



Σύστημα Ελέγχου Ιξώδους Λαδιού σε Κινητήρες Εσωτερικής Καύσης

Πτυχιακή Εργασία



SEPTEMBER 18, 2025

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΣΕΡΔΑΡΗΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ - ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: ELE512092

Τμήμα: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πίνακας Περιεχομένων

1. Εισαγωγή	3
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	3
2.1 Ιξώδες λιπαντικών – Ορισμός & Σημασία.....	3
2.2 Μεταβολή ιξώδους σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία	4
2.3 Στρωτή και τυρβόδεις – Το φαινόμενο της σπηλαίωσης.....	6
2.4 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης: Λίπανση και Φθορά	7
2.5 Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το ιξώδες	9
2.6 Αισθητήρες για μέτρηση ιξώδους και θερμοκρασίας.....	10
2.7 Πλατφόρμα μικροελεγκτή (ATmega328).....	14
3. Ανάλυση Συστήματος Ελέγχου Ιξώδους	15
3.1 Σκοπός – Προδιαγραφές	15
3.2 Ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα του συστήματος	15
3.4 Ροή Λειτουργίας – Διάγραμμα Ροής.....	16
4. Υλοποίηση	18
4.1 Χρησιμοποιούμενα Υλικά	18
4.2 Ανάγνωση στροφών κινητήρα	18
4.3 Μοντελοποίηση NTC θερμίστορ.....	19
4.4 Μοντελοποίηση αισθητήρα πίεσης.....	20
4.5 Διασύνδεση εξαρτημάτων – Schematic	21
4.3 Κατασκευή.....	22
5. Δοκιμές – Πειραματικά Αποτελέσματα.....	23
5.1 Περιβάλλον Δοκιμών.....	23
6. Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	24
7. Βιβλιογραφία	25
Παράρτημα.....	27
Κώδικας	27
Φύλλα δεδομένων υλικών.....	31

1. Εισαγωγή

Η λίπανση στους κινητήρες εσωτερικής καύσης αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για τη μακροζωία, τη χαμηλή κατανάλωση και τις χαμηλές εκπομπές ρύπων. Το λιπαντικό και το σύστημα κυκλοφορίας του μπορούν να παρομοιαστούν με το αίμα στο ανθρώπινο σώμα. Είναι υπεύθυνο για τη μείωση των τριβών μεταξύ μεταλλικών επιφανειών, τον καθαρισμό ορισμένων επικαθίσεων, όπως και για την ψύξη συγκεκριμένων επιφανειών. Γι' αυτό λοιπόν το λόγο το ιξώδες, όπως κι ο έλεγχος αυτού, είναι πολύ σημαντικό για τη σωστή κι αποδοτική λειτουργία του κινητήρα. Το ιξώδες του λιπαντικού αποτελεί κρίσιμο δείκτη της λειτουργικής κατάστασης ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης. Μεταβολές στο ιξώδες μπορεί να υποδεικνύουν υπερβολική θερμοκρασία, ρύπανση ή ανάγκη αντικατάστασης του λαδιού, ενώ η έγκαιρη ανίχνευσή τους μπορεί να αποτρέψει βλάβες ή να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του κινητήρα. Στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη συστήματος που να μετρά, σε πραγματικό χρόνο, την κατάσταση του λιπαντικού και να ενημερώνει τον οδηγό σε περίπτωση σφάλματος.

Η τεχνολογική πρόοδος στους μικροελεγκτές και τους αισθητήρες επιτρέπει την κατασκευή φθηνών, αξιόπιστων συστημάτων παρακολούθησης λιπαντικού σε πραγματικό χρόνο. Η παρούσα εργασία σχεδιάζει και υλοποιεί ένα τέτοιο σύστημα, αξιοποιώντας αισθητήρες θερμοκρασίας, πίεσης και επιλεγμένες μεθόδους εκτίμησης του ιξώδους. Η υλοποίηση βασίζεται σε μικροελεγκτή ATmega328, και παρέχει δεδομένα μέσω σειριακής διεπαφής.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο.

2.1 Ιξώδες λιπαντικών – Ορισμός & Σημασία

Με τον όρο ιξώδες ορίζεται μια ιδιότητα ενός ρευστού που εκδηλώνεται ως αντίσταση στην κίνηση γειτονικών στρωμάτων του [1],[2]. Δηλαδή, το ιξώδες εκδηλώνεται και ως τριβή μεταξύ των στρωμάτων του ρευστού, όταν τα στρώματα αυτά κινούνται το ένα σχετικά ως προς το άλλο. Αυτή η δύναμη τριβής είναι παράλληλη προς τη διεύθυνση κίνησης και τείνει να εκμηδενίσει τη διαφορά ταχύτητας μεταξύ των στρωμάτων. Έτσι το ιξώδες εκδηλώνεται και ως μια αντίσταση στη ροή του ρευστού (άλλωστε, το αντίστροφο του ιξώδους λέγεται ρευστότητα (φ) και αποτελεί ένα μέτρο της τάσης του ρευστού για ροή). Το μέλι π.χ. έχει, στις συνήθεις συνθήκες, μεγαλύτερο ιξώδες από το νερό.

2.2 Μεταβολή ιξώδους σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία

Το ιξώδες των ελαίων, δηλαδή η «αντίστασή» τους στη ροή, επηρεάζεται έντονα από τη θερμοκρασία: καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, το ιξώδες μειώνεται σημαντικά. Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια των ελαίων αποκτούν περισσότερη κινητική ενέργεια με τη θέρμανση, με αποτέλεσμα να κινούνται πιο ελεύθερα και να μειώνονται οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ τους. Η μεταβολή αυτή περιγράφεται συχνά με εκθετικές εξισώσεις, όπως του τύπου Arrhenius, ή με πιο εξειδικευμένα εμπειρικά μοντέλα, όπως η εξίσωση Walther ή το πρότυπο VFT [3],[4]. Στην πράξη, για να αντιμετωπιστεί αυτή η μεταβλητότητα, χρησιμοποιούνται πολυβάθμια λιπαντικά και ειδικά πρόσθετα, όπως βελτιωτές ιξώδους, που βοηθούν το λάδι να διατηρεί ικανοποιητικό ιξώδες σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών – από το ψυχρό ξεκίνημα ενός κινητήρα μέχρι την πλήρη λειτουργική θερμοκρασία. Ο δείκτης ιξώδους (VI) είναι ένας αριθμός που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει πόσο σταθερό παραμένει το ιξώδες ενός λιπαντικού με τις αλλαγές της θερμοκρασίας, και όσο υψηλότερος είναι, τόσο πιο αποτελεσματικό θεωρείται το λάδι σε συνθήκες θερμικής μεταβολής.

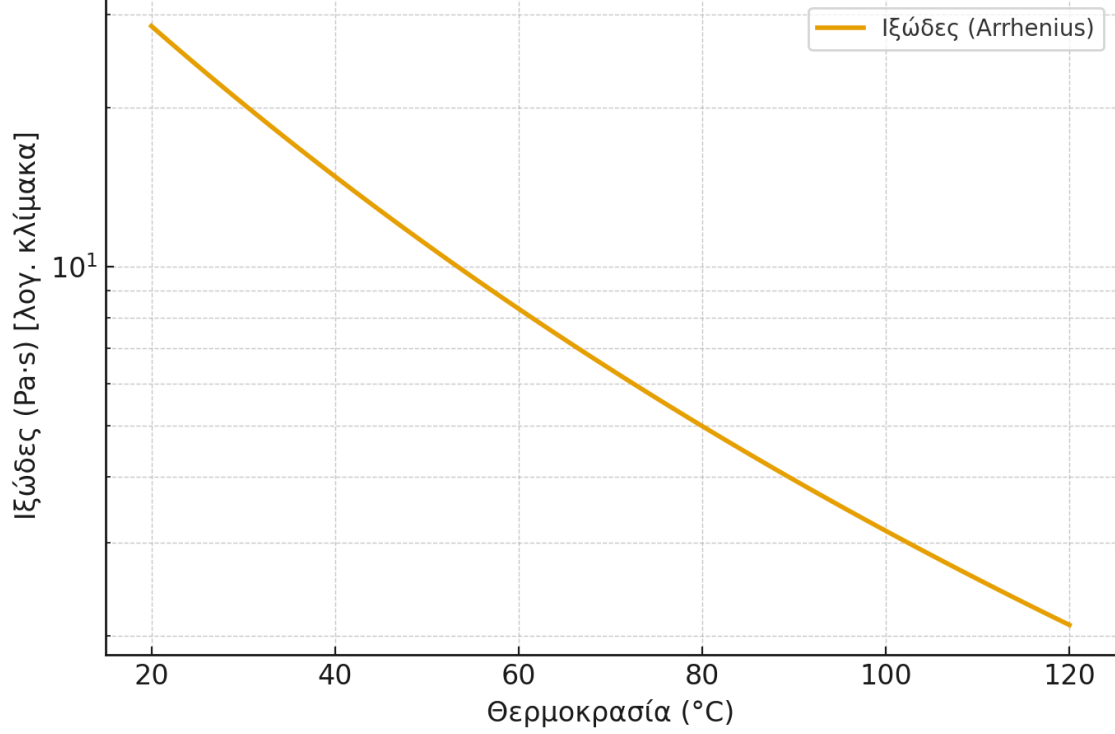
Μια από τις πιο κλασικές και ευρέως χρησιμοποιούμενες εξισώσεις για την περιγραφή της μεταβολής του ιξώδους των ελαίων ως προς τη θερμοκρασία είναι η **εξίσωση τύπου Arrhenius**:

$$n = A * e^{\frac{Ea}{RT}}$$

Όπου:

- n : το δυναμικό ιξώδες (π.χ. σε Pa·s),
- A : εμπειρική σταθερά (προεξάρτηση),
- Ea : ενεργειακό φράγμα ροής (ενεργοποίηση ιξώδους, σε J/mol),
- R : παγκόσμια σταθερά των αερίων (≈ 8.314 J/mol·K),
- T : απόλυτη θερμοκρασία σε Kelvin (K).

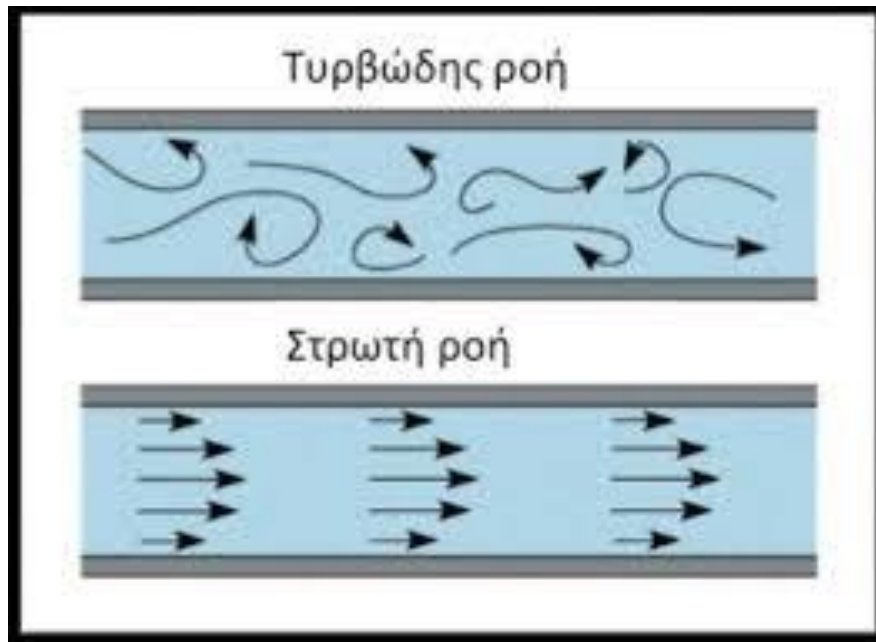
Μεταβολή Ιξώδους σε συνάρτηση με τη Θερμοκρασία



Διάγραμμα μεταβολής ιξώδους, βάση της εξίσωσης Arrhenius

2.3 Στρωτή και τυρβώδεις – Το φαινόμενο της σπηλαιώσης

Κατά τη ροή ενός ρευστού κατά μήκος ενός στερεού ορίου, το είδος της ροής εξαρτάται από το μέγεθος της ταχύτητας σχετικά με το στερεό αυτό όριο. Σε χαμηλές ταχύτητες τα στρώματα του ρευστού κινούνται το ένα πάνω στο άλλο, χωρίς ανάμιξη και καλείται στρωτή ροή. Ωστόσο, καθώς η ταχύτητα αυξάνει μικρές διαταραχές δημιουργούν δίνες, λόγω των οποίων αναμιγνύονται τα στρώματα του ρευστού και εμφανίζεται μια διαφορετική εικόνα στην ροή, η οποία ονομάζεται τυρβώδης ροή. Η αλλαγή αυτή έχει μια επίδραση στις δυνάμεις που ενεργούν μεταξύ του ρευστού και του στερεού ορίου.

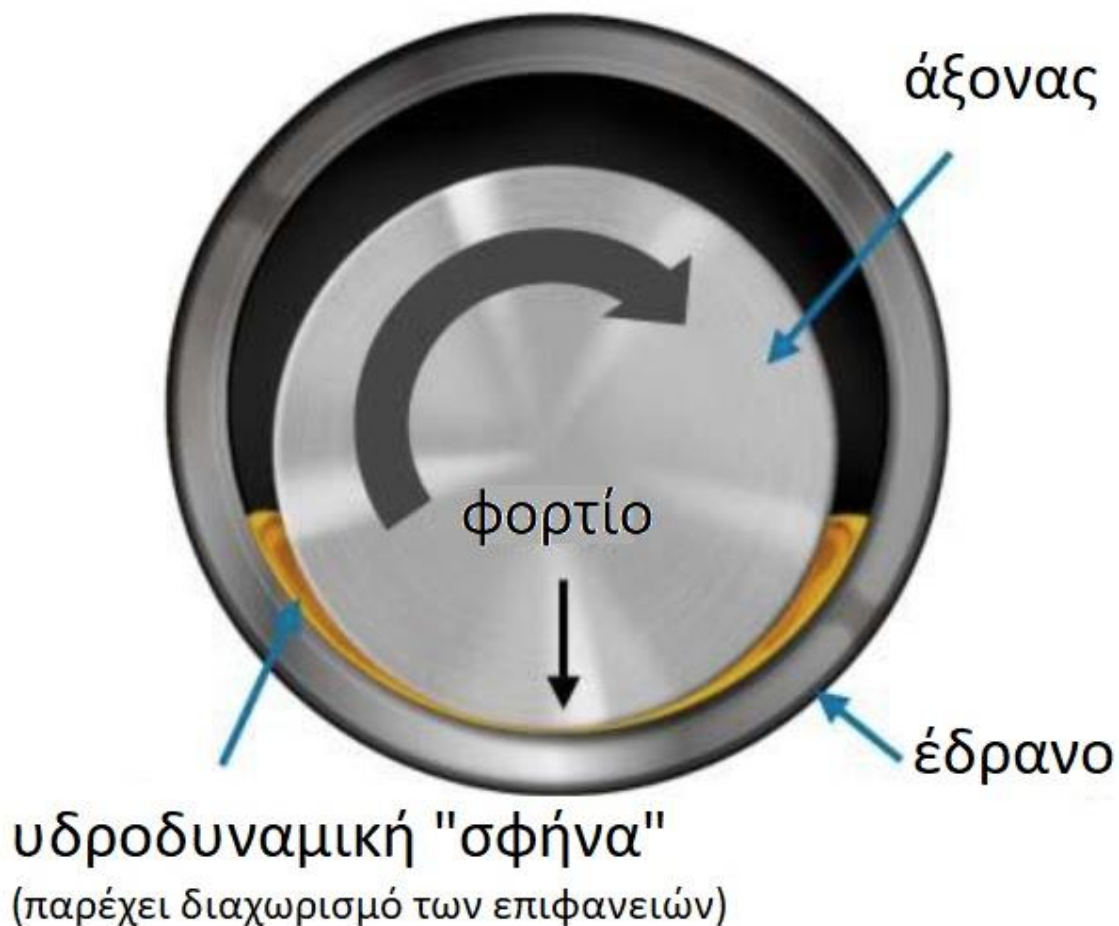


Στην περίπτωση της τυρβώδους ροής μπορεί να εμφανιστούν φυσαλίδες, λόγω του φαινομένου της σπηλαιώσης (cavitation). Όπου σπηλαιώση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο δημιουργούνται μικρές φυσαλίδες (κοιλότητες) ατμού ή αερίου μέσα σε ένα ρευστό, όταν η τοπική πίεση του ρευστού πέσει κάτω από την πίεση ατμοποίησής του. Όταν αυτές οι φυσαλίδες μεταφερθούν σε περιοχή υψηλότερης πίεσης, καταρρέουν βίαια, προκαλώντας θόρυβο, δονήσεις και ενδεχομένως φθορά στα γύρω στερεά σώματα. Ενδεικτικό παράδειγμα είναι οι προπέλες των πλοίων, όπου κατά την περιστροφή, στην πλευρά του πτερυγίου με τη χαμηλότερη πίεση, δημιουργούνται φυσαλίδες που είναι ορατές απ' την επιφάνεια. [5],[6]

2.4 Μηχανές Εσωτερικής Καύσης: Λίπανση και Φθορά

Η υδροδυναμική λίπανση (hydrodynamic lubrication) είναι το καθεστώς λιπάνσεως κατά το οποίο το φορτίο ανάμεσα σε δύο κινούμενες επιφάνειες υποστηρίζεται αποκλειστικά από την πίεση που αναπτύσσεται μέσα σε ένα συνεχές φιλμ λιπαντικού. Στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως (ΜΕΚ) η πίεση αυτή παράγεται όταν η σχετική κίνηση του στροφαλοφόρου ή άλλης επιφάνειας «συμπιέζει» το λάδι σε μια σφηνοειδή (wedge) σχισμή, δημιουργώντας ανύψωση (hydrodynamic lift) και πλήρη διαχωρισμό μετάλλου-μετάλλου. [7],[8].

Έδρανο ολίσθησης

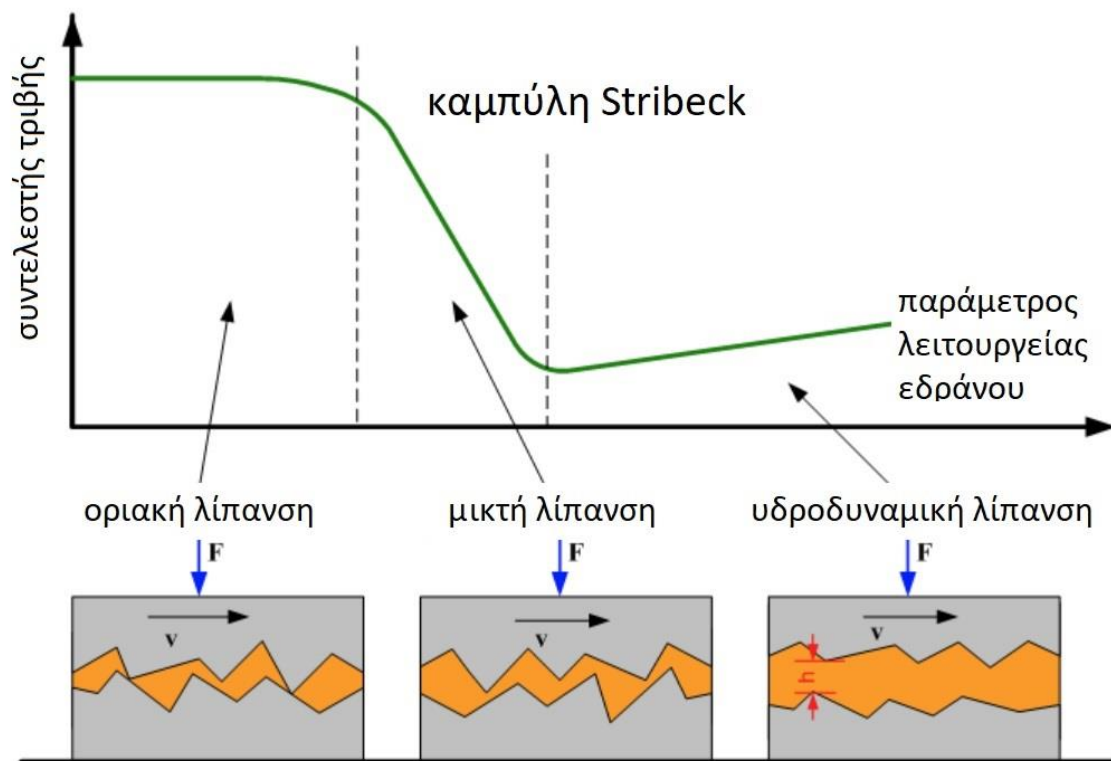


Τυπικά παραδείγματα υδροδυναμικής λίπανσης σε MEK είναι τα κύρια και διωστήρια έδρανα του στροφαλοφόρου, γνωστά κι ως κουζινέτα, οι έδρες των εκκεντροφόρων και στις υψηλές ταχύτητες το κάτω τμήμα του εμβόλου (piston skirt).

Οι περισσότερες MEK χρησιμοποιούν ένα δοχείο αποθήκευσης, το λεγόμενο κάρτερ. Μια μηχανικά συνδεδεμένη αντλία, υπεύθυνη για την κυκλοφορία αυτού. Μια βαλβίδα BYPASS, όπου σε περίπτωση υψηλής πίεσης στο κύκλωμα, εκτρέπει τη ροή, παρακάμπτοντας τον κινητήρα κι επιστρέφοντας τα λάδια πίσω στο κάρτερ. Ανάλογα λοιπόν με το σχεδιασμό και δομή του κυκλώματος, των αυλών δηλαδή, του κινητήρα, κάτι που επιλέγει να κάνει ο κατασκευαστής, συνιστάται και λάδι με το ανάλογο ιξώδες.

Η χρήση μη συνιστάμενου ιξώδους είναι βέβαιο ότι θα οδηγήσει σε πρόωρη φθορά. Αναλύοντας την καμπύλη Stribeck παρατηρούμε τρεις καταστάσεις:

- Στην κατάσταση οριακής λίπανσης έχουμε άμεση επαφή και τριβή των δύο επιφανειών. Με τον υψηλότερο συντελεστή τριβής. Το λιπαντικό δηλαδή μεταβάλλει σχεδόν καθόλου το συντελεστή τριβής.
- Στην κατάσταση μικτής λίπανσης έχουμε υπάρχει μερικός αποχωρισμός, όχι όμως πλήρης. Το λιπαντικό πλέον αρχίζει και λειτουργεί. Ο συντελεστής τριβής μειώνεται,
- Στην κατάσταση της υδροδυναμικής λίπανσης έχουμε πλήρη αποκόλληση των επιφανειών. Ο συντελεστής τριβής εξαρτάται πλήρως απ' το ιξώδες του λαδιού.



2.5 Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το ιξώδες

Το ιξώδες του λιπαντικού σε μηχανές εσωτερικής καύσης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποτελεσματική λίπανση των κινούμενων μερών και τη μείωση της φθοράς των μηχανικών στοιχείων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το ιξώδες σχετίζονται κυρίως με χημικές, μηχανικές και λειτουργικές διεργασίες εντός του κινητήρα.

Η μηχανική καταπόνηση των πολυμερών πρόσθετων, τα οποία βελτιώνουν το δείκτη ιξώδους, μπορεί να προκαλέσει μόνιμη μείωση του ιξώδους, ιδίως σε ρουλεμάν, αντλίες και άλλες περιοχές υψηλής διάτμησης [12]. Αντιθέτως, η οξείδωση και η θερμική υποβάθμιση του λιπαντικού οδηγούν στη δημιουργία παχύρρευστων ενώσεων, όπως λάσπης, με αποτέλεσμα αύξηση του ιξώδους [13].

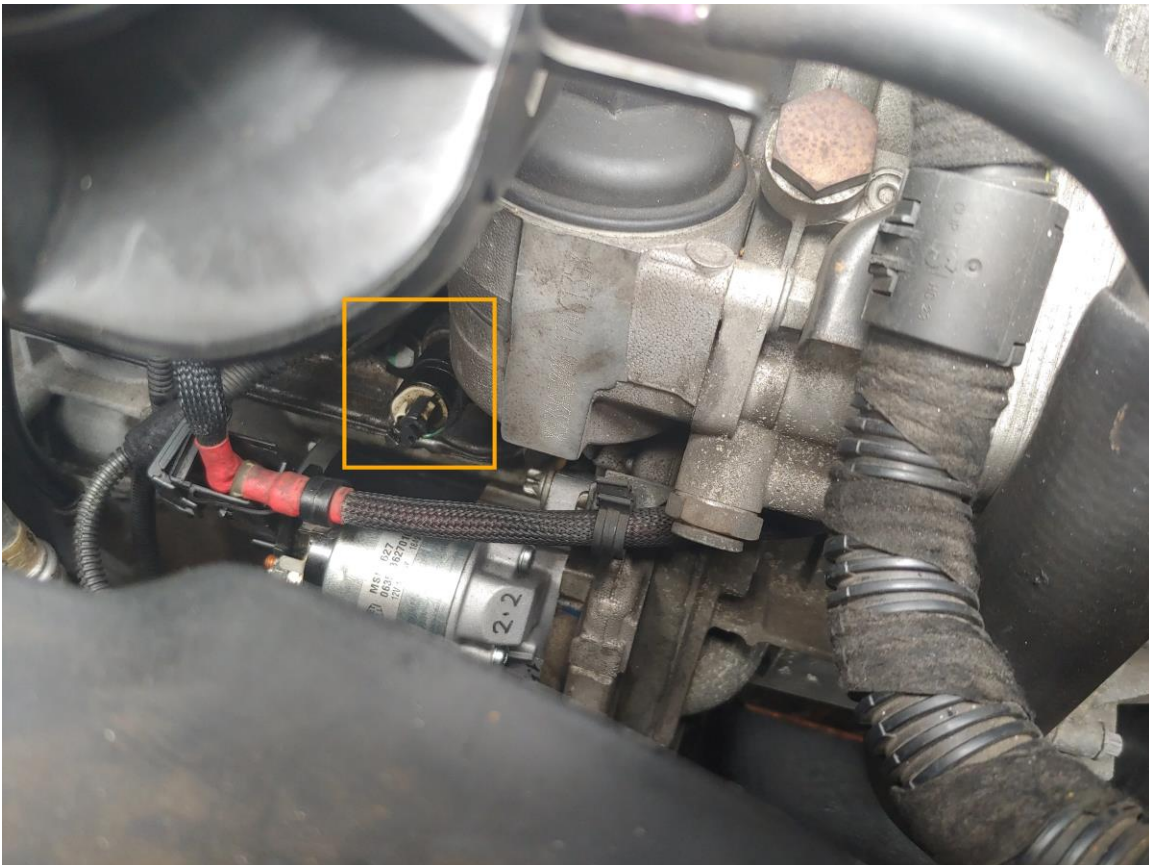
Η αραίωση του λιπαντικού με καύσιμα, που εισέρχονται στη στροφαλοθάλαμο λόγω ατελούς καύσης, μειώνει το ιξώδες, ενώ η συσσώρευση αιθάλης και σωματιδίων, σε πετρελαιοκινητήρες, αυξάνει την πυκνότητα και τη ρεολογική αντίσταση του λαδιού [14]. Επιπλέον, η εισροή ψυκτικού υγρού, π.χ. λόγω αστοχίας στη φλάντζα της κυλινδροκεφαλής, μεταβάλλει τις λιπαντικές ιδιότητες και επηρεάζει την ιξωδο-δυναμική συμπεριφορά του λαδιού [15]. Τέλος, η χημική αποσύνθεση των πρόσθετων με την πάροδο του χρόνου μειώνει την αποτελεσματικότητα των αντιοξειδωτικών, καθαριστικών συστατικών, οδηγώντας σε μεταβολές του ιξώδους και των συνολικών χαρακτηριστικών του λιπαντικού [16].

Συνολικά, η διατήρηση της κατάλληλης σύνθεσης του λιπαντικού και η περιοδική συντήρηση της μηχανής αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για τη σταθερότητα του ιξώδους και την εξασφάλιση αξιόπιστης λειτουργίας της μηχανής.

2.6 Αισθητήρες για μέτρηση ιξώδους και θερμοκρασίας

Η μέτρηση του ιξώδους δε μπορεί να γίνει άμεσα, ειδικά σε πραγματικό χρόνο. Για το λόγο αυτό, βάση των ιδιοτήτων των υγρών και της βασικής αρχιτεκτονικής των μηχανών εσωτερικής καύσης, το ιξώδες θα υπολογίζεται μέσω τριών αισθητήρων [9],[10].

1. Αισθητήρας πίεσης
2. Αισθητήρας θερμοκρασίας
3. Αισθητήρας Hall effect



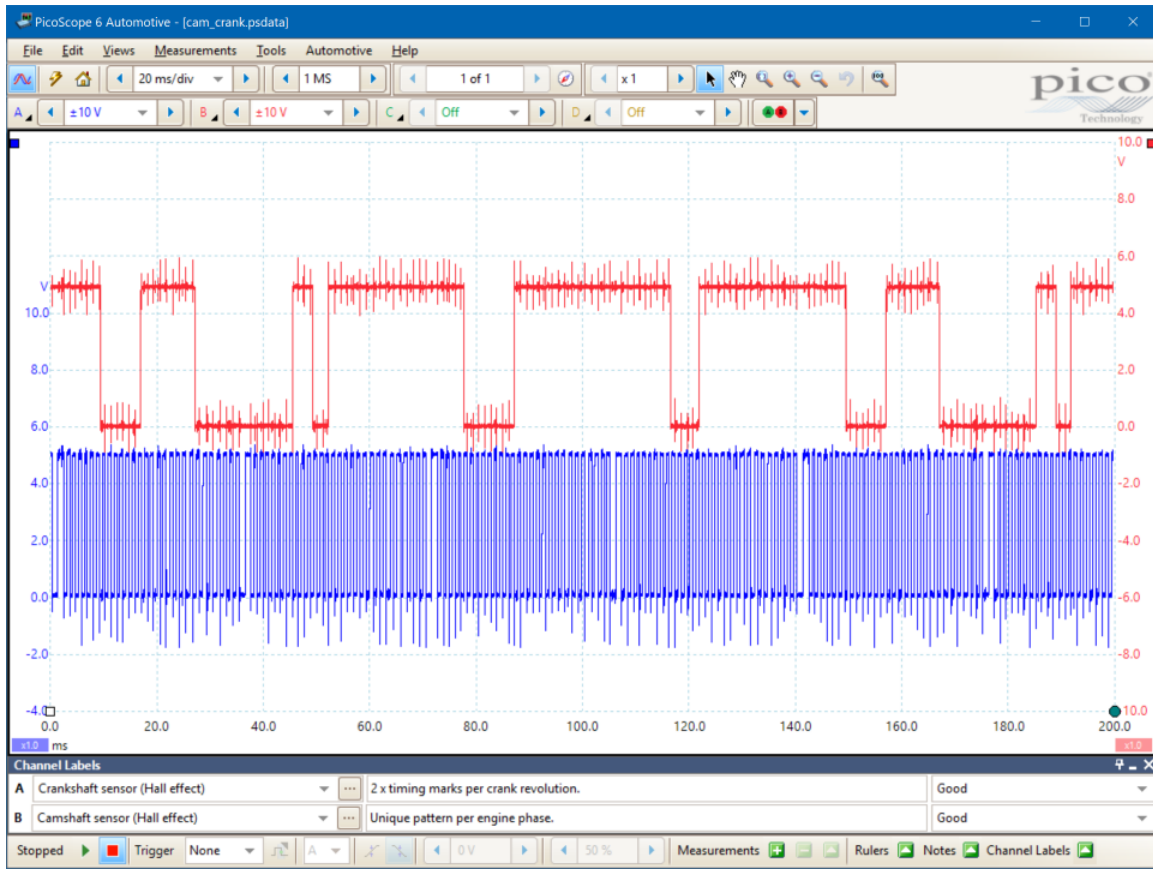
Αισθητήρας πίεσης λαδιού σε κινητήρα Alfa Romeo 2.2 JTS



Αισθητήρας Θερμοκρασίας λαδιού, τοποθετημένος σε κινητήρα Alfa Romeo 2.0 TS



Αισθητήρας θέσης στροφάλου, μαζί με το δαχτυλίδι διέγερσης.



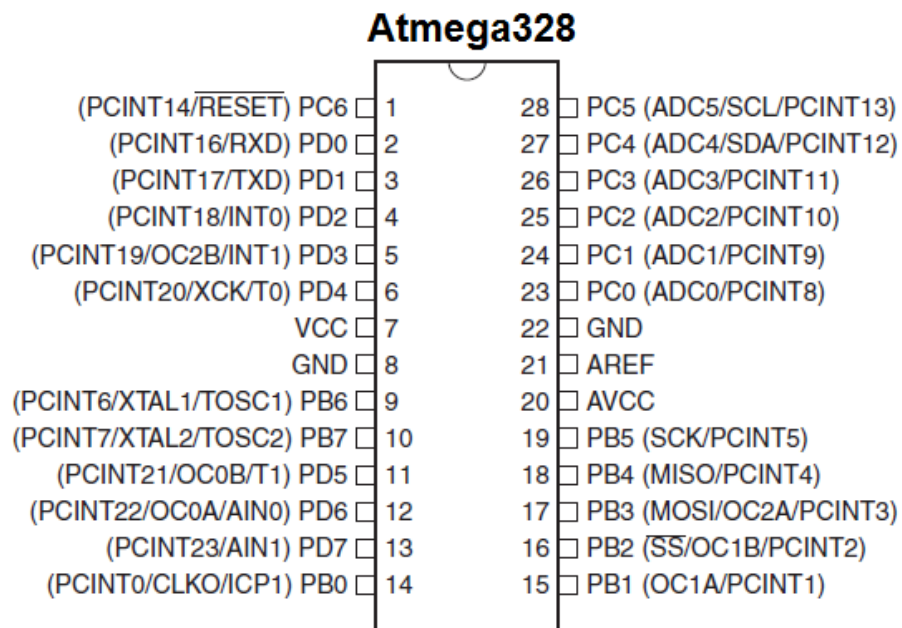
Κυματομορφές αισθητήρων θέσης στροφάλου (μπλε) και εκκεντροφόρου (κόκκινο) από παλμογράφο pico.

2.7 Πλατφόρμα μικροελεγκτή (ATmega328)

Ο ATmega328/ATmega328P αποτελεί έναν μικροελεγκτή 8-bit της οικογένειας AVR, ο οποίος κατασκευάζεται από τη Microchip Technology (πρώην Atmel) και εισήχθη στην αγορά το 2009. Η αρχιτεκτονική του βασίζεται στο πρότυπο RISC (Alf and Vegard's RISC processor), γεγονός που επιτρέπει την εκτέλεση της πλειονότητας των εντολών σε έναν μόνο κύκλο ρολογιού, εξασφαλίζοντας υψηλή αποδοτικότητα. Διαθέτει μνήμη Flash 32 KB (εκ των οποίων 0.5 KB δεσμεύονται από το bootloader), SRAM 2 KB και EEPROM 1 KB, καλύπτοντας τόσο τις ανάγκες αποθήκευσης προγράμματος όσο και δεδομένων. Η συχνότητα λειτουργίας του φτάνει έως τα 20 MHz, με συνήθη ρύθμιση στα 16 MHz, ενώ η τάση λειτουργίας του κυμαίνεται στο εύρος 1.8V – 5.5V. [11]

Σε επίπεδο περιφερειακών, ο μικροελεγκτής διαθέτει 23 γραμμές γενικής εισόδου/εξόδου (I/O pins), 6 κανάλια αναλογικών εισόδων (ADC 10-bit), καθώς και τρεις χρονομετρητές (δύο 8-bit και έναν 16-bit). Υποστηρίζει επίσης βασικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως SPI, I²C (TWI) και UART, τα οποία επιτρέπουν την εύκολη διασύνδεσή του με άλλα συστήματα. Παράλληλα, προσφέρει πολλαπλές λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας (power-down, power-save, standby), οι οποίες καθιστούν τον ATmega328 ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης.

Η αξιοπιστία, η χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και η ευκολία ενσωμάτωσης σε ηλεκτρονικά κυκλώματα καθιστούν τον ATmega328/ATmega328P έναν από τους πλέον διαδεδομένους μικροελεγκτές, με ευρεία χρήση σε εκπαιδευτικές, ερευνητικές και βιομηχανικές εφαρμογές.



Pinout ATmega328P THT

3. Ανάλυση Συστήματος Ελέγχου Ιξώδους

3.1 Σκοπός – Προδιαγραφές

Ο σκοπός αυτού του συστήματος είναι ο έλεγχος του ιξώδους σε πραγματικό χρόνο, χωρίς τη λήψη δείγματος και της ανάλυσης αυτού. Ο στόχος είναι να βρίσκεται ο κινητήρας στην περιοχή της υδροδυναμικής λίπανσης, με όσο το δυνατόν χαμηλότερο ιξώδες, άρα και τριβές. Βασικό όφελος απ' την ενσωμάτωση του συστήματος αυτού είναι η αποφυγή φθοράς στον κινητήρα. Το παρόν σύστημα δεν προορίζεται για αυτούσια εγκατάσταση σε οχήματα, αλλά ως παράδειγμα για την ενσωμάτωση της λογικής και του τρόπου λειτουργίας του, στον εγκέφαλο του κινητήρα. Με την τοποθέτηση δυο αισθητηρίων και λίγων γραμμών κώδικα σε μια ECU, μπορεί εύκολα να υλοποιηθεί με χαμηλό κόστος.

3.2 Ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα του συστήματος

Όπως αναφέρθηκε κι επάνω η αντλία λαδιού σ' ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι γραμμικά συνδεδεμένη με το στρόφαλο. Δηλαδή, ανεξαρτήτως του μέσου που κυκλοφορεί στο κύκλωμα η παροχή είναι ανάλογη των στροφών του κινητήρα. Άρα όταν ο κινητήρας είναι στο ρελαντί, θεωρητικά, είτε κυκλοφορεί νερό είτε κυκλοφορεί γράσο, η παροχή σε λίτρα/ώρα θα είναι ίδια. Απ' αυτό συμπεραίνουμε ότι η αντλία λειτουργεί σαν πηγή ρεύματος.

Οι οδεύσεις παραμένουν σταθερές, οπότε θεωρούνται ως σταθερά και δε λαμβάνονται υπ' όψιν.

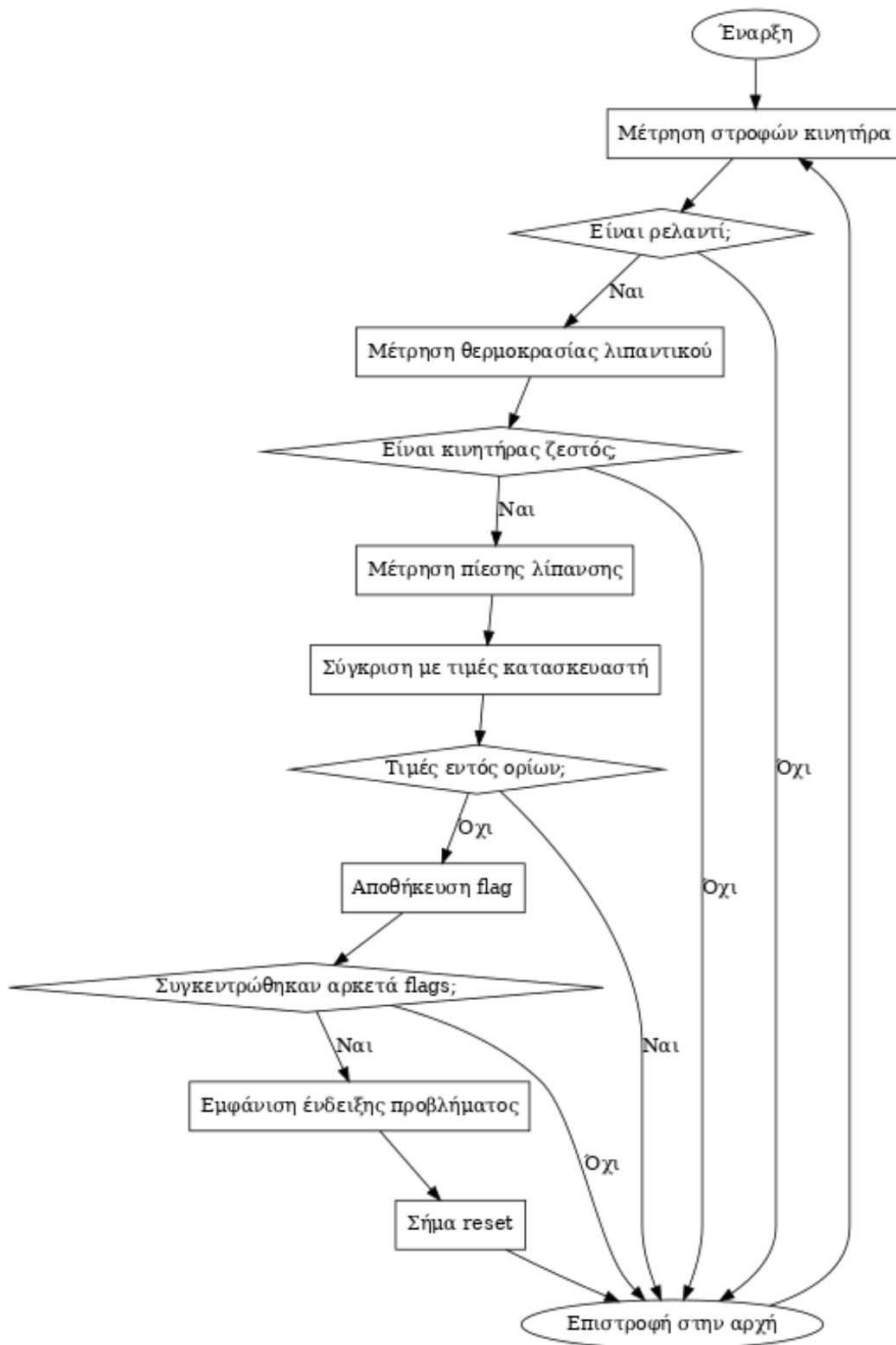
Το ιξώδες του λαδιού, όντας μεταβλητό αναλόγως της θερμοκρασίας του, εκλαμβάνεται ως αντίσταση, της οποίας η τιμή, δεδομένου ότι τροφοδοτείται από πηγή ρεύματος, εμφανίζει τάση στα άκρα της. Ασκείται δηλαδή πίεση στο κύκλωμα, ανάλογη του ιξώδους του λαδιού.

3.4 Ροή Λειτουργίας – Διάγραμμα Ροής

Ο τρόπος που επιλέχθηκε για την υλοποίηση του συστήματος είναι, μέσω μικροελεγκτή, η μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων του λιπαντικού, υπό συνθήκες. Η σύγκριση των τιμών αυτών με προκαθορισμένες, από τον κατασκευαστή, τιμές κι η εμφάνιση οπτικής ένδειξης ότι υπάρχει πρόβλημα. Έπειτα θα πρέπει να δοθεί εντολή RESET από το διαγνωστικό μηχάνημα του συνεργείου, εφόσον γίνει αντικατάσταση του λιπαντικού.

Αναλυτικότερα:

- Το μέτρο σύγκρισης θα είναι η πίεση στο κύκλωμα του λαδιού.
- A: Θα γίνεται μέτρηση των στροφών του κινητήρα, μέσω του ήδη εγκατεστημένου αισθητήρα στροφάλου. Επιλέγω ως συνθήκη το ρελαντί, διότι σ' αυτήν τη κατάσταση η ροή του λιπαντικού έχει τη χαμηλότερη δυνατή ταχύτητα. Έτσι βρισκόμαστε όσο το δυνατόν κοντινότερα σε στρωτή ροή, αποφεύγοντας τυρβώσεις και σχηματισμό φυσαλίδων αέρα, που ενδέχεται να επηρεάσουν τις μετρήσεις πίεσης.
- B: Θα γίνεται μέτρηση της θερμοκρασίας του λιπαντικού, ούτως ώστε να πάρουμε μετρήσεις στην φυσιολογική κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα. Η οποία είναι η «ζεστή».
- Γ: Εφ' όσον ικανοποιούνται αυτές οι συνθήκες θα γίνεται μέτρηση της πίεσης του κυκλώματος λίπανσης.
- Δ: Θα γίνεται σύγκριση με τις προκαθορισμένες απ' τον κατασκευαστή τιμές.
- E: Αν οι τιμές είναι εκτός ορίων τότε θα αποθηκεύεται ένα flag.
- ΣΤ: Όταν συγκεντρωθεί ένας αριθμός flags θα εμφανίζεται ένδειξη, που θα δηλώνει πρόβλημα.
- Ζ: Έπειτα θα πρέπει να δοθεί σήμα reset.



Διάγραμμα ροής

4. Υλοποίηση

4.1 Χρησιμοποιούμενα Υλικά

Η συγκεκριμένη υλοποίηση έγινε σαν Proof of Concept, διότι η κατασκευή ενός πραγματικού μοντέλου, σε κινητήρα, είναι δύσκολη, χρονοβόρα και απαιτεί κεφάλαιο πέραν του φυσιολογικού πλαισίου μιας πτυχιακής εργασίας. Γι' αυτό το λόγο τα σήματα από τους αισθητήρες προσομοιάζονται, βάση των φύλλων δεδομένων των πραγματικών υλικών. Η κατασκευή έγινε στο χέρι, σε διάτρητη πλακέτα.

Ο μικροελεγκτής που επιλέχθηκε είναι ο ATMEGA328, ο οποίος μπορεί να συνδεθεί με σχεδόν όλα τα τυπικά ψηφιακά και αναλογικά περιφερειακά, γεγονός που τον καθιστά πολύ ευέλικτο μικροελεγκτή για embedded συστήματα. Στην παρούσα υλοποίηση, η σύνδεση θα γίνει μέσω σειριακής επικοινωνίας (USART), με τη μεταφορά δεδομένων να πραγματοποιείται σε επίπεδο TTL 5V, χρησιμοποιώντας τις γραμμές TX και RX. Η ταχύτητα επικοινωνίας (baud rate) έχει ρυθμιστεί ρυθμιστεί στα 9600 baud.

Ο αισθητήρας στροφάλου θα προσομοιαστεί από μια πλακέτα Arduino Nano, ή οποία έχει προγραμματιστεί να παράγει τετραγωνικούς παλμούς, ύψους 0-5V και μεταβλητής συχνότητας 100-2000Hz, με πλάτος 0-5Vp-p (Οι τιμές αντιστοιχούν σε συχνότητα 60Hz ανά μια περιστροφή του στροφάλου.)

Η μέτρηση της θερμοκρασίας θα γίνεται μέσω της μοντελοποίησης ενός NTC θερμίστορ από ποτενσιόμετρο 47KΩ, μέσω της εξίσωσης Steinhart-Hart. Επιλέχθηκε το NTC θερμίστορ της REVELTRONICS.

Η μέτρηση πίεσης θα γίνεται μέσω της μοντελοποίησης γραμμικού αισθητήρα μέτρησης πίεσης της MARSHALL από ποτενσιόμετρο 1KΩ.

Το reset θα δίνεται από ένα μπουτόν.

Η έξοδος των αποτελεσμάτων θα γίνεται σε τερματικό υπολογιστή μέσω USB. Η μεταφορά δεδομένων γίνεται μέσω εξωτερικού κυκλώματος USB to TTL.

4.2 Ανάγνωση στροφών κινητήρα

Έχει σχεδιαστεί ρουτίνα που υλοποιεί περιοδικό υπολογισμό της ταχύτητας περιστροφής βασισμένη στους παλμούς που παράγει ο αισθητήρας στροφάλου. Κάθε 100 ms, ο κώδικας απενεργοποιεί προσωρινά τον αντίστοιχο interrupt για την ασφαλή ανάγνωση του μετρητή παλμών, ο οποίος καταγράφει τον αριθμό των ακμών του τετραγωνικού σήματος που εμφανίστηκαν κατά το διάστημα αυτό. Η τιμή του μετρητή αποθηκεύεται και στη συνέχεια μηδενίζεται για την επόμενη περίοδο μέτρησης, ενώ ο interrupt ενεργοποιείται ξανά, εξασφαλίζοντας συνεχή και ακριβή καταγραφή των παλμών.

4.3 Μοντελοποίηση NTC θερμίστορ

Τα NTC θερμίστορ δεν είναι γραμμικά υλικά. Οπότε για να εξάγουμε με ακρίβεια την θερμοκρασία, πρέπει να γίνει χρήση της μαθηματικής εξίσωσης Steinhart-Hart, η οποία περιγράφει τη σχέση αντίστασης-θερμοκρασίας σε θερμίστορ τύπου NTC (Negative Temperature Coefficient) και έχει την τυπική μορφή:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C(\ln(R))^3$$

Όπου: T η απόλυτη θερμοκρασία σε Kelvin, R η αντίσταση σε Ω και A , B , C οι συντελεστές Steinhart-Hart, εξαρτώμενοι από το υλικό και τις διαστάσεις του θερμίστορ [17]

Η εφαρμογή αυτή απαιτεί μεγαλύτερη ακρίβεια, σε συγκεκριμένο εύρος. Οπότε η εξίσωση μπορεί να μεταποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα συντελεστή Beta (β) και μια αντίσταση αναφοράς R_0 . Η σχέση γίνεται:

$$R(T) = R_0 \exp \left[\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

Λύνοντας ως προς $\frac{1}{T}$:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{\beta} \ln \frac{R}{R_0}$$

όπου:

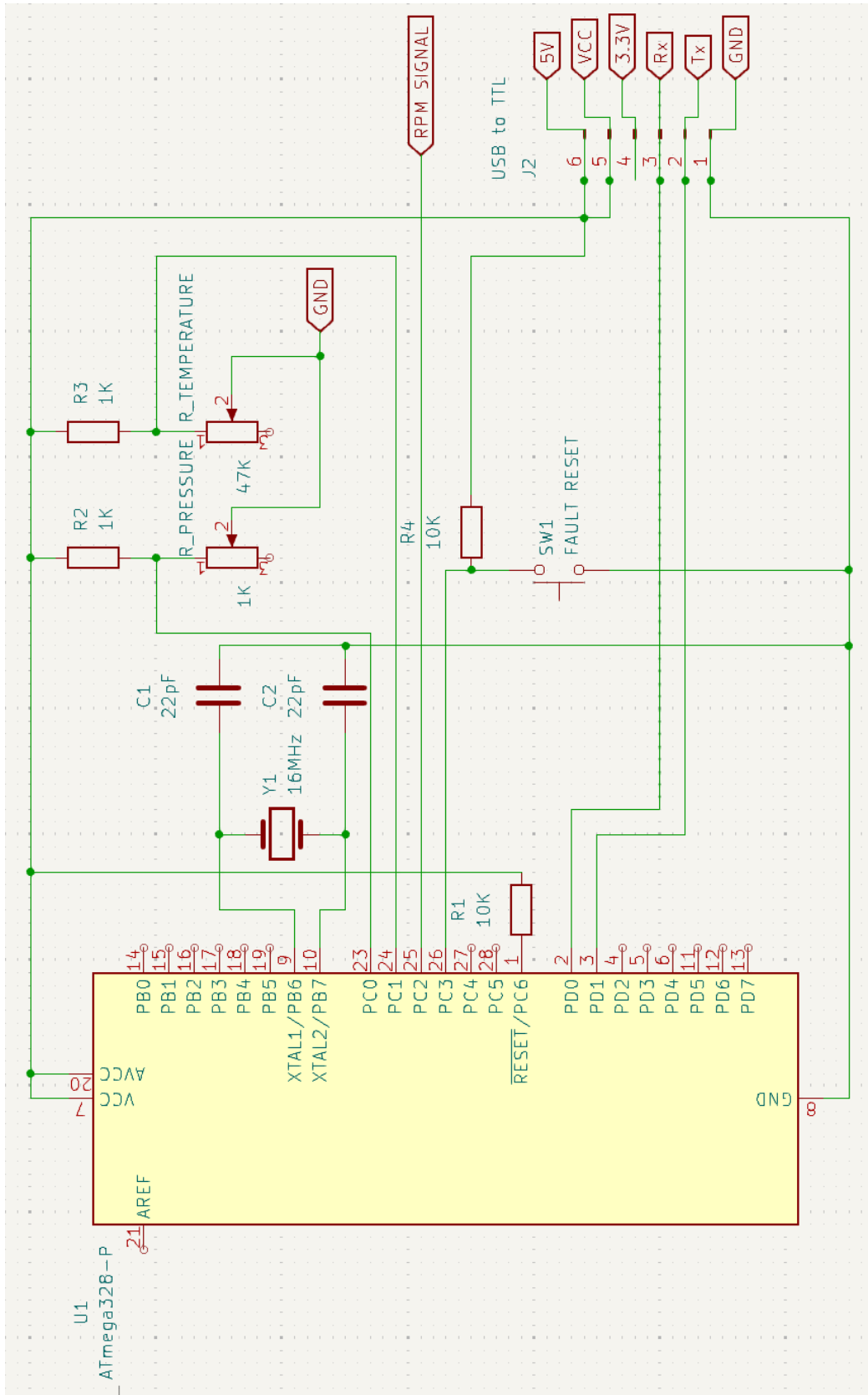
- T_0 = θερμοκρασία αναφοράς (συνήθως $25^\circ\text{C} = 298.15 \text{ K}$),
- R_0 = αντίσταση θερμίστορ στην θερμοκρασία T_0 ,
- β = σταθερός συντελεστής του θερμίστορ (σε Kelvin), χαρακτηριστικός του υλικού του,
- R = αντίσταση θερμίστορ στην θερμοκρασία T .

Η χρήση του συντελεστή β και της αντίστασης R_0 επιτρέπει υψηλή ακρίβεια χωρίς την ανάγκη υπολογισμού τριών συντελεστών Steinhart-Hart, μειώνοντας τα σφάλματα στο εύρος θερμοκρασιών που απαιτείται στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Επιπλέον ο κατασκευαστής του θερμίστορ δίνει τις τιμές των T_0 , R_0 και β στο φύλλο δεδομένων.

4.4 Μοντελοποίηση αισθητήρα πίεσης

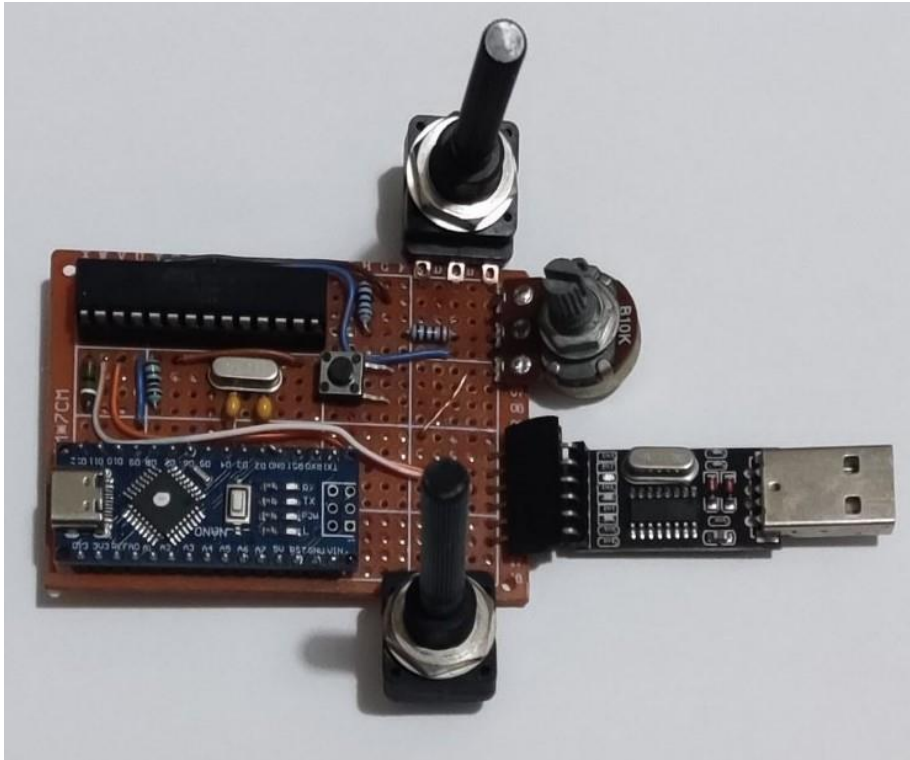
Ο αισθητήρας πίεσης που επιλέχθηκε, είναι γραμμικό στοιχείο. Η προσομοίωση γίνεται από διαιρέτη τάσης

4.5 Διασύνδεση εξαρτημάτων – Schematic

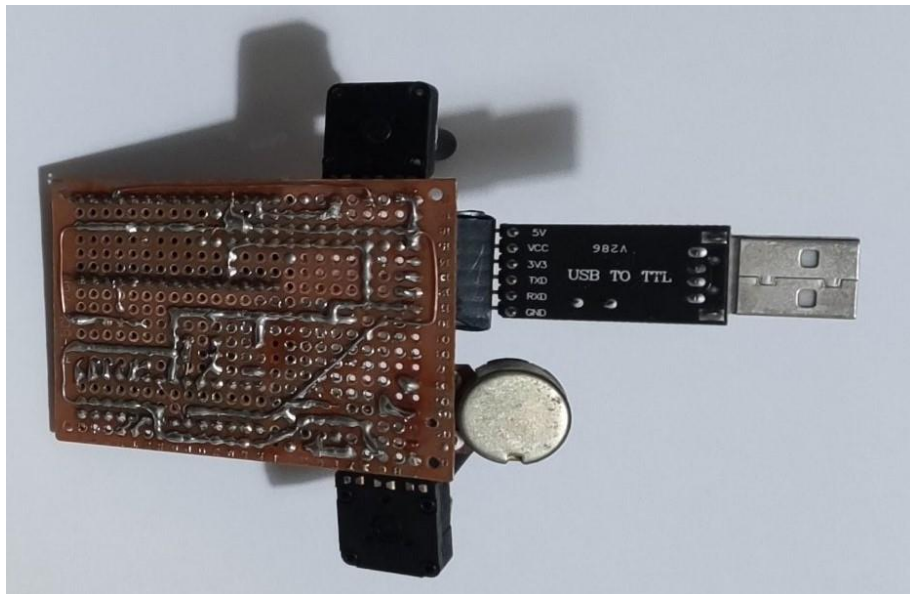


4.3 Κατασκευή

Η κατασκευή έγινε σε διάτρητη πλακέτα



Όψη Α'



Όψη Β'

5. Δοκιμές – Πειραματικά Αποτελέσματα

5.1 Περιβάλλον Δοκιμών

Η δοκιμή του κυκλώματος έγινε σε υπολογιστή. Οι συνθήκες που δόθηκαν είναι:

- Στροφές κινητήρα: 600-800 σαλ
- Θερμοκρασία λαδιού: 80-100 °C
- Πίεση: 1.8-2.2 bar
- Αριθμός flags για σφάλμα: 5
- Delay αποφυγής συνεχόμενων flags: 5s

```
OIL TEMPERATURE (C) : 99.15
OIL TEMP OK
PRESSURE (BAR) : 1.81
-----
RPM: 736
OIL TEMPERATURE (C) : 99.15
OIL TEMP OK
PRESSURE (BAR) : 1.81
-----
RPM: 735
OIL TEMPERATURE (C) : 99.15
OIL TEMP OK
PRESSURE (BAR) : 1.81
```

Τιμές εντός ορίων

```
RPM: 735
OIL TEMPERATURE (C) : 98.83
OIL TEMP OK
PRESSURE (BAR) : 1.81
-----
RPM: 736
OIL TEMPERATURE (C) : 98.94
OIL TEMP OK
PRESSURE (BAR) : 1.77
OIL OUT OF SPECIFICATION
```

Τιμές εκτός ορίων με ένδειξη σφάλματος

6. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Το παραπάνω σύστημα λειτουργεί σε μια διάσταση (πίεση), με τις υπόλοιπες δύο συνθήκες, να θέτονται ως σταθερές. Θα μπορούσε, με τη χρήση πινάκων, να γίνει δισδιάστατο. Δηλαδή, να γίνονται μετρήσεις πίεσης, συναρτήσει της θερμοκρασίας. Αυτό φυσικά απαιτεί ειδικό εργαστήριο, χρόνο και κεφάλαιο για την ποσοτικοποίηση των πινάκων. Ακόμα να γίνει και τρισδιάστατο. Δηλαδή, μέτρηση πίεσης συναρτήσει θερμοκρασίας και στροφών κινητήρα. Επίσης θα μπορούσαν να τοποθετηθούν πίνακες για διαφορετικά ιξώδη λαδιού, ανάλογα την αγορά που προορίζεται ο κινητήρας (5w-30, 5w-40, 10w-40, 15w-50 κλπ.) και μέσω του διαγνωστικού, να επιλέγεται το ιξώδες λειτουργίας. Πηγαίνοντας ακόμα ένα βήμα παραπέρα, θα ήταν δυνατό, να δομηθεί σύστημα αυτοεκμάθησης. Δηλαδή όταν τοποθετείται καινούργιο λάδι, το σύστημα να λειτουργεί για κάποιο χρονικό διάστημα σε λειτουργία εκμάθησης. Θα μετράει το ίδιο και θα αποθηκεύει τις τιμές των χαρακτηριστικών του λιπαντικού και μετά θα κάνει σύγκριση με τις τιμές που έχει αποθηκεύσει το ίδιο το σύστημα. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι υπάρχουν τρόποι βελτίωσης της λειτουργικότητας του συστήματος, εφ' όσον υπάρχουν κατάλληλες υποδομές και κεφάλαιο.

7. Βιβλιογραφία

- [1] White, F. M. Viscous Fluid Flow. 3η έκδ., McGraw-Hill, 2006.
- [2] Bird, R. B., Stewart, W. E., Lightfoot, E. N. Transport Phenomena. Wiley, 2002.
- [3] Rosen, M. J. Surfactants and Interfacial Phenomena. Wiley, 2004.
- [4] Chhabra, R. P., & Richardson, J. F. Non-Newtonian Flow and Applied Rheology. Elsevier, 2008.
- [5] Brennen, C. E. Cavitation and Bubble Dynamics. Cambridge University Press, 1995.
- [6] Batchelor, G. K. An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press, 2000.
- [7] Hamrock, B. J., Schmid, S. R., & Jacobson, B. O. Fundamentals of Fluid Film Lubrication. CRC Press, 2004.
- [8] Taylor, C. M. (ed.). Engine Tribology. Elsevier, 1993.
- [9] Fraden, J. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. Springer, 2016.
- [10] Doebelin, E. O. Measurement Systems: Application and Design. McGraw-Hill, 2004.
- [11] Microchip. ATmega328P Datasheet. Microchip Technology Inc., 2018. Διαθέσιμο στο: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega328P-Data-Sheet-40002061A.pdf>
- [12] Shear Stability and Viscosity Loss, Savant Labs. Διαθέσιμο σε: <https://www.savantlab.com/testing-highlights/testing-shear-stability-and-viscosity-loss/>
- [13] What happens in an engine oil to cause sludges?, Learn Oil Analysis. Διαθέσιμο σε: <https://learnoilanalysis.com/lube-oil-test-analysis-lab-lubrication-reliability-maintenance/what-happens-in-an-engine-oil-to-cause-sludges/>
- [14] Fuel Dilution and Soot Contamination, Spectro Scientific. Διαθέσιμο σε: <https://www.spectrosci.com/knowledge-center/test-parameters/measuring-fuel-dilution-in-lubricating-oil>
- [15] Glycol In Lubricating Oil - Detection, Analysis and Removal, Machinery Lubrication. Διαθέσιμο σε: <https://www.machinerylubrication.com/Read/193/oil-glycol>

[16] Additive Depletion by Water Contamination and Its Impact on Lubricant Performance, SpringerLink.

[17] Steinhart, J. S., & Hart, S. R. (1968). *Calibration curves for thermistors*. Journal of Research of the National Bureau of Standards, 72C(4), 267–273. DOI: 10.6028/jres.072C.025

[18] QTI Sensing Solutions Engineering Department. (2018). *An explanation of the Beta and Steinhart-Hart equations for representing the resistance vs. temperature relationship in NTC thermistor materials*.

[19] V. S. Bagotsky, *Fundamentals of Electrochemistry*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2005, pp. 345–348.

Datasheets:

Reveltronics. NTC Temperature Sensor Datasheet.

<https://www.reveltronics.com/en/product/ntc-temperature-sensor>

Marshall Excelsior. Pressure Transducers. <https://www.marshbellofram.com/>

Honeywell. SS495A Linear Hall Effect Sensor Datasheet.

<https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-linear-and-angular-hall-effect-sensors-50007237-a-en.pdf>

Παράρτημα

Κώδικας

```
const float fiveVolt_ref = 5.05; // Arduino's reference voltage (in
volts)

//THERMISTOR Steinhart-Hart coefficients, R_PULLUP = 1000 Ohm, SIGNAL PIN
= A0
const float R0 = 47000.00; // Resistance at reference temperature (25 °C)
const float B = 3800.00; // Beta value for the thermistor
const float T0 = 298.15; // Reference temperature in Kelvin (25 °C)
int tMinRes = 0; // Calibration constant.
int tMaxRes = 47010; // Calibration constant.

//RPM COUNTER, SIGNAL PIN = DIGITAL I/O 2
const int inputPin = 2;
volatile unsigned long pulseCount = 0; // Number of pulses counted for
RPM calculation
unsigned long prevMicros = 0; // Last time the frequency was
calculated (in microseconds)
int RPM;

//PRESSURE SENSOR, SIGNAL PIN = A1
const int pSensorPin = A1; // Analog pin where the pressure
sensor is connected.
const float pSlope = -0.0328333; // Slope of the linear equation.
const float pIntercept = 7.879992; // Intercept of the linear equation.
float pMinRes = 11.3; // Calibration constant.
int pMaxRes = 1070; // Calibration constant.

//RESET BUTTON, SIGNAL PIN = DIGITAL I/O 3 WITH PULLUP RESISTOR
const int resetButtonPin = 3;

//FAULT LED
const int faultPin = 13;

//VARIABLES DECLARATION
int flag = 0;
int flag_temp = 0;

//OIL TEMPERATURE MARGIN IN CELSIUS
int oilTemp_low = 80;
int oilTemp_high = 100;
```

```

//ENGINE RPM MARGIN
int RPM_low = 600;
int RPM_high = 800;

//OIL VISCOSITY MARGIN IN BAR
float visc_low = 1.80;
float visc_high = 2.20;

//RPM Interrupt
void countPulse() {
  pulseCount++; // Increment pulse count on every rising edge
}

void setup() {
  pinMode(resetButtonPin, INPUT); // Set resetButtonPin as INPUT
  pinMode(faultPin, OUTPUT); // Set the faultPin as an output
  pinMode(inputPin, INPUT); // Set inputPin for RPM counting
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(inputPin), countPulse,
RISING); // Attach interrupt on rising edge for RPM counting

  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  // Measure RPM using pulseCount
  unsigned long currentMicros = micros(); // Get the current time (in
microseconds)

  // Calculate RPM every 100ms
  if (currentMicros - prevMicros >= 100000) { // 100000 microseconds =
100ms
    detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(inputPin)); // Temporarily
disable the interrupt

    RPM = pulseCount;
    pulseCount = 0; // Reset pulse count for the next period
    prevMicros = currentMicros; // Update the time reference

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(inputPin), countPulse,
RISING); // Re-enable interrupt

    Serial.print("RPM: ");
    Serial.println(RPM);
  }
}

```

```

    // Measure oil temperature
    float tSensorValue = analogRead(A0); // Read the analog value
    float tResistance = map(tSensorValue, 0, 1023, tMinRes, tMaxRes); //
Map to resistance
    float oilTemp_C = 1.0 / ((1.0 / T0) + (1.0 / B) * log(tResistance / R0))
- 273.15; // Steinhart-Hart equation
    Serial.print("OIL TEMPERATURE (C): ");
    Serial.println(oilTemp_C);

// Check oil temperature and RPM
if (oilTemp_C >= oilTemp_low && oilTemp_C <= oilTemp_high) {
    Serial.println("OIL TEMP OK");
    if (RPM >= RPM_low && RPM <= RPM_high) {
        float pSensorValue = analogRead(A1);
        float pResistance = map(pSensorValue, 0, 1023, pMinRes, pMaxRes);
        float pressure = pSlope * pResistance + pIntercept;
        Serial.print("PRESSURE (BAR): ");
        Serial.println(pressure, 2);

        if (pressure < 3) { // Avoid TDC false readings
            if (pressure > visc_high || pressure < visc_low) {
                flag_temp++;
                if (flag_temp > flag) {
                    flag = flag_temp;
                    delay(5000); // Update with suitable delay
                }
            }
        }
    }
}

// Fault detection
if (flag > 5) {
    Serial.println("OIL OUT OF SPECIFICATION");
    digitalWrite(faultPin, HIGH);
    unsigned long startMillis = millis();
    while (digitalRead(resetButtonPin) == HIGH && millis() - startMillis <
10000) {
        delay(100);
    }
    flag = 0;
    flag_temp = 0;
    digitalWrite(faultPin, LOW);
}

```

```
}  
  
delay(1000);  
Serial.println("-----");  
}
```

Φύλλα δεδομένων υλικών

NTC Temperature Sensor with 1/8" NPT thread

Technical data:

- Type: analog - NTC,
- Range: 60000 – 1020 Ω (20 – 150 °C)
- Thread: 1/8" NPT
- Tool: 12 mm

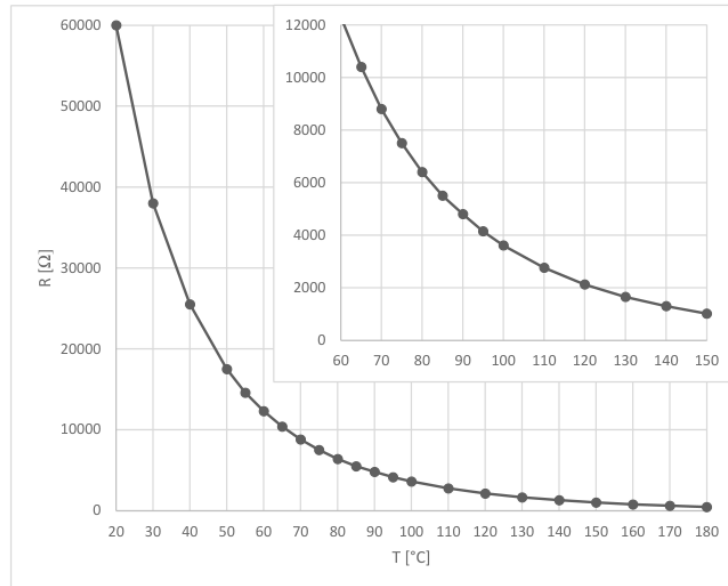
Connection:

- Blue – signal (AdcVccX in UTCOMP)
- White – negative (GND in UTCOMP)



Resistance table:

T [°C]	R [Ω]
20	60000
30	38000
40	25500
50	17500
55	14600
60	12300
65	10400
70	8800
75	7500
80	6400
85	5500
90	4800
95	4150
100	3610
110	2760
120	2130
130	1650
140	1300
150	1020
160	780
170	610
180	460



UTCOMP calibration data:

($V_{REF} = 5.2V$ $R_{pullup} = 1000 \Omega$)

$R_{25} = 47\,000 [\Omega]$, $\beta = 3800 [K]$

WWW.REVELTRONICS.COM

NTC Thermistor by Reveltronics

Oil Pressure Sender (240-33 Ohm)

Item: 9205



[Products](#) > [Accessories](#)

Oil Pressure Sender (240-33 Ohm)

Item: 9205

Oil pressure sender (isolated). Input: 0-100 psi, Output: 240-33 ohms. Used with SCX full sweep 0-100 PSI oil pressure gauges*. Connection: 1/8" NPT. Stamped "0-100 PSI, 240-33 Ohm" on hex.

Connections:

- Connect "-" terminal to common ground
- Connect "S" terminal to gauge signal input

Input/Output range:

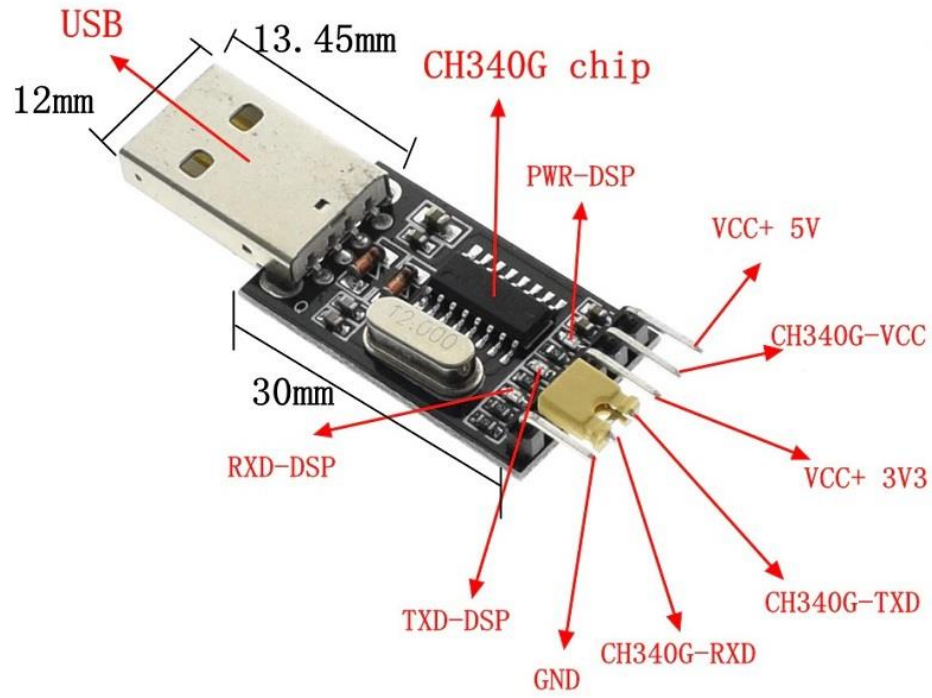
- 0 PSI = 240 ohms
- 20 PSI = 198 ohms
- 40 PSI = 156 ohms
- 60 PSI = 114 ohms
- 80 PSI = 72 ohms
- 100 PSI = 30 ohms

*SCX gauges made before 2014 use the [Marshall 9200](#) oil pressure sending unit. Verify which type of oil pressure sending unit you have before ordering a replacement.

Marshall Instruments
Accessories
Rev. 10/25/2018

[About Us](#) · [Search Catalog](#) · [FAQs](#) · [Contact](#) · [Site Map](#) · [Home](#)

Oil pressure sensor by Marshal



CH340 USB to TTL module