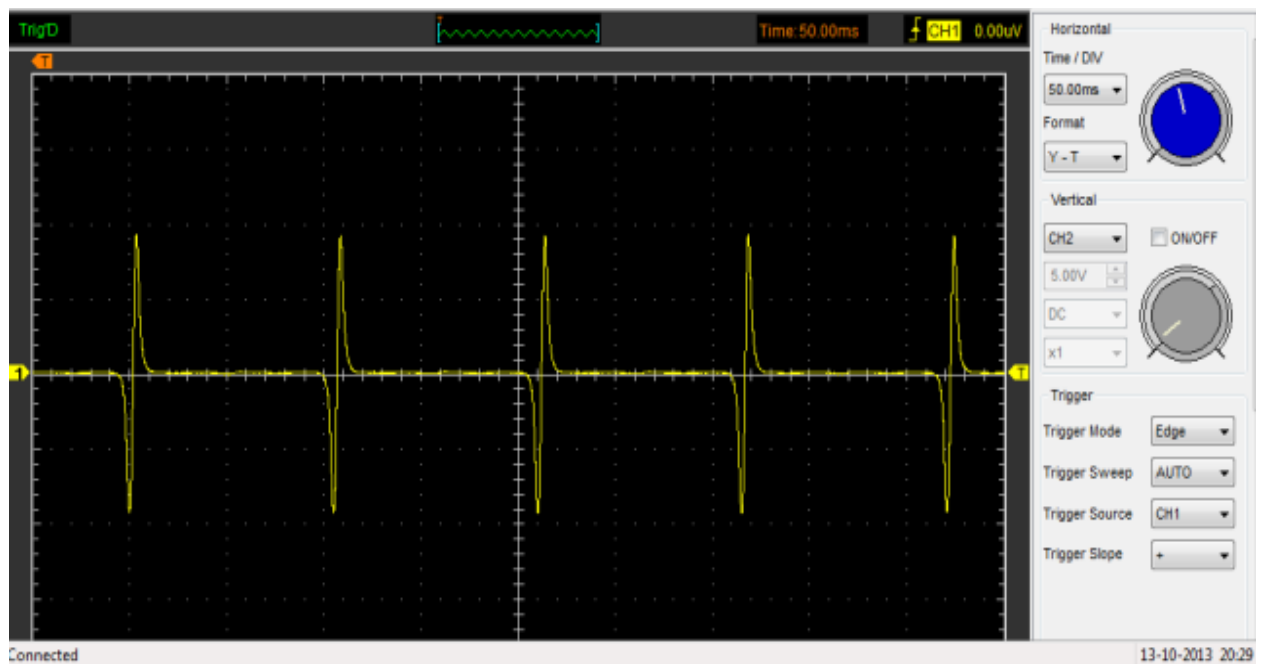
Η γωνία αυτή καλείται “first tooth angle” και ο προσδιορισμός της γίνεται με τη χρήση ενός ειδικού εργαλείου που ονομάζεται “timing light”. Κατά τη χρήση του θα πρέπει, σε πρώτη φάση να διακοπεί η τροφοδοσία του κινητήρα από καύσιμα, ώστε να είναι αδύνατη η εκκίνησή του. Το εργαλείο αυτό, βασίζεται στο στροβοσκοπικό φαινόμενο και αναβοσβήνοντας τη σωστή χρονική στιγμή, εμφανίζει στα μάτια του χρήστη την περιστρεφόμενη οδοντωτή τροχαλία σαν ακίνητη. Ο χρήστης, μπορεί να δει τότε τα ειδικά σημάδια που υπάρχουν στην περιστρεφόμενη τροχαλία και στο μπλοκ του κινητήρα και δίνοντας διαφορετικές τιμές στην ECU, μπορεί να βρει με ακρίβεια τη ζητούμενη γωνία στην οποία τα σημάδια αυτά ευθυγραμμίζονται. Το φως όμως, θα πρέπει να αναβοσβήνει ακριβώς τη χρονική στιγμή στην οποία ο πρώτος κύλινδρος βρίσκεται στο ΑΝΣ. Για να το καταφέρει αυτό, χρησιμοποιεί μέσω μιας ειδικής ακίδας το επαγωγικό ρεύμα που δημιουργεί το καλώδιο τροφοδοσίας του μπουζί του πρώτου κυλίνδρου σαν σηματοδότη. Έτσι λοιπόν, δίνοντας εντολή στην ECU να κάνει εικονική ανάφλεξη όταν ο κύλινδρος είναι στο ΑΝΣ (μηδέν μοίρες spark advance), επιλέγουμε ταυτόχρονα να αναβοσβήνει εκείνη τη στιγμή το timing light. Εφόσον προσδιοριστεί η γωνία, η εκκίνηση του κινητήρα είναι πλέον ασφαλής. [1][2][3][4][5][6]



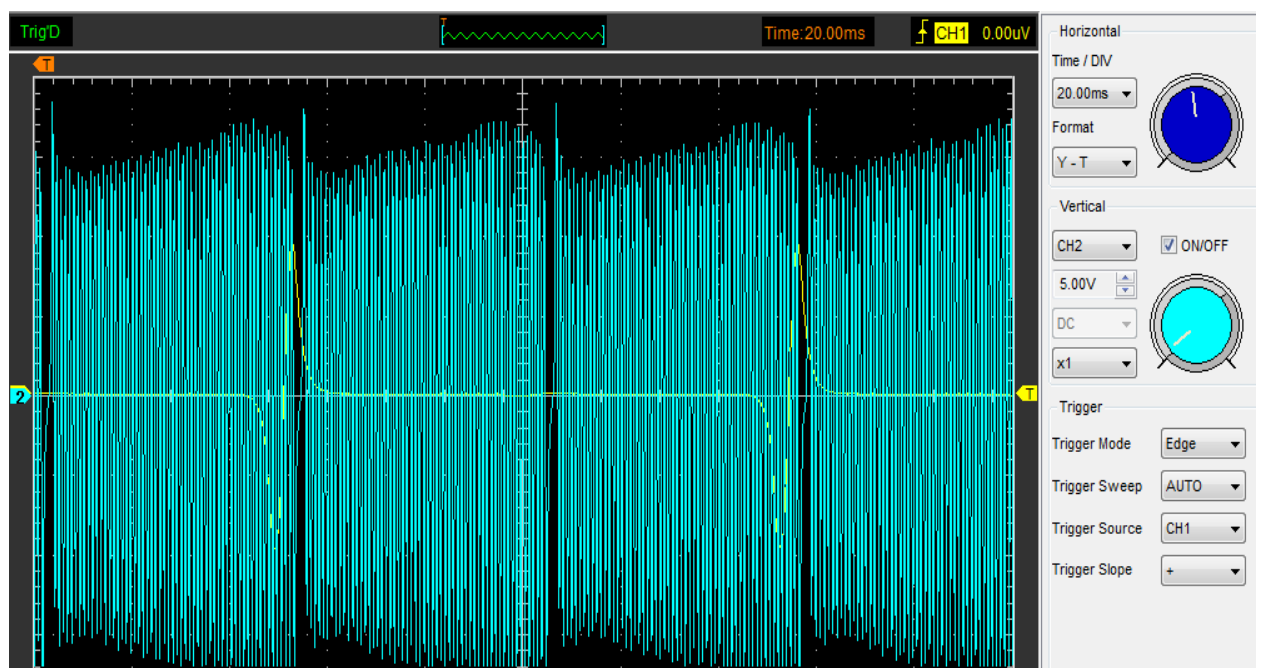
Σχήμα 6-7. Actron CP7529 timing light. Η μαύρη και η κόκκινη ακίδα συνδέονται στον αρνητικό και θετικό πόλο της μπαταρίας αντίστοιχα. Μέσα από την τρίτη ακίδα διέρχεται το καλώδιο τροφοδοσίας του μπουζί του πρώτου κυλίνδρου, το οποίο σηματοδοτεί την απελευθέρωση της δέσμης φωτός.



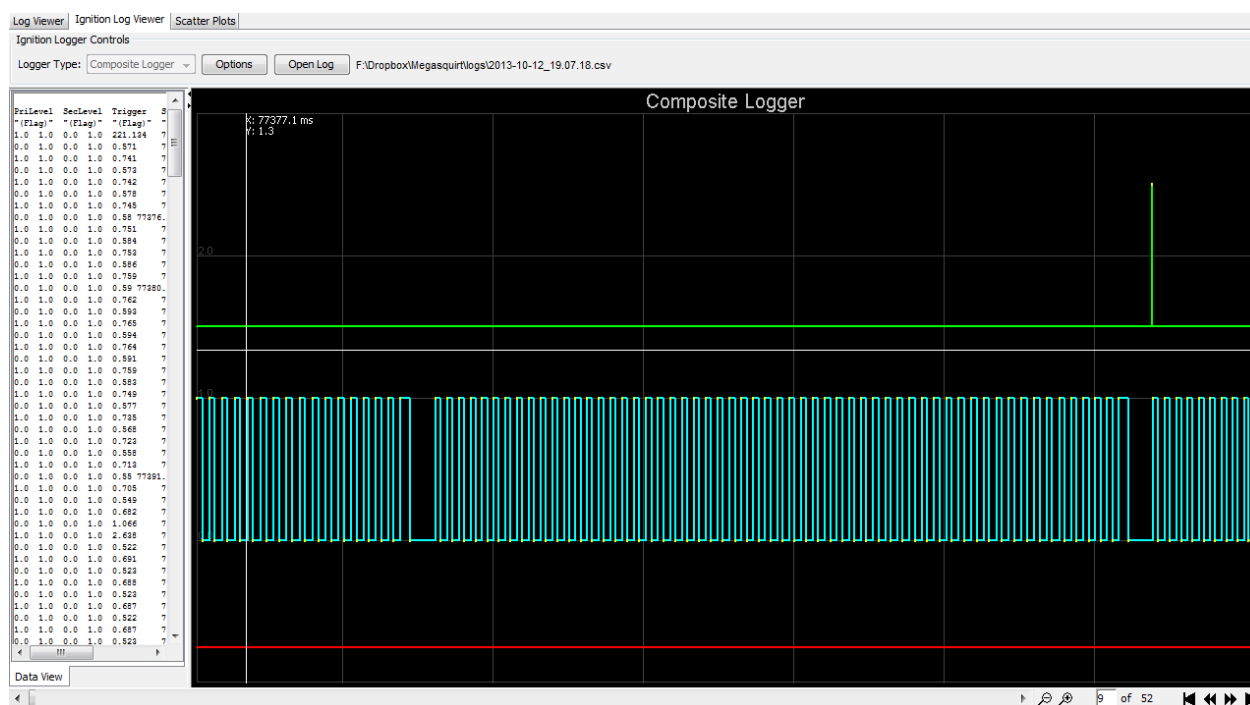
Σχήμα 6-8. Καταγραφή μέσω ψηφιακού παλμογράφου του αναλογικού σήματος που λαμβάνει η ECU από τον αισθητήρα του στροφάλου. Το κενό αντιστοιχεί στα δύο δόντια που λείπουν από την οδοντωτή τροχαλία.



Σχήμα 6-9. Καταγραφή μέσω ψηφιακού παλμογράφου του αναλογικού σήματος που λαμβάνει η ECU από τον αισθητήρα του εκκεντροφόρου. Ο αισθητήρας συναντάει ένα μόνο δόντι ανά δύο περιστροφές.



Σχήμα 6-9. Καταγραφή μέσω ψηφιακού παλμογράφου του αναλογικού σήματος που λαμβάνει η ECU και από τους δύο αισθητήρες ταυτόχρονα. Παρατηρούμε ότι ο αισθητήρας εκκεντροφόρου δίνει σήμα μία φορά ανά δύο περιόδους.



Σχήμα 6-10. Η ψηφιακή μετάφραση του αναλογικού σήματος των αισθητήρων που γίνεται από την ECU. Με πράσινο χρώμα παριστάνεται ο αισθητήρας εκκεντροφόρου και με μπλε ο αισθητήρας στροφάλου.

6.5 Αισθητήρες που χρησιμοποιούν τον νόμο του διαιρέτη τάσης

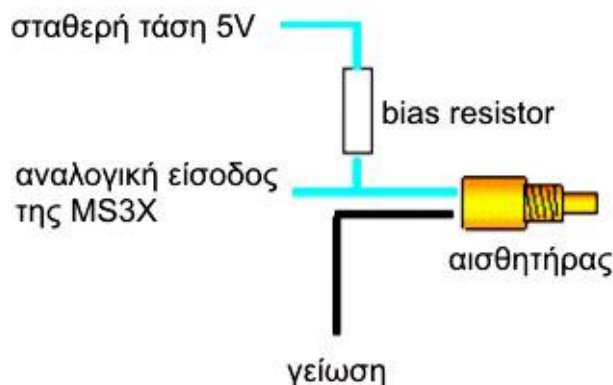
Πολλοί εργοστασιακοί και επιπρόσθετοι αισθητήρες χρησιμοποιούν στην παρούσα εργασία τον νόμο του διαιρέτη τάσης προκειμένου να μεταφέρουν ένα αναλογικό σήμα από 0V έως 5V στην ECU. Η ECU μεταφράζει εσωτερικά το φάσμα αυτό σε 1024 δυνατές καταστάσεις. Οι καταστάσεις αυτές δημιουργούνται από έναν 10bit ADC (Analog to Digital Convertor), καθώς $2^{10}=1024$. Για τη χρήση επιπρόσθετων αισθητήρων, η MS3X διαθέτει 3 έτοιμες αναλογικές εισόδους, ενώ ο χρήστης, μπορεί να χρησιμοποιήσει άλλες δύο από την mainboard, εφόσον κατασκευάσει, ένα μικρό απλό κύκλωμα. Η χρήση περισσότερων αναλογικών εισόδων, μπορεί να καταστεί εφικτή, με χρήση CAN-bus module, αλλά είναι εκτός του πλαισίου της παρούσας εργασίας. Οι αισθητήρες που λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο είναι συνήθως αισθητήρες που μετρούν πίεση, θερμοκρασία και κατάσταση θέσης και μεταβάλουν την εσωτερική τους αντίσταση ανάλογα με την τιμή του υπό μέτρηση μεγέθους.

Σύμφωνα με τον νόμο του διαιρέτη τάσης, η τελική τάση που υπάρχει στην αναλογική είσοδο της ECU (V_{in}) εξαρτάται από:

- την τάση αναφοράς (V_{out})
- τη σταθερή bias resistor (Z_1)
- τη μεταβολή της αντίστασης του αισθητήρα (Z_2)

Ο τύπος του διαιρέτη τάσης περιγράφεται από την εξής σχέση:

$$V_{in} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} V_{out} \quad (6.1)$$



Σχήμα 6-11. Η συνδεσμολογία ενός επιπρόσθετου αισθητήρα στην MS3X. Το TPSREF είναι σταθεροποιημένη τάση εξόδου 5V από την ECU, η οποία χρησιμοποιείται σαν τάση αναφοράς.

Οι 1024 δυνατές καταστάσεις αυτές (0-1023) όμως, θα πρέπει να μεταφράζονται σε κάτι χρήσιμο για τον χρήστη. Ο χρήστης δηλαδή, θα πρέπει να ξέρει την τιμή του υπό μέτρηση μεγέθους, που αντιστοιχεί σε κάθε δυνατή κατάσταση. Αυτό γίνεται, αναλύοντάς τες, είτε γραμμικά (linear calibration), είτε περίπου εκθετικά (GM sensor calibration). Η GM (General Motors) καμπύλη είναι αρκετά κοινότυπη και χρησιμοποιείται από μεγάλο πλήθος αισθητήρων. Για τη γραμμική περίπτωση, ο χρήστης δίνει στην ECU την τιμή του αισθητήρα που αντιστοιχεί

σε 0V και 5V. Οι τιμές αυτές της τάσης είναι προφανώς αδύνατο να υπάρξουν και για τον λόγο αυτό ο χρήστης τις δίνει θεωρητικά κάνοντας χρήση γραμμικής προεκβολής. Στην περίπτωση που ο αισθητήρας είναι τύπου GM οι τιμές της τάσης εισόδου είναι προκαθορισμένες από την ECU. Στην επόμενη παράγραφο, αναλύεται επακριβώς ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται τέτοιοι αισθητήρες στην ECU.

Η παραμετροποίηση αυτή γίνεται από τον χρήστη, ο οποίος θα πρέπει να επιλέξει επίσης και τη σωστή bias resistor που θα δώσει τις αναμενόμενες τιμές τάσης εισόδου. Η ECU διαθέτει, κάποιες έτοιμες επιλογές που καλύπτουν μια πληθώρα κοινότυπων αισθητήρων, αλλά για τους επιπρόσθετους αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, χρειάστηκε να γίνουν κάποιες τροποποιήσεις, οι οποίες προσαρμόζουν την τελική τάση εισόδου, έτσι ώστε ο χρήστης να δέχεται τη σωστή τιμή του υπό μέτρηση μεγέθους.

6.5.1 Αισθητήρες πίεσης λαδιού και καυσίμου

Η πίεση του λαδιού και του καυσίμου είναι ζωτικής σημασίας για τον κινητήρα. Σε περίπτωση που η πίεση του καυσίμου μειωθεί δραματικά για οποιοδήποτε λόγο (π.χ. από βλάβη του ρυθμιστή πίεσης ή της αντλίας), είναι πολύ πιθανό, η ECU να μην μπορεί να αντισταθμίσει ηλεκτρονικά την έλλειψη καυσίμου. Τότε, το μείγμα αέρα-καυσίμου θα γίνει πολύ φτωχό σε καύσιμο και ο κίνδυνος για προανάφλεξη ή αυτανάφλεξη αυξάνεται σημαντικά.

Σε περίπτωση όπου, η πίεση του λαδιού μειωθεί και επομένως η λίπανση του κινητήρα δεν είναι επαρκής, ο κινητήρας κινδυνεύει άμεσα από αστοχία. Αυτό μπορεί να συμβεί συνήθως, είτε από βλάβη στην αντλία του λαδιού, είτε από αδυναμία της αντλίας να αναρροφήσει λάδι λόγω πλευρικής επιτάχυνσης του οχήματος.

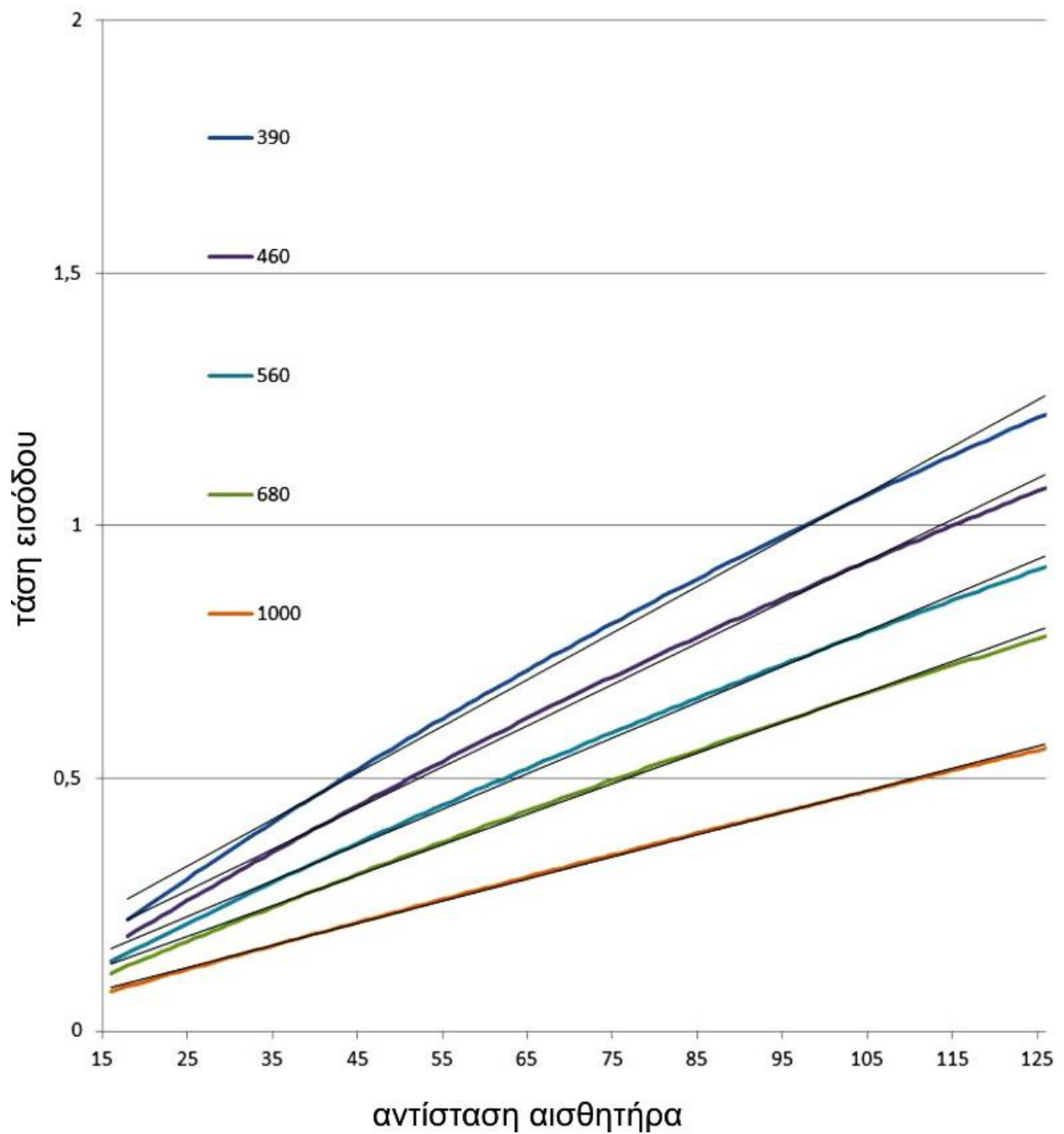
Το όχημα διέθετε αρχικά μόνον ένα διακόπτη πίεσης, ο οποίος ενεργοποιούσε μια ενδεικτική λυχνία στον πίνακα οργάνων, όταν η πίεση του λαδιού έπεφτε υπερβολικά χαμηλά. Η ένδειξη αυτή όμως, δεν δίνει στον χρήστη καμία κατατοπιστική εικόνα, για την κατάσταση του λαδιού, ώστε να γίνει δυνατή, η έγκαιρη αντιμετώπιση κάποιας κατάστασης κινδύνου. Για να εξασφαλιστεί λοιπόν, η ασφαλής λειτουργία του κινητήρα, αλλά και για να υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης των συνθηκών λειτουργίας του κινητήρα, εγκαταστάθηκαν στον κινητήρα δύο επιπρόσθετοι αισθητήρες πίεσης (Σχήμα 6-12).



Σχήμα 6-12. Παρόμοιος αισθητήρας της VDO με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε. Ο αισθητήρας πίεσης που χρησιμοποιήθηκε μεταβάλλει γραμμικά την αντίστασή του από 18 Ohm έως 126 Ohm, τα οποία αντιστοιχούν σε 0 και 8 bar αντίστοιχα.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν μεταβάλλουν την αντίστασή τους γραμμικά, ανάλογα με την αύξηση της πίεσης. Προκειμένου όμως, να είναι γραμμική και η τάση εισόδου στην ECU, σύμφωνα με τον νόμο του διαιρέτη τάσης, θα πρέπει να επιλεγεί η σωστή bias resistor. Με χρήση μεγάλης αντίστασης ως bias, η τάση εισόδου που προκύπτει από την αύξηση της αντίστασης του αισθητήρα, γίνεται πιο γραμμική. Όμως, με την επιλογή μεγαλύτερης bias, η μεταβολή της αντίστασης του αισθητήρα, επιφέρει μικρότερη μεταβολή της τάσης εισόδου. Αυτό δηλαδή σημαίνει ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η bias, τόσο μικρότερη θα είναι η μέγιστη δυνατή τάση εισόδου που αντιστοιχεί στη μέγιστη πίεση. Οι τιμές όμως που δέχεται η ECU σαν ορίσματα, αντιστοιχούν σε τάσεις από 0V έως 5V. Όσο μικρότερη είναι λοιπόν η μέγιστη δυνατή τάση από τα 5V, τόσο μεγαλύτερο φάσμα μένει ανεκμετάλλευτο, δηλαδή τόσο περισσότερες δυνατές καταστάσεις μένουν ανεκμετάλλευτες. Θα πρέπει λοιπόν, να επιλεγθεί μία bias, η οποία θα επιφέρει τη μεγαλύτερη μέγιστη τάση όσο το δυνατόν πιο γραμμικά.

Στην παρούσα εργασία, εξετάστηκαν σαν πιθανές bias, αντιστάσεις των 390,460,560,680 και 1000 Ohm. Αντιστάσεις μεγαλύτερες από 1000 Ohm επιφέρουν υπερβολικά χαμηλή μέγιστη τάση εισόδου, ενώ αντίστοιχα, αντιστάσεις μικρότερες από 390 Ohm δεν δίνουν αρκετά γραμμική μεταβολή στην τάση εισόδου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης (Σχήμα 6-13), θεωρήθηκε βέλτιστη η χρήση αντίστασης των 680 Ohm, η οποία έχει πολύ γραμμικά αποτελέσματα και αναλύει τα 8 Bar πίεσης σε 136 δυνατές καταστάσεις.[6]



Σχήμα 6-13. Η τάση εισόδου που προκύπτει από τον αισθητήρα, χρησιμοποιώντας ως bias αντιστάσεις των 390,460,560,680 και 1000 Ohm.

6.5.2 Αισθητήρας θερμοκρασίας λαδιού

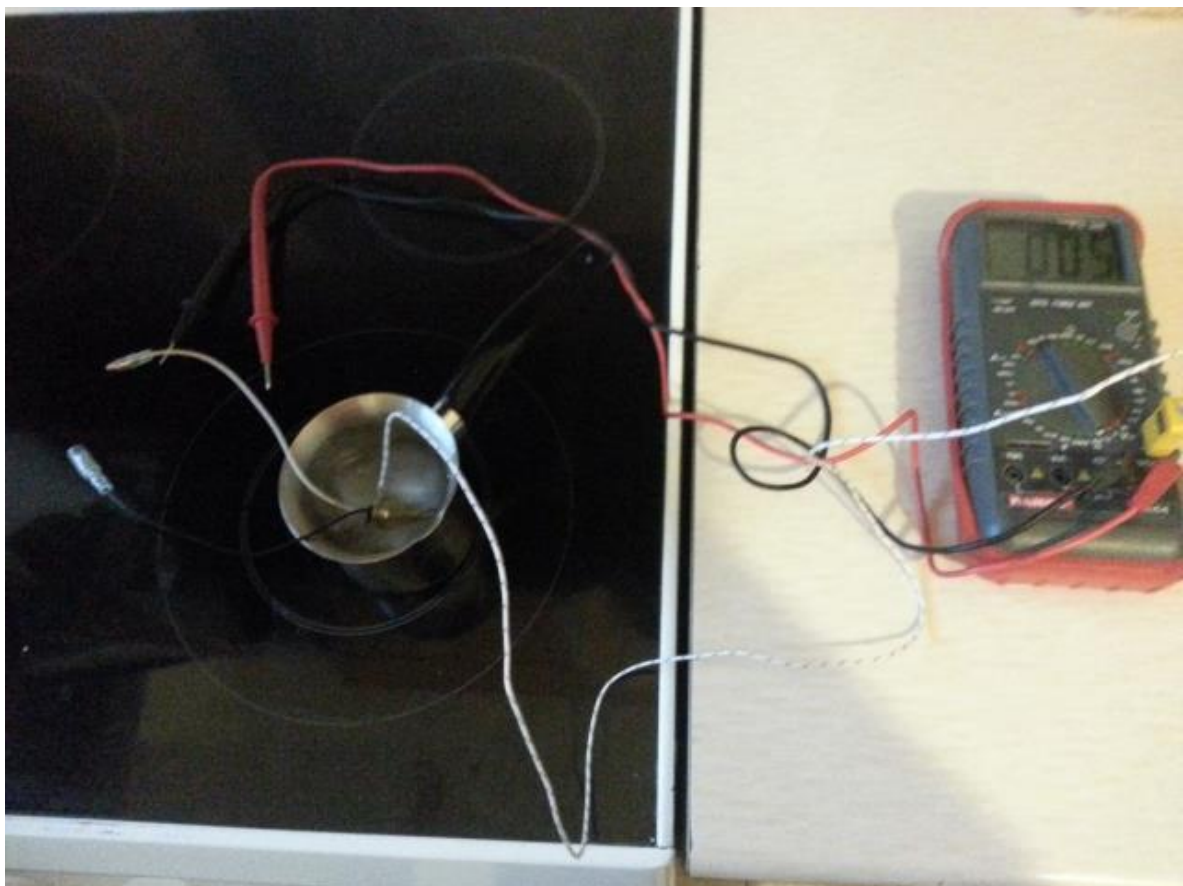
Η θερμοκρασία του λαδιού είναι και αυτή μια πάρα πολύ σημαντική πληροφορία που θα πρέπει να γνωρίζει ο χρήστης. Σε περίπτωση όπου η θερμοκρασία του λαδιού αυξηθεί υπερβολικά, το λάδι αποκολλάται από τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης. Τότε, η αυξημένη τριβή του εμβόλου με τα τοιχώματα έχει σαν επακόλουθο την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας των μετάλλων, έως ότου υπάρξει μεταξύ τους συγκόλληση. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε αναγκαία η προσθήκη ενός αισθητήρα θερμοκρασίας. Για να καταστεί εφικτή η εγκατάστασή του, χρειάστηκε να αφαιρεθεί ο αρχικός διακόπτης πίεσης λαδιού που διέθετε ο κινητήρας. Στην θέση του εγκαταστάθηκε ένας μετατροπέας, στον οποίο συνδέθηκαν ο αισθητήρας πίεσης λαδιού και ο αισθητήρας θερμοκρασίας λαδιού.



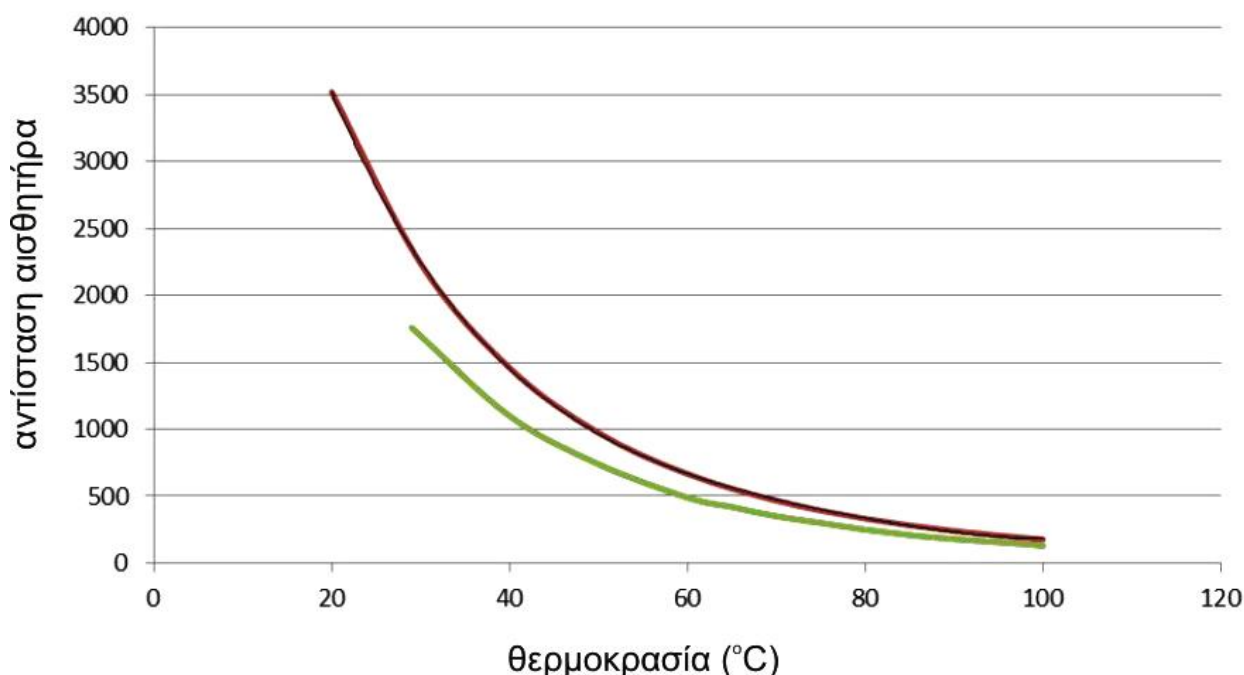
Σχήμα 6-14. Οι αισθητήρες πίεσης (επάνω) και θερμοκρασίας (κάτω) λαδιού εγκατεστημένοι στον κινητήρα.

Στην παρούσα εργασία, ο αισθητήρας που επιλέχθηκε είναι τύπου GM και επομένως η αύξηση της θερμοκρασίας δεν επιφέρει γραμμική μεταβολή της εσωτερικής του αντίστασης. Η ECU διαθέτει εγκατεστημένες ρυθμίσεις για αυτού του είδους τους αισθητήρες. Ωστόσο, οι πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι ο αισθητήρας αυτός δεν έχει ακριβώς την ίδια αντίσταση με τους κοινούς αισθητήρες GM και επομένως η τάση εισόδου θα αντιστοιχεί σε διαφορετικές θερμοκρασίες από τις προσδοκώμενες της ECU.

Για την εύρεση των πραγματικών τιμών αντίστασης του αισθητήρα, έγινε το εξής πείραμα. Ο αισθητήρας, τοποθετήθηκε σε παγωμένο νερό, το οποίο θερμαινόταν σταδιακά. Κατά την θέρμανση του νερού, η θερμοκρασία και η αντίσταση του αισθητήρα παρακολουθούνταν και καταγράφονταν συνεχώς, μέσω ψηφιακού πολυμέτρου (Σχήμα 6-15). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 6-16.

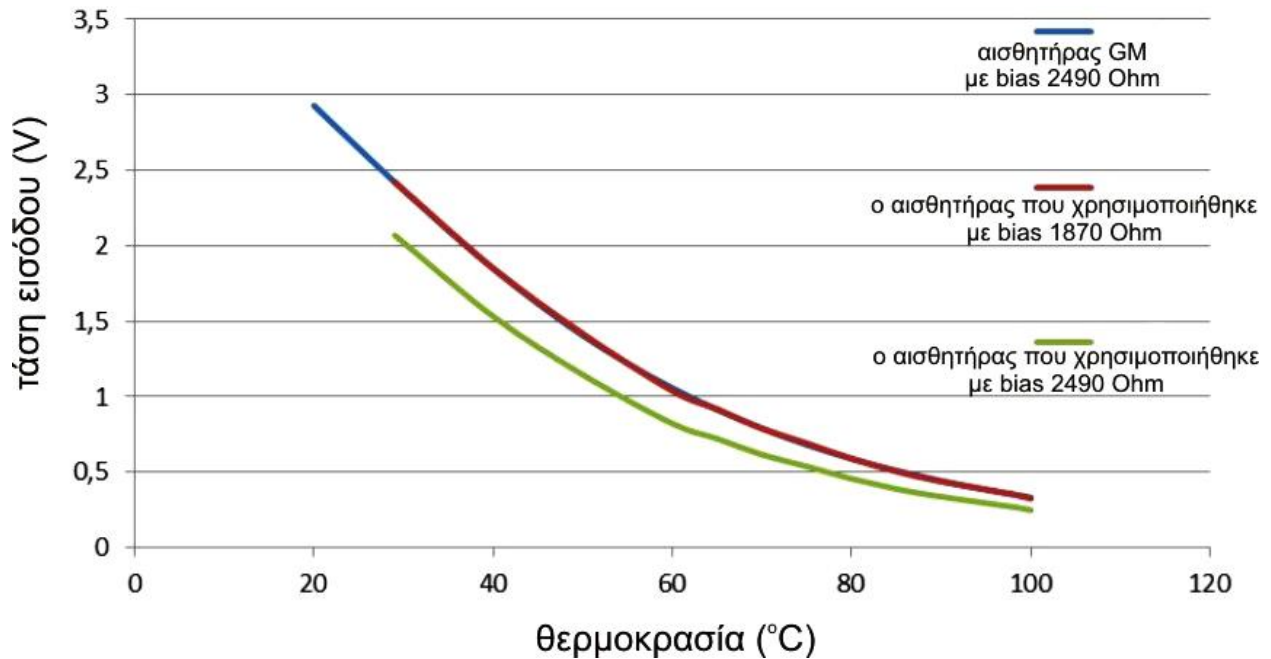


Σχήμα 6-15. Το πείραμα καταγραφής της μεταβολής της αντίστασης του αισθητήρα κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του μέσω ψηφιακού πολύμετρου.



Σχήμα 6-16. Η μεταβολή της αντίστασης των κοινών αισθητήρων GM (κόκκινο χρώμα) και του αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε (πράσινο χρώμα), ανάλογα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

Για τη χρήση GM αισθητήρων, η ECU θεωρεί ότι σαν bias resistor χρησιμοποιείται αντίσταση των 2490 Ohm. Εφόσον η ECU, δεν δίνει τη δυνατότητα παραμετροποίησης της τιμής της bias, χρειάστηκε να βρεθεί μια λύση, η οποία θα προσεγγίζει την αναμενόμενη από την ECU τάση εισόδου. Ως πρώτη λύση εξετάστηκε, η χρήση μια επιπρόσθετης αντίστασης, συνδεδεμένη σε σειρά με τον αισθητήρα προκειμένου να μειωθεί η διαφορά. Με αυτόν τον τρόπο, το σφάλμα της τάσης εισόδου θα μειωνόταν, αλλά και πάλι η ένδειξη θα ήταν εσφαλμένη, καθώς η ECU θα λάμβανε τάση, που θα αντιστοιχούσε άλλοτε σε μεγαλύτερες και άλλοτε σε μικρότερες θερμοκρασίες από τις πραγματικές. Τη λύση στο πρόβλημα αυτό έδωσε, η χρήση μικρότερης bias, ασχέτως της θεωρητικής που η ECU χρησιμοποιεί για την εξαγωγή του αποτελέσματος. Έτσι λοιπόν, η ECU χρησιμοποιεί για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων bias των 2490 Ohm, ενώ η πραγματική bias που χρησιμοποιείται έχει μικρότερη τιμή. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6-17, με χρήση bias των 1870 Ohm, υπάρχει πλήρης ταύτιση της τάσης εισόδου, με αυτή που αναμένει η ECU, για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων από έναν αισθητήρα τύπου GM.



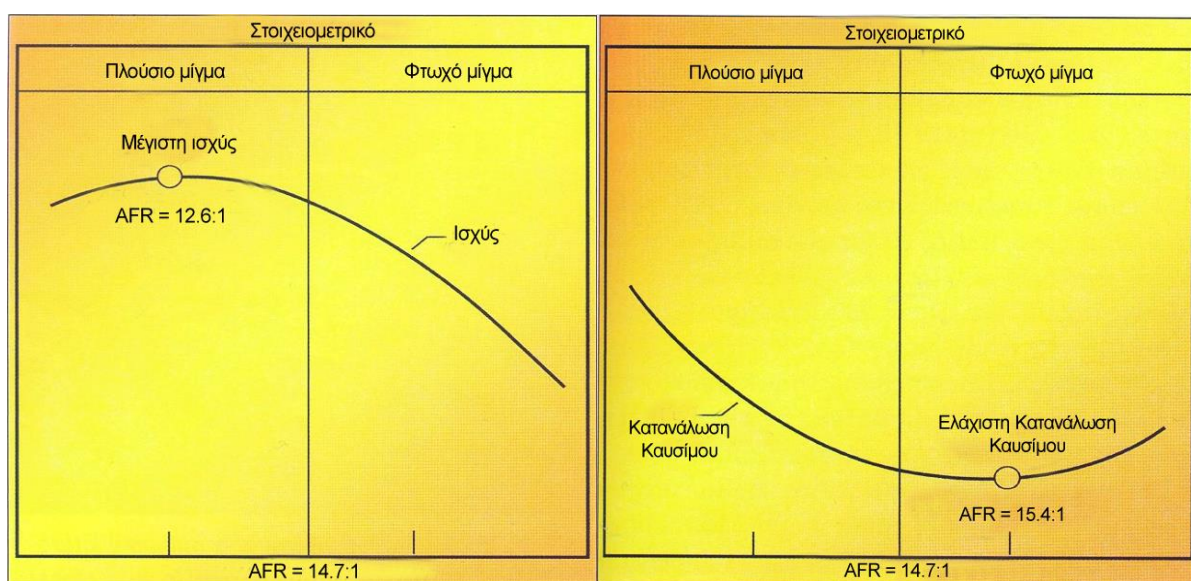
Σχήμα 6-17. Η τάση εισόδου από έναν κοινό αισθητήρα τύπου GM (κόκκινο χρώμα), από τον αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε με bias 2490 Ohm (πράσινο χρώμα) και από τον αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε με bias 1870 Ohm (μπλε χρώμα).

6.6 Αισθητήρες οξυγόνου (αισθητήρες λάμδα)

Οι αισθητήρες οξυγόνου, ή αλλιώς αισθητήρες “λάμδα”, δίνουν πληροφορία για την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε οξυγόνο. Η περιεκτικότητα αυτή, δίνει με τη σειρά της πληροφορία σχετικά με το AFR. Όσο μεγαλύτερη περιεκτικότητα οξυγόνου υπάρχει στα καυσαέρια, τόσο φτωχότερο είναι το μείγμα σε καύσιμα και το αντίστροφο. Η τιμή του AFR, πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ κάποιων ορίων, ανάλογα με τις στιγμιαίες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Υπερβολικά υψηλό ή χαμηλό AFR, έχει ως αποτέλεσμα να μην δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την εκκίνηση της καύσης. Το φαινόμενο αυτό καλείται φαινόμενο “αφλεξίας” και στον κύκλο καύσης στον οποίο συμβαίνει, ο κινητήρας προφανώς δεν παράγει έργο. Το υπερβολικά πλούσιο μείγμα, μπορεί να προκαλέσει καταστροφή των μπουζί και αφαίρεση του φιλμ λαδιού από τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης. Στην περίπτωση που υπάρχει καύση και το μείγμα είναι πολύ φτωχό, η θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και των

καυσαερίων αυξάνονται σημαντικά και επομένως ο κινητήρας κινδυνεύει άμεσα από φαινόμενα προανάφλεξης και αυτανάφλεξης.

Στην περίπτωση της βενζίνης, η ιδανική καύση του μείγματος που αποφέρει και τα χαμηλότερα ποσοστά ρύπων, συμβαίνει για $AFR=14,7$. Η αναλογία αυτή καλείται στοιχειομετρική. Ωστόσο, ο κινητήρας παράγει τη μέγιστη ισχύ, όταν το AFR είναι περίπου ίσο με 12,6 και έχει την χαμηλότερη κατανάλωση, όταν το AFR είναι περίπου ίσο με 15,4. Βέβαια, οι τιμές για μέγιστη ισχύ και χαμηλότερη κατανάλωση μπορούν να διαφέρουν ελαφρώς από κινητήρα σε κινητήρα.

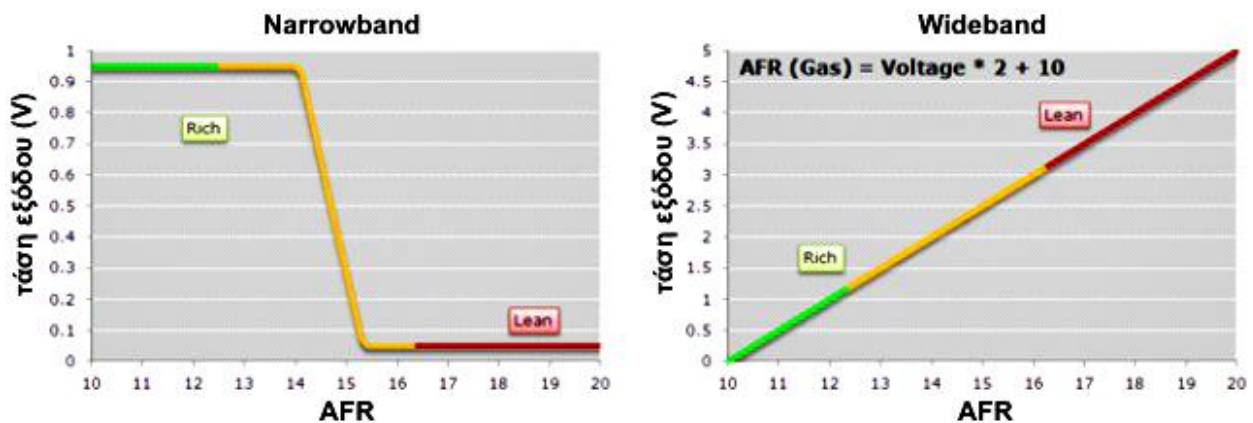


Σχήμα 6-18. Στα δύο παραπάνω σχήματα παρουσιάζονται η καμπύλη ισχύος (αριστερά) και η καμπύλη κατανάλωσης (δεξιά), συναρτήσει του AFR.

Περισσότερες λεπτομέρειες για το AFR αναφέρονται σε επόμενο κεφάλαιο, αλλά στο σημείο αυτό γίνεται εμφανής η μεγάλη σημασία του αισθητήρα λάμδα, καθώς η πιο βασική λειτουργία της ECU είναι ο ψεκασμός της σωστής ποσότητας καυσίμου. Προφανώς, χωρίς την ύπαρξη αισθητήρα λάμδα ο προγραμματισμός του κινητήρα είναι αδύνατος.

Οι αισθητήρες λάμδα διαφοροποιούνται σε δύο κατηγορίες, τους Narrowband και τους Wideband. Οι Narrowband, μπορούν να διαβάσουν AFR που δεν αποκλίνει σχεδόν καθόλου από το στοιχειομετρικό, ενώ οι Wideband έχουν πολύ καλύτερη ακρίβεια και μπορούν να διαβάσουν AFR πολύ μεγαλύτερα και μικρότερα από αυτό. Για εφαρμογές όπως ο προγραμματισμός του

κινητήρα, η ακρίβεια και το μεγάλο φάσμα των Wideband, τους καθιστούν απολύτως απαραίτητους. Το κόστος τους, μπορεί να ξεπερνάει ακόμα και τις 3.500€ για εργαστηριακές εφαρμογές, αλλά ακόμα και με λιγότερα από 200€ υπάρχουν αρκετές αξιόλογες επιλογές διαθέσιμες για τον μέσο χρήστη.



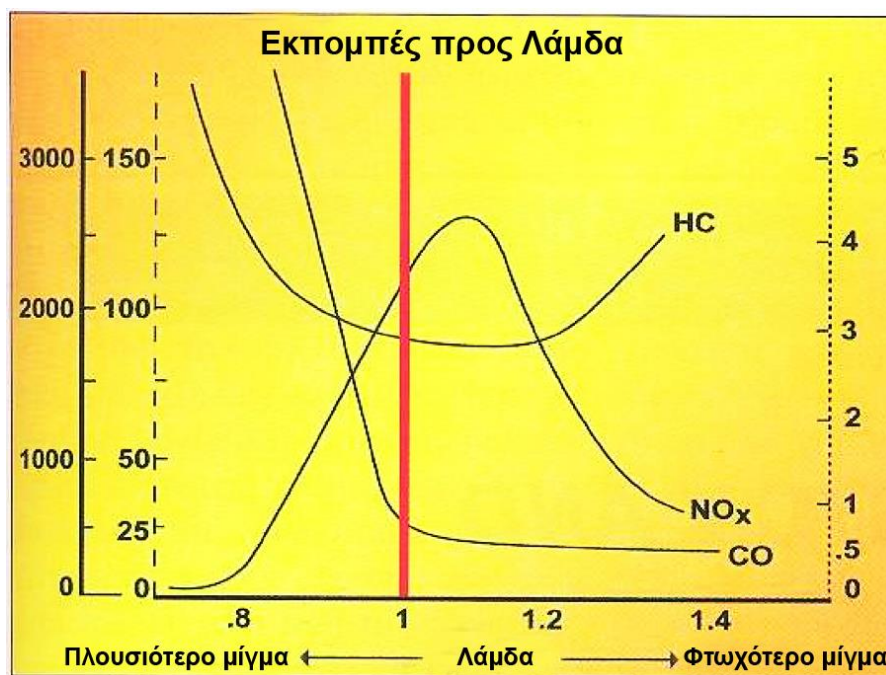
Σχήμα 6-19. Στο παραπάνω διάγραμμα γίνεται φανερό ότι οι τιμές μέγιστης απόδοσης και ελάχιστης κατανάλωσης δεν μπορούν να αποδοθούν από έναν Narrowband Oxygen sensor

(Πηγή: <http://www.plxdevices.com>).

Οι αισθητήρες αυτοί πήραν το όνομά τους ως “αισθητήρες λάμδα” λόγω της ανάγκης για τον προσδιορισμό του, κατά πόσο φτωχό ή πλούσιο είναι το μίγμα σε καύσιμο. Για την κάλυψη της ανάγκης αυτής, ορίστηκε ο συντελεστής “λάμδα”, ο οποίος ισούται με το στιγμιαίο AFR προς το στοιχειομετρικό. Άρα λοιπόν, όταν $\lambda > 1$ το μίγμα είναι φτωχότερο σε καύσιμο από το στοιχειομετρικό, ενώ όταν $\lambda < 1$ το μίγμα είναι πλουσιότερο σε καύσιμο. Αν παραδείγματος χάρη, στις συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας $\lambda = 1,1$ τότε το μίγμα είναι 10% φτωχότερο σε σχέση με το στοιχειομετρικό.

$$\lambda = \frac{\text{στιγμιαίο AFR}}{\text{στοιχειομετρικό AFR}} \quad (6.2)$$

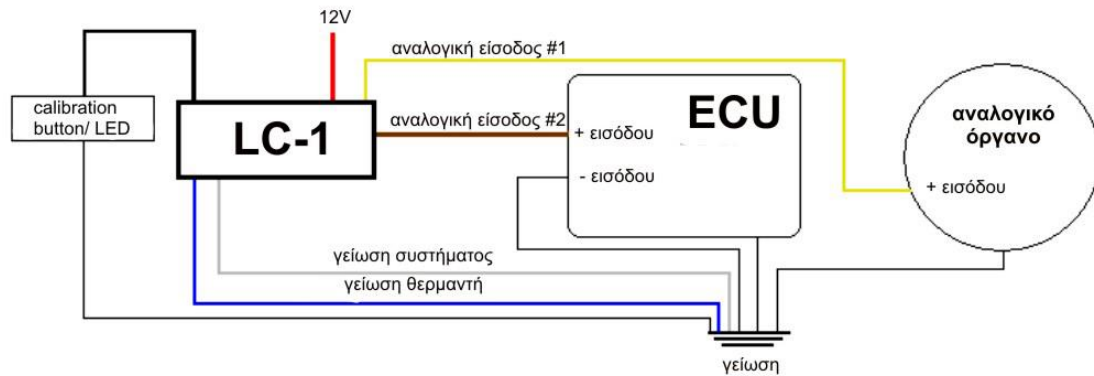
Οι Narrowband αισθητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως στα αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής, καθώς το κόστος τους είναι χαμηλότερο και οι νόμοι που έχουν θεσπιστεί για τους ρύπους των κινητήρων απαιτούν τη λειτουργία των κινητήρων σε ARF κοντά στο 14,7. Επίσης, ο κινητήρας είναι προγραμματισμένος από το εργοστάσιο, οπότε ένας Narrowband είναι συνήθως αρκετός προκειμένου η εργοστασιακή ECU να κάνει μικρές αλλαγές στο μίγμα όταν αυτό αποκλίνει από το στοιχειομετρικό. Παρόλα αυτά, ανεξαρτήτως του είδους του αισθητήρα, η ECU δεν μπορεί να καθορίσει την ποσότητα καυσίμου που πρέπει να ψεκάσει μόνο από αυτόν. Εφόσον ο κινητήρας δεν βρίσκεται σε στάδιο προγραμματισμού, οι αισθητήρες αυτοί χρησιμεύουν μόνο για την εποπτεία του μίγματος και την επιβολή μικρών διορθώσεων σε συνηθισμένες και μόνο καταστάσεις οδήγησης. Για λόγους που θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο, όλες οι υπερτροφοδοτούμενες εφαρμογές έχουν την ανάγκη λειτουργίας σε χαμηλότερο AFR όταν λειτουργούν σε συνθήκες υπερπλήρωσης. Για την εποπτεία του μίγματος στις συνθήκες αυτές, η χρήση ενός Narrowband δεν είναι ενδεικτική αν όχι απαγορευτική.



Σχήμα 6-20. Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε την ραγδαία αύξηση του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) όταν το μείγμα γίνεται πλουσιότερο σε καύσιμο.

Στην παρούσα εργασία ο εργοστασιακός Narrowband αντικαταστάθηκε με έναν Wideband, προκειμένου να καταστεί εφικτός ο προγραμματισμός του κινητήρα και να αυξηθεί ταυτόχρονα

και η ασφάλειά του. Ο Wideband συνδέεται με τον ψηφιακό ελεγκτή LC-1 της Innovate Motorsports, ο οποίος στέλνει στην ECU ένα γραμμικό αναλογικό σήμα από 0V έως 5V ανάλογα με την τιμή του AFR. Υψηλότερο AFR έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη τάση εισόδου. Επίσης, μια φωτεινή ένδειξη ενημερώνει τον χρήστη για τυχόν δυσλειτουργίες του αισθητήρα. [1][2][3][4][5][6]



Σχήμα 6-21. Η συνδεσμολογία του ψηφιακού ελεγκτή LC-1.



Σχήμα 6-22. Το kit της Innovate Motorsports, το οποίο περιλαμβάνει και Wideband αισθητήρα της εταιρίας Bosch.

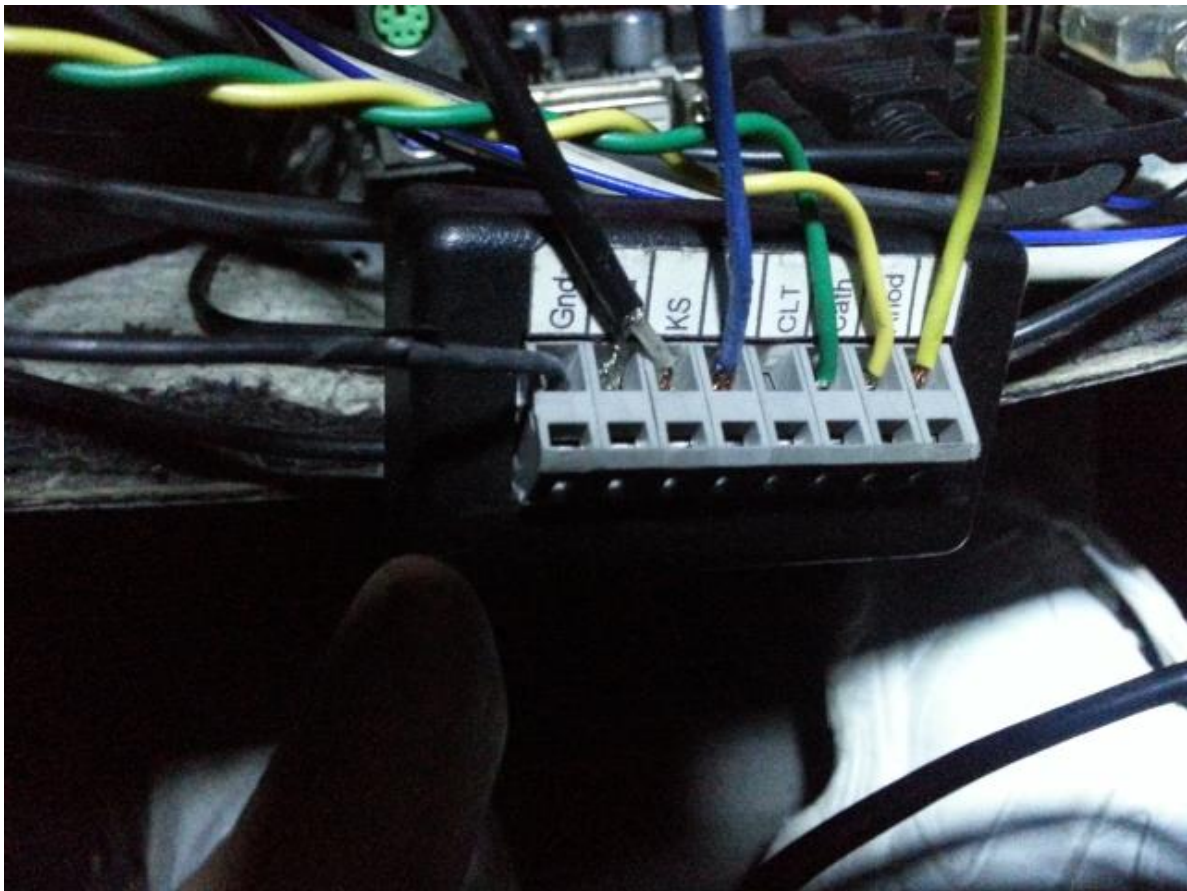
6.7 Αισθητήρες κρουστικής καύσης (knock sensors)

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα φαινόμενα της αυτανάφλεξης (detonation) και της προανάφλεξης (pre-ignition) είναι δύο φαινόμενα διαφορετικά μεταξύ τους. Ωστόσο, το φαινόμενο της προανάφλεξης ακολουθείται συνήθως και από αυτανάφλεξη. Το φαινόμενο της αυτανάφλεξης καλείται αλλιώς και ως “knocking”. Από τον όρο αυτό πήραν και το όνομά τους οι αντίστοιχοι αισθητήρες που το εντοπίζουν, οι οποίοι καλούνται “αισθητήρες κρουστικής καύσης” (knock sensors). Οι αισθητήρες αυτοί, λειτουργούν ως ακουστικά και είναι τοποθετημένοι πάνω στο μπλοκ του κινητήρα, προσπαθώντας να ακούσουν τον πολύ χαρακτηριστικό μεταλλικό ήχο που δημιουργείται από την αυτανάφλεξη, η συχνότητα του οποίου είναι ανάλογη της διαμέτρου του εμβόλου.

Το φαινόμενο της αυτανάφλεξης, μπορεί να προκληθεί από λάθος προγραμματισμό του κινητήρα, ο οποίος έχει ως αποτέλεσμα πολύ φτωχό μίγμα ή πολύ μεγάλη γωνία advance για τις δεδομένες συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Προφανώς, οι αισθητήρες κρουστικής καύσης δεν μπορούν να δώσουν κάποια πληροφορία σχετικά με το πόσο σωστά είναι προγραμματισμένος ο κινητήρας, αλλά μπορούν να ενημερώσουν πότε είναι εντελώς λάθος. Η χρήση των αισθητήρων κρουστικής καύσης είναι πάρα πολύ σημαντική για την ασφάλεια του κινητήρα, αλλά η χρήση τους δεν μπορεί φυσικά να την εξασφαλίσει απόλυτα. Αυτό συμβαίνει γιατί, ο εντοπισμός του φαινομένου, προϋποθέτει την ύπαρξή του, ενώ υπάρχει περίπτωση να συμβεί, αλλά να μην αντιμετωπιστεί εγκαίρως.

Στην παρούσα εργασία, ο κινητήρας ήταν εφοδιασμένος με δύο τέτοιους αισθητήρες, οι οποίοι όμως δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν άμεσα από την νέα ECU. Για την αξιοποίησή τους, χρειάστηκε να προστεθεί μια ηλεκτρονική πλακέτα με την ονομασία KnocksenseMS. Η KnocksenseMS μεσολαβεί μεταξύ των αισθητήρων και της ECU προκειμένου, να διαβάζει τους αισθητήρες και να δίνει σήμα στον εγκέφαλο όταν υπάρχει αυτανάφλεξη. Η πλακέτα αυτή, είναι σχεδιασμένη, για να ανιχνεύει τη συχνότητα που παράγεται εξαιτίας της συγκεκριμένης διαμέτρου του εμβόλου, ενώ η ευαισθησία της μπορεί να ρυθμιστεί από ένα ποτενσιόμετρο. Ταυτόχρονα, μια ενδεικτική λυχνία που τοποθετείται στον πίνακα οργάνων του οχήματος, ειδοποιεί τον οδηγό για την ύπαρξη του φαινομένου. Ωστόσο, ο τρόπος αυτός ανίχνευσης του φαινομένου δεν κατέστη ικανοποιητικός για καμία τιμή της ευαισθησίας της πλακέτας. Λόγω των ιδιαίτερα αυξημένων κραδασμών, που έχουν στη φύση τους οι τετρακύλινδροι κινητήρες σε

υψηλό φάσμα στροφών, το σύστημα έχοντας μεγάλη ευαισθησία, έδινε εσφαλμένες ενδείξεις για αυτανάφλεξη στο φάσμα αυτό. Αντιθέτως, το σύστημα με μικρή ευαισθησία δεν ήταν ικανό να ανιχνεύσει το φαινόμενο όταν συνέβαινε σκόπιμα σε χαμηλό φάσμα στροφών. Επειδή, η πρόκληση του φαινομένου σε υψηλό φάσμα στροφών είναι καταστροφική για τον κινητήρα, δεν είναι δυνατή η εξακρίβωση της αποτελεσματικής λειτουργίας του συστήματος για κάποια ευαισθησία που να καλύπτει όλο το φάσμα στροφών του κινητήρα.



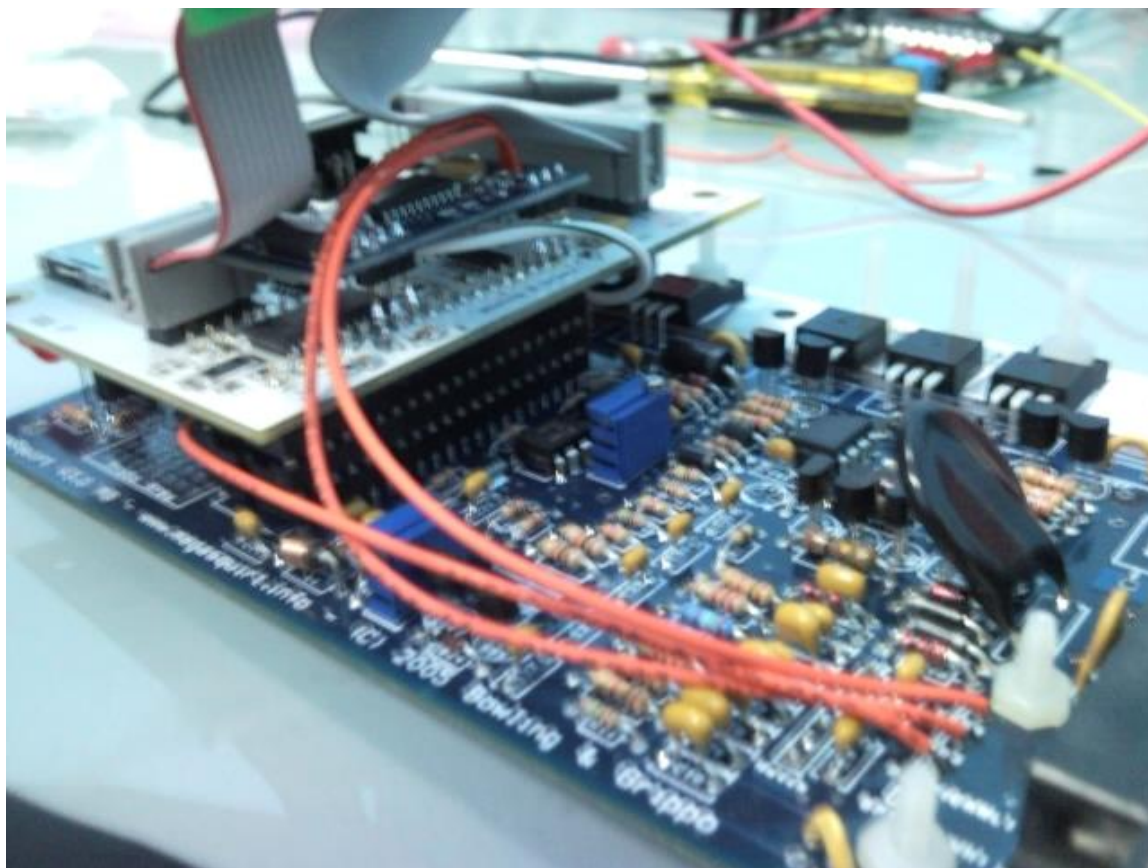
Σχήμα 6-23. Το KnocksenseMS συνδεδεμένο με τους knock, την ECU και την ενδεικτική λυχνία.

Τη λύση στο πρόβλημα αυτό έδωσε μια άλλη ηλεκτρονική πλακέτα που έγινε διαθέσιμη στο εμπόριο από τους κατασκευαστές της ίδιας της ECU μεταγενέστερα . Αυτό το knock module, έχει σχεδιαστεί για να συνεργάζεται αποκλειστικά με τη συγκεκριμένη ECU και να της παρέχει τη δυνατότητα μεταβλητής ευαισθησίας, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Πρόκειται, για μια πλακέτα η οποία πρέπει να συγκολληθεί πάνω στην MS3X, και της δίνει ένα σήμα το οποίο μετράται σε ποσοστό %. Ο χρήστης, πρέπει να την παραμετροποιήσει

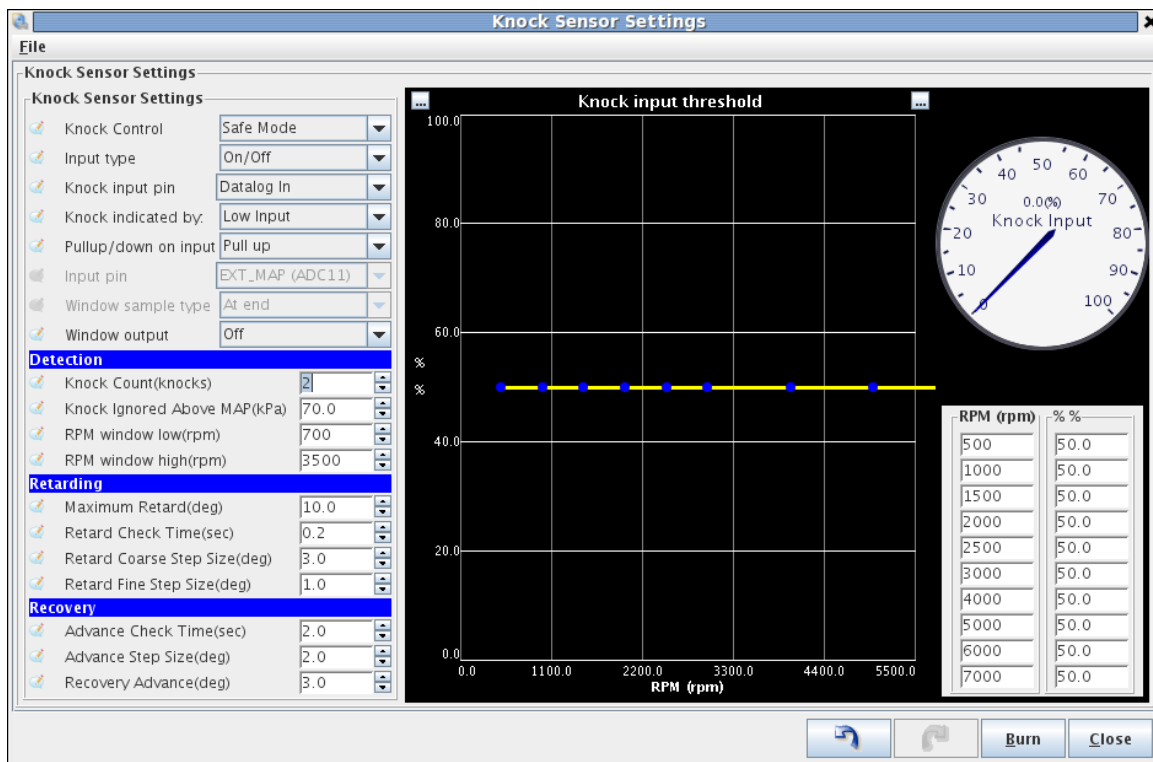
ηλεκτρονικά και να προσδιορίσει το ποσοστό, πάνω από το οποίο συμβαίνει το φαινόμενο της αυτανάφλεξης, όπως και τη συχνότητα του παραγόμενου ήχου. Η συχνότητα που παράγει το συγκεκριμένης διαμέτρου έμβολο έχει συχνότητα 4.95kHz. Βάσει συλλογής δεδομένων κατά τη φυσιολογική λειτουργία του κινητήρα, παρατηρείται ότι τα ποσοστά σε χαμηλές στροφές είναι περίπου 10% ενώ σε υψηλές περίπου 40%. Το ποσοστό σε περίπτωση αυτανάφλεξης είναι αισθητά μεγαλύτερο από το 40%, οπότε η ECU μπορεί να διακρίνει με σιγουριά πότε συμβαίνει, ανεξαρτήτως της ταχύτητας περιστροφής. Σε περίπτωση όπου υπάρχει αυτανάφλεξη, η ECU μειώνει αυτομάτως τη γωνία ανάφλεξης, σύμφωνα με τις προκαθορισμένες επιλογές του χρήστη και έτσι το φαινόμενο αποτρέπεται ακαριαία. Το σύστημα αυτό, αποδείχθηκε ότι αποτρέπει το φαινόμενο, με άριστο τρόπο, σε οποιοσδήποτε συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.



Σχήμα 6-24. Το knock module για την MS3X.



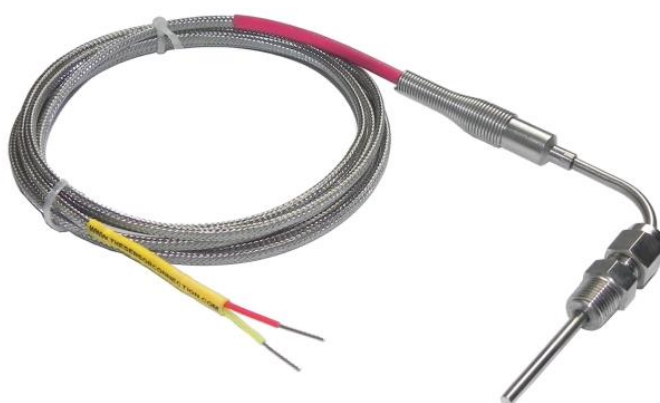
Σχήμα 6-25. Το knock module συγκολλημένο στην MS3X.



Σχήμα 6-26. Το παράθυρο παραμετροποίησης του knock module. Πάνω δεξιά διακρίνεται και το ψηφιακό όργανο μέτρησης του ποσοστού.

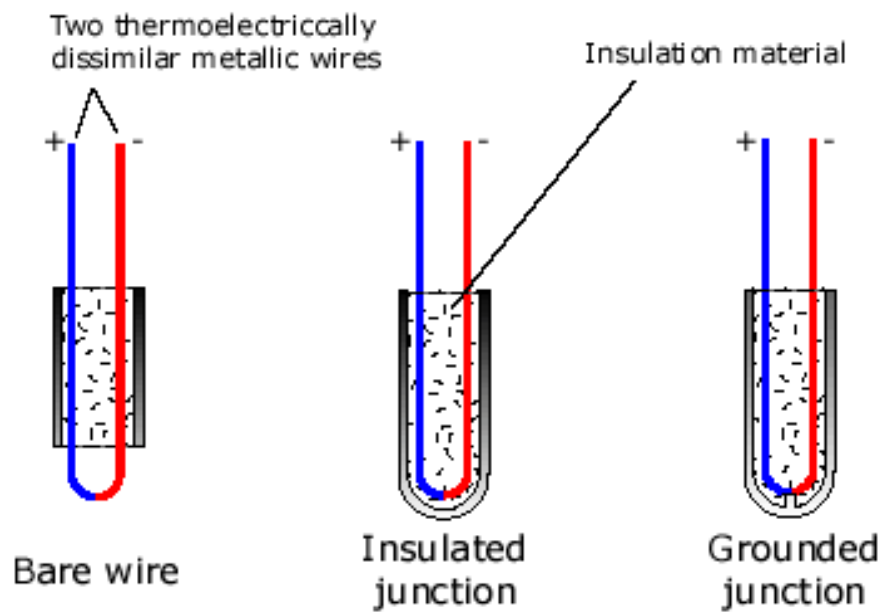
6.8 Αισθητήρας θερμοκρασίας καυσαερίων και κύκλωμα ενίσχυσης του σήματός του

Μια πολύ καλή πληροφορία για την θερμοκρασία του θαλάμου καύσης ,μπορεί να δοθεί από τη θερμοκρασία των καυσαερίων. Αν και η θερμοκρασία τους εξαρτάται άμεσα από το AFR, η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων είναι ένδειξη ότι ο κινητήρας διατρέχει κίνδυνο. Ο αισθητήρας καυσαερίων EGT (Exhaust Gas Temperature), δεν είναι τίποτα άλλο από ένα K-Type Thermocouple. Ο αισθητήρας αυτός, μπορεί να διαβάσει θερμοκρασίες από 0 °C έως και 1300 °C με πάρα πολύ καλή ακρίβεια. Αξίζει να σημειωθεί ότι, χωρίς αισθητήρα λάμδα ο αισθητήρας αυτός είναι ο μόνος που μπορεί να δώσει μια ένδειξη για το AFR, ακόμα και αν δεν μπορεί να το προσδιορίσει σαφώς.

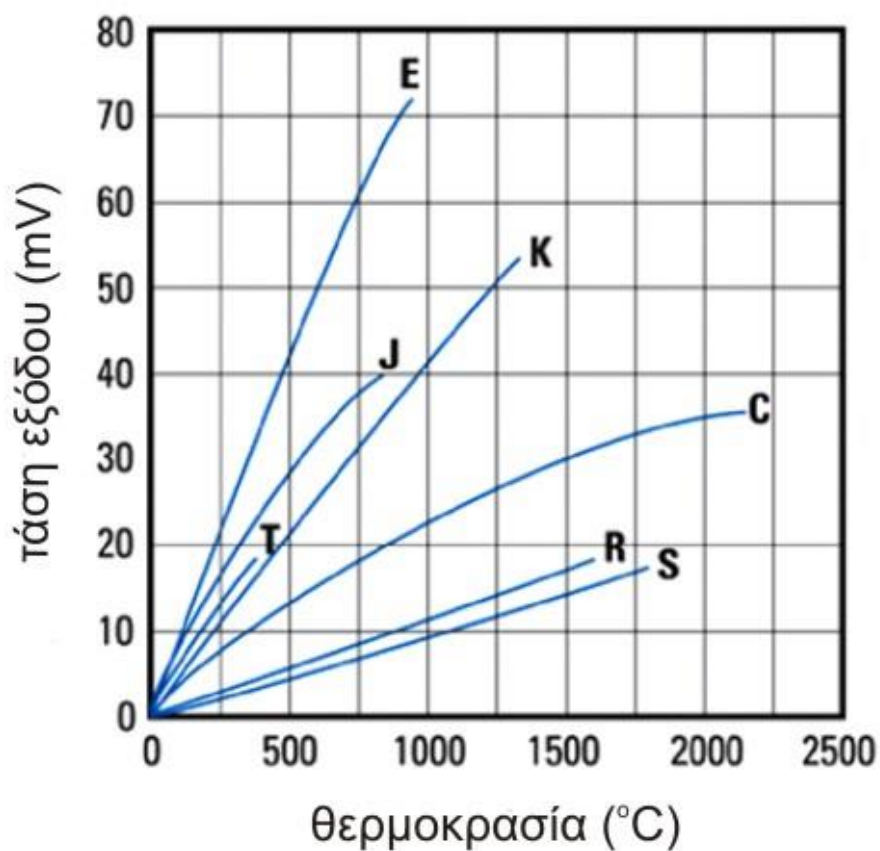


Σχήμα 6-27. Αισθητήρας θερμοκρασίας καυσαερίων.

Τα thermocouple αποτελούνται από δύο διαφορετικά κράματα μετάλλων στα άκρα των οποίων δημιουργείται διαφορά τάσης, ανάλογη της θερμοκρασίας. Στο K-Type το ένα κράμα αποτελείται από νικέλιο και χρώμιο, ενώ το άλλο από νικέλιο και αλουμίνιο.



Σχήμα 6-27. Το εσωτερικό τριών ειδών thermocouple (Πηγή: thomasnet.com).

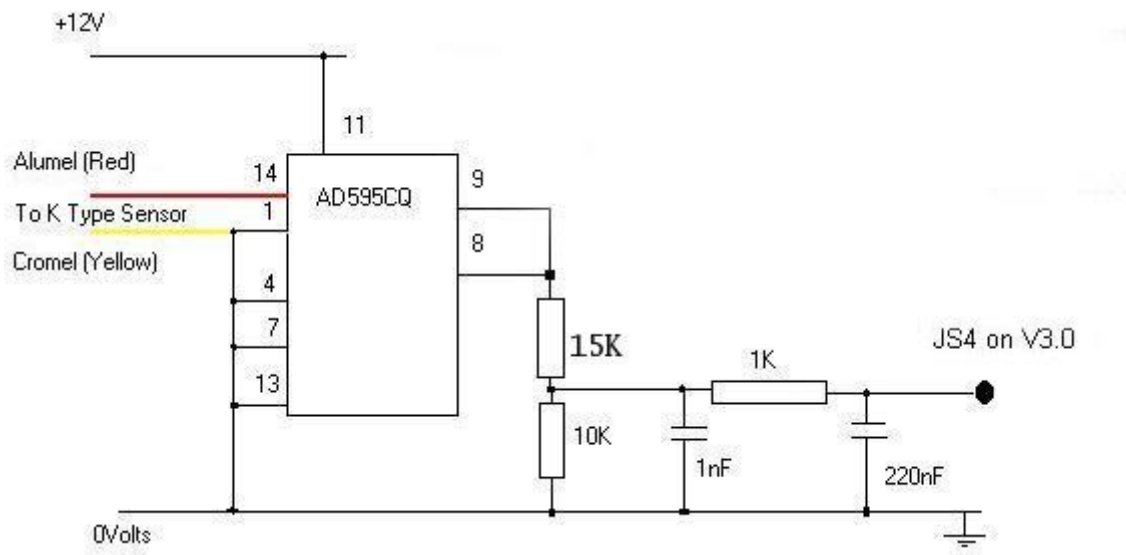


Σχήμα 6-28. Η διαφορά τάσης στα άκρα διαφόρων τύπων thermocouple συναρτήσει της θερμοκρασίας (Πηγή: <http://electronics.stackexchange.com/>).

Όπως όμως γίνεται φανερό στο Σχήμα 6-28, η τάση που δημιουργείται είναι πάρα πολύ μικρή. Το σήμα αυτό λοιπόν, προκειμένου να μπορεί να το αξιοποιήσει η ECU, θα πρέπει να ενισχυθεί. Αυτό γίνεται με την κατασκευή ενός κυκλώματος ενίσχυσης, το οποίο μετατρέπει το πολύ χαμηλής τάσης σήμα, σε γραμμικό αναλογικό σήμα 0-5V. Οι κατασκευαστές της ECU, έχουν διαθέσει το σχέδιο για την κατασκευή ενός τέτοιου κυκλώματος (Σχήμα 6-29).

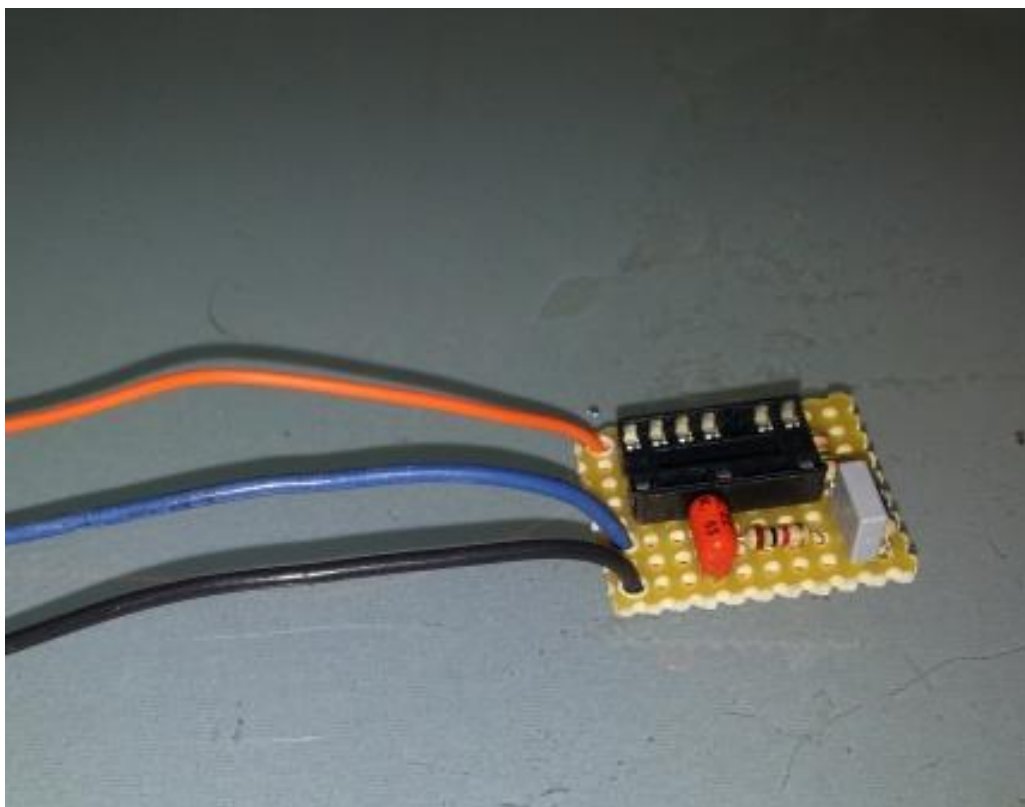
Το κύκλωμα αυτό αποτελείται από:

- Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα ενίσχυσης AD595CQ
- Τρείς αντιστάσεις
- Δύο μη πολικούς πυκνωτές



Σχήμα 6-29. Κύκλωμα ενίσχυσης ενός K-Type Thermocouple για την ECU.

Οι τοποθέτηση του EGT γίνεται στην πολλαπλή εξαγωγής, μερικά εκατοστά από το μπλοκ του κινητήρα. Συνήθως, για μέγιστη ασφάλεια, τοποθετείται ένας αισθητήρας ανά κύλινδρο, αλλά στην παρούσα εργασία τοποθετήθηκε μόνο ένας στο τέλος της πολλαπλής εξαγωγής όπου συναντώνται τα καυσαέρια όλων των κυλίνδρων. [6]



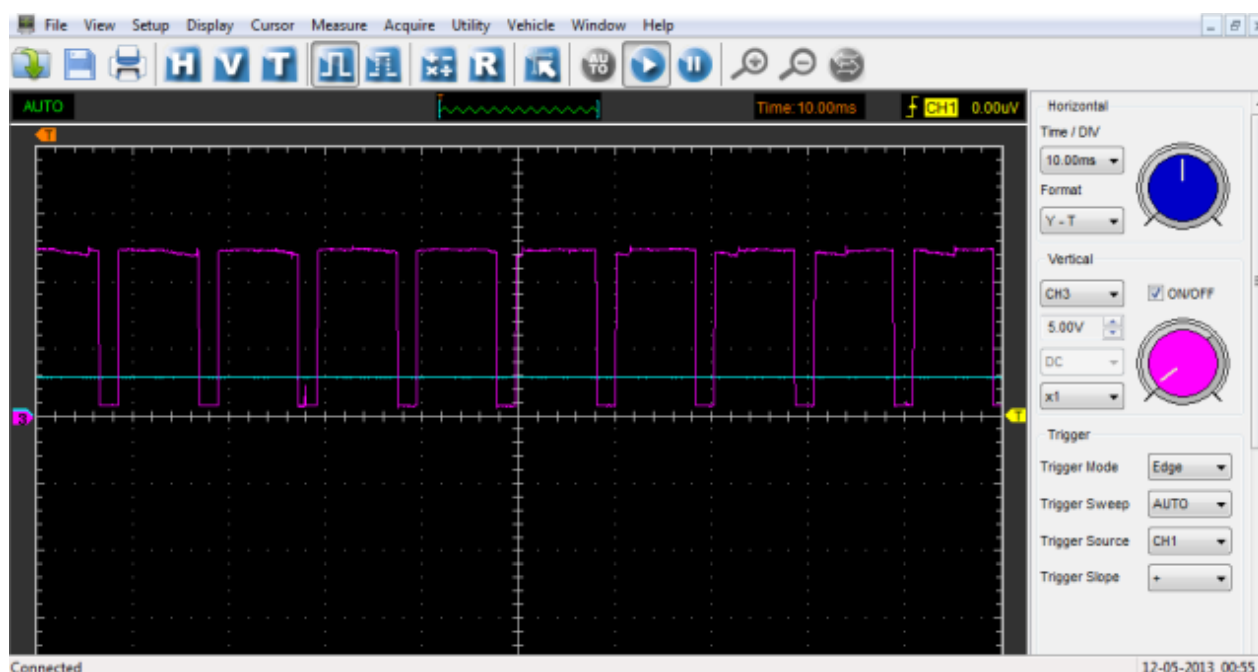
Σχήμα 6-30. Το κύκλωμα ενίσχυσης, χωρίς το ολοκληρωμένο AD595CQ, έτοιμο να συνδεθεί με τον αισθητήρα και την ECU.



Σχήμα 6-31. Ο Wideband (πάνω) και ο EGT (κάτω) είναι τοποθετημένοι στο τέλος της πολλαπλής εξαγωγής.

6.9 Αισθητήρας ταχύτητας του οχήματος και στροφόμετρο

Στον πίνακα οργάνων του οχήματος υπάρχει ένα ψηφιακό στροφόμετρο, το οποίο παίρνοντας σήμα από την ECU ενημερώνει τον οδηγό για την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Η MS3X διαθέτει έτοιμη έξοδο για τη χρήση του οργάνου αυτού, με την προϋπόθεση ότι έχει γίνει η απαραίτητη παραμετροποίηση στην πλακέτα, αλλά και στο λογισμικό της ECU. Επίσης, ένας VR αισθητήρας στη μετάδοση κίνησης του οχήματος, ενημερώνει το ταχύμετρο για την ταχύτητα του οχήματος. Ο πίνακας οργάνων του οχήματος διαθέτει με τη σειρά του μια έξοδο, η οποία μπορεί να συνδεθεί με την ECU και να την ενημερώσει για την ταχύτητα του οχήματος. Αν και αυτό δεν είναι απαραίτητο να συμβεί, η ECU γνωρίζοντας την ταχύτητα του οχήματος, μπορεί να δώσει στο χρήστη πολύ χρήσιμες πληροφορίες και να χρησιμοποιήσει εξελεγχμένες εφαρμογές, μερικές από τις οποίες αναλύονται στη συνέχεια. Όλα αυτά τα σήματα είναι ψηφιακά και ανάλογα με τη συχνότητα του παλμού που παράγουν, μεταφέρουν την αντίστοιχη πληροφορία. Στο Σχήμα 6-32, παρουσιάζεται ο παλμός που παράγει ο VR αισθητήρας, στη μετάδοση κίνησης για δεδομένη ταχύτητα του οχήματος.



Σχήμα 6-32. Καταγραφή μέσω ψηφιακού παλμογράφου του παλμού που παράγει ο VR αισθητήρας στη μετάδοση κίνησης για δεδομένη ταχύτητα του οχήματος.

Η ECU, γνωρίζοντας την ταχύτητα του οχήματος και την ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζει, μπορεί να εμφανίσει στο χρήστη δεδομένα όπως είναι η στιγμιαία και η μέση κατανάλωση καυσίμου. Επίσης, αν δοθούν ως δεδομένα από τον χρήστη, η τελική σχέση μετάδοσης και οι σχέσεις στο κιβώτιο ταχυτήτων, ανάλογα με την ταχύτητα του οχήματος και την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, η ECU μπορεί να διακρίνει ποιά ακριβώς σχέση έχει επιλέξει ο χρήστης. Τα δεδομένα αυτά, είναι πολύ χρήσιμα για την ECU, γιατί έτσι της δίνει πολλές επιπλέον δυνατότητες σε θέματα διαχείρισης του κινητήρα και όχι μόνο. Τέτοιες εφαρμογές μπορεί να είναι:

- Αλλαγή της χαρτογράφησης του κινητήρα
- Έλεγχος περιφερειακών κυκλωμάτων (όπως το air condition και το βεντιλατέρ)
- Έλεγχος πρόσφυσης
- Έλεγχος πίεσης υπερπλήρωσης, μεταβλητός ανάλογα με την ταχύτητα του οχήματος ή τη σχέση μετάδοσης
- Γενικές εφαρμογές κατασκευασμένες από τον χρήστη

Τέλος, η ECU γνωρίζοντας τις παραπάνω πληροφορίες, μαζί με κάποια επιπλέον ορίσματα για το όχημα που δίνονται από τον χρήστη, μπορεί επίσης να εκτιμήσει:

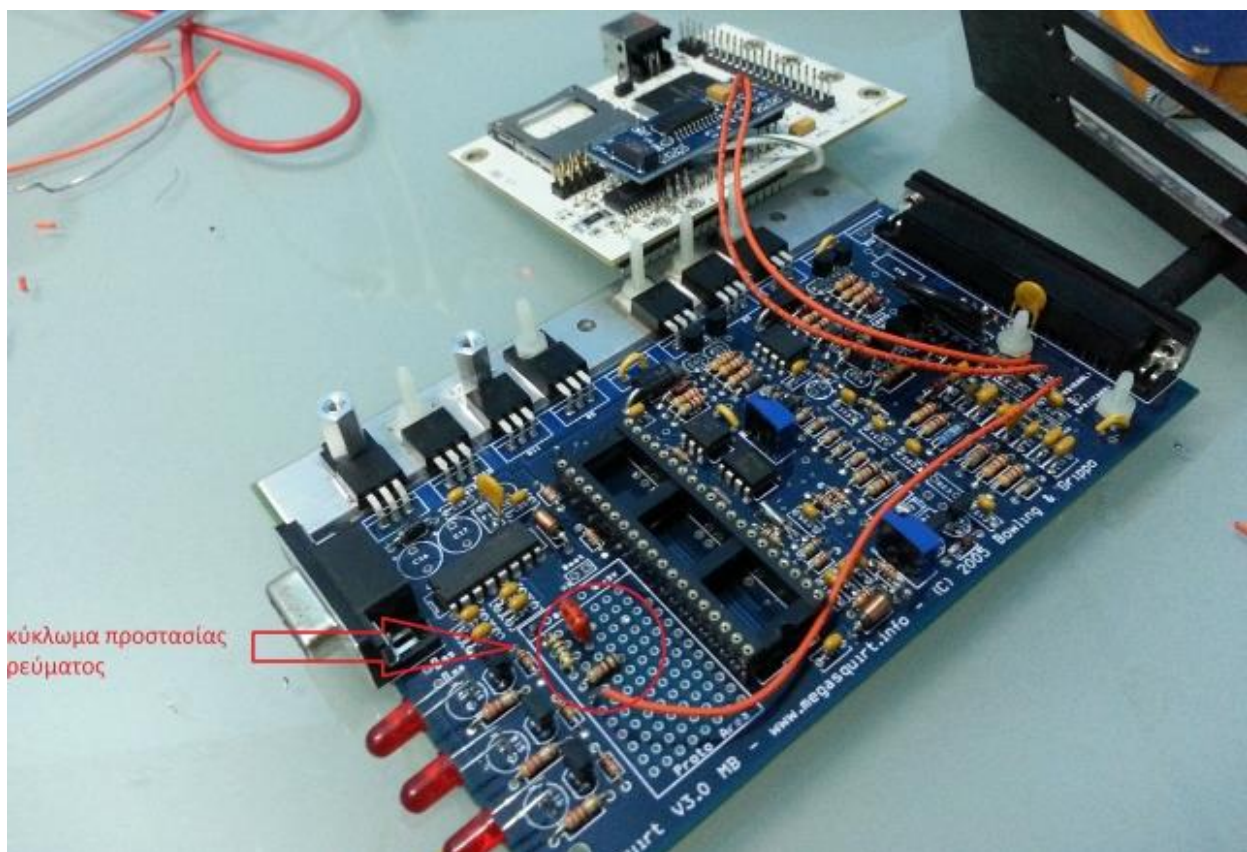
- Την παραγόμενη από τον κινητήρα ισχύ
- Τις αεροδυναμικές απώλειες
- Τις απώλειες κίνησης
- Την επιτάχυνση του οχήματος

[5][6]

6.10 Κύκλωμα ελέγχου πίεσης υπερπλήρωσης (boost control)

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ECU χρησιμοποιεί μια βαλβίδα ηλεκτρονικού τύπου (ηλεκτρονική βαλβίδα παρεκτροπής), προκειμένου να ρυθμίζει την πίεση υπερπλήρωσης στο κύκλωμα του εισερχόμενου αέρα. Η πίεση υπερπλήρωσης καθορίζεται από

την θέση της βαλβίδας, η οποία καθορίζεται από το πλάτος του παλμού στην αντίστοιχη έξοδο της ECU. Η βαλβίδα παρεκτροπής διαθέτει επίσης έναν αισθητήρα θέσης, του οποίου η εσωτερική αντίσταση μεταβάλλεται γραμμικά. Ο αισθητήρας αυτός μπορεί να συνδεθεί σε μία αναλογική είσοδο της MS3X, και με αυτόν τον τρόπο η ECU και ο χρήστης μπορούν να γνωρίζουν την πραγματική θέση της βαλβίδας. Για τη σύνδεση του αισθητήρα με την ECU, χρειάστηκε να προστεθεί ένα μικρό κύκλωμα στο εσωτερικό της, για τον περιορισμό του ρεύματος (Σχήμα 6-33). Ένα άλλο πλεονέκτημα της χρήσης ηλεκτρονικής βαλβίδας, είναι το γεγονός ότι, ο χρήστης μπορεί να την ενεργοποιεί και να την απενεργοποιεί χειροκίνητα κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Η απενεργοποίηση της βαλβίδας μπορεί να γίνει με διακοπή της τροφοδοσίας ρεύματος σε αυτή, με χρήση ενός ρελέ. Με διακοπή της τροφοδοσία ρεύματος, η βαλβίδα παρεκτροπής επιστρέφει σε ανοικτή θέση, οπότε η δημιουργία πίεσης υπερπλήρωσης είναι αδύνατη. Έτσι λοιπόν, ο χρήστης, μπορεί να επιλέξει ανά πάσα στιγμή, εάν επιθυμεί ή όχι την παραπάνω ισχύ που μπορεί να του προσφέρει ο υπερσυμπιεστής. [5][6]



Σχήμα 6-33. Το επιπρόσθετο κύκλωμα προστασίας ρεύματος για τη χρήση του αισθητήρα θέσης της bypass.

6.11 Υπολογισμός της μάζας του εισερχόμενου αέρα

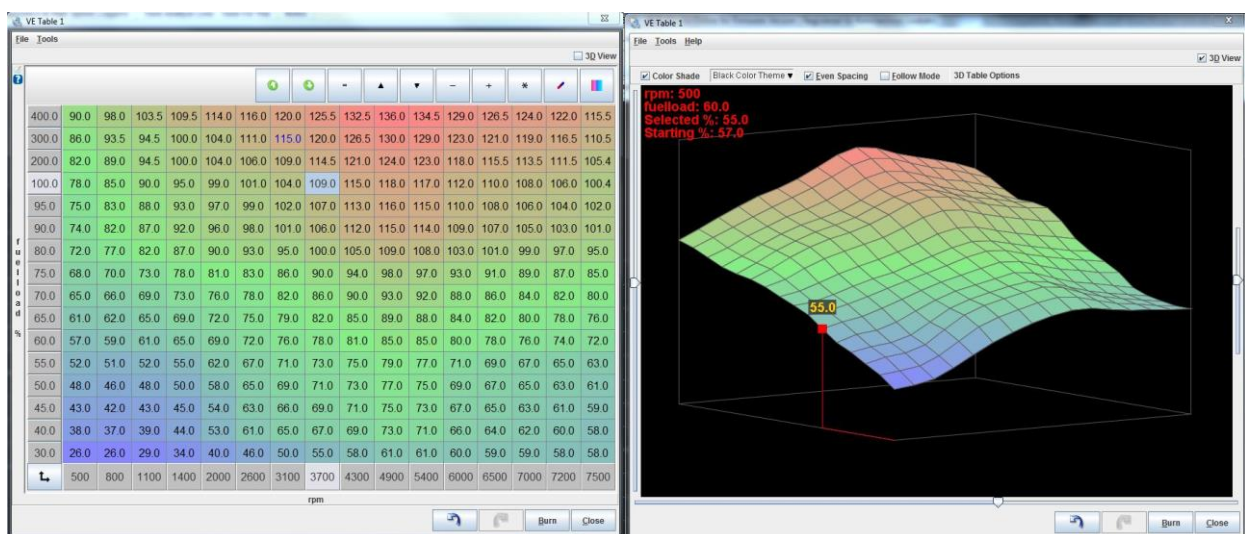
Προκειμένου η ECU να γνωρίζει την ποσότητα του καυσίμου που πρέπει να ψεκάσει, θα πρέπει να γνωρίζει και την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα. Η εργοστασιακή ECU, χρησιμοποιούσε για τον σκοπό αυτό, έναν αισθητήρα ο οποίος μετέβαλε την εσωτερική του αντίσταση, βάσει της μάζας του αέρα που τον διαπερνούσε (Σχήμα 6-34). Ο αισθητήρας αυτός καλείται MAF (Mass Air Flow), και ο τρόπος λειτουργίας του συγκεκριμένου είναι πλέον ξεπερασμένος. Ο αισθητήρας αυτός, προκαλούσε σημαντικές απώλειες στη ροή του αέρα, ακόμα και όταν ο κινητήρας ήταν σε εργοστασιακή μορφή. Πλέον, οι αισθητήρες MAF έχουν διαφορετικό τρόπο λειτουργίας, χωρίς σημαντικές απώλειες, αλλά η νέα ECU, δεν έχει ανάγκη έναν τέτοιο για τον υπολογισμό της εισερχόμενης μάζας αέρα.



Σχήμα 6-34. Ο εργοστασιακός MAF sensor.

Για τον υπολογισμό της μάζας του εισερχόμενου αέρα, χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία μια μέθοδος που καλείται “speed density”. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, όπως υποδηλώνει και το όνομά της, η ECU αρκεί να γνωρίζει την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και την πυκνότητα του εισερχόμενου στον θάλαμο καύσης αέρα. Η ECU, γνωρίζει την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, από τους αισθητήρες θέσης του κινητήρα. Για να υπολογίσει και την πυκνότητα, χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα θερμοκρασίας IAT (Intake Air Temperature) και έναν αισθητήρα απόλυτης πίεσης MAP (Manifold Air Pressure), ο οποίος είναι ενσωματωμένος στην Mainboard της ECU. Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση της καταστατικής εξίσωσης ιδανικών αερίων, η ECU είναι πλέον σε θέση να γνωρίζει και την πυκνότητα.

Επειδή όμως, ο κινητήρας δεν είναι μια ιδανική αντλία αέρα, ο θάλαμος καύσης δεν αναρροφά την ιδανική ποσότητα αέρα, αλλά κάποιο ποσοστό του. Τη λύση στο πρόβλημα την δίνει ο πραγματικός ογκομετρικός βαθμός απόδοσης VE (Volumetric Efficiency), ο οποίος πολλαπλασιάζεται με τον όγκο του θαλάμου καύσης, ώστε να υπολογιστεί η πραγματική ποσότητα αέρα που υπάρχει στον θάλαμο. Ο VE ωστόσο, διαφέρει ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Για τον λόγο αυτό, ο προγραμματιστής του κινητήρα που επιλέγει την συγκεκριμένη μέθοδο προγραμματισμού, καλείται να συμπληρώσει έναν πίνακα. Ο πίνακας αυτός (VE table) είναι δύο διαστάσεων. Η μία διάσταση αντιστοιχεί στην ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και η άλλη στην απόλυτη πίεση του εισερχόμενου αέρα (Σχήμα 6-35). Λόγω της τρισδιάστατης μορφής που μπορεί να πάρει ο πίνακας, πολλές φορές καλείται εναλλακτικά και “χάρτης καυσίμου”. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι και η γωνία advance ρυθμίζεται από πίνακα ίδιας μορφής. [4][5][6]

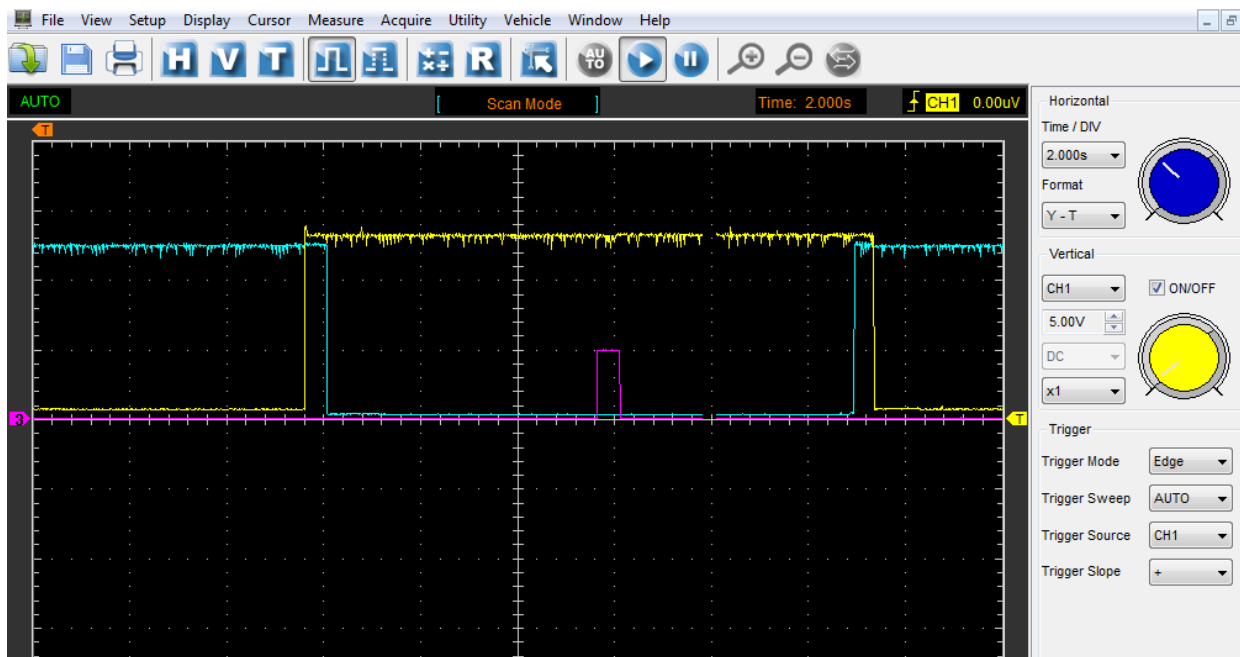


Σχήμα 6-35. Ο VE πίνακας σε 2D και 3D.

6.12 Μονάδα κλιματισμού (air condition unit)

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας της καμπίνας του οχήματος γίνεται στο όχημα από μια αυτόνομη ηλεκτρονική μονάδα (A/C unit). Για να μειωθεί η θερμοκρασία του εισερχόμενου στην καμπίνα αέρα, το σύστημα του κλιματισμού χρησιμοποιεί έναν συμπιεστή. Η ενεργοποίηση του συμπιεστή γίνεται μέσω ενός ρελέ από την ECU. Προκειμένου η συμπεριφορά του συστήματος του κλιματισμού να μην επηρεαστεί από την αντικατάσταση της ECU, μελετήθηκε η συμπεριφορά της εργοστασιακής ECU και της μονάδας του A/C μέσω ψηφιακού παλμογράφου.

Σε πρώτη φάση, για να μπει η εργοστασιακή ECU σε διαδικασία ελέγχου του συμπιεστή, χρειάζεται να πληρούνται δύο συνθήκες. Η πρώτη συνθήκη είναι, το πάτημα του κατάλληλου κουμπιού στην μονάδα του A/C, το οποίο συμβολίζεται με μία νιφάδα χιονιού. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης, δηλώνει την επιθυμία του για την ενεργοποίηση του συμπιεστή. Η δεύτερη συνθήκη είναι, η ύπαρξη της κατάλληλης πίεσης στο κύκλωμα ψύξης. Ο έλεγχος της πίεσης, γίνεται από έναν αισθητήρα πίεσης, ο οποίος λειτουργεί ως διακόπτης (pressure switch). Οι δύο αυτές συνθήκες έδιναν δύο ανεξάρτητα σήματα στην εργοστασιακή ECU, τα οποία μπορούσαν να είναι είτε 12V, είτε γείωση. Πρόβλημα στη μελέτη των σημάτων αυτών, αποτέλεσε το γεγονός ότι, οι τιμές και των δύο σημάτων έπαιρναν διαφορετικούς συνδυασμούς τιμών με τον κινητήρα σε λειτουργία, διαφορετικές με τον κινητήρα σβηστό, ενώ το πάτημα του κουμπιού της μονάδας αντέστρεφε πάντα το σήμα του διακόπτη πίεσης. Εν τέλει, η εργοστασιακή ECU αναλάμβανε τη διαχείριση του συμπιεστή όταν έπαιρνε 12V από το κουμπί της μονάδας και γείωση από τον αισθητήρα πίεσης (Σχήμα 6-36). Σε περίπτωση όπου ο συμπιεστής βρισκόταν σε λειτουργία, η ECU διέκοπτε τη λειτουργία του όταν αυξανόταν σημαντικά το φορτίο του κινητήρα (ανηφόρα, προσπέραση, κτλ), ή όταν το όχημα ήταν ακίνητο και ο οδηγός πατούσε απότομα το πεντάλ του γκαζιού. Μετά την απενεργοποίηση του συμπιεστή, η ενεργοποίηση του δεν γινόταν εάν δεν μεσολαβούσαν τουλάχιστον 12 δευτερόλεπτα ανεξαρτήτως συνθηκών.



Σχήμα 6-36. Παρατηρείται ότι το πάτημα του κουμπιού της A/C unit (μπλε), αντιστρέφει το σήμα του διακόπτη πίεσης (κίτρινο). Η πρώτη εναλλαγή που συνέβηκε χρονικά είναι η δεξιά.

Αυτές λοιπόν οι συνθήκες, χρειάστηκε να προσομοιωθούν στην νέα ECU, προκειμένου να μην υπάρχουν αλλαγές, στη συμπεριφορά του συστήματος κλιματισμού. Η νέα ECU, διαθέτει ήδη κάποιους αλγορίθμους, για την διαχείριση του συμπιεστή του κλιματισμού, αλλά διαθέτει μόνο μια είσοδο, προκειμένου να λάβει σήμα για να ξεκινήσει τη διαχείρισή του. Επίσης, η ECU θα πρέπει με κάποιον τρόπο να απενεργοποιεί τον συμπιεστή, όταν το όχημα είναι ακίνητο και ταυτόχρονα ο οδηγός πατάει απότομα το πεντάλ του γκαζιού. Δεδομένου ότι η ECU, μπορεί να κλείνει σε συνθήκες αυξημένου φορτίου τον συμπιεστή μέσω κατάλληλου προγραμματισμού, οι συνθήκες εν τέλει είναι τρεις:

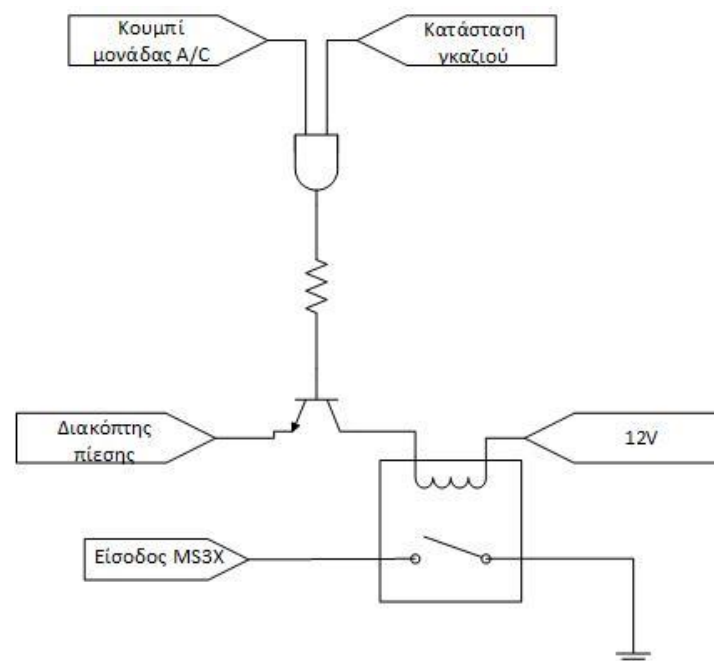
- Γείωση από τον διακόπτη πίεσης
- 12V από το κουμπί της μονάδας του A/C
- Ο οδηγός δεν πατάει απότομα το πεντάλ του γκαζιού με το όχημα σε ακινησία

Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν όλες οι συνθήκες, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα κύκλωμα, το οποίο έχει μία μόνο έξοδο και τρεις εισόδους (Σχήμα 6-37). Η έξοδος αυτή, παρέχοντας γείωση, δίνει την πληροφορία στην ECU ότι ο χρήστης επιθυμεί να χρησιμοποιήσει τον συμπιεστή και ότι οι συνθήκες πίεσης του κυκλώματος ψύξης είναι κατάλληλες. Με τη

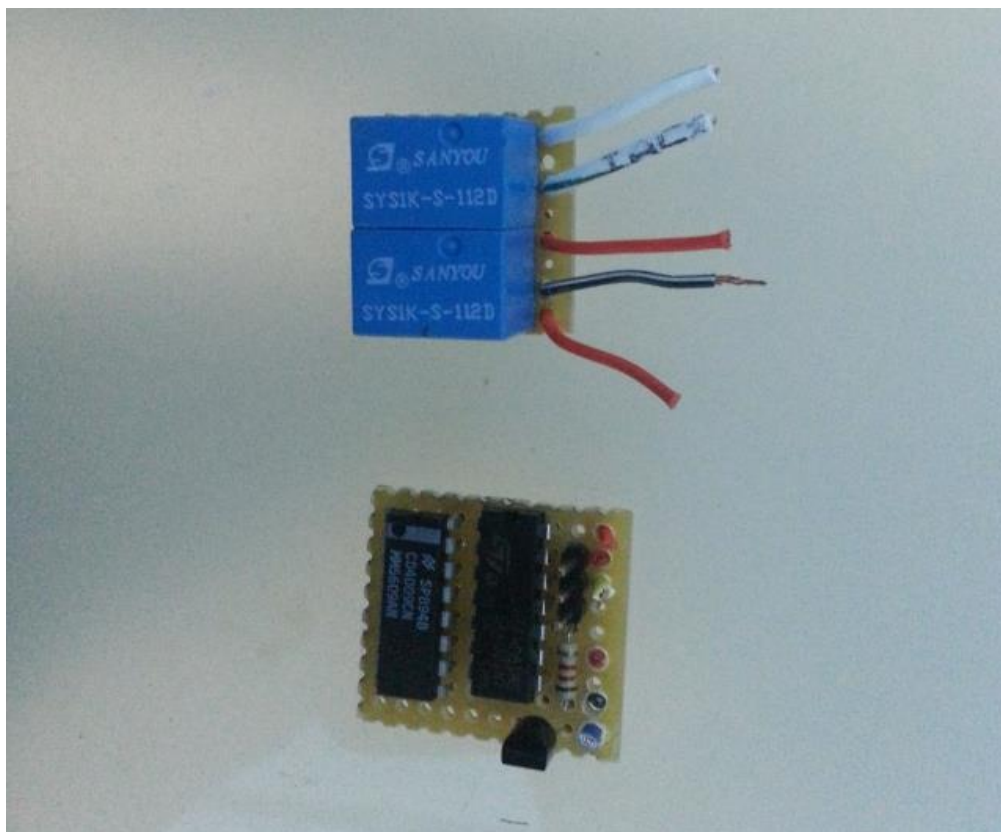
σειρά της αυτή, διαχειρίζεται τον συμπιεστή σύμφωνα με τον προγραμματισμό που έχει γίνει από τον χρήστη μέσω software. Για την κατασκευή του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκαν:

- Ένας ρελές
- Ένα τρανζίστορ τύπου NPN
- Μια πύλη λογικής εισόδου AND
- Μια αντίσταση

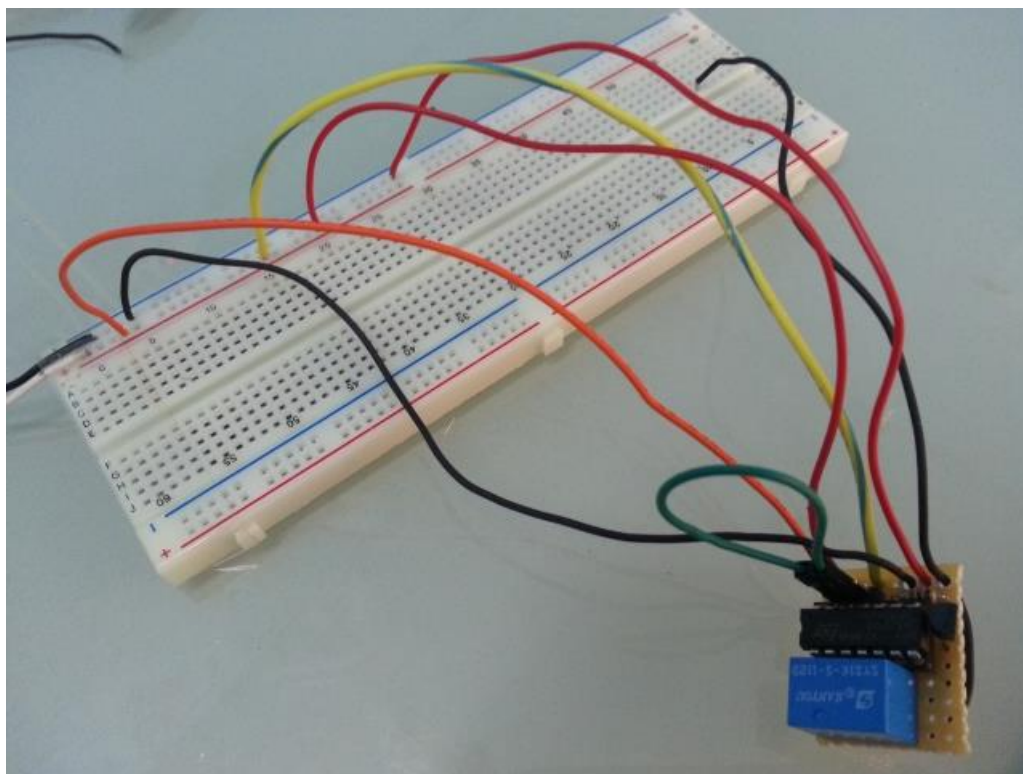
Το κύκλωμα αυτό λειτουργεί με τον παρακάτω τρόπο. Η πύλη AND δέχεται δύο σήματα. Το ένα σήμα έρχεται από το κουμπί της μονάδας του A/C και το άλλο έρχεται από μια έξοδο της ECU. Το σήμα που έρχεται από την ECU, είναι προγραμματισμένο από τον χρήστη, έτσι ώστε να μην δίνει 12V μόνο όταν το όχημα είναι ακίνητο και ο οδηγός πατάει απότομα το πεντάλ του γκαζιού. Όταν λοιπόν η πύλη AND έχει και στις δύο εισόδους της τάση 12V, τότε και μόνο τότε, δίνει στην έξοδό της 12V. Η παροχή 12V στη βάση του τρανζίστορ εξασφαλίζει τη μετάβασή του στην ενεργό περιοχή. Η μετάβαση αυτή, εξασφαλίζει με τη σειρά της την παροχή γείωσης από τον διακόπτη πίεσης στον ρελέ, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο τον οπλισμό του. Όταν ο ρελές οπλίζει, παρέχεται γείωση στην είσοδο της ECU, η οποία λαμβάνει με τον τρόπο αυτό την εντολή, για να αναλάβει τη διαχείριση του συμπιεστή. Σε περίπτωση όπου, ο διακόπτης πίεσης έχει σαν έξοδο 12V αντί για γείωση, τότε είναι αδύνατη η μετάβαση του τρανζίστορ στην ενεργό περιοχή και ο ρελές δεν οπλίζει.



Σχήμα 6-37. Το σχεδιάγραμμα του επιπρόσθετου κυκλώματος



Σχήμα 6-38. Οι δύο πρώτες πλακέτες δεν λειτούργησαν, λόγω των ιδιόμορφων εναλλαγών των σημάτων .



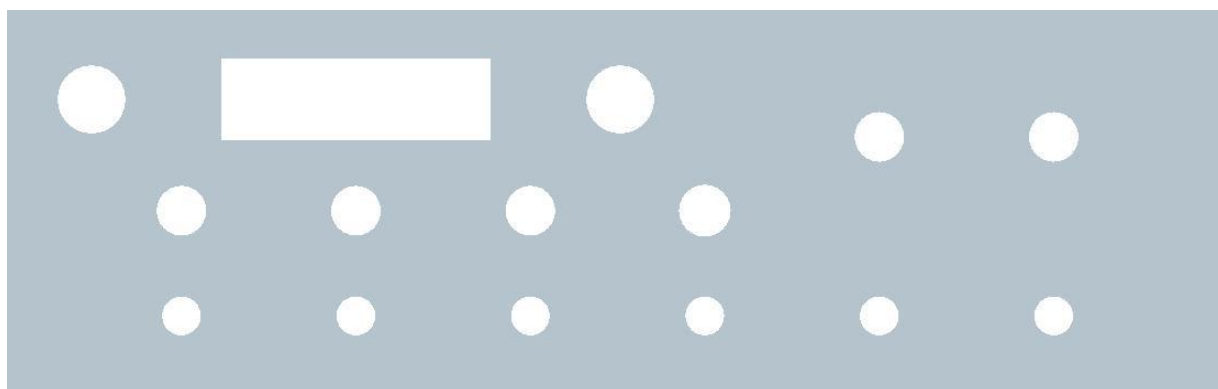
Σχήμα 6-39. Η τελική πλακέτα δοκιμάστηκε σε breadboard, για να εξακριβωθεί η λειτουργία της προτού συνδεθεί με το όχημα.

6.13 Περιφερειακά κυκλώματα και εφαρμογές της ηλεκτρονικής μονάδας

Μια αυτόνομη ECU όπως αυτή που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, μπορεί να δώσει στον χρήστη πάρα πολλές δυνατότητες σχετικά με τη διαχείριση του κινητήρα και του οχήματος. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποιες εφαρμογές που δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα να αλλάζει τον οδηγικό χαρακτήρα του οχήματος ανά πάσα στιγμή. Για τις εφαρμογές αυτές, έχει κατασκευαστεί ένας πίνακας ελέγχου, στον οποίο έχουν τοποθετηθεί διακόπτες και κουμπιά με σκοπό τη δυνατότητα επιβολής των αλλαγών κατά τη διάρκεια της οδήγησης.

6.13.1 Πίνακας ελέγχου

Ο πίνακας ελέγχου, έχει σχεδιαστεί σε λογισμικό Pro/ENGINEER και η κατασκευή του έγινε σε μηχανήμα υδροκοπής, με σκοπό την εξασφάλιση της καλής εφαρμογής και του αισθητικού αποτελέσματος.



Σχήμα 6-40. Το ψηφιακό σχέδιο από το πάνελ στο οποίο τοποθετήθηκαν τα κουμπιά και οι διακόπτες.



Σχήμα 6-41. Το πάνελ εγκατεστημένο.

6.13.2 Table switch

Ο διακόπτης αυτός, δίνει εντολή στην ECU για να αλλάξει την χαρτογράφηση του μίγματος ή/και της γωνίας advance. Η εφαρμογή αυτή, είναι χρήσιμη στην παρούσα εργασία, σε περίπτωση όπου είναι ανοιχτή η βαλβίδα παρεκτροπής των καυσαερίων στην πολλαπλή εξαγωγής (Κεφάλαιο 4.5). Σε μία τέτοια περίπτωση, λόγω της πολύ καλύτερης ροής των καυσαερίων εισέρχεται περισσότερος αέρας στον θάλαμο καύσης. Για το λόγο αυτό, χρειάζεται μια πλουσιότερη σε καύσιμο χαρτογράφηση για τον κινητήρα ώστε να παραμείνει το AFR στα θεμιτά επίπεδα. Επίσης, λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας στο θάλαμο καύσης, γίνεται εφικτή η χρήση μεγαλύτερης γωνίας advance με την οποία αυξάνεται η απόδοση του κινητήρα σε πλήρες φορτίο.

6.13.3 Launch control - Flat shift

Πρόκειται για δύο εφαρμογές που ως σκοπό έχουν τη βέλτιστη εκκίνηση του οχήματος και τη βέλτιστη αλλαγή σχέσεων στο κιβώτιο ταχυτήτων αντίστοιχα. Για τη χρήση τους, έχει προστεθεί ένας διακόπτης, στο πεντάλ του συμπλέκτη. Όταν ο χρήστης πιέζει το πεντάλ του συμπλέκτη και εφόσον είναι στην κατάλληλη θέση ο διακόπτης στον πίνακα ελέγχου, η ECU ενεργοποιεί τις εφαρμογές αυτές. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μόνο της μίας εφαρμογής μέσα από το software της ECU.

Κατά τη χρήση του launch control το όχημα είναι σταματημένο και ο χρήστης πιέζει το πεντάλ του γκαζιού και του συμπλέκτη μέχρι το τέρμα. Τότε, βάσει της παραμετροποίησης που έχει γίνει από τον χρήστη, η ECU κρατάει σταθερή την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα μέχρις ότου γίνει η εκκίνηση.

Κατά τη χρήση του flat shift, ο οδηγός αποκτά τη δυνατότητα να αλλάζει τις σχέσεις του κιβωτίου ταχυτήτων, χωρίς να αφήνει καθόλου το πεντάλ του γκαζιού. Η ECU διαχειρίζεται τον κινητήρα κατάλληλα, βάσει της παραμετροποίησης που έχει γίνει από τον χρήστη, ώστε να γίνει η αλλαγή βέλτιστα και ομαλά. Η εφαρμογή αυτή, είναι ιδανική σε υπερτροφοδοτούμενες εφαρμογές, καθώς σε περίπτωση που ο οδηγός αφήσει το γκάζι, υπάρχει εκτόνωση της πίεσης στο κύκλωμα του αέρα. Η εκτόνωση αυτή, ανάλογα με τη σχεδίαση του συστήματος, συνεπάγεται κάποια μικρή ή μεγάλη καθυστέρηση έως ότου η πίεση υπερπλήρωσης επανέλθει στη μέγιστη τιμή της.

6.14 Συνεργασία της ηλεκτρονικής μονάδας με car computer.

Ανεξαρτήτως της χρήσης νέας αυτόνομης ηλεκτρονικής μονάδας, έχει εγκατασταθεί μόνιμα στο όχημα ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Ο υπολογιστής είναι μόνιμα συνδεδεμένος με την ECU, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο στον χρήστη τη δυνατότητα για:

- Εύκολη και άμεση παραμετροποίηση της ECU
- Παρακολούθηση του κινητήρα σε πραγματικό χρόνο
- Καταγραφή δεδομένων κατά τη λειτουργία του κινητήρα

Η μόνιμη εγκατάσταση του υπολογιστή στο όχημα αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία, καθώς το όχημα υπόκειται σε βίαιους για τον υπολογιστή κραδασμούς. Επίσης, δυσκολία συναντάται κατά την ηλεκτρολογική του εγκατάσταση καθώς το ιδιαίτερο μεταλλικό σχήμα του πλαισίου του οχήματος δημιουργεί ένα πολύ δυσχερές ηλεκτρολογικό περιβάλλον. Ο υπολογιστής εγκαταστάθηκε στο ταμπλό του οχήματος, ενώ η τοποθέτηση της οθόνης απαιτούσε την τροποποίηση και τη μετακίνηση της A/C unit.



Σχήμα 6-42. Η A/C unit είναι τροποποιημένη προκειμένου να τοποθετηθεί σε άλλο σημείο.



Σχήμα 6-43. Μέσω του μόνιμα εγκατεστημένου ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο χρήστης ενημερώνεται πλήρως για την κατάσταση του κινητήρα σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, έχει την δυνατότητα να επιλέγει οποιοδήποτε ψηφιακό όργανο επιθυμεί, προκειμένου να παρακολουθεί τις παραμέτρους που τον ενδιαφέρουν.

7.

Παραμετροποίηση της ηλεκτρονικής μονάδας και διαχείριση του κινητήρα

7.1 Στόχοι της ηλεκτρονικής διαχείρισης

Σκοπός της ηλεκτρονικής διαχείρισης είναι η ομαλή λειτουργία του κινητήρα και η επίτευξη όσο το δυνατόν καλύτερων επιδόσεων σε ισχύ και κατανάλωση. Παρόλο που το πιο δύσκολο τμήμα της διαχείρισης μπορεί να φαντάζει η ασφαλής απόδοση της μέγιστης ισχύος, εν τέλει, αποτελεί ένα μόνο μικρό υποσύνολο των καταστάσεων λειτουργίας που μπορεί να συναντήσει ο κινητήρας. Η ECU θα πρέπει να διαχειρίζεται τον κινητήρα σωστά σε οποιαδήποτε πιθανή κατάσταση και αν βρίσκεται αυτός. Για την ακρίβεια, ο περισσότερος χρόνος κατά τον προγραμματισμό του κινητήρα δαπανάται για τη ρύθμιση του ρελαντί. Επίσης, η ECU θα πρέπει να διαχειρίζεται κατάλληλα και τις περιφερειακές μονάδες, όπως τη βαλβίδα του ρελαντί, την βαλβίδα πίεσης υπερπλήρωσης (βαλβίδα παρεκτροπής), τον συμπιεστή του συστήματος κλιματισμού και το βεντιλατέρ. Οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν την κατάσταση του κινητήρα είναι:

- Η πίεση του εισερχόμενου αέρα
- Η θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα

- Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα
- Η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου

Για τη σωστή διαχείριση του κινητήρα, ο προγραμματιστής καλείται να επιτύχει σε όλες τις πιθανές συνθήκες τα κάτωθι:

- Ψεκασμό της ακριβούς ποσότητας καυσίμου
- Σωστή γωνία προπορείας
- Ομαλή λειτουργία ρελαντί
- Αποφυγή φαινομένων αυτανάφλεξης, προανάφλεξης και αφλεξίας

Η διαδικασία προγραμματισμού του κινητήρα αποτελεί ολόκληρο επιστημονικό κλάδο, και η λεπτομερής ανάλυσή της είναι εκτός του πλαισίου της παρούσης διπλωματικής εργασίας. Ωστόσο, αναλύεται στη συνέχεια ο τρόπος με τον οποίο η ECU διαχειρίζεται τις ανάγκες του κινητήρα, όπως επίσης και ο τρόπος με τον οποίο αυτή παραμετροποιείται.

7.2 Διαχείριση ηλεκτρικών βαλβίδων

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως η ECU διαχειρίζεται δύο ηλεκτρικές βαλβίδες, τη βαλβίδα του ρελαντί και την βαλβίδα παρεκτροπής. Η θέση των βαλβίδων αυτών καθορίζεται από το πλάτος του παλμού που τους δίνει η ECU. Αυτό μπορεί να συμβεί κάνοντας χρήση πινάκων, οι οποίοι περιέχουν το πλάτος του παλμού. Το πλάτος αυτό καλείται Duty Cycle, και είναι το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο η ECU επιτρέπει τη ροή ρεύματος. Αν παραδείγματος χάρη, το Duty Cycle είναι 60% και η περίοδος του χρόνου είναι 1ms, αυτό σημαίνει ότι το η ECU επιτρέπει στο ρεύμα να περάσει για 0,6ms, ενώ για τα επόμενα 0,4ms δεν του επιτρέπει. Το Duty Cycle της βαλβίδας παρεκτροπής εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και το ποσοστό που είναι ανοικτή η βαλβίδα του γκαζιού.

7.3 Διαχείριση γωνίας προπορείας ανάφλεξης

Για τη διαχείριση της γωνίας προπορείας ανάφλεξης χρησιμοποιείται και πάλι ένας πίνακας (spark advance table, ή αλλιώς timing table). Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει την τιμή της γωνίας σε μοίρες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και την απόλυτη πίεση αέρα που επικρατεί στην εισαγωγή του. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, η μετακίνηση στον πίνακα γίνεται προς τα δεξιά, ενώ όσο ο χρήστης πιέζει το πεντάλ του γκαζιού, η μετακίνηση στον πίνακα γίνεται προς τα πάνω. Όπως έχει διατυπωθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, η γωνία αυτή είναι πάρα πολύ κρίσιμη για τον κινητήρα. Υπερβολικά μεγάλη γωνία προπορείας ανάφλεξης μπορεί να καταστρέψει τον κινητήρα σε κλάσματα του δευτερολέπτου, ενώ υπερβολική μικρή έχει σαν αποτέλεσμα το μίγμα καυσίμου να καίγεται ακόμα και όταν εξέρχεται από τον θάλαμο καύσης. Στη δεύτερη περίπτωση υπάρχει υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας στην πολλαπλή εξαγωγής, με συνέπεια την καταστροφή της.

Η γωνία προπορείας ανάφλεξης λοιπόν, εξαρτάται από την πίεση του αέρα και την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Όσο αυξάνεται η πίεση, λόγω της περισσότερης μάζας του αέρα που συμπιέζεται από το έμβολο, πρέπει να μειώνεται η γωνία, για να αποφεύγονται τα φαινόμενα της αυτανάφλεξης και της προανάφλεξης. Αντιθέτως, όσο αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, η γωνία πρέπει και αυτή να αυξάνεται. Αν δεν συμβαίνει αυτό, τότε, αντί να ωθεί το φλεγόμενο μείγμα το έμβολο προς τα κάτω, λόγω της ταχύτητας του εμβόλου, στην ουσία απλά το ακολουθεί παράγοντας έτσι μικρότερο ωφέλιμο έργο. Η εύρεση της βέλτιστης γωνίας advance γίνεται με χρήση ειδικού δυναμόμετρου. Η μέθοδος αναζήτησης της γωνίας αυτής είναι εκτός των πλαισίων της παρούσης εργασίας, αλλά αξίζει να σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις, υπάρχει περιορισμός από το φαινόμενο της αυτανάφλεξης, το οποίο εντοπίζουν οι αιθητήρες κρουστικής καύσης. Στην περίπτωση ύπαρξης του φαινομένου αυτού, η ECU μειώνει την γωνία, ανάλογα με την παραμετροποίηση που έχει γίνει από τον χρήστη. Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, η γωνία προπορείας ανάφλεξης επηρεάζει την παραγόμενη ισχύ, την κατανάλωση καυσίμου, ενώ ταυτόχρονα μπορεί εύκολα να καταστρέψει τον κινητήρα.

[1][2][3][4][5][6]

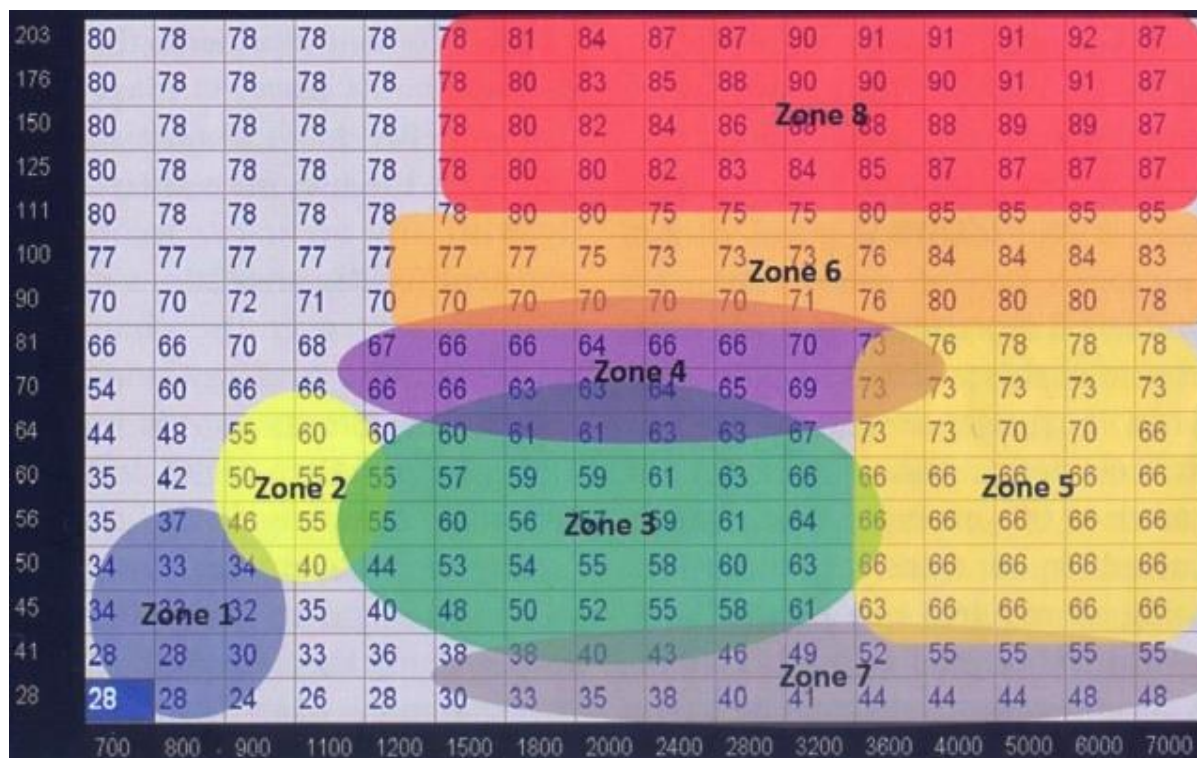
File																
																3D View
i g n i t i o n a l k P a	190.0	5.0	5.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
	170.0	6.0	6.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	150.0	10.2	11.7	12.5	16.0	17.5	18.0	18.8	19.9	20.9	21.0	20.9	20.9	20.9	20.0	20.0
	100.0	10.0	12.0	15.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
	95.0	11.0	13.4	15.6	19.3	20.3	21.3	22.3	23.4	23.6	23.8	24.0	24.3	24.5	24.6	24.7
	90.0	12.0	14.8	16.2	18.6	19.6	20.6	21.6	22.7	23.2	23.6	24.0	24.5	24.9	25.2	25.4
	80.0	13.0	15.9	19.6	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5	26.0	26.2	26.4	26.6	26.7	26.8	26.8
	75.0	13.5	16.5	21.3	22.7	23.7	24.7	25.7	26.7	26.8	26.9	27.0	27.1	27.2	27.3	27.4
	70.0	14.0	17.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
	65.0	15.0	18.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
	60.0	17.0	19.5	28.0	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
	55.0	22.2	24.5	29.6	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
	50.0	26.6	27.7	32.3	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
	45.0	26.8	26.1	29.6	32.5	34.0	34.0	36.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0
	40.0	25.6	20.8	21.7	34.8	35.0	34.0	37.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
	30.0	24.0	18.0	17.5	36.5	35.6	36.0	37.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
	↶	700	900	1200	1500	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000	6500	7000	7500
rpm																
																↶ ↷ Burn Close

Σχήμα 7-2. Ο παραπάνω πίνακας περιέχει τις τιμές της γωνίας προπορείας ανάφλεξης σε μοίρες, για δεδομένη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και απόλυτη πίεση αέρα (σε kPa).

7.4 Διαχείριση καυσίμου

Για τον υπολογισμό της ποσότητας του καυσίμου που χρειάζεται ο κινητήρας, η ECU χρησιμοποιεί τον VE πίνακα, την τιμή του οποίου την πολλαπλασιάζει με διάφορους συντελεστές. Οι συντελεστές αυτοί σχετίζονται με την θερμοκρασία του αέρα, του ψυκτικού μέσου, με τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης πιέζει το πεντάλ του γκαζιού και διάφορες άλλες λοιπές παραμέτρους. Ασχέτως του πίνακα λοιπόν, ο προγραμματιστής θα πρέπει να προσδιορίζει σωστά όλες τις παραμέτρους, οι οποίες αντιστοιχούν σε ένα μεγάλο πλήθος δυνατών συνθηκών. Η τιμή των κελιών του πίνακα αντιστοιχεί σε μόνιμες συνθήκες, οπότε οποιαδήποτε απότομη μεταβολή στις ανάγκες καυσίμου, θα πρέπει να γίνεται μέσω της σωστής παραμέτρου και όχι του πίνακα. Οι μόνιμες αυτές συνθήκες δημιουργούνται εύκολα μέσω του ειδικού δυναμόμετρου, με το οποίο προσδιορίζεται και η βέλτιστη γωνία προπορείας ανάφλεξης.

Ο VE πίνακας μπορεί να διαχωριστεί σε περιοχές, οι οποίες αντιστοιχούν σε διαφορετικές συνθήκες (Σχήμα 7-3). Οι περιοχές αυτές παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια.



Σχήμα 7-3. Ο VE πίνακας χωρισμένος σε ζώνες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.

Όταν ο κινητήρας βρίσκεται στην ζώνη 1, τότε λειτουργεί στο ρελαντί. Στη συνέχεια, με το πάτημα του γκαζιού για την εκκίνηση του οχήματος, ο κινητήρας εισέρχεται στην ζώνη 2. Η ζώνη 3 αντιστοιχεί σε συνήθειες συνθήκες οδήγησης με σταθερή ταχύτητα (π.χ. σε αυτοκινητόδρομο), στις οποίες ο κινητήρας περνάει και τον περισσότερο χρόνο. Η ζώνη 4 αντιστοιχεί σε ελαφρώς αυξημένο φορτίο, όπως παραδείγματος χάρη σε μια ανηφόρα. Η ζώνη 5 συναντάται σπάνια και αντιστοιχεί σε αγωνιστική οδήγηση. Τα περισσότερα αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων δεν επιτρέπουν ποτέ τη μετάβαση στην περιοχή αυτή. Η ζώνη 6 αντιστοιχεί σε κατάσταση πλήρους φορτίου ενός ατμοσφαιρικού κινητήρα, ο χρήστης δηλαδή πιέζει πλήρως το πεντάλ του γκαζιού. Η ζώνη 7 συναντάται όταν ο χρήστης δεν ασκεί καμία πίεση στο πεντάλ του γκαζιού, και επομένως το φορτίο του κινητήρα πέφτει στο ελάχιστο. Τέλος, η ζώνη 8 αντιστοιχεί σε πίεση υπερπλήρωσης, στην οποία προφανώς μπορούν να μεταβούν μόνο υπερτροφοδοτούμενοι κινητήρες.

Στις ζώνες 1,2,3,4,5 και 7, ο χρήστης δεν αποζητά από τον κινητήρα την πλήρη ισχύ του. Αντιθέτως, ζητάει την ελάχιστη κατανάλωση, και για τον λόγο αυτό το AFR πρέπει να είναι ελαφρώς υψηλότερο από το στοιχειομετρικό. Όμοια, στην ζώνη 6 το AFR πρέπει να αντιστοιχεί σε πλούσιο μείγμα, το οποίο αποσκοπεί στη μέγιστή ισχύ ($AFR \approx 12,6$). Στη ζώνη 8, το AFR πρέπει να είναι ακόμα χαμηλότερο, για λόγους ψύξης του θαλάμου καύσης, ζημιώνοντας με αυτόν τον τρόπο τη μέγιστη ισχύ.

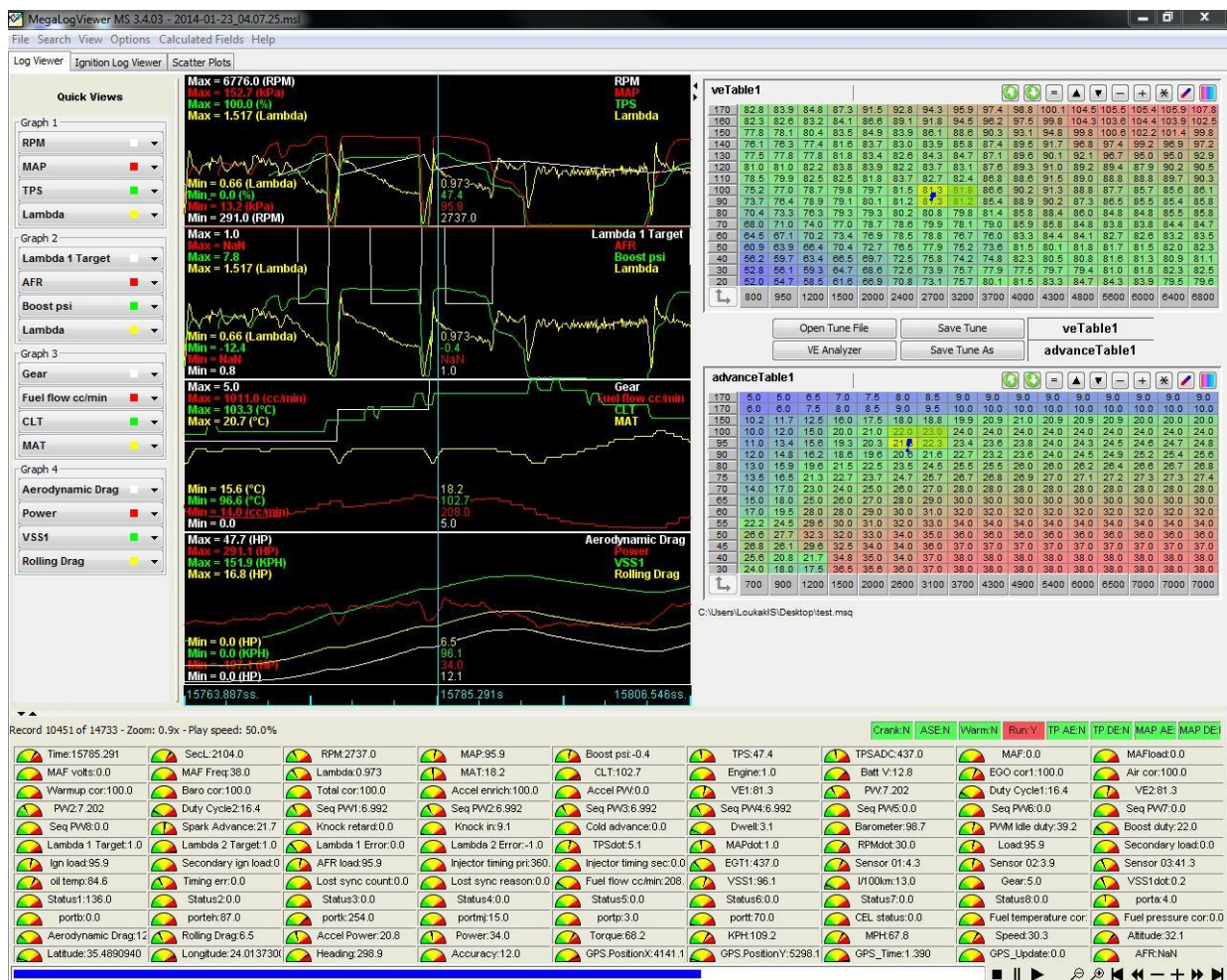
Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιείται μια ακόμα παράμετρος για τον υπολογισμό της τελικής ποσότητας καυσίμου που ψεκάζεται. Η παράμετρος αυτή είναι το AFR και η τιμή της βρίσκεται και αυτή σε κελιά ενός όμοιου πίνακα. Οι τιμές του VE και του AFR πολλαπλασιάζονται μεταξύ του, όπως και με τις υπόλοιπες παραμέτρους, προκειμένου να υπολογιστεί η τελική διάρκεια του παλμού του μπεκ. Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα της εύκολης αλλαγής του μείγματος, αλλάζοντας μόνο το θεμιτό AFR, αφού φυσικά ο VE έχει βελτιστοποιηθεί. [1][2][3][4][5][6]

400.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
300.0	11.7	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.5	11.5	11.5	11.4	11.4	11.4
200.0	12.3	12.3	12.3	12.2	12.2	12.1	12.1	12.0	12.0	11.8	11.8	11.8
100.0	12.9	12.8	12.8	12.7	12.7	12.6	12.5	12.5	12.5	12.2	12.2	12.2
90.0	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.5	12.3	12.3
80.0	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4
70.0	13.0	13.0	13.1	13.0	13.0	12.9	13.0	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
60.0	13.4	13.4	13.9	13.7	13.6	13.6	13.1	12.7	12.6	12.6	12.6	12.6
55.0	13.6	14.1	14.3	14.2	14.1	13.9	13.4	12.9	12.8	12.7	12.6	12.6
50.0	13.5	14.0	14.7	14.6	14.5	14.3	13.6	13.0	12.9	12.8	12.7	12.6
40.0	13.4	13.9	15.5	15.5	15.4	14.9	14.1	13.0	12.9	12.8	12.7	12.7
30.0	13.0	13.5	15.5	15.5	15.4	14.9	14.3	13.2	13.1	13.2	13.1	13.0
↙	500	800	1100	1400	2000	2600	3100	3700	4300	4900	5400	6000

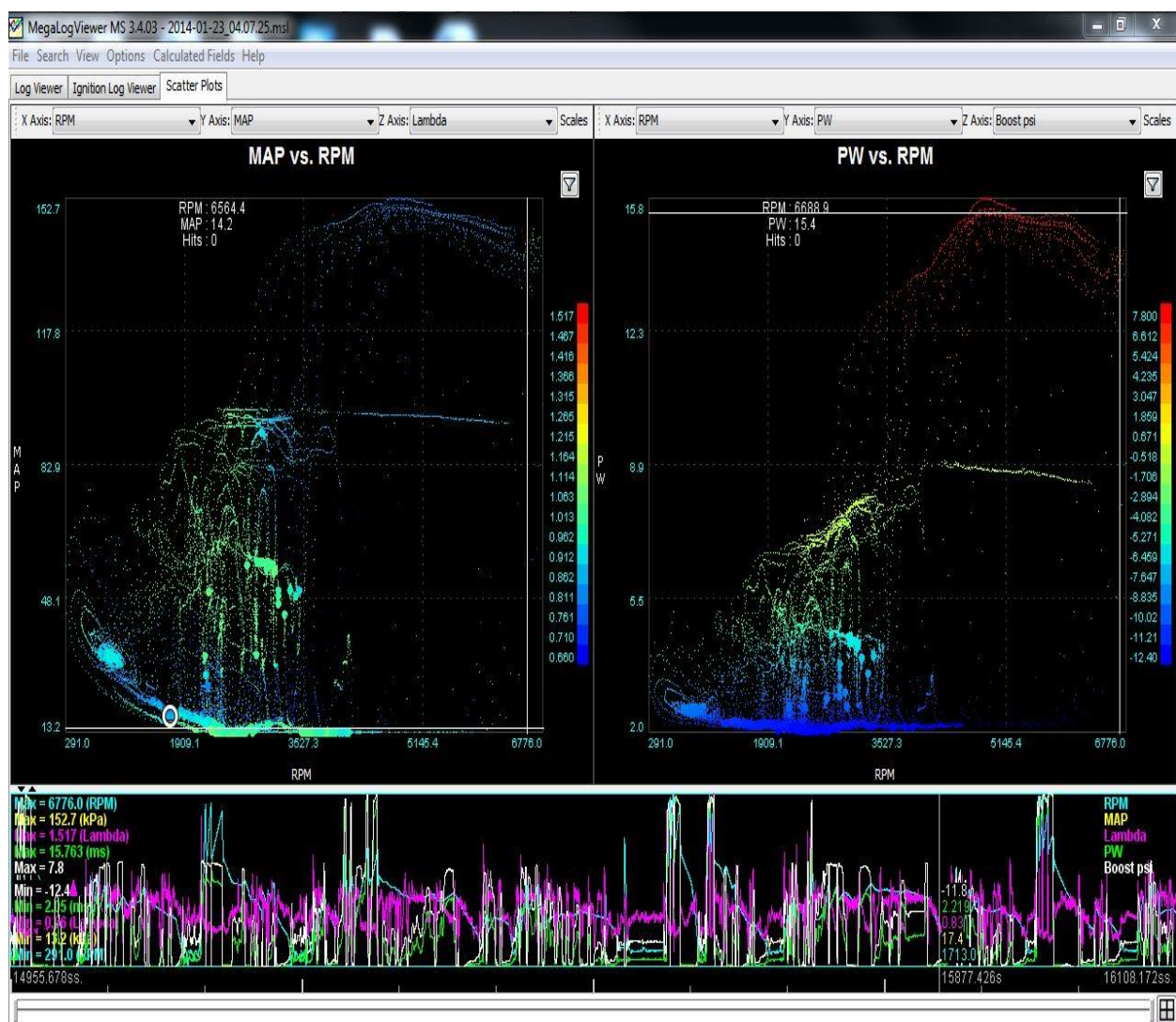
Σχήμα 7-3. Παράδειγμα AFR table.

7.5 Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

Ο σωστός προγραμματισμός της ECU, δεν είναι δυνατόν να συμβεί χωρίς την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, καθώς οι τιμές δεκάδων παραμέτρων αλλάζουν μέσα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Στην παρούσα εργασία, η συλλογή των δεδομένων έγινε με τη χρήση του μόνιμα εγκατεστημένου ηλεκτρονικού υπολογιστή και του λογισμικού Tuner Studio. Στη συνέχεια, αναλύονται αυτά με τη χρήση ενός δεύτερου λογισμικού που καλείται MegaLogViewer. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων και την πραγματοποίηση των απαραίτητων παραμετροποιήσεων, το νέο αρχείο αντικαθιστά το υπάρχον και η συλλογή δεδομένων ξεκινάει εκ νέου. Η διαδικασία αυτή έρχεται σε πέρας, όταν ολοκληρωθεί ο προγραμματισμός του κινητήρα. [6]



Σχήμα 7-4. Ανάλυση των δεδομένων μέσω του λογισμικού MegaLogViewer.



Σχήμα 7-5.Ανάλυση των δεδομένων μέσω του λογισμικού MegaLogViewer.

8.

Αποτελέσματα - Συμπεράσματα

8.1 Απόδοση του συστήματος

Η απόδοση του συστήματος χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα ικανοποιητική, καθώς το όχημα παραμένει φιλικό προς τον χρήστη, παρά την αύξηση της ισχύος. Ο κινητήρας αποδίδει την ισχύ του γραμμικά, σε όλο το φάσμα των στροφών, χωρίς απότομα ξεσπάσματα. Επίσης, το όχημα μπορεί να μετατραπεί από όχημα δρόμου σε όχημα πίστας, με το πάτημα μερικών μόνο κουμπιών. Έτσι λοιπόν, το όχημα μπορεί να οδηγηθεί από έναν μέσο χρήστη, χωρίς αυτός να καταλάβει την ύπαρξη της όλης μετατροπής. Το μοναδικό στοιχείο που υποδηλώνει την ύπαρξη της μετατροπής, είναι ο χαρακτηριστικός ήχος που παράγει ο υπερσυμπιεστής. Αξίζει να σημειωθεί επίσης, ότι το συνολικό βάρος του οχήματος αυξήθηκε κατά λιγότερο από 15 κιλά, διατηρώντας έτσι αμετάβλητη την κατανομή βάρους του οχήματος.

Εάν ο χρήστης δώσει στην ECU ορισμένα ορίσματα, τα οποία σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του οχήματος, υπάρχει η δυνατότητα εκτίμησης της παραγόμενης ισχύος από την ίδια την ECU. Τέτοια ορίσματα είναι:

- Η παροχή καυσίμου των μπεκ
- Το βάρος του οχήματος

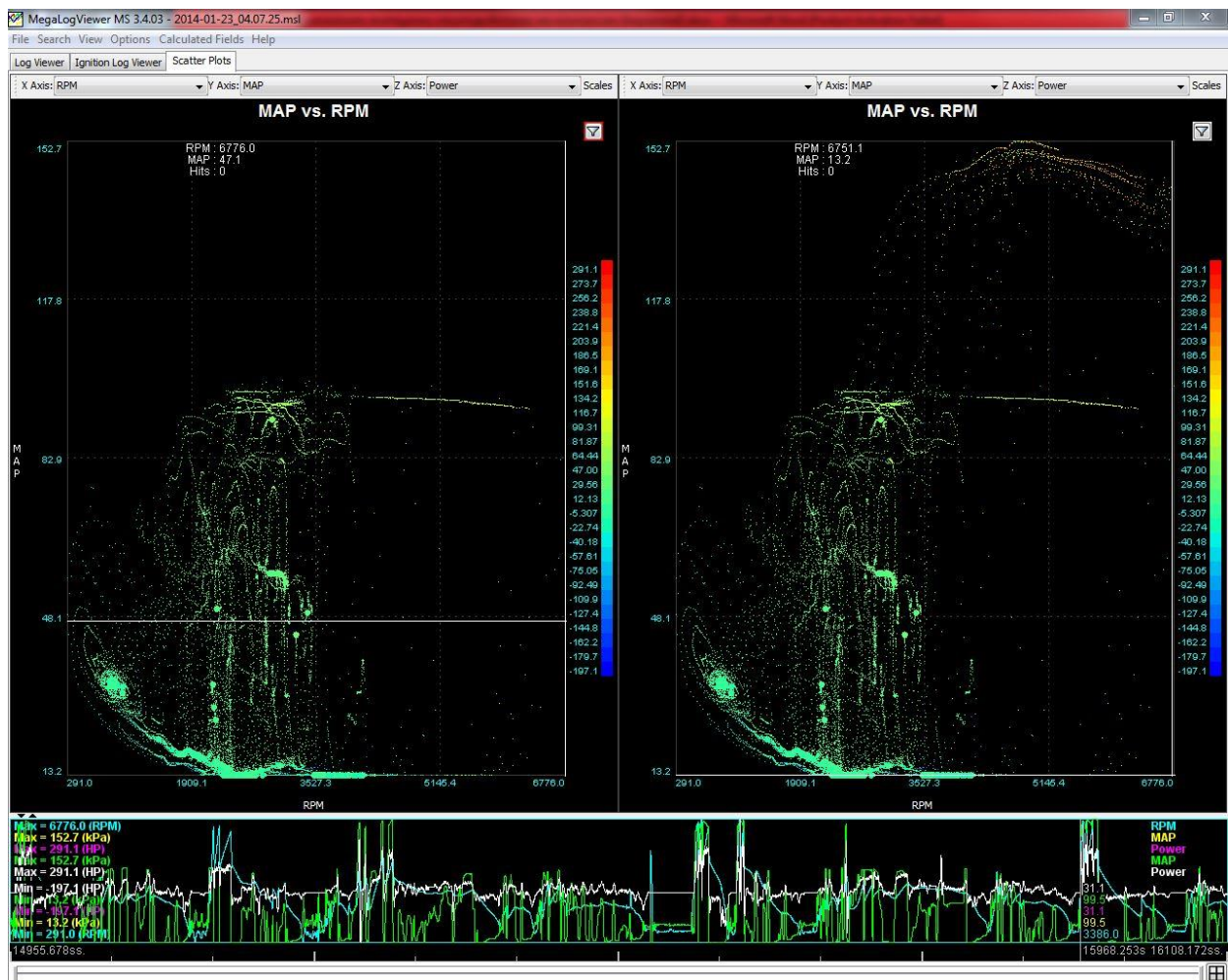
- Η πίεση των ελαστικών
- Η διάμετρος των ελαστικών
- Η μετωπική επιφάνεια του οχήματος
- Αεροδυναμικός συντελεστής απόδοσης του οχήματος

Η επαλήθευση των αποτελεσμάτων, και ο ακριβής προσδιορισμός της παραγόμενης ισχύος σε όλο το φάσμα των στροφών του κινητήρα, μπορεί να γίνει μόνο με χρήση ειδικού δυναμόμετρου. Ωστόσο, μέσα από την ανάλυση των δεδομένων που καταγράφονται, ο χρήστης μπορεί να εκτιμήσει εάν το τελικό αποτέλεσμα είναι επιτυχημένο, ή αν χρήζει βελτίωσης. Επίσης, με την απενεργοποίηση της βαλβίδας παρεκτροπής, μπορεί να γίνει μια εύκολη ποσοτική εκτίμηση της συνεισφοράς του υπερσυμπιεστή. Στην παρούσα εργασία, το κόστος της μετατροπής ξεπερνάει τις 2000€, καθώς περίπου 900€ κοστίζει μόνο το ηλεκτρονικό σύστημα, συμπεριλαμβανομένων και των αισθητήρων. Αντίστοιχες εφαρμογές, κοστίζουν στην αγορά το διπλάσιο ή και τριπλάσιο ποσό, ενώ πολλές φορές το αποτέλεσμα είναι αμφιλεγόμενο. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ο κινητήρας είχε ήδη διανύσει περισσότερα από 250.000χλμ πριν υποστεί την μετατροπή αυτή. Παρά την παλαιότητά του λοιπόν, δέχτηκε την μετατροπή χωρίς να σημειωθεί κανένα απολύτως πρόβλημα.

Βάσει των δεδομένων που συλλέχθηκαν, η ισχύς του κινητήρα εκτιμάται πάνω από 200 ίππους, δηλαδή πρόκειται για μια αύξηση κατά 50% περίπου, σε σχέση με την αρχική των 140. Ο χρόνος που χρειάζεται το όχημα για να φτάσει τα 100 χ.α.ω, κάνοντας χρήση του Launch control και του flat shift είναι λιγότερος από 6,6 δευτερόλεπτα. Σε εργοστασιακή μορφή το όχημα χρειάζεται 10,2 δευτερόλεπτα, ενώ το αντίστοιχο μοντέλο της BMW, το οποίο ήταν εφοδιασμένο με κινητήρα 286 ίππων, χρειάζεται 6 δευτερόλεπτα.

Η ψύξη του εισερχόμενου αέρα μέσω του intercooler, πέρα από μεγαλύτερη ισχύ και περισσότερη ασφάλεια, προσέφερε και πολύ καλύτερη λειτουργία του κινητήρα σε συνθήκες οδήγησης εντός πόλης. Σε αυτές τις συνθήκες, λόγω της χαμηλής ταχύτητας του οχήματος, υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα εντός του μηχανοστασίου, η οποία μπορεί να ξεπεράσει ακόμα και τους 80 °C. Σε τέτοια θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα, το φαινόμενο της αυτανάφλεξης συμβαίνει πάρα πολύ εύκολα ακόμα και σε συνηθισμένες συνθήκες οδήγησης. Πλέον, η θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα δεν ξεπερνάει ποτέ τους 40 °C, και ο κινητήρας λειτουργεί πολύ πιο ομαλά.

Η κατανάλωση του οχήματος έχει παραμείνει στα ίδια πλαίσια, εφόσον αυτός δεν λειτουργεί φυσικά σε πίεση υπερπλήρωσης. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε μέγιστη πίεση, η κατανάλωση καυσίμου μπορεί να ξεπεράσει και το 1 λίτρο ανά λεπτό.



Σχήμα 8-1. Στο παραπάνω γράφημα παρουσιάζεται η διαφορά στην πίεση της εισαγωγής αέρα, όταν επιτρέπεται στην βαλβίδα παρεκτροπής να λειτουργήσει για την δημιουργία πίεσης. Ο x-άξονας είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, ο y-άξονας είναι η απόλυτη πίεση στην εισαγωγή αέρα, ενώ το χρώμα (z-άξονας) είναι η εκτιμώμενη ισχύς που παράγει ο κινητήρας.

8.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Η χρήση της νέας αυτόνομης ECU, δίνει την δυνατότητα απεριόριστων μελλοντικών εξελίξεων, καθώς μπορεί να προγραμματιστεί για οποιεσδήποτε δυνατές συνθήκες. Ο κινητήρας εκτιμάται ότι μπορεί να λειτουργήσει με ασφάλεια σε πίεση υπερπλήρωσης έως 0,7-0,8 bar. Για να συμβεί αυτό, αρκεί απλά να αυξηθεί η ταχύτητα περιστροφής του υπερσυμπιεστή, με χρήση διαφορετικής διαμέτρου τροχαλίας. Για μεγαλύτερη πίεση από αυτή, θα πρέπει να συμβούν μετατροπές και στο εσωτερικό του κινητήρα. Ένας εύκολος τρόπος που προτείνεται για την αύξηση της ισχύος, αλλά και την ασφάλεια το κινητήρα, είναι η τοποθέτηση ενός συστήματος ψεκασμού μίγματος νερού – μεθανόλης (παράλληλα προφανώς με το μίγμα αέρα-καυσίμου). Ο ψεκασμός νερού στον θάλαμο καύσης, έχει πάρα πολλές θετικές συνέπειες, όπως είναι η σημαντική μείωση της θερμοκρασίας του και η εκκαθάριση του από επικαθίσεις άνθρακα. Αξίζει να σημειωθεί ότι, το εσωτερικό των θαλάμων στους οποίους γίνεται ψεκασμός νερού, μοιάζει οπτικά με αχρησιμοποίητο. Η μείωση της θερμοκρασίας, έχει σαν αποτέλεσμα την εντυπωσιακή καταπολέμηση του φαινομένου της αυτανάφλεξης, επιτρέποντας την λειτουργία του κινητήρα σε μεγαλύτερη πίεση υπερπλήρωσης, χωρίς να χρειάζεται μείωση το λόγου συμπίεσης του κινητήρα. Επίσης, η μεθανόλη έχει στοιχειομετρικό AFR 6,47 (αντί για 14,7 που έχει η βενζίνη), δίνοντας έτσι στον κινητήρα την δυνατότητα να παράξει ακόμα μεγαλύτερη ισχύ. Για τους παραπάνω λόγους, η χρήση ενός τέτοιου συστήματος προτείνεται ως η πρώτη σε σειρά μελλοντική μετατροπή για τον κινητήρα. Η ECU διαθέτει έτοιμες εφαρμογές για την χρήση ενός τέτοιου συστήματος, απλοποιώντας έτσι κατά πολύ την εγκατάστασή του, και δίνοντας την δυνατότητα για ακριβή και λεπτομερή παραμετροποίησή του.

Τέλος, σαν απώτερος σκοπός μπορεί να θεωρηθεί ο συνδυασμός του Roots με έναν στροβιλοσυμπιεστή.



Σχήμα 8-2. Το water-methanol kit της εταιρίας AEM.

Βιβλιογραφία

- [1] A. Graham Bell. Forced Induction performance tuning, εκδόσεις Haynes
- [2] Corky Bell. Maximum Boost, Bentley Publishers
- [3] Corky Bell. Supercharged, Bentley Publishers
- [4] Greg Banish. Designing and tuning high-performance fuel injection systems, εκδόσεις SA Design
- [5] Matt Cramer & Jerry Hoffmann, Performance Fuel Injection Systems, εκδόσεις HPBooks
- [6] <http://www.msextra.com>