



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

**Π.Μ.Σ.
«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»**



**«ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΖΥΓΑΡΙΑΣ ΜΕ
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΗΣΗΣ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΓΝΑΤΙΑΔΟΥ Η. ΕΛΕΝΗ

Διπλωματούχος Φυσικής, 2013

Επιβλέπων: Ευάγγελος Ευαγγέλου
Αν. Καθηγητής Π.Ι.

ΙΩΑΝΝΙΝΑ, 2016



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**



**Π.Μ.Σ.
«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»**

**«ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΖΥΓΑΡΙΑΣ ΜΕ
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΗΣΗΣ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΓΝΑΤΙΑΔΟΥ Η. ΕΛΕΝΗ

Διπλωματούχος Φυσικής, 2013

Επιβλέπων: Ευάγγελος Ευαγγέλου
Αν. Καθηγητής Π.Ι.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις

.....

Ευάγγελος Ευαγγέλου
Αν. Καθηγητής Π.Ι.

.....

Παναγιώτης Κωσταράκης
Καθηγητής Π.Ι.

.....

Χριστοφιλάκης Βασίλειος
Λέκτορας Π.Ι.

ΙΩΑΝΝΙΝΑ, 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τηλεμέτρηση αποτελεί σήμερα μια αναγκαία διαδικασία συλλογής δεδομένων καθώς έχει μεγάλη εφαρμογή για συστήματα, που βρίσκονται είτε σε απομακρυσμένες περιοχές, είτε δύσβατες, είτε μέσα στο νερό ακόμη και σε ραδιενεργές περιοχές. Εκτός, της επικινδυνότητας και της δυσβατότητας, οι οικονομικοί παράγοντες και ο χρόνος σήμερα καθορίζουν την τηλεμέτρηση ως βασικό τρόπο συλλογής των δεδομένων, καθώς παρέχει τη δυνατότητα εγκατάστασης ενός απλού, οικονομικού και αξιόπιστου συστήματος σε περιοχές όπου η δημιουργία εργαστηρίων, η απασχόληση ανθρώπινου δυναμικού και η συλλογή δεδομένων ανά πάσα στιγμή θα αποτελούσε χρονοβόρα και ακριβή διαδικασία.

Ένα σύστημα που παρέχει μετρήσεις μάζας με τη διαδικασία της τηλεμέτρησης αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία. Η τηλεμέτρηση πραγματοποιείται μέσω της υπηρεσίας SMS και της χρήσης της κινητής τηλεφωνίας. Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε ένα σύστημα αποτελούμενο από αισθητήρες ζύγισης, μικροελεγκτή PIC και μονάδα GSM με κάρτα SIM, ώστε να αποστέλλονται τα δεδομένα.

Η παρούσα εργασία έχει χωριστεί σε πέντε κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο ορίζεται ο σκοπός, η μέθοδος υλοποίησης της εργασίας και δίνονται βασικές πληροφορίες ηλεκτρονικών στοιχείων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική και ο σχεδιασμός του συστήματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη και οι εφαρμογές υλοποίησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται οι μετρήσεις και γίνεται η ανάλυση τους.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα και μερικές προτάσεις για την βελτίωση του συστήματος.

Λέξεις Κλειδιά

Αισθητήρες Δύναμης, Ζύγιση, Μικροελεγκτής PIC, Τηλεμέτρηση, GSM

ABSTRACT

Telemetry is now a necessary data acquisition process and has great application for systems that are located either in remote areas or in inaccessible or in the water even in areas of radioactivity. Apart from hazardous/dangerous environments and lack of access, today, economic and time-demanding factors define telemetry as a key way of obtaining important data, as it enables the installation of a simple, economic and reliable system in areas where the creation of laboratories, human resources employment and data acquisition stations at any time would be a time consuming and expensive procedure.

A system that provides mass measurements with the process of telemetry was developed in this work. The telemetry is realized via the SMS service and the use of mobile telephony. More particularly, a system was developed, which consists of weighing sensors, PIC microcontroller and GSM module with SIM card, to be sent the data.

The thesis is divided in five chapters:

In the first chapter, the aim and the method of implementation of the work are defined and information of basic electronic components is given.

In the second chapter the architecture and the design of the system is presented.

The third chapter contains the experimental setup and the applications used for implementation.

In the fourth chapter, the testing results and the relevant analysis is explained.

Finally, conclusions and some suggestions to improve the system can be found in the last chapter.

Key words

Force Sensors, Weighing, PIC Microcontroller, Telemetry, GSM

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ευάγγελο Ευαγγέλου για την καθοδήγηση, τις υποδείξεις, την τεράστια υποστήριξη και τον χρόνο, που μου αφιέρωσε.

Επίσης, ευχαριστώ τον Καθηγητή Παναγιώτη Κωσταράκη και τον Λέκτορα Βασίλειο Χριστοφιλάκη, για την συμμετοχή τους στη τριμελή επιτροπή καθώς και για την σημαντική βοήθεια τους κατά την διάρκεια του σχεδιασμού και της υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ τον Ηλεκτρονικό κ. Γεώργιο Μπαλντούμα για την συνεχή βοήθεια, την καθοδήγηση και τις συμβουλές του, καθώς και τον Δρ. Γεώργιο Τάτση για τις υποδείξεις του.

Θερμά ευχαριστώ τον Μεταπτυχιακό Φοιτητή Αριστοτέλη Μπούση για την παραχώρηση του προγραμματιστή PICk it 3 και τον Δρ. Ι. Ανδρουλιδάκη για την καθοδήγηση του στο προγραμματισμό του GSM module.

Θα ήθελα, ακόμη, να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικών Εφαρμογών και Τηλεπικοινωνιών, που τους θεωρώ εκτός από συναδέλφους και καλούς φίλους, για την συμπαράσταση και την υποστήριξη τους.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την αγάπη μου για τους γονείς μου , Ηλία και Μαρίνα, και τον αδερφό μου, Χρήστο, για την ανιδιοτελή υποστήριξη, συμπαράσταση και πίστη προς εμένα.

Πίνακας περιεχομένων

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	9
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	10
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1. ΣΚΟΠΟΣ	12
1.2.ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	12
1.3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	13
1.3.1. ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΗΣ ΤΑΣΗΣ	13
1.3.2. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ	13
1.3.3. ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ	16
1.3.4. Ο μετατροπέας ADC	17
1.3.5. Ο μικροελεγκτής MCU	18
2.ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	20
2.1. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	20
2.2.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	20
2.2.1.ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (ΣΤΑΔΙΟ 0).....	20
2.2.2. ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (ΣΤΑΔΙΟ 1)	23
2.2.3. ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ (ΣΤΑΔΙΟ 2 ΚΑΙ 3)	23
2.2.4. ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ (ΣΤΑΔΙΟ 4)	28
3.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	30
3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.....	30
3.1.1 ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	30
3.1.2 ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	31
3.1.3. ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	32
3.1.4. ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ	34
3.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	35
3.2.1. <i>Multisim 11.0</i>	35
3.2.2. <i>Ultiboard 11.0</i>	36
3.2.3. ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΚΑΙ ΚΟΛΛΗΣΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ.....	39
3.2.4. ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	40
3.2.5. <i>MPLAB IDE 8.92 - CCS v5.008 - PICkit3</i>	43
4.ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	46
4.1. ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ $V=f(m)$	46

4.2. ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ $V_{out} = f(V)$	49
4.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	52
4.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	56
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ	57
5.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	57
5.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ	57
5.3. ΕΠΙΛΟΓΟΣ	59
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΤΕΧΝΙΚΑ ΦΥΛΛΑΔΙΑ	60
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ	95

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Στάδια Υλοποίησης Δομής	12
Σχήμα 2. Μετρητές Καταπόνησης	14
Σχήμα 3. Δυναμοκυψέλη Με Δύο Κάθετα Foil	15
Σχήμα 4. Ισοδύναμο Κύκλωμα Δυναμοκυψέλης	16
Σχήμα 5. Κύκλωμα Μοναδιαίου Κέρδους	17
Σχήμα 6. Κύκλωμα Instrumentation Ενισχυτών	17
Σχήμα 7. Τυπικό Διάγραμμα Μικροελεγκτή	19
Σχήμα 8. Σχηματικό Διάγραμμα PIC18F25K80	28
Σχήμα 9. Προτεινόμενο Κύκλωμα L78S05CV	30
Σχήμα 10. Προτεινόμενο Κύκλωμα LM7905CT	30
Σχήμα 11. Κύκλωμα Αναστροφής Πόλωσης	31
Σχήμα 12. Ισοδύναμο Κύκλωμα Συστήματος Αισθητήρων	32
Σχήμα 13. Κύκλωμα Buffer LM358	33
Σχήμα 14. Προτεινόμενο Κύκλωμα /MCLR Μικροελεγκτή	34
Σχήμα 15. Τελικό Κύκλωμα Εργασίας Multisim 11.0	37
Σχήμα 16. Τελικό Κύκλωμα Πλακέτας Ultiboard 11.0	38
Σχήμα 17. Γραφική Παράσταση $V=f(m)$	47
Σχήμα 18. Γραφική Παράσταση $V_{out} = f(V)$	50

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Θετικός Regulator L78S05CV.....	21	
Εικόνα 2. Timer NE555D.....	22	
Εικόνα 3. Αρνητικός Regulator LM7905CT.....	22	
Εικόνα 4. Ζυγαριά PW 5570 FA.....	23	
Εικόνα 5. Ενισχυτής INA122.....	24	
Εικόνα 6. Ενισχυτής LM358.....	25	
Εικόνα 7. Μικροελεγκτής PIC18F25K80.....	27	
Εικόνα 8. Πλακέτα TC35.....	29	
Εικόνα 9. Ζυγαριά PW 5570 FA.....	31	
Εικόνα 10. Διασυνδέσεις Πλακέτας TC35.....	35	
Εικόνα 11. Τελική Πλακέτα Μετά την Εμφάνιση.....	39	
Εικόνα 12. Τελική Πλακέτα Ολοκληρωμένη.....	40	
Εικόνα 13. Τελική Μορφή Συστήματος Αισθητήρων.....	40	
Εικόνα 14. Τοποθέτηση Βιδών.....	41	
Εικόνα 15. Τοποθέτηση Πλακέτας TC35 ,Κεραίας, Πλακέτας Μικροελεγκτή.....	41	
Εικόνα 16. Τοποθέτηση Διακόπτη και Θηκών Μπαταρίας.....	42	
Εικόνα 17. Τελική Κατασκευή.....	43	
Εικόνα 18. PICkit3.....	44	
Εικόνα 19. Αναπαράσταση Προγραμματισμού Μικροελεγκτή μέσω του PICkit3.....	45	
Εικόνα 20. Ζυγαριά PW 5644 FA.....	46	
Εικόνα 21. Μέτρηση Τάσης Εισόδου και Εξόδου Ενισχυτή.....	49	
Εικόνα 22. Ζύγιση Μαζών.....	54	
Εικόνα 23. Τοποθέτηση 18.40 kg	Εικόνα 24. Τοποθέτηση 28.10 kg.....	55
Εικόνα 25. Ληφθέντα Μηνύματα.....	55	

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά L78S05CV.....	21
Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά NE555	21
Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά LM7905CT.....	22
Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά INA122.....	24
Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά LM358.....	25
Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά PIC18F25K80.....	26
Πίνακας 7. Μετρήσεις Μάζας-Τάσης Εξόδου Συστήματος Αισθητήρων.....	48
Πίνακας 8. Μετρήσεις Τάσεις Εισόδου Ενισχυτή- Τάσεις Εξόδου Ενισχυτή	51
Πίνακας 9. Μετρήσεις Πειράματος.....	52
Πίνακας 10. Απόκλιση Μαζών.....	53

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΣΚΟΠΟΣ

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη, η σχεδίαση και η κατασκευή ενός ηλεκτρονικού συστήματος ζύγισης, το οποίο θα παρέχει τη δυνατότητα αποστολής των δεδομένων, μέσω της υπηρεσίας Short Message Service (SMS), στον χρήστη δύο φορές την ημέρα. Οι απαιτήσεις του συστήματος, λοιπόν, ανάγονται στις εξής:

- Απόκτηση αναλογικού σήματος μέτρησης μάζας μέσω αισθητήρων
- Ενίσχυση του σήματος
- Ψηφιοποίηση και επεξεργασία του σήματος
- Κοινοποίηση μέτρησης μάζας με χρήση του πρωτοκόλλου Global System for Mobile communications (GSM)

1.2.ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

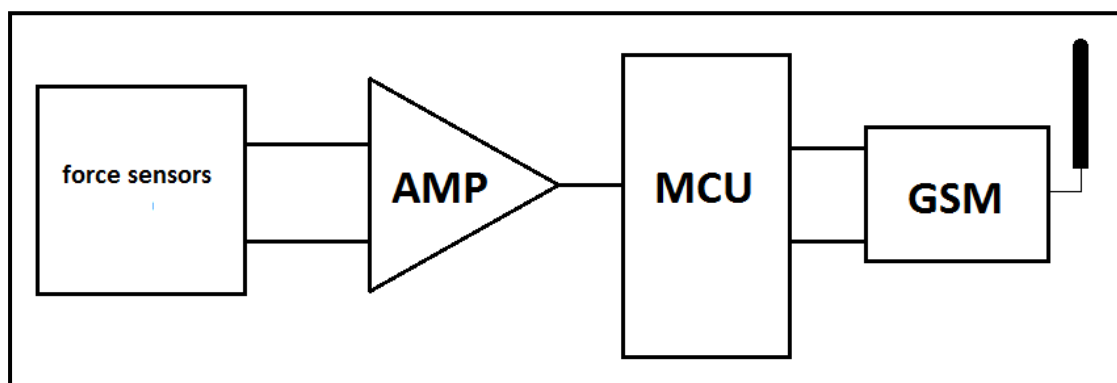
Η διάταξη, που πρόκειται να σχεδιαστεί, πρέπει να καλύπτει τις παραπάνω απαιτήσεις. Για το λόγο αυτό η διαδικασία υλοποίησης της διάταξης χωρίζεται σε τέσσερα στάδια.

Στο πρώτο στάδιο συλλέγεται το αναλογικό σήμα της μετρούμενης μάζας, με τη χρήση αισθητήρων.

Το δεύτερο στάδιο ενισχύει το αναλογικό σήμα, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ενισχυτών.

Στο τρίτο στάδιο το αναλογικό σήμα γίνεται ψηφιακό και επεξεργάζεται, ώστε να υπολογιστεί η μετρούμενη μάζα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται από την βαθμίδα του μικροελεγκτή.

Το τελευταίο στάδιο πραγματοποιεί τη μετάδοση της μέτρησης. Είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα πρόσβασης στο δίκτυο κινητής, το οποίο ενεργοποιείται και ελέγχεται με εντολές από τον μικροελεγκτή.



Σχήμα 1. Στάδια Υλοποίησης Δομής

Στο Σχήμα1. απεικονίζονται τα στάδια υλοποίησης της δομής. Αναλυτικότερα στο πρώτο στάδιο ανήκει η διάταξη των αισθητήρων δύναμης (force sensors), που μετατρέπουν τη δύναμη της μάζας σε ηλεκτρικό σήμα. Στο δεύτερο στάδιο ανήκει ο τελεστικός ενισχυτής που ενισχύει το αναλογικό σήμα. Το ενισχυμένο αναλογικό σήμα οδηγείται στο τρίτο στάδιο, που αποτελείται από τον μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής ψηφιοποιεί και επεξεργάζεται το σήμα ώστε να υπολογιστεί η μετρούμενη μάζα. Επιπροσθέτως, στέλνει εντολές μέσω σειριακής επικοινωνίας στην βαθμίδα του τέταρτου σταδίου. Στο τέταρτο στάδιο ανήκει η βαθμίδα πρόσβασης στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, η οποία λαμβάνει το πακέτο της πληροφορίας από την τρίτη βαθμίδα και το κοινοποιεί μέσω της υπηρεσίας SMS.

1.3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.3.1. ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΗΣ ΤΑΣΗΣ

Οι σταθεροποιητές τάσεις είναι τα πιο βασικά και απαραίτητα στοιχεία των κυκλωμάτων σήμερα. Οι σταθεροποιητές τάσεις είναι κυκλώματα ή ολοκληρωμένα στοιχεία (IC-integrated circuit), τα οποία παρέχουν ρυθμιζόμενες τάσεις για την ομαλή λειτουργία των ηλεκτρονικών. Κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον αριθμό των ακροδεκτών τους, με το αν είναι γραμμικοί (linear) ή εναλλαγής (switching) και αν είναι σταθεροί (fixed-θετικοί και αρνητικοί) ή ρυθμιζόμενοι (adjustable- θετικοί και αρνητικοί) ή εναλλαγής (switching).^[1]

Οι ακροδέκτες μπορεί να είναι τρεις, πέντε ή και πολλαπλοί. Με τον όρο γραμμικός^[2] σταθεροποιητής εννοείται πως η DC τάση εξόδου παραμένει σταθερή και δεν αλλάζει για οποιαδήποτε αλλαγή φορτίου ή τάση εισόδου. Από την άλλη μεριά, ένας σταθεροποιητής τάσης εναλλαγής^[3] παρέχει πολλαπλές τάσεις εξόδου με διαφορετικές πολικότητες, οι οποίες προέρχονται από μια τάση εισόδου. Οι όροι fixed και adjustable, αποτελούν υποκατηγορίες των γραμμικών σταθεροποιητών. Στους fixed regulators, η τάση εξόδου είναι σταθερή και παρέχεται από το ίδιο το στοιχείο, ενώ στους adjustable η έξοδος κυμαίνεται και ρυθμίζεται με τη χρήση εξωτερικών αντιστάσεων. Στις δύο υποκατηγορίες υπάρχουν θετικοί και αρνητικοί σταθεροποιητές, που δηλώνουν την πολικότητα της τάσης εξόδου.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν αρνητικοί και θετικοί σταθεροποιητές τριών ακροδεκτών, γραμμικοί και σταθεροί.

1.3.2. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

Οι μετατροπείς είναι μια μεγάλη κατηγορία στοιχείων και συστημάτων που μετατρέπουν μια μορφή ενέργειας σε μία άλλη. Συνήθως, οι ενέργειες είναι η μηχανική, η ηλεκτρική, η ηλεκτρομαγνητική, η χημική, η θερμική.

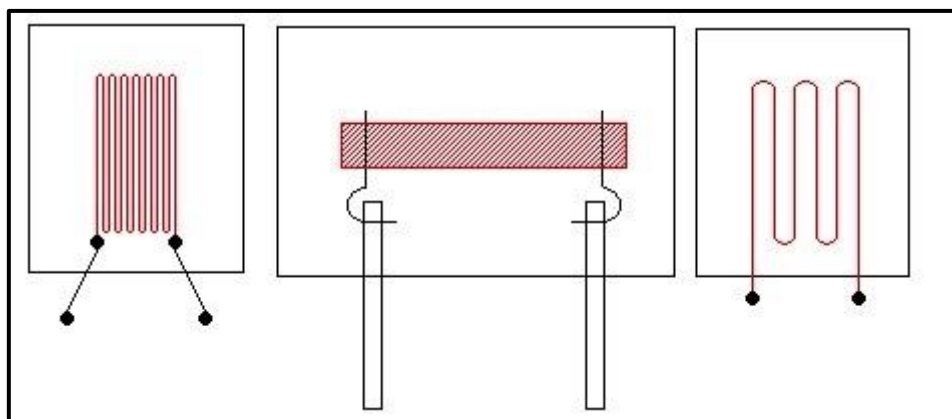
Οι μετατροπείς χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, στους αισθητήρες (sensors), στους ενεργοποιητές (actuators) και σε συνδυασμό αυτών, όπου τη μία λειτουργούν ως αισθητήρες και μετά ως ενεργοποιητές. Οι ενεργοποιητές είναι διατάξεις που μετατρέπουν την αρχική ενέργεια σε κίνηση, ηλεκτρομηχανική ενέργεια, ενώ οι αισθητήρες μετατρέπουν κάθε μορφή ενέργειας σε ηλεκτρικό σήμα, ηλεκτρική ενέργεια.

Οι αισθητήρες, ανάλογα με το μέγεθος προς μετατροπή, κατηγοριοποιούνται σε δύναμης, ροής, επιτάχυνσης και θερμοκρασίας. Καθώς στην παρούσα εργασία, υπάρχει ανάγκη μέτρησης της μάζας επιλέχθηκαν αισθητήρες δύναμης, οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω.

Οι αισθητήρες δύναμης διαχωρίζονται, με βάση την τεχνολογία που χρησιμοποιούν, σε δυναμοκυψέλες μέτρησης καταπόνησης (strain gauge load cells), σε αισθητήρες χωρητικότητας και πιεζοηλεκτρικά. Οι δυναμοκυψέλες επιλέχθηκαν τελικά, καθώς παρουσιάζουν υψηλή γραμμικότητα, σταθερότητα για μακροχρόνιες μετρήσεις, χαμηλή ευαισθησία στη θερμοκρασία. Οι δυναμοκυψέλες μέτρησης καταπόνησης αποτελούνται από δύο βασικά μέρη το ελαστικό στοιχείο και το στοιχείο μέτρησης της καταπόνησης.

Το σχήμα των ελαστικών στοιχείων έχει τέτοια μορφή, ώστε η εφαρμοζόμενη δύναμη να είναι παράλληλη με τον κύριο άξονα τους και να μην υπάρχουν πλευρικές προσθήκες. Ακόμη, τα στοιχεία παρουσιάζουν γραμμικότητα μεταξύ ασκούμενης δύναμης και καταπόνησης, καθώς και υψηλή επαναληψιμότητα, για την αξιοπιστία των μετρήσεων. Συνήθως, κατασκευάζονται από κράματα χάλυβα ή και ανοξείδωτο χάλυβα. Τα ελαστικά στοιχεία είναι φορείς των στοιχείων μέτρησης της καταπόνησης.

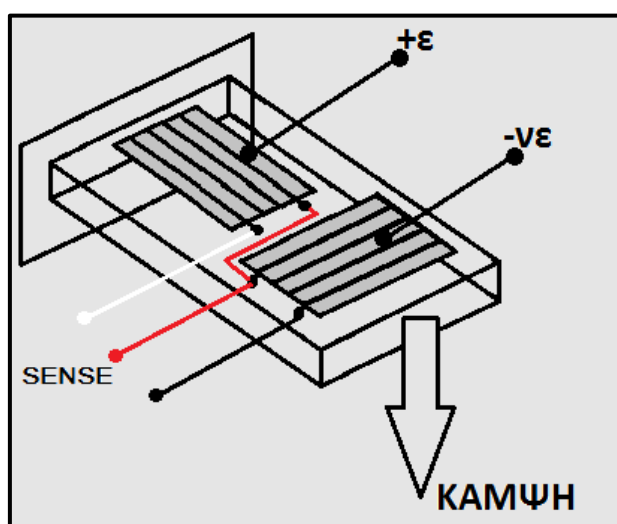
Τα στοιχεία μέτρησης της καταπόνησης ποικίλουν, με κύριο τον μετρητή καταπόνησης ηλεκτρικής αντίστασης. Πρόκειται, για ένα λεπτό σύρμα, στο οποίο όταν εφαρμόζονται δυνάμεις εφελκυσμού ή συμπίεσης, αλλάζουν οι διαστάσεις του, άρα και η αντίσταση του. Εφαρμόζοντας τάση στα άκρα του στοιχείου, η αλλαγή της αντίστασης μπορεί να μετρηθεί, οδηγώντας τελικά στην μέτρηση της ζητούμενης δύναμης. Οι μετρητές κατασκευάζονται είτε από λεπτό σύρμα, είτε από ημιαγωγούς, είτε από λεπτό φιλμ. Ωστόσο, οι πιο διαδεδομένοι είναι οι foil μετρητές καταπόνησης. Στο Σχήμα 2. φαίνονται οι μετρητές, από αριστερά, λεπτού σύρματος, ημιαγωγού, foil.^[4]



Σχήμα 2. Μετρητές Καταπόνησης

Ως καταπόνηση εδώ ορίζεται ο εφελκυσμός ή συμπίεση ενός στοιχείου. Ο βαθμός καταπόνησης ονομάζεται strain (ϵ), και είναι θετικός για τον εφελκυσμό και αρνητικός για την συμπίεση. Ο αρνητικός λόγος της εγκάρσιας προς την αξονική καταπόνηση ονομάζεται λόγος Poisson (ν) και προσδίδει το βαθμό επέκτασης του στοιχείου προς τις κατευθύνσεις κάθετα της καταπόνησης.^[5]

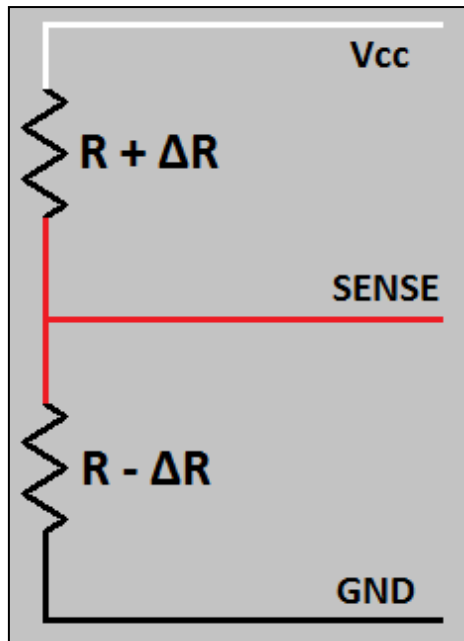
Στην παρούσα εργασία, οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν περιέχουν foil μετρητές καταπόνησης. Κάθε δυναμοκυψέλη, λοιπόν, περιέχει δύο foil μετρητές καταπόνησης, συνδεδεμένους σε σειρά και τοποθετημένους κάθετα μεταξύ τους (Σχήμα 3.). Ο μετρητής, που βρίσκεται παράλληλα με την διεύθυνση της δύναμης, μετρά την αξονική καταπόνηση (+ ϵ), ενώ ο κάθετος μετρά την πλευρική κάμψη (- $\nu\epsilon$), λειτουργώντας ως μετρητής Poisson, συμβάλλοντας έτσι στην διόρθωση κάθε επίδρασης στο κύριο στέλεχος μέτρησης, όπως παραδείγματος χάριν της θερμοκρασιακής.^[6]



Σχήμα 3. Δυναμοκυψέλη Με Δύο Κάθετα Foils

Το ισοδύναμο κύκλωμα κάθε δυναμοκυψέλης, αντιστοιχεί με δύο μεταβαλλόμενες ίδιου μεγέθους αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά (Σχήμα 4). Στην πρώτη η μεταβολή της αντίστασης προστίθεται, ενώ στην δεύτερη η μεταβολή της αντίστασης αφαιρείται, σε πλήρη αντιστοιχία με την λειτουργία των foil μετρητών καταπόνησης. Η έξοδος του κυκλώματος λαμβάνεται μεταξύ του κόκκινου και μαύρου καλωδίου και αντιστοιχεί στην ζητούμενη ποσότητα, την τάση που προκύπτει από την εφαρμογή μάζας στον αισθητήρα.

$$Sense = \frac{R - \Delta R}{2R} V_{CC}$$



Σχήμα 4. Ισοδύναμο Κύκλωμα Δυναμοκυψέλης

1.3.3. ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ

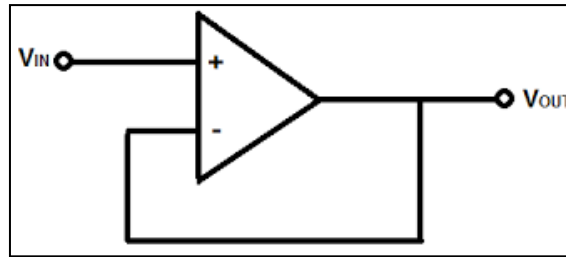
Ο ενισχυτής είναι μια συσκευή, που δέχεται ένα σήμα χαμηλής ισχύος και εξάγει ένα ενεργειακά ενισχυμένο (power-boosted) αντίγραφο του σήματος εισόδου. Η κύρια παράμετρος των ενισχυτών είναι το κέρδος (A ή G), που προσδιορίζει το βαθμό μεγέθυνσης του σήματος εισόδου. Η γενική εξίσωση του κέρδους είναι:

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Εσωτερικά, οι ενισχυτές είναι συσκευές που χρησιμοποιούν μικρά σήματα, ρεύματος ή τάσης, για να ελέγχουν μεγαλύτερα. Την λειτουργία αυτή την εκτελούν τα τρανζίστορ, τα οποία έφεραν την επανάσταση στα ηλεκτρονικά. Η αντοχή σε υψηλά επίπεδα κραδασμών και πίεσης και η υψηλή ενεργειακή τους απόδοση, είναι τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

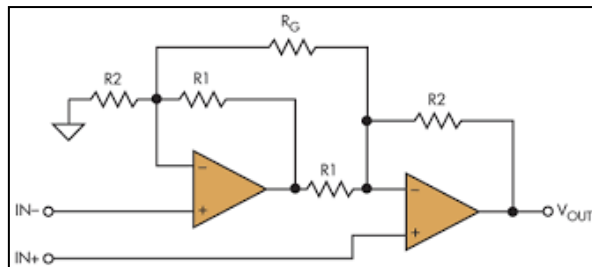
Οι ενισχυτές συναντώνται σε διάφορες τοπολογίες, με ποικίλο αριθμό τρανζίστορ και σε μορφή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (IC). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο ενισχυτές, των οποίων το κύκλωμα θα αναφερθεί.

Ο πρώτος ενισχυτής (ο LM358, όπως θα δούμε) χρησιμοποιήθηκε σε κύκλωμα μοναδιαίου κέρδους (A=1) ή αλλιώς buffer. Στο Σχήμα 5. εικονίζεται το θεωρητικό κύκλωμα. Το κύριο γνώρισμα των buffers είναι ότι δεν ενισχύουν την τάση αλλά το ρεύμα του σήματος, που σημαίνει πως παρέχεται χαμηλή αντίσταση.^[7]



Σχήμα 5. Κύκλωμα Μοναδιαίου Κέρδους

Ο δεύτερος ενισχυτής (ο INA122, όπως θα δούμε) ονομάζεται instrumentation , που σημαίνει πως περιέχει τελεστικούς ενισχυτές. Οι τελεστικοί ενισχυτές είναι ολοκληρωμένα στοιχεία των διαφορικών ενισχυτών. Ο instrumentation ενισχυτής απαιτεί λίγες εξωτερικές συνδέσεις, παρέχει πολύ χαμηλό offset (αντιστάθμισμα) DC τάσης, χαμηλή ολίσθηση (drift), πολύ υψηλό κέρδος, υψηλή απόρριψη κοινού σήματος (Common Mode Rejection), ακρίβεια και σταθερότητα στο χρόνο.^[8]



Σχήμα 6. Κύκλωμα Instrumentation Ενισχυτών

Το κύκλωμα του Σχήματος 6. ,που είναι από τα πιο συχνά των ενισχυτών οργάνων (instrumentation), είναι το εσωτερικό κύκλωμα του ενισχυτή, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Η τάση εξόδου του έχει εξίσωση^[9]:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + 2 \frac{R_2}{R_G}\right) (V_{IN+} - V_{IN-})$$

όπου το κέρδος είναι

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} + 2 \frac{R_2}{R_G}$$

1.3.4. Ο μετατροπέας ADC

Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Analog to Digital Converter-από εδώ και κάτω θα αναφέρεται ως ADC) είναι μια συσκευή που μετατρέπει ένα αναλογικό σήμα, συνήθως τάση, σε ψηφιακό αριθμό (bits - σύνολο μηδέν και ένα), ο οποίος αναπαριστά το μέγεθος της μετρούμενης ποσότητας. Ο ψηφιακός αριθμός αποτελείται από διαφορετικό αριθμό bits, οχτώ, δέκα, δώδεκα κ.α. για κάθε συσκευή. Ο αριθμός των bits (N) και οι

τάσεις αναφοράς καθορίζουν την διακριτική ικανότητα του ADC.^[10] Οι τάσεις αναφοράς είναι μια θετική (V_{ref+}) και μια αρνητική (V_{ref-}) και ορίζουν το εύρος της τάσης του σήματος, που μπορεί να μετατραπεί. Επομένως, η διακριτική ικανότητα (Resolution-R) του ADC ορίζεται ως:

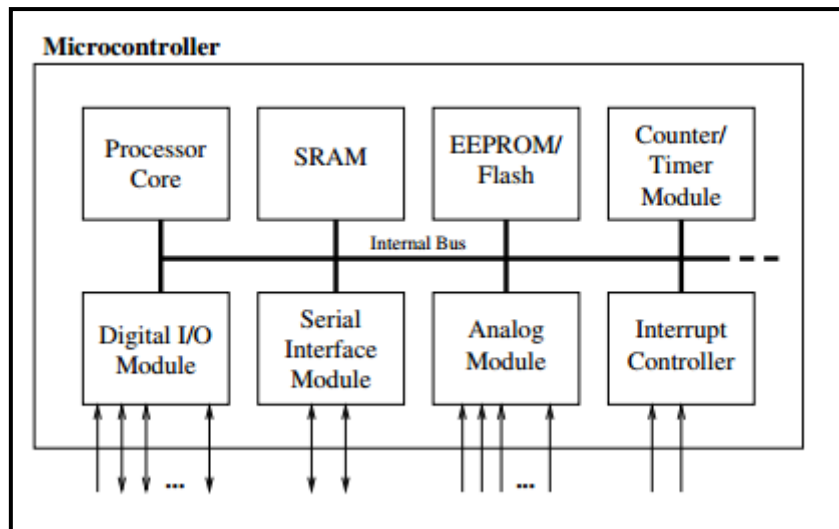
$$R = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^N}$$

Το αναλογικό σήμα προς μετατροπή εισέρχεται στο κανάλι του ADC και φορτίζει έναν πυκνωτή, του οποίου ο χρόνος φόρτισης ονομάζεται Χρόνος Κτήσης (Acquisition Time). Έπειτα, ο πυκνωτής αποκόπτεται από το αναλογικό κανάλι και αρχίζει η δειγματοληψία του, δηλαδή μια περιοδική μέτρηση (T_{AD}) της τιμής του. Σε κάθε περίοδο T_{AD} ορίζεται και ένα από τα N bits του ψηφιακού αριθμού, ενώ ο συνολικός χρόνος απόκτησης του τελικού ψηφιακού αριθμού ονομάζεται Χρόνος Μετατροπής (Conversion Time). Τελικά, η διαδικασία της μετατροπής ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό αριθμό απαιτεί το Χρόνο Κτήσης και το Χρόνο Μετατροπής.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ADC, ο οποίος είναι ενσωματωμένος στον μικροελεγκτή. Η συχνότητα δειγματοληψίας και άρα η περίοδος T_{AD} , ορίζονται με βάση την συχνότητα λειτουργίας της συσκευής.

1.3.5. Ο μικροελεγκτής MCU

Ο μικροελεγκτής είναι ένας μικρός υπολογιστής, ο οποίος χρησιμοποιείται σε συστήματα που λειτουργούν αυτόνομα, χωρίς την παρουσία του ανθρώπου. Η βασική λειτουργία του μικροελεγκτή είναι ο έλεγχος και ο προγραμματισμός των λειτουργιών άλλων ηλεκτρονικών διατάξεων. Ένας τυπικός μικροελεγκτής αποτελείται^[11] από πυρήνα επεξεργαστή (processor core), μνήμη (memory), ελεγκτή διακοπής (interrupt controller), χρονιστή /μετρητή (timer/counter), ψηφιακές εισόδους/εξόδους (digital I/O), αναλογικές εισόδους/εξόδους (analog I/O), διασύνδεση (interface), watchdog timer. Όλα τα στοιχεία επικοινωνούν μέσω εσωτερικού διαύλου (internal bus) και είναι ολοκληρωμένα σε ένα chip (IC). Η επικοινωνία με τις εξωτερικές διατάξεις γίνεται μέσω των μονάδων εισόδου/εξόδου. Το τυπικό διάγραμμα φαίνεται στο Σχήμα 7..



Σχήμα 7. Τυπικό Διάγραμμα Μικροελεγκτή

Ο πυρήνας επεξεργαστή είναι η κεντρική μονάδα επεξεργασίας του μικροελεγκτή, ενώ η μνήμη του χωρίζεται σε περιοχές δεδομένων (data memory) και προγραμματισμού (program memory). Στη πρώτη αποθηκεύονται τα δεδομένα από πράξεις, μετρήσεις και στη δεύτερη το πρόγραμμα, το οποίο εκτελεί ο μικροελεγκτής. Ο ελεγκτής διακοπής διαχειρίζεται σήματα, τα οποία αποσκοπούν στην επιθυμητή διακοπή της λειτουργίας του προγράμματος ώστε να εκτελεστεί κάποια άλλη λειτουργία. Οι χρονιστές/μετρητές μετρούν χρονικά διαστήματα, μετρούν ή/και σημαδεύουν χρονικά τα γεγονότα. Οι εισοδοί/ έξοδοι είναι κανάλια που διαχειρίζονται αναλογικά και ψηφιακά σήματα ή δεδομένα. Η πιο συνηθής διασύνδεση του μικροελεγκτή είναι η σειριακή (Serial Interface), με την οποία επικοινωνεί με εξωτερικές ηλεκτρονικές διατάξεις, με ηλεκτρονικό υπολογιστή και άλλα συστήματα. Ο watchdog timer είναι ένας χρονιστής, ο οποίος κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται όταν ο μικροελεγκτής πάψει να λειτουργεί κανονικά (κολλήσει). Τότε, ο watchdog timer μετράει κάποιο χρόνο, που του ορίζει ο προγραμματιστής, και αν λήξει επαναφέρει τον μικροελεγκτή (reset). Ο watchdog timer χρησιμοποιείται επίσης για να επαναφέρει τον μικροελεγκτή σε πλήρη λειτουργία (run), μετά από την κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης (sleep).

Για να μπορέσει ο μικροελεγκτής να διαχειριστεί τις εξωτερικές ηλεκτρονικές διατάξεις αλλά και τις εσωτερικές λειτουργίες του, χρειάζεται να προγραμματιστεί. Ο προγραμματισμός των μικροελεγκτών γίνεται με μια σειρά εντολών, οι οποίες έχουν συγκεκριμένη ψηφιακή μορφή. Οι γλώσσες προγραμματισμού διαχωρίζονται σε χαμηλού και υψηλού επιπέδου, με κύρια παραδείγματα την Assembly και τη C, αντίστοιχα. Οι γλώσσες χαμηλού επιπέδου χαρακτηρίζονται ως γλώσσες μηχανής, καθώς βρίσκονται ένα βήμα πριν το πρόγραμμα με ψηφιακή μορφή. Αντιθέτως, οι γλώσσες υψηλού επιπέδου πρέπει να μεταφραστούν σε χαμηλού επιπέδου και έπειτα να εκτελεστεί το πρόγραμμα. Η διαδικασία μετάφρασης, ή μεταγλώττισης, πραγματοποιείται από τον μεταγλωττιστή (compiler) και τον διερμηνέα (interpreter).^[12]

2.ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί το σύστημα που αναπτύχθηκε για την εξ αποστάσεως μέτρηση μάζας σώματος. Θα παρουσιαστούν τα ηλεκτρονικά στοιχεία, που χρησιμοποιήθηκαν, και τα βασικά τους τεχνικά χαρακτηριστικά.

2.1. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η αρχιτεκτονική του συστήματος αναλύεται σε τέσσερα επίπεδα:

- 1.Επίπεδο τροφοδοσίας (Στάδιο 0)
- 2.Επίπεδο αισθητήρων (Στάδιο 1)
- 3.Επίπεδο επεξεργασίας σήματος (Στάδιο 2 και 3)
- 4.Επίπεδο αποστολής πληροφορίας (Στάδιο 4)

2.2.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.2.1.ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (ΣΤΑΔΙΟ 0)

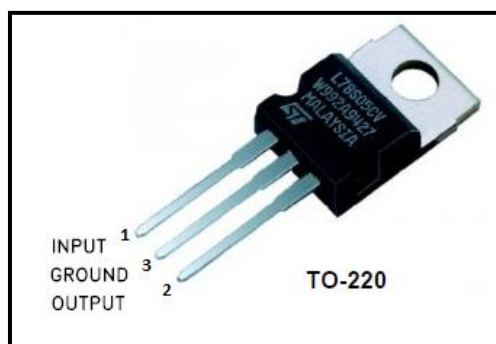
Το σύστημα για να μπορεί να λειτουργεί σε απομακρυσμένες περιοχές σχεδιάστηκε ώστε να τροφοδοτείται με μπαταρίες. Η κεντρική τροφοδοσία αποτελείται από έξι AA μπαταρίες των 1.5V της εταιρίας VARTA, παρέχοντας συνολικά 9V.

2.2.1.1. ΘΕΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΗΣ ΤΑΣΗΣ L78S05CV

Τα περισσότερα ηλεκτρονικά στοιχεία, που χρησιμοποιήθηκαν, επιλέχθηκε ώστε να λειτουργούν στα +5V. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε ο θετικός regulator L78S05CV της εταιρίας ST Microelectronics. Ο regulator L78S05CV δέχεται στην είσοδο του θετικές τάσεις από 7 έως 35V(max) και δίνει στην έξοδο σταθερά 5V (τυπικά). Έχει τη δυνατότητα να παρέχει ρεύμα έντασης μέχρι 2A και παρέχει θερμική προστασία υπερφόρτωσης και προστασία βραχυκυκλώματος. Λειτουργεί σε θερμοκρασίες από 0°C έως 150°C. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε στη μορφή TO-220 (package Transistor Outline-220), τριών τερματικών. Στο Πίνακα 1. παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του και στην Εικόνα 1. απεικονίζεται ο regulator L78S05CV.

Σταθεροποιητής Τάσης	L78S05CV
Τύπος	Θετικός
Ακροδέκτες	3
Package	TO-220
Τάση Λειτουργίας	7 έως 35V(max)
Τάση Εξόδου	5V
Ρεύμα max	2A
Θερμοκρασία	0°C έως 150°C

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά L78S05CV



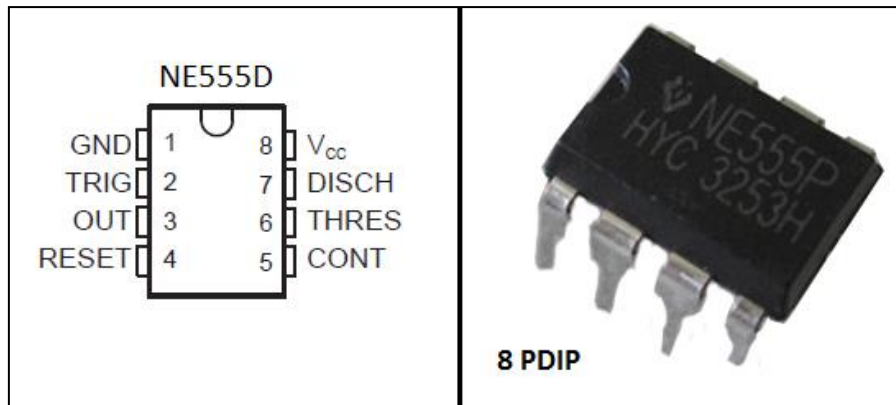
Εικόνα 1. Θετικός Regulator L78S05CV

2.2.1.2. Timer 555

Στην παρούσα εργασία υπάρχει η ανάγκη χρήσης αρνητικής τάσης, η οποία παράχθηκε με το κύκλωμα αναστροφής πόλωσης, του οποίου το βασικό στοιχείο είναι ο Χρονιστής 555 (Timer 555). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο NE555 Precision Timer της εταιρίας Texas Instruments. Ο NE555 παρέχει ακριβείς χρονικές καθυστερήσεις ή ταλαντώσεις. Η τάση λειτουργίας του επιλέγεται από 4.5V έως 16V, λειτουργεί σε θερμοκρασία από 0°C έως 70°C και παρέχει ρεύμα έντασης μέχρι 200mA. Ο NE555 D που χρησιμοποιήθηκε έχει 8 pins και είναι της μορφής PDIP (Plastic Dual Inline Package). Στον Πίνακα 2. παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του και στην Εικόνα 2. απεικονίζεται το διάγραμμα των pins και ο NE555D.

Χρονιστής	NE555
Ακροδέκτες	8
Package	PDIP
Τάση Λειτουργίας	4.5V έως 16V
Ρεύμα max	200 mA
Θερμοκρασία	0°C έως 70°C

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά NE555



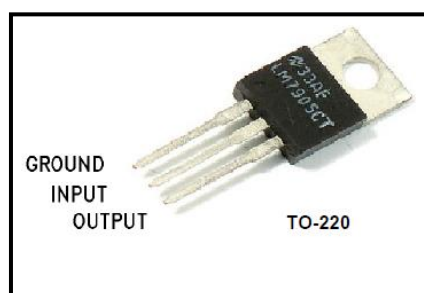
Εικόνα 2. Timer NE555D

2.2.1.3. ΑΡΝΗΤΙΚΟΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΗΣ ΤΑΣΗΣ LM7905CT

Για να δημιουργηθεί η απαιτούμενη αρνητική τάση των -5V, χρησιμοποιήθηκε ο regulator LM7905CT της Texas Instruments. Το package, που επιλέχθηκε, είναι TO-220, τριών ακροδεκτών. Στον ακροδέκτη εισόδου μπορούν να εφαρμοστούν τάσεις έως -25V, ενώ η τάση του ακροδέκτη εξόδου παρέχει -5V (τυπικά). Η μέγιστη παροχή ρεύματος είναι 1.5A και λειτουργεί σε θερμοκρασίες από 0°C έως 125°C. Όπως και ο θετικός regulator L78S05CV παρέχει θερμική προστασία υπερφόρτωσης και προστασία βραχυκυκλώματος. Στο Πίνακα 3. παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του και στην Εικόνα 3. απεικονίζεται ο LM7905CT.

Σταθεροποιητής Τάσης	LM7905CT
Τύπος	Αρνητικός
Ακροδέκτες	3
Package	TO-220
Τάση Λειτουργίας	έως -25V
Τάση Εξόδου	-5V
Ρεύμα max	1.5A
Θερμοκρασία	0°C έως 125°C

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά LM7905CT



Εικόνα 3. Αρνητικός Regulator LM7905CT

2.2.2. ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (ΣΤΑΔΙΟ 1)

Οι αισθητήρες, που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία, προέρχονται από την ηλεκτρονική ζυγαριά PW 5570 FA της εταιρείας AEG, η οποία εικονίζεται στην Εικόνα4.. Κάθε αισθητήρας έχει χωρητικότητα, δηλαδή μέγιστη μάζα που ανέχεται, 50kg και λειτουργεί από τους -10°C έως τους +40°C. Η αντίσταση του είναι 850Ω και δέχεται τάση τροφοδοσίας από 5 έως 15 V. Επίσης, ο κάθε αισθητήρας παρουσιάζει καλά χαρακτηριστικά γραμμικότητας και επαναληψιμότητας, περίπου 5% και 2.5%, αντίστοιχα. Το βασικό χαρακτηριστικό καταπόνησης (creep), το οποίο αναφέρεται στην αλλαγή της εξόδου του στοιχείου με την εφαρμογή μάζας για κάποιο χρόνο, είναι περίπου 2.5% . Το συνολικό σφάλμα στη μέτρηση ανέρχεται στο 5%, ενώ το η επίδραση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στη μέτρηση όταν πάνω στη ζυγαριά υπάρχει μάζα (temperature effect on span) στο 2.5%/°C. Η σύνδεση των αισθητήρων και τα χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται παρακάτω, στη παράγραφο 3.1.2.



Εικόνα 4. Ζυγαριά PW 5570 FA

2.2.3. ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ (ΣΤΑΔΙΟ 2 ΚΑΙ 3)

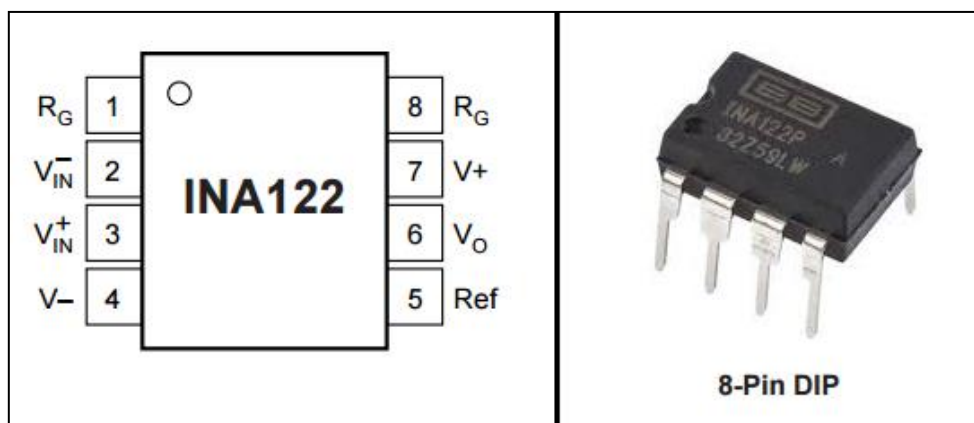
Στο επίπεδο επεξεργασίας σήματος ανήκουν η ενίσχυση, η ψηφιοποίηση και η ανάλυση του σήματος. Για την ενίσχυση του σήματος χρησιμοποιήθηκε ο ενισχυτής INA122 της εταιρείας Burr-Brown, σε συνδυασμό με τον ενισχυτή LM358 της Texas Instruments. Η ψηφιοποίηση και η ανάλυση του σήματος έγινε από τον μικροελεγκτή PIC18F25K80 της εταιρείας Microchip.

2.2.3.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ

2.2.3.1.1. INA122

Ο ενισχυτής INA122 είναι micro power instrumentation ενισχυτής ακριβείας. Επιλέχθηκε για τη μικρή τάση αντιστάθμισης εισόδου (input offset voltage) της τάξης των 250μV, για το μικρό αντιστάθμισμα ολίσθησης θερμοκρασίας (input offset drift-temperature) των 1 μV/°C και για το μικρό ρεύμα που καταναλώνει (input current), 60μA. Επίσης, με τη χρήση μόνο μιας εξωτερικής αντίστασης, δίνει την δυνατότητα επιλογής κέρδους τάσης από 5V/V έως 10000 V/V. Λειτουργεί σε θερμοκρασίες από -40°C έως τους +85°C, με σφάλμα κέρδους ±100 ppm/°C, για ενίσχυση 100V/V. Η τροφοδοσία του μπορεί να είναι μονή με τιμές από 2.2 V έως 36V, ή διπλή από -0.9/+1.3 έως ±18V. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο INA122P με 8 pins και package PDIP, ο οποίος εικονίζεται στην Εικόνα 5. μαζί με το διάγραμμα των pins του.

Αξίζει να σημειωθεί ένα επιπλέον pin του INA122, το pin-5-Ref, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Το pin Ref χρησιμοποιείται από τον χρήστη όταν είναι επιθυμητή η αύξηση της τάσης εξόδου. Η τάση που θα εφαρμοστεί στο pin προστίθεται στη τάση εξόδου, μεγαλώνοντας την τιμή της. Στον Πίνακα 4. παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του INA122 .



Εικόνα 5. Ενισχυτής INA122

Ενισχυτής	INA122
Τύπος	Micro Power Instrumentation
Ακροδέκτες	8
Package	PDIP
Τάση Λειτουργίας	Single: 2.2 V έως 36V Dual: -0.9/+1.3 έως ±18V
Κέρδος	5V/V έως 10000 V/V
Input Offset Voltage	250μV
Input Offset Drift-Temperature	1 μV/°C
Input Current	60μA
Θερμοκρασία	-40°C έως τους +85°C

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά INA122

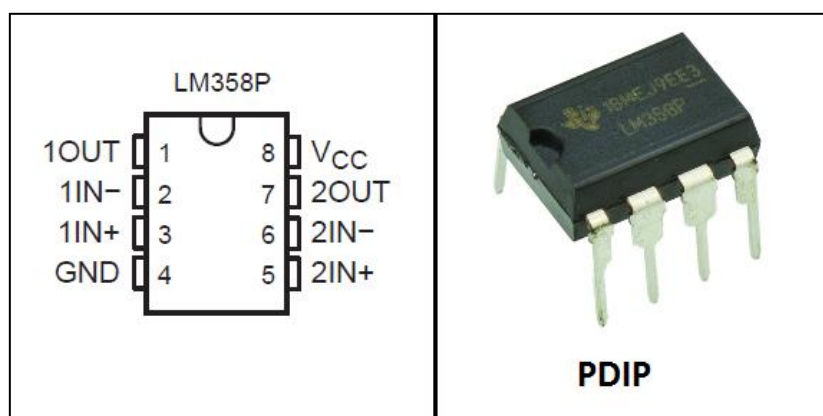
2.2.3.1.2. LM358

Ο LM358 χρησιμοποιήθηκε ως buffer, για να παρέχει χαμηλή αντίσταση στο κανάλι Ref, του ενισχυτή INA122, όπως προτείνεται από τον κατασκευαστή.

Ο LM358 περιέχει δύο ανεξάρτητους, υψηλού κέρδους τελεστικούς ενισχυτές. Κάθε ενισχυτής έχει offset τάση εισόδου (input offset voltage) 3mV, αντιστάθμισμα ολίσθησης θερμοκρασίας στην είσοδο (input offset drift-temperature) 7 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, ενώ το ρεύμα τροφοδοσίας (supply current) και για τους δύο ενισχυτές είναι 0.7mA. Το κέρδος τάσης ανοιχτού βρόχου είναι 100V/mV και λειτουργεί σε θερμοκρασίες από 0°C έως τους +70°C. Η τροφοδοσία του ενισχυτή μπορεί να είναι μονή ή διπλή, από 3 V έως 32V ή ± 1.5 έως $\pm 16\text{V}$, αντίστοιχα. Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε ο LM358P των 8 pins και package PDIP. Στον Πίνακα 5. παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του, ενώ το διάγραμμα των pins και ο ενισχυτής εικονίζονται στην Εικόνα 6..

Ενισχυτής	LM358
Τύπος	Διπλός- Τελεστικός
Ακροδέκτες	8
Package	PDIP
Τάση Λειτουργίας	Single: 3 V έως 32V Dual: ± 1.5 έως $\pm 16\text{V}$
Κέρδος	15V/mV έως 100 V/mV
Input Offset Voltage	3mV
Input Offset Drift-Temperature	7 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Current	0.7mA (2 ενισχυτές)
Θερμοκρασία	0°C έως τους +70°C

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά LM358



Εικόνα 6. Ενισχυτής LM358

2.2.3.2. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ

Για την ψηφιοποίηση και την ανάλυση του σήματος χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής PIC18F25K80 της εταιρείας Microchip. Οι λόγοι, για τους οποίους επιλέχθηκε, είναι ο ενσωματωμένος ADC των 12-bits, η ύπαρξη καναλιών σειριακής επικοινωνίας (Ενισχυμένος Γενικός Σειριακός Ασύγχρονος Δέκτης Αποστολέας - Enhanced Universal Serial Asynchronous Receiver Transmitter-EUSART) και ο Watch-Dog Timer που λειτουργεί για εκτεταμένη ώρα.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του PIC18F25K80 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6..

Τάση Λειτουργίας	1.8V έως 5.5V
Ακροδέκτες	28
Ψηφιακοί Ακροδέκτες I/O	24
12-bit Αναλογικά Κανάλια ADC	8
Κανάλια ESUART	2
Μνήμη Flash Προγραμματισμού	32kbytes
Μνήμη SRAM Δεδομένων	3648 bytes
Μνήμη EEPROM	1024 bytes
Ταχύτητα Ρολογιού	έως 64MHz

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά PIC18F25K80

Όσο αναφορά την ταχύτητα του ρολογιού, ο μικροελεγκτής προσφέρει τρεις τύπους εσωτερικού ταλαντωτή των 31kHz (Low Frequency), των 500kHz (Medium Frequency) και 16MHz (High Frequency).

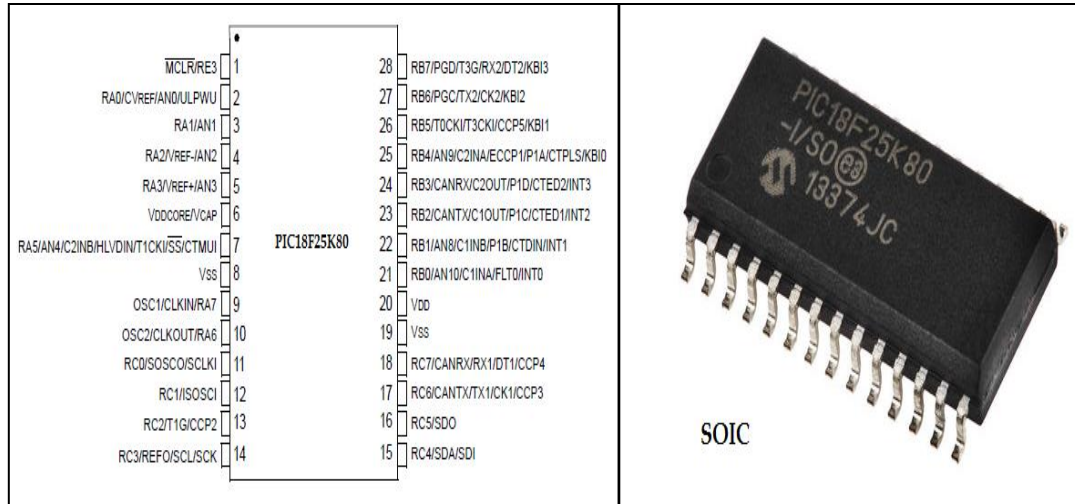
Ενεργειακά χαρακτηρίζεται ως χαμηλής κατανάλωσης καθώς σε Run Mode καταναλώνει ρεύμα 1mA ($V_{DD} = 5V, F_{OSC} = 4MHz$ HF-internal, $T=25^{\circ}C$) και σε Sleep Mode 240 nA ($V_{DD} = 5V, T=25^{\circ}C$). Ο Watch-Dog Timer καταναλώνει 0.8μA ($V_{DD} = 5.5V$), ενώ ο ADC ενεργοποιημένος και όχι κατά την διάρκεια της μετατροπής 1 μΑ.

Ο ADC του μικροελεγκτή είναι των 12 bit, το οποίο σημαίνει πως μπορεί να χωρίσει το εύρος των τάσεων αναφοράς σε 4096 βήματα. Ο μικροελεγκτής προσφέρει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής V_{ref+} , δηλαδή είτε να επιλέξει μεταξύ των 4.01V και 2.0V εσωτερικής τάσης, είτε να ορίσει ένα εξωτερικό ακροδέκτη, του οποίου η τάση θα είναι η V_{ref+} . Μια ακόμη επιλογή είναι η V_{ref+} να αντιστοιχεί στην τάση τροφοδοσίας του μικροελεγκτή (V_{DD}). Αντίθετα, οι επιλογές για την V_{ref-} , περιορίζονται σε δύο, στον ορισμό εξωτερικού ακροδέκτη και στην τάση γείωσης του μικροελεγκτή (V_{SS}). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όταν ο ADC είναι ενσωματωμένος σε μικροελεγκτή, η περίοδος T_{AD} ορίζεται με βάση την συχνότητα λειτουργίας της συσκευής. Στο φυλλάδιο προδιαγραφών παρέχεται πίνακας (Table 23-1.) ο οποίος κατευθύνει τον χρήστη στην σωστή επιλογή της T_{AD} με βάση την συχνότητα λειτουργίας του μικροελεγκτή.

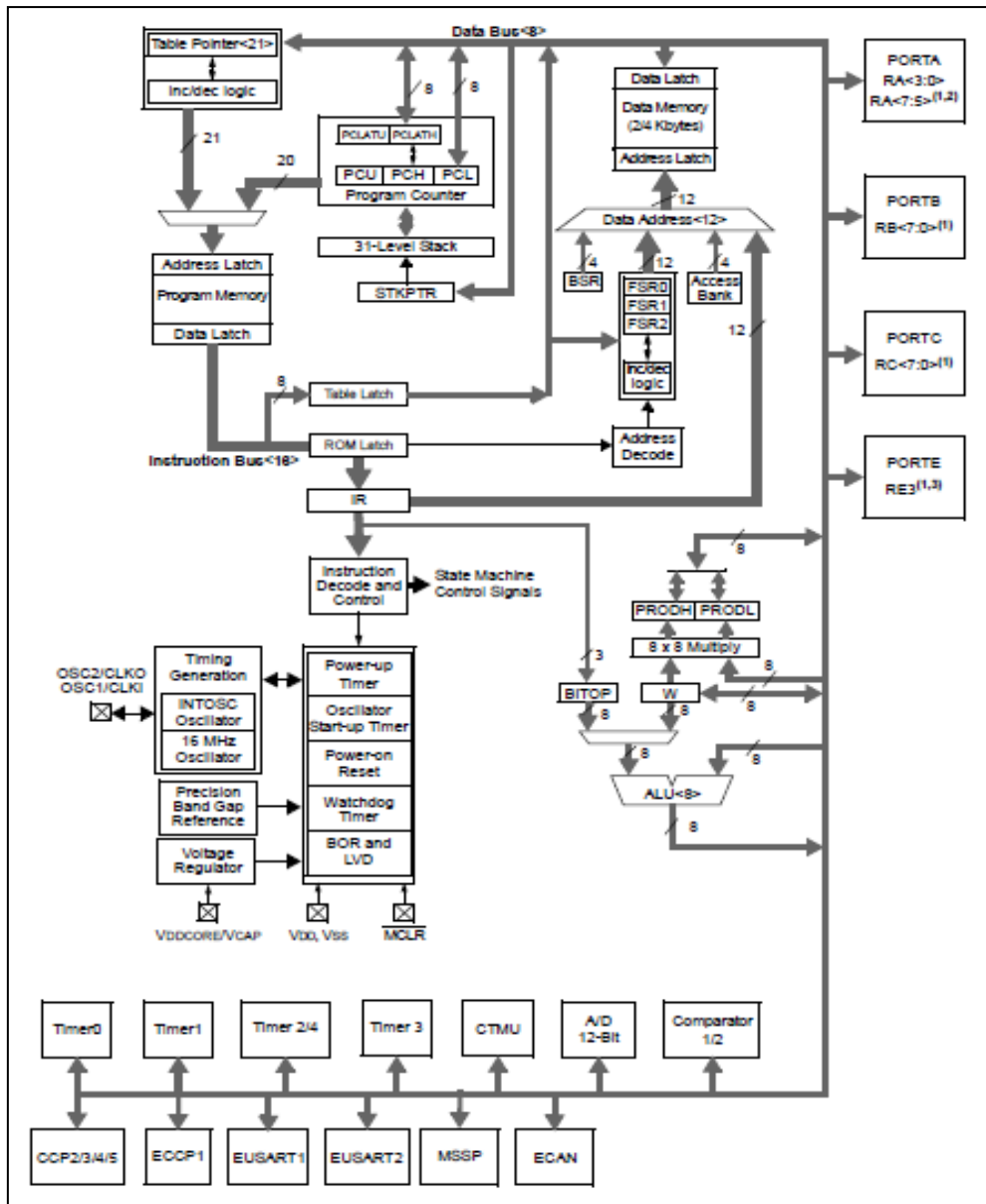
Όσο αναφορά τη σειριακή επικοινωνία EUSART, ο μικροελεγκτής παρέχει δύο μονάδες (EUSART1 και EUSART2). Οι μονάδες διαμορφώνονται είτε ως συστήματα full-duplex, (ασύγχρονη επικοινωνία) είτε ως half-duplex (σύγχρονη επικοινωνία) master ή slave. Ο όρος της ενίσχυσης στην ονομασία αναφέρεται σε πρόσθετες λειτουργίες της μονάδας, όπως αυτόματη ανίχνευση του ρυθμού μετάδοσης (baud rate).

Ο Watch Dog Timer του PIC18F25K80 έχει τυπική περίοδο 4ms, ο χρήστης όμως μπορεί να την αυξήσει μέσω του 16-bit postscaler. Η τιμή του postscaler πολλαπλασιάζεται με την περίοδο του και δίνει τιμές από 4ms έως 4194s. Ο WDT μπορεί να λειτουργήσει με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους, ενεργοποιημένος, απενεργοποιημένος, υπό τον έλεγχο λογισμικού, δηλαδή εντολών, και ενεργοποιημένος κατά την κανονική λειτουργία και απενεργοποιημένος κατά την κατάσταση sleep.

Το package του μικροελεγκτή που χρησιμοποιήθηκε είναι SOIC (PIC18F25K80/SO. Λειτουργεί από τους -40°C έως τους +125°C. Στην Εικόνα 7. απεικονίζεται το διάγραμμα των pins του PIC18F25K80/SO και ο ίδιος ο μικροελεγκτής, ενώ στο Σχήμα 8. το σχηματικό του διάγραμμα.



Εικόνα 7. Μικροελεγκτής PIC18F25K80



Σχήμα 8. Σχηματικό Διάγραμμα PIC18F25K80

2.2.4. ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ (ΣΤΑΔΙΟ 4)

Για την αποστολή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα της Siemens TC35. Η πλακέτα Siemens φέρει τη μονάδα TC35, θύρα σειριακής επικοινωνίας D9, MAX232 για την διαχείριση των σημάτων TTL/CMOS, θήκη για την κάρτα SIM, υποδοχή τροφοδοσίας 5V και δύο διπλές ακίδοσειρές, με τις οποίες παρέχεται πρόσβαση στα κανάλια της μονάδας TC35.

Η μονάδα TC35 είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα που μεταδίδει φωνή, δεδομένα, SMS και Fax. Παρέχει πρόσβαση στην Διτλή Ζώνη (Dual Band) EGSM900 MHz (Extended Global System for Mobile communications) και GSM1800 MHz, της GSM 2+ φάσης. Η ενέργεια μετάδοσης της ζώνης EGSM900 MHz ανήκει στην κλάση 4 (2W), ενώ η ζώνη GSM1800 MHz στην κλάση 0 (1W).^[13,14,15]

Όσο αναφορά την υπηρεσία SMS, το TC35 υποστηρίζει την Mobile Originated (MO) και Mobile Terminated (TE) SMS, καθώς και την υπηρεσία Cell Broadcast (CB), όπου

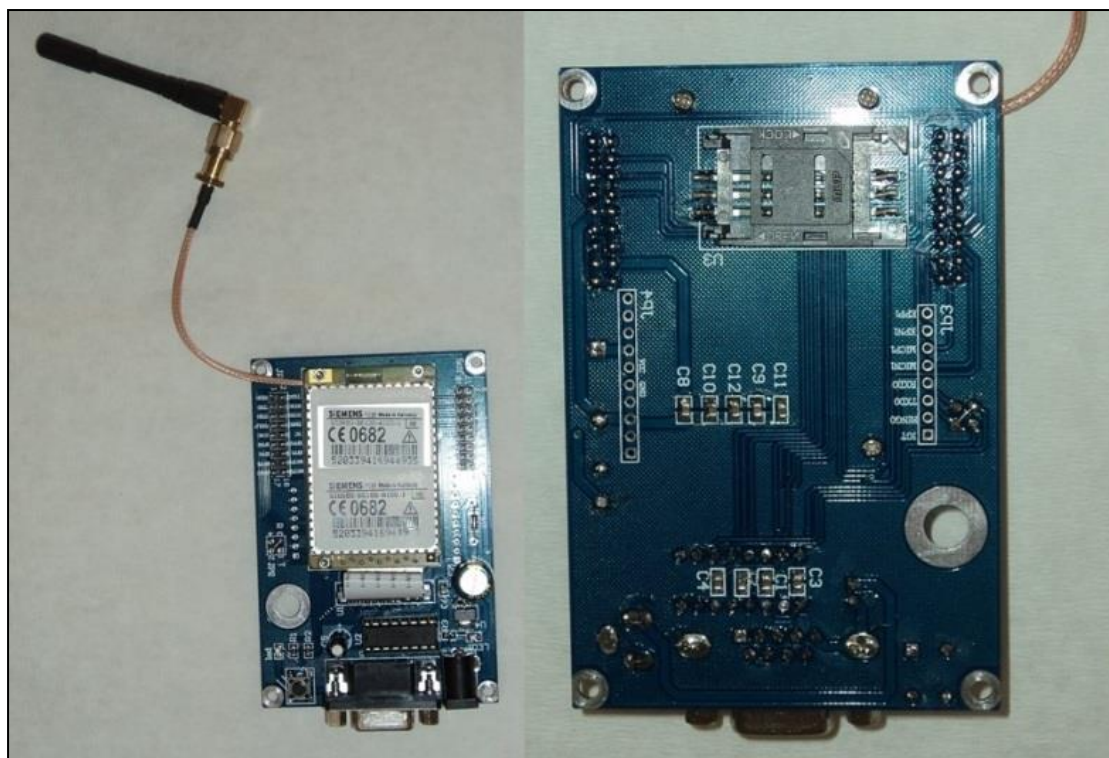
μεταδίδονται μηνύματα ταυτόχρονα σε πολλούς χρήστες μιας συγκεκριμένης περιοχής. Επίσης, παρέχει τη δυνατότητα χρήσης δύο διαφορετικών τρόπων αποστολής SMS, που είναι το Protocol Description Unit (PDU) και το Text.

Το TC35, στις κατηγορίες των GSM, περιγράφεται ως μικρός Σταθμός Κινητών (Mobile Station) καθώς τηρεί τα τρία βασικά κριτήρια των Τεχνικών Προδιαγραφών της EGSM900 (Technical Specification), η ενεργειακή του κλάση είναι 4, ζυγίζει 18g (<200g του κριτηρίου) και έχει όγκο 13.24 cm³ (<500 cm³ του κριτηρίου). Λειτουργεί σε θερμοκρασίες από -20°C έως +55°C και προγραμματίζεται μέσω των AT εντολών (Attention commands).

Όσο αναφορά την κατανάλωση, για τη ζώνη EGSM900, στην κατάσταση Talk χρειάζεται ρεύμα έντασης 300mA, ενώ σε peak φτάνει τα 1.8A. Στην κατάσταση Power Down, το ρεύμα που καταναλώνει είναι 50mA, ενώ σε κατάσταση αδράνειας (Idle) τα 10mA. Στην ζώνη GSM1800 αλλάζει η κατανάλωση στην κατάσταση Talk, στα 270mA.

Η αποστολή δεδομένων και εντολών στο TC35 πραγματοποιείται μέσω αμφίδρομου διαύλου σειριακής επικοινωνίας (RS232) και μέσω μιας ποικιλίας ρυθμών μετάδοσης. Η κεραία που υποστηρίζει είναι ομοαξονική των 50Ω και η κάρτα SIM των 3V.

Στην Εικόνα8. εικονίζεται και από τις δύο όψεις η πλακέτα Siemens και η κεραία.



Εικόνα 8. Πλακέτα TC35

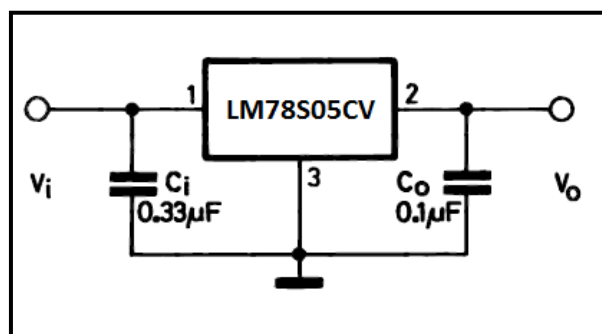
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί αναλυτικά η κατασκευή της πλακέτας ανά επίπεδο σχεδιασμού.

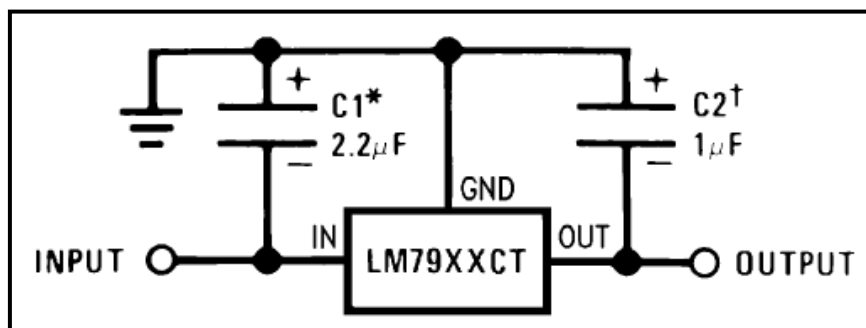
3.1.1 ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Σύμφωνα με το φυλλάδιο προδιαγραφών του θετικού σταθεροποιητή τάσης L78S05CV (Σχήμα 9.) για την ορθή λειτουργία του απαιτούνται δύο κεραμικοί πυκνωτές των 330nF και 100nF. Ο πυκνωτής των 330nF συνδέεται στην είσοδο και στην γη, ενώ ο πυκνωτής των 100nF στην έξοδο και τη γη. Οι πυκνωτές που χρησιμοποιήθηκαν είναι της τεχνολογίας Surface Mount (SMT) με αποτύπωμα (footprint) 0805, κεραμικοί και αντέχουν μέχρι 20V. Να σημειωθεί ότι μετά την έξοδο του σταθεροποιητή τοποθετείται η δίοδος IN4007, για την προστασία του κυκλώματος.

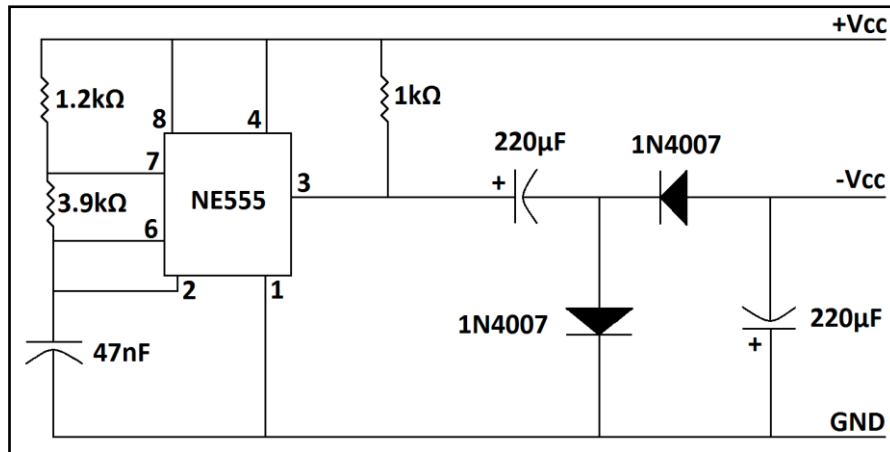


Σχήμα 9. Προτεινόμενο Κύκλωμα L78S05CV

Όμοια, ο αρνητικός σταθεροποιητής τάσης LM7905CT, χρειάζεται πυκνωτές τανταλίου 2.2µF και 1µF, στην είσοδο και στην έξοδο του, αντίστοιχα (Σχήμα 10.). Ωστόσο, σύμφωνα με το φυλλάδιο προδιαγραφών, οι πυκνωτές τανταλίου αντικαταστάθηκαν από ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές των 22µF. Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στην τεχνολογία Through Hole (THT).



Σχήμα 10. Προτεινόμενο Κύκλωμα LM7905CT

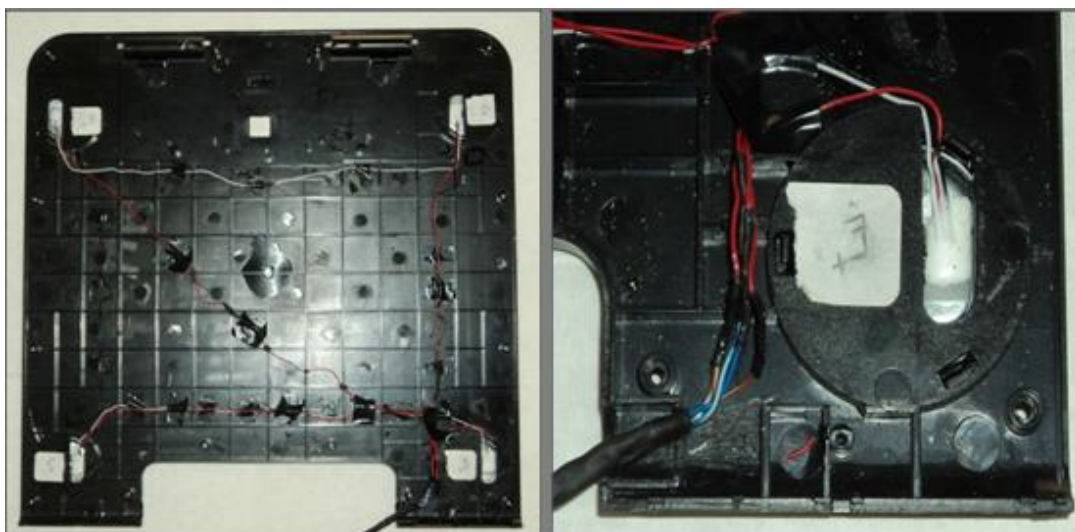


Σχήμα 11. Κύκλωμα Αναστροφής Πόλωσης

Στο Σχήμα 11. παρουσιάζεται το κύκλωμα αναστροφής πόλωσης, στο οποίο χρησιμοποιείται το χρονόμετρο ακριβείας NE555. Για την υλοποίηση του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκαν αντιστάσεις με ονομαστικές τιμές 1.2kΩ, 3.9kΩ και 1kΩ, της τεχνολογίας Surface Mound και με footprint 0603. Οι πυκνωτές που χρησιμοποιήθηκαν είναι των 220μF και 47nF. Οι πυκνωτές των 220μF είναι ηλεκτρολυτικοί και ανήκουν στην Through Hole Technology, ενώ ο πυκνωτής των 47nF είναι κεραμικός και SMD (Surface Mount Device) με footprint 0805. Οι δύο δίοδοι, που χρησιμοποιήθηκαν, είναι οι 1N4007 σε τεχνολογία Through Hole.

3.1.2 ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

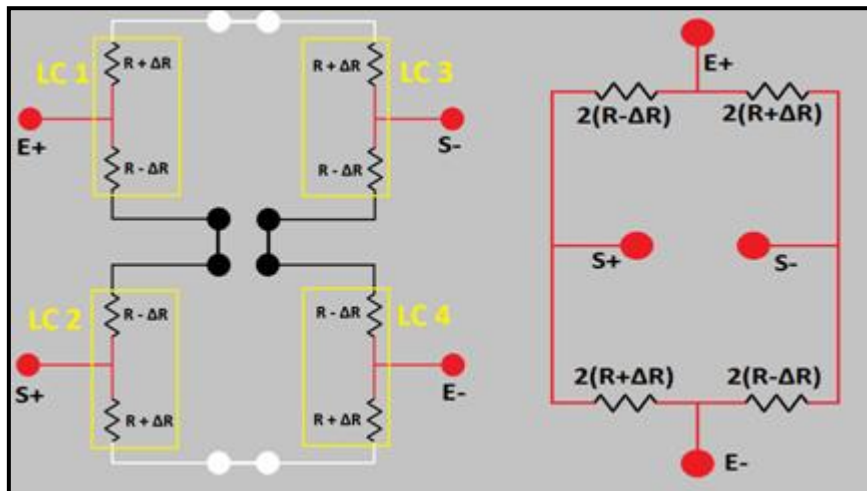
Η ζυγαριά PW 5570 FA περιέχει τέσσερις όμοιους αισθητήρες, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε ειδικές θήκες στις γωνίες της βάσης της (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Ζυγαριά PW 5570 FA

Οι αισθητήρες συνδέονται σε κύκλωμα γέφυρας Wheatstone, καθώς πλεονεκτεί ως προς τη σταθερότητα, το μηδαμινό σφάλμα γραμμικότητας, τη διόρθωση μη κεντραρισμένης

άσκησης πίεσης και θερμοκρασιακής επίδρασης. Αντικαθιστώντας τους αισθητήρες με το ισοδύναμο κύκλωμα τους (Σχήμα 4.) προκύπτει η διάταξη του Σχήματος 12. Η μέγιστη μετρούμενη μάζα της διάταξης είναι τα 150kg.



Σχήμα 12. Ισοδύναμο Κύκλωμα Συστήματος Αισθητήρων

Στο καλώδιο E+ εφαρμόζεται η θετική τάση, στο καλώδιο E- η γείωση, ενώ μεταξύ των καλωδίων S⁺ και S⁻ λαμβάνεται η μετρούμενη διαφορά τάσης, που αντιστοιχεί στην μάζα που εφαρμόστηκε στη διάταξη. Τα δύο σήματα και η τροφοδοσία οδηγούνται στην τελική πλακέτα, όπου επεξεργάζονται και τροφοδοτούνται, αντίστοιχα.

3.1.3. ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

Στο επίπεδο επεξεργασίας σήματος θα αναλυθεί το κύκλωμα ενίσχυσης και το κύκλωμα του μικροελεγκτή.

3.1.3.1. ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο ο ενισχυτής που χρησιμοποιήθηκε έχει εξίσωση:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + 2\frac{R_2}{R_G}\right)(V_{IN+} - V_{IN-})$$

Οδηγώντας το σήμα S⁺ στην είσοδο V_{IN+} και το σήμα S⁻ στην είσοδο V_{IN-}, πετυχαίνονται τρεις στόχοι ταυτόχρονα. Πρώτον, τα δύο σήματα αφαιρούνται και η έξοδος του ενισχυτή δίνει την τάση, που προκύπτει από την εφαρμογή μάζας στο σύστημα. Δεύτερον, με την αφαίρεση τους, η έξοδος απαλλάσσεται από τον κοινό θόρυβο των αρχικών σημάτων, και το σήμα παραμένει «καθαρό». Τρίτον, το τελικό «καθαρό» σήμα, ενισχύεται για να οδηγηθεί στην είσοδο του ADC του μικροελεγκτή, πετυχαίνοντας την ορθή ανάγνωση του. Η ορθή ανάγνωση πετυχαίνεται όταν το σήμα στη μέγιστη τιμή του καλύπτει όσο το

δυνατόν περισσότερο το εύρος αναφοράς του ADC καθώς και όταν η διακριτική ικανότητα του ADC διαχωρίζει ικανοποιητικά το σήμα σε μικρού εύρους τμήματα.

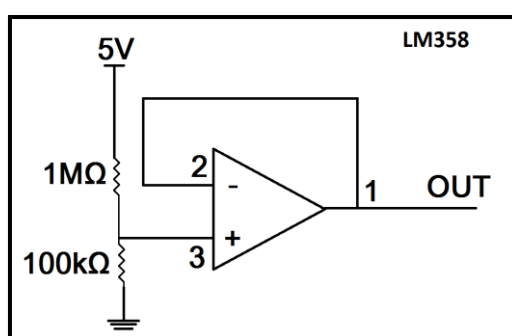
Στο φυλλάδιο προδιαγραφών του ενισχυτή (Παράρτημα Α)δίνεται η εξίσωση κέρδους:

$$G = 5 + \frac{200k\Omega}{R_G}$$

όπου R_G η αντίσταση που συνδέεται στα pins 1 και 8 του INA122. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε αντίσταση ονομαστικής τιμής 1.8kΩ (μετρούμενη 1.793kΩ) μορφής SMD και με footprint 0603.Επόμενως, η απολαβή τάσης είναι:

$$G = 5 + \frac{200k\Omega}{1.793k\Omega} \cong 116.54$$

Τέλος, στο pin 5 του INA122 συνδέεται η έξοδος του buffer LM358 (pin 1), η οποία διαμορφώνεται σύμφωνα με το παρακάτω κύκλωμα (Σχήμα 13):



Σχήμα 13. Κύκλωμα Buffer LM358

Στο pin 3 του LM358 από το διαιρέτη τάσης φτάνουν 0.455V. Καθώς, ο ενισχυτής είναι συνδεδεμένος για να παρέχει μοναδιαίο κέρδος (unity gain), στην έξοδο του δίνει και πάλι 0.455V. Οι αντιστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι των 1MΩ και 100kΩ, SMD και έχουν footprint 0603.

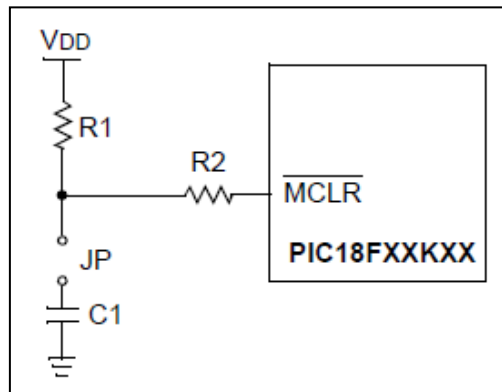
Η τάση, λοιπόν, που φτάνει στο pin 5 του INA122, προστίθεται στην τάση εξόδου του. Η χρησιμότητα της τάσης αναφοράς, όπως ονομάζεται, φαίνεται στην είσοδο του ADC, καθώς, εκεί διευκολύνει την διάκριση των μικρών σημάτων, αλλά και στην ίδια την επεξεργασία του σήματος καθώς απαλλάσσει το σήμα από τον θόρυβο.

3.1.3.2. ΚΥΚΛΩΜΑ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

Για την ανάλυση του σήματος χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής PIC18F25K80. Απαραίτητα στοιχεία για την ορθή λειτουργία του μικροελεγκτή είναι η χρήση πυκνωτών στα pins που υποδεικνύει το τεχνικό φυλλάδιο. Επομένως, στα pins 6 και 8 συνδέεται πυκνωτής 10μF για την σταθεροποίηση του εσωτερικού regulator του μικροελεγκτή, ενώ στα pins 19 και 20 συνδέεται πυκνωτής αποσύζευξης (decoupling capacitor) 0.1μF. Οι δύο πυκνωτές είναι κεραμικοί, SMD και έχουν footprint 0805.

Ο μικροελεγκτής παρέχει τη δυνατότητα προγραμματισμού του ενώ βρίσκεται πάνω στο κύκλωμα (in-circuit debugger-programmer), μέσω δύο σημάτων, του PGC/RB6 και PGD/RB7, pins 27 και 28, αντίστοιχα. Επίσης, χρησιμοποιούνται οι γραμμές τάσης, γείωσης και /MCLR (Master Clear)-pin1, το οποίο διαγράφει ολικά και επαναφέρει στις αρχικές

ρυθμίσεις (default) τον μικροελεγκτή (reset). Για το λόγο αυτό, προτείνεται από τον κατασκευαστή, όταν το /MCLR, χρησιμοποιείται στον in-circuit προγραμματισμό να ακολουθεί το κύκλωμα του Σχήματος 14 (FIGURE 2-2.):



Σχήμα 14. Προτεινόμενο Κύκλωμα /MCLR Μικροελεγκτή

Ο πυκνωτής προτείνεται για χειροκίνητο reset του μικροελεγκτή, γι αυτό στο κύκλωμα της εργασίας παραλείπεται. Όσο αναφορά τις αντιστάσεις, χρησιμοποιήθηκαν SMD με footprint 0603, και τιμές η R1 10kΩ ενώ η R2 100Ω.

Τα πέντε, λοιπόν, σήματα οδηγούνται σε μια ακιδοσειρά, με σειρά από τη θέση ένα προς τη θέση πέντε, /MCLR, τάση, γείωση, PGD, PGC, αντίστοιχα. Η σειρά ορίζεται από το ηλεκτρονικό στοιχείο που εκτελεί τον προγραμματισμό, το οποίο θα μελετηθεί στις εφαρμογές υλοποίησης.

Τα σήματα, που δέχεται ο ADC για να ψηφιοποιήσει, είναι στο pin 3/AN1 την τάση αναφοράς, στο pin 4/AN2 την έξοδο του ενισχυτή, δηλαδή τη μέτρηση, και στον pin 2/ANO τη γείωση.

Τέλος, τρία pins του μικροελεγκτή χρησιμοποιούνται για να επικοινωνεί και να ελέγχει το GSM. Η επικοινωνία πραγματοποιείται σειριακά μέσω της ESUART μονάδας, που χρησιμοποιεί το pin 17/RC6 ως πομπό-TX1 και το pin 18/RC7 ως δέκτη-RX1. Το pin 16/RC5 οδηγείται σε ειδικό pin του GSM, το οποίο ονομάζεται Ignition Line και θα παρουσιαστεί παρακάτω. Τα τρία αυτά σήματα μαζί με την τροφοδοσία (τάση και γείωση) συνδέονται σε ακιδοσειρά και μέσω καλωδίων φτάνουν στις ακιδοσειρές της πλακέτας Siemens.

3.1.4. ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

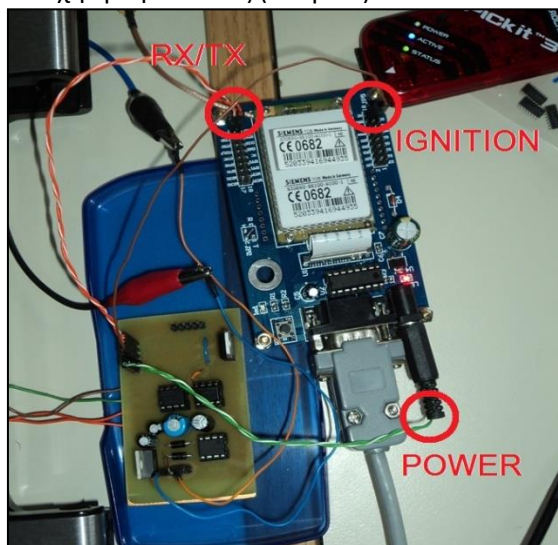
Οι διασυνδέσεις που απαιτούνται για να λειτουργήσει το GSM είναι απλές (Εικόνα 10.).

Για την σειριακή επικοινωνία συνδέονται το pin RX1 με το RXD0 του GSM, και το TX1 με το TXD0. Η σύνδεση γίνεται σύμφωνα με το φυλλάδιο του TC35, όπου σημειώνεται ότι λειτουργεί ως DCE (Data Communications Equipment). Πρόκειται, λοιπόν, για ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία, RS-232, με ακολουθία 8 bits δεδομένων, χωρίς parity bit και ένα bit τερματισμού (stop bit). Από το μεγάλο εύρος ρυθμών μετάδοσης, που υποστηρίζει το TC35, επιλέχθηκαν τα 9600bps.

Επίσης, το TC35, υποστηρίζει διάφορες καταστάσεις λειτουργίας. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν η TALK και η Power Down. Στην TALK η μονάδα βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία και μπορεί να στείλει και να λάβει δεδομένα, ενώ στην Power Down είναι απενεργοποιημένο το λογισμικό και απροσπέλαστη η RS-232. Ωστόσο, η Power Down είναι η κατάσταση χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας και η βασική κατάσταση λειτουργίας του TC35, στην εργασία. Επομένως, όταν απαιτείται η αποστολή της πληροφορίας, η ενεργοποίηση της κατάστασης TALK, γίνεται στέλνοντας έναν παλμό στο pin Ignition. Ο

παλμός έχει πλάτος 10ms HIGH-100ms LOW, και στέλνεται από το pin 16/RC5 του μικροελεγκτή.

Τέλος, η πλακέτα Siemens τροφοδοτείται με +5V από την κύρια πλακέτα, μέσω καλωδίου που συνδέεται στην υποδοχή τροφοδοσίας (adaptor).



Εικόνα 10. Διασυνδέσεις Πλακέτας TC35

3.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Στο υποκεφάλαιο των εφαρμογών υλοποίησης θα παρουσιαστούν κατά σειρά τα προγράμματα σχεδιασμού της πλακέτας, η εμφάνιση και συγκόλληση των εξαρτημάτων της, τα προγράμματα ανάπτυξης του λογισμικού και η συσκευή προγραμματισμού.

3.2.1. Multisim 11.0

Αρχικά το κύκλωμα σχεδιάστηκε στο Multisim 11.0 της National Instruments. Τα εξαρτήματα που υπήρχαν διαθέσιμα στο πρόγραμμα ήταν οι αντιστάσεις, οι πυκνωτές, οι δίοδοι, οι σταθεροποιητές, και ο ενισχυτής INA122. Ο NE555, ο ενισχυτής LM358 και ο μικροελεγκτής PIC18F25K80 σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα. Το τελικό κύκλωμα όπως σχεδιάστηκε στο Multisim 11.0 εμφανίζεται στο Σχήμα 15..

Κάθε εξάρτημα στις ιδιότητες του περιέχει την καρτέλα Value, εκεί δίνεται η δυνατότητα επιλογής του αποτυπώματος του (Edit Footprint). Στην περίπτωση που δεν υπάρχει εύκολα δημιουργείται στο πρόγραμμα Ultiboard 11.0 , το οποίο θα παρουσιαστεί αμέσως μετά. Για τις αντιστάσεις επιλέχθηκε το footprint Chip-R0805 , για τις διόδους τους DO-35 και για τους regulators το TO-220. Για τους SMD πυκνωτές το Chip-C1206, ενώ για τους THD το CAPR254-381X254X53. Ο ενισχυτής INA122 έχει footprint PDIP-8. Για τα στοιχεία NE555, LM358 και για τον PIC18F25K80 σχεδιάστηκαν τα footprints στο Ultiboard 11.0.

Τα καλώδια από τη τροφοδοσία, το GSM και το PICkit3 συνδέονται σε ακίδοσειρές με footprint HDR1x3, HDR1x5 και HDR1x5, αντίστοιχα. Τα σήματα από τη διάταξη των αισθητήρων συνδέονται σε pads, τα οποία σχεδιάστηκαν και αυτά στο Ultiboard 11.0.

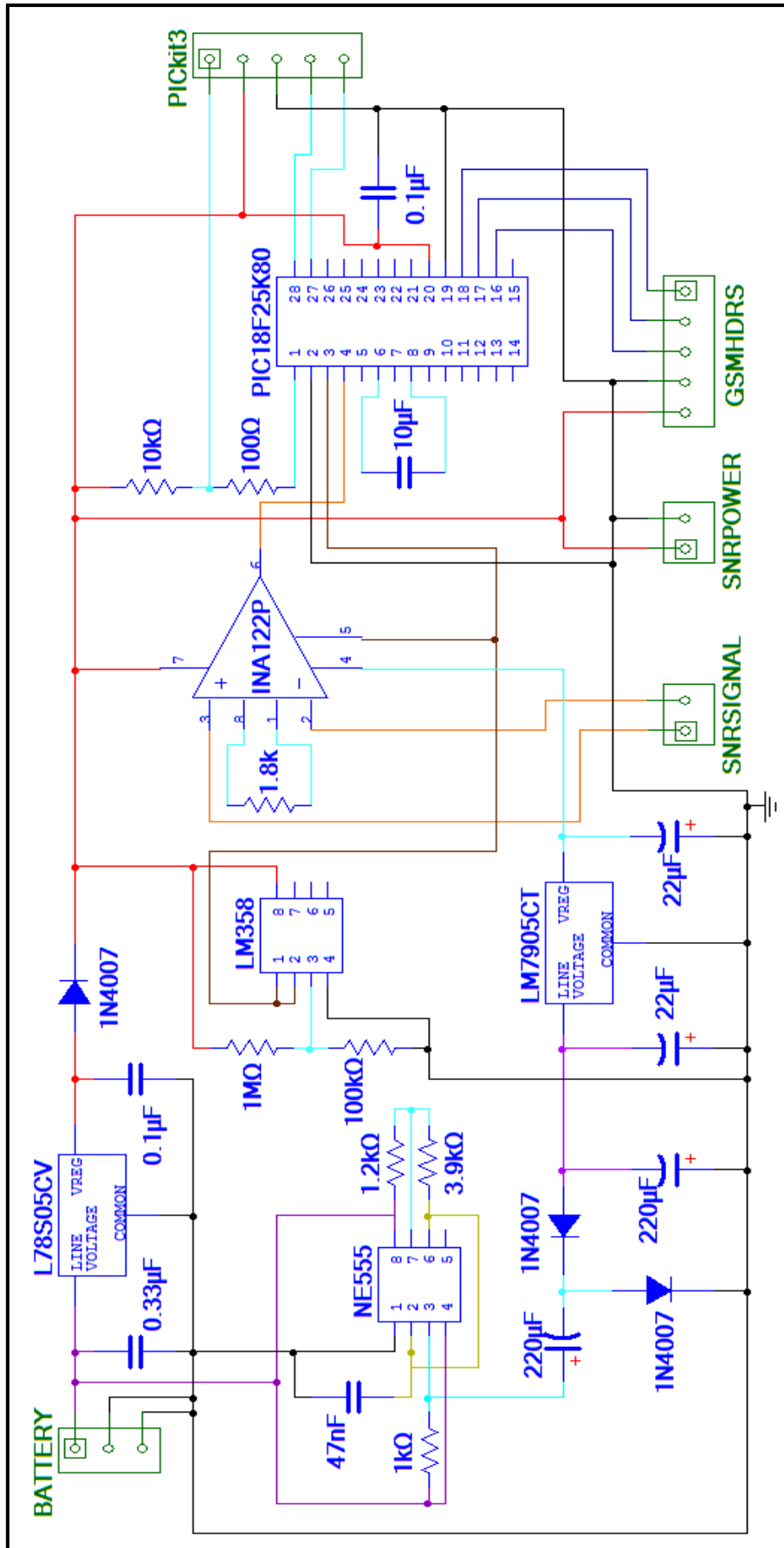
Με την τοποθέτηση των στοιχείων, την επιλογή footprints και την δημιουργία των συνδέσεων, το κύκλωμα είναι έτοιμο. Το επόμενο βήμα είναι η μεταφορά του στο Ultiboard, όπου και σχεδιάζεται η πλακέτα.

3.2.2. Ultiboard 11.0

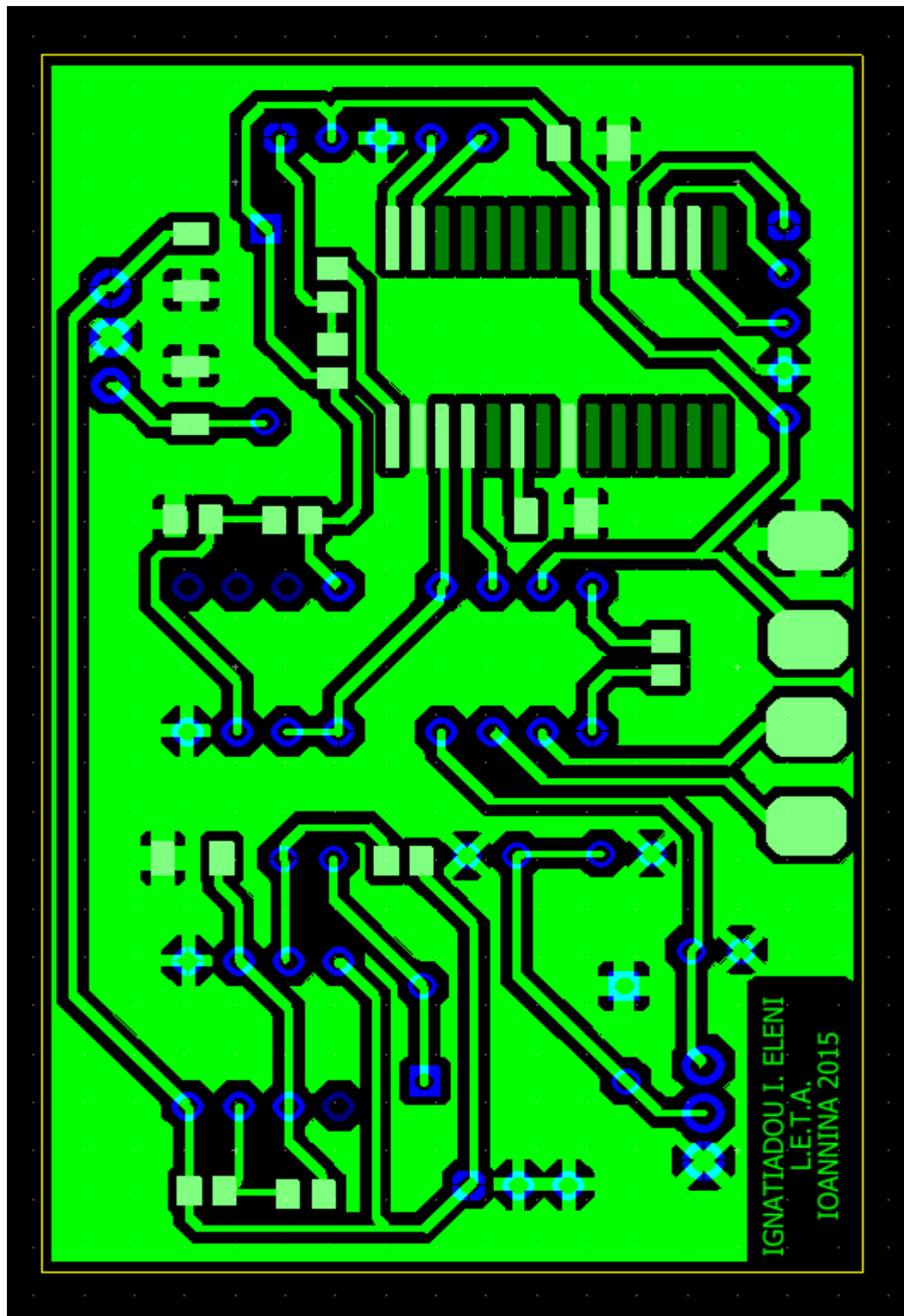
Η μεταφορά του κυκλώματος από το Multisim 11.0 στο Ultiboard 11.0 , έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του Net List, το οποίο υποδεικνύει τις συνδέσεις που απαιτούνται μεταξύ των εξαρτημάτων. Επομένως, η σχεδίαση της πλακέτας γίνεται με εύκολο τρόπο. Η πλακέτα στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκε στην Top μεριά και είναι μονής όψης.

Αρχικά, τακτοποιήθηκαν τα στοιχεία. Τα SMD παρέμειναν στην Top μεριά της πλακέτας , ενώ τα THD στην Bottom. Έπειτα, σχεδιάστηκαν, με χρήση του Copper Top, οι δρόμοι χαλκού (nets) με πλάτος (width) 21mil και διάκενο (clearance) 18mil. Με την ολοκλήρωση της σχεδίασης των δρόμων τοποθετείται το Power Plane, το οποίο συνδέθηκε με τη γείωση, για την καλύτερη μόνωση της πλακέτας.

Η τελική μορφή της πλακέτας φαίνεται στο Σχήμα 16..



Σχήμα 15. Τελικό Κύκλωμα Εργασίας Multisim 11.0



Σχήμα 16. Τελικό Κύκλωμα Πλακέτας Ultiboard 11.0

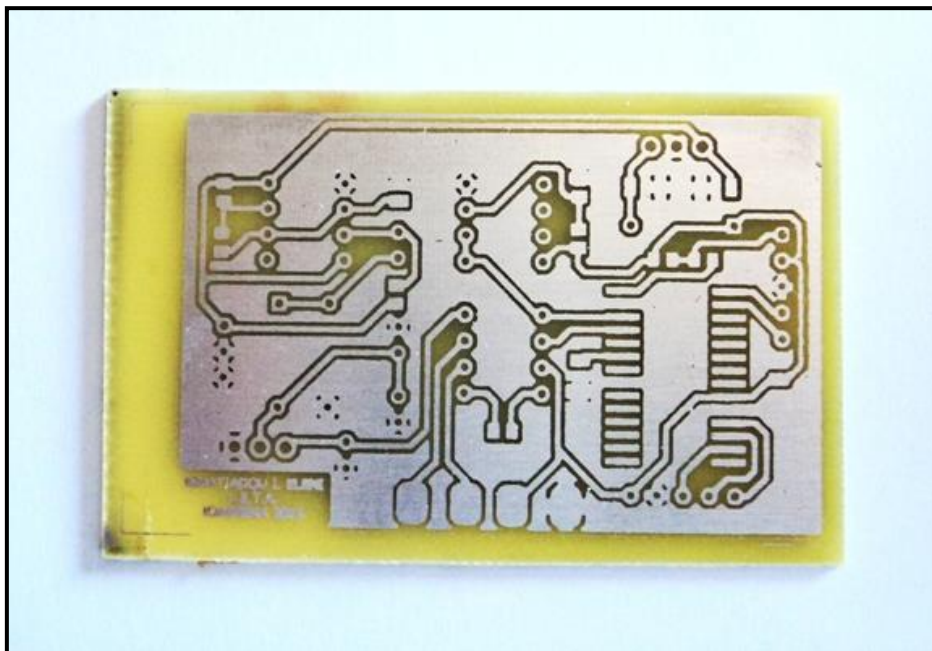
3.2.3. ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΚΑΙ ΚΟΛΛΗΣΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Η εμφάνιση του κυκλώματος έγινε σε φωτοευαίσθητη πλακέτα μονής όψης. Αρχικά, το κύκλωμα εκτυπώθηκε σε διαφάνεια από laser εκτυπωτή. Έπειτα, αφαιρέθηκε το προστατευτικό κάλυμμα από την πλακέτα και τοποθετήθηκε πάνω η διαφάνεια προσεκτικά, ώστε να μην υπάρχει κενό μεταξύ πλακέτας και διαφάνειας, για να μην δημιουργηθούν σκιές.

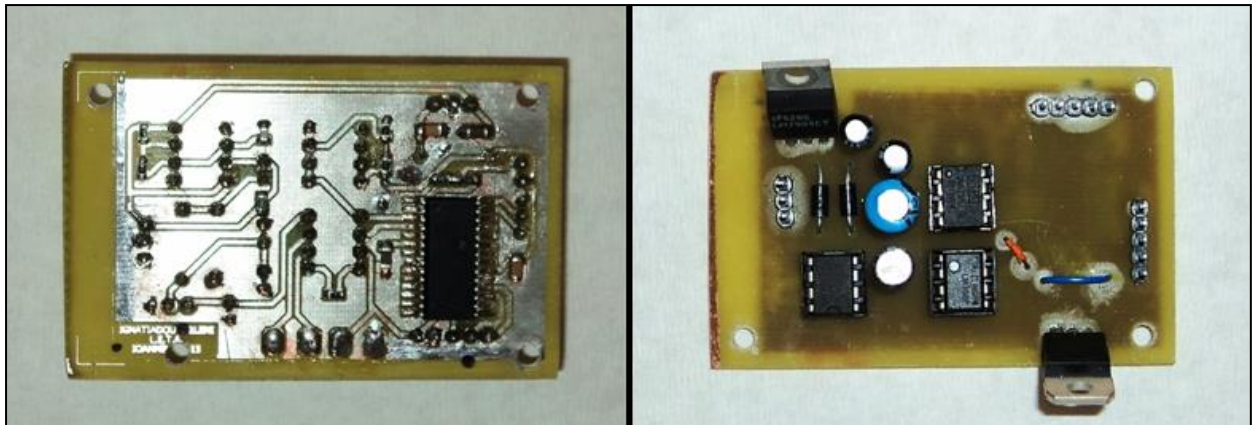
Η πλακέτα φωτοβολήθηκε για 2 λεπτά με λάμπες UV και μετά, αφού αφαιρέθηκε η διαφάνεια, βυθίστηκε σε υδατικό διάλυμα καυστικής σόδας για την εμφάνιση του κυκλώματος. Στην συνέχεια, αφού ξεπλύθηκε με νερό, τοποθετήθηκε σε διάλυμα ακουαφόρτε (κύριο συστατικό υδροχλωρικό οξύ) και περιντρόλ για την αποχάλκωση. Με την ολοκλήρωση της αποχάλκωσης, ξεπλύθηκε καλά με άφθονο νερό, φωτοβολήθηκε για 2 λεπτά και τοποθετήθηκε σε διάλυμα καυστικής σόδας και πάλι, για την αφαίρεση του υπόλοιπου φωτοευαίσθητου φιλμ. Τέλος, η πλακέτα βυθίστηκε σε διάλυμα κασσίτερου για την προστασία της πλακέτας από την οξείδωση.

Στο επόμενο στάδιο, η πλακέτα τρυπήθηκε και ξεκίνησε η συγκόλληση των εξαρτημάτων, πρώτα από τις SMD και μετά από τις THD.

Στην Εικόνα 11. φαίνεται η πλακέτα μετά την ολοκλήρωση της εμφάνισης και στην Εικόνα 12. η πάνω και κάτω όψη της, μετά την ολοκλήρωση της συγκόλλησης των εξαρτημάτων.



Εικόνα 11. Τελική Πλακέτα Μετά την Εμφάνιση



Εικόνα 12. Τελική Πλακέτα Ολοκληρωμένη

3.2.4. ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Η ολοκλήρωση της κατασκευής πραγματοποιείται με την σύνδεση όλων των στοιχείων.

Η ζυγαριά με τους τέσσερις αισθητήρες και το καπάκι συναρμολογούνται και τα καλώδια από τα σήματα και την τροφοδοσία οδηγούνται στο τελικό κουτί. Η τελική μορφή της ζυγαριάς φαίνεται στην Εικόνα 13..

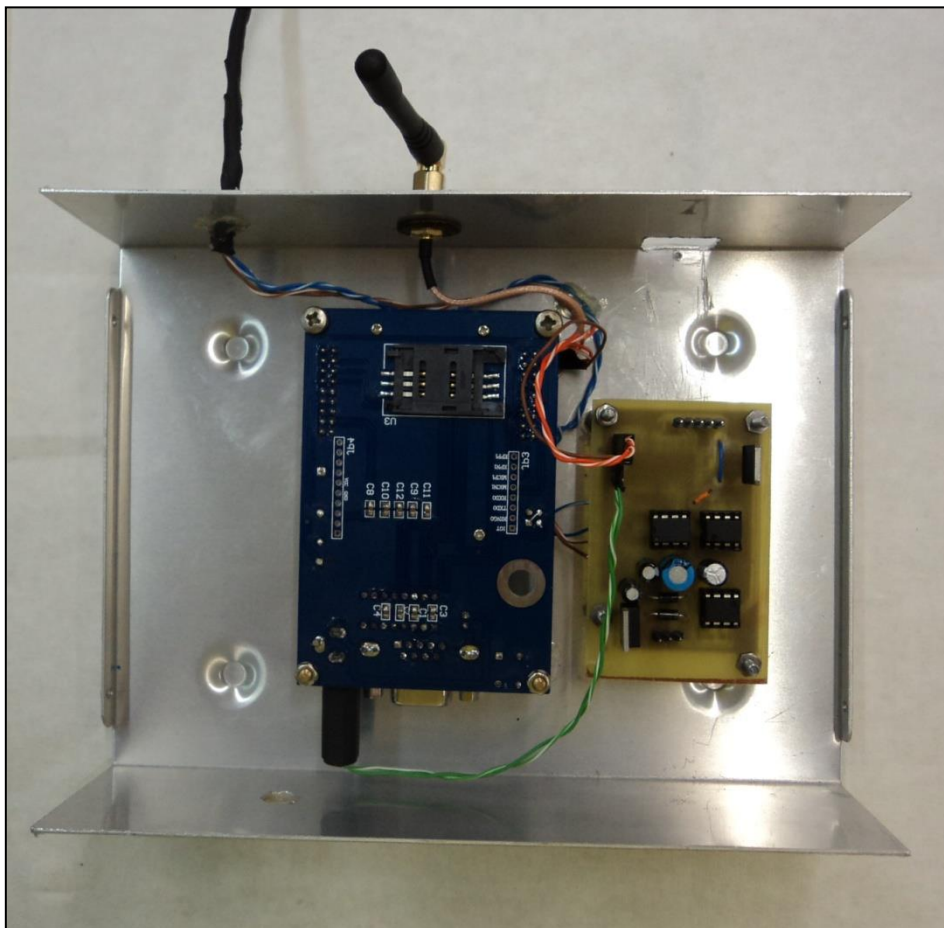


Εικόνα 13. Τελική Μορφή Συστήματος Αισθητήρων

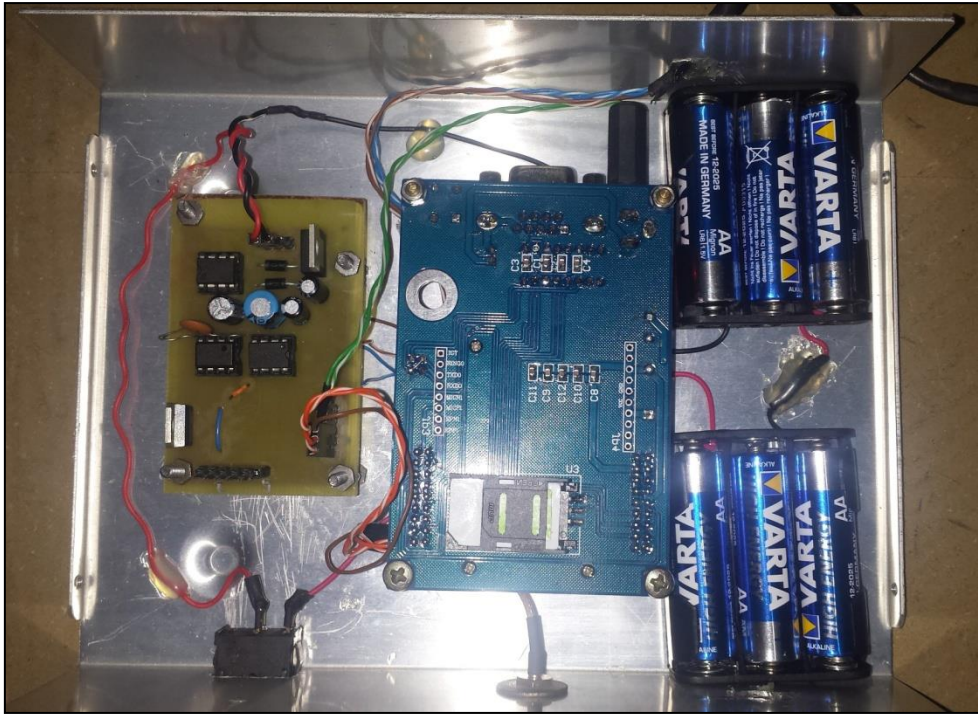
Στο τελικό κουτί βιδώνονται και κολλιούνται η πλακέτα με τον μικροελεγκτή, η πλακέτα με το TC35, η κεραία, οι θήκες των μπαταριών και ο διακόπτης. Οι Εικόνες 14. έως 17. δείχνουν την πορεία συναρμολόγησης του κουτιού.



Εικόνα 14. Τοποθέτηση Βιδών



Εικόνα 15. Τοποθέτηση Πλακέτας TC35 ,Κεραίας, Πλακέτας Μικροελεγκτή



Εικόνα 16. Τοποθέτηση Διακόπτη και Θηκών Μπαταρίας



Εικόνα 17. Τελική Κατασκευή

3.2.5. MPLAB IDE 8.92 - CCS v5.008 - PICkit3

Το MPLAB IDE 8.92 και ο compiler CCS v5.008 της Microchip χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του προγράμματος, την μεταγλώττιση και την αποσφαλμάτωση, ενώ ο PICkit3, της Microchip, για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή. Η γλώσσα γραφής του προγράμματος είναι η υψηλού επιπέδου C.

Προγραμματιστικά έγιναν οι ρυθμίσεις λειτουργίας του μικροελεγκτή και του GSM. Οι βασικές ρυθμίσεις αναφέρονται παρακάτω.

Αρχικά, επιλέχθηκε ο μικροελεγκτής να λειτουργεί με εσωτερικό κρύσταλλο και έπειτα επιλέχθηκε η συχνότητα λειτουργίας του στα 4MHz.

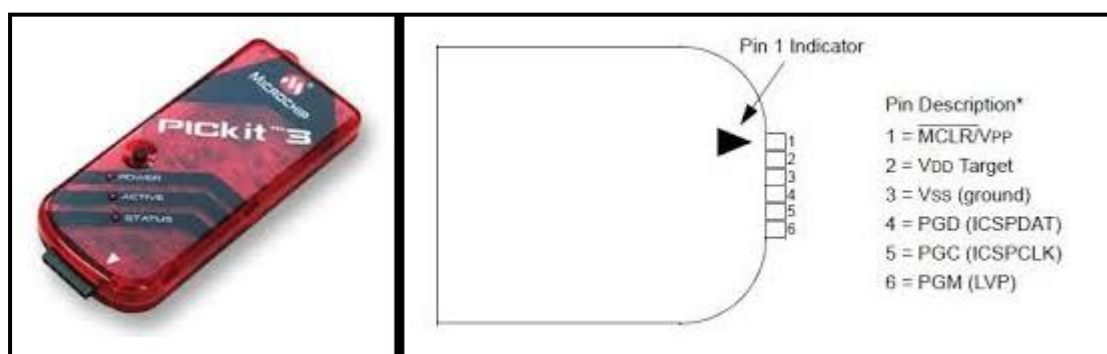
Όσο αναφορά τον ADC, δηλώθηκε η λειτουργία του με 12 bit, ορίστηκε η V_{ref+} στο V_{DD} και η V_{ref-} στο V_{SS} , σύμφωνα με το Errata για τον ADC των 12-bit (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α). Επίσης, δηλώθηκαν ότι οι ακροδέκτες 2,3 και 4 (AN0,AN1, AN2) του μικροελεγκτή λειτουργούν ως αναλογικές είσοδοι. Σύμφωνα με τον πίνακα 23-1 του φυλλαδίου προδιαγραφών, όταν χρησιμοποιείται ο εσωτερικός κρύσταλλος, η περίοδος T_{AD} είναι περίπου 4μs. Επομένως, ορίζεται ο Χρόνος Μετατροπής (Conversion Time), να είναι δεκαεξαπλάσιος της περιόδου T_{AD} , για να γίνεται σωστά η μετατροπή. Στην υποσημείωση (2), σημειώνεται πως για συχνότητα μεγαλύτερη του 1KHz, όταν χρησιμοποιείται ο εσωτερικός κρύσταλλος, πρέπει ο μικροελεγκτής να βρίσκεται στην κατάσταση sleep για να γίνει η μετατροπή χωρίς λάθη, άρα στο πρόγραμμα που αναπτύχθηκε (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β), ακολουθείται η διαδικασία.

Για την σειριακή επικοινωνία ορίστηκε ο ρυθμός μετάδοσης στα 9600 bps, ο αριθμός των bits 8, χωρίς Parity bit και ότι το κανάλι PIN_C6 (ακροδέκτης 17) λειτουργεί ως αποστολέας, ενώ το PIN_C7 (ακροδέκτης 18) λειτουργεί ως δέκτης.

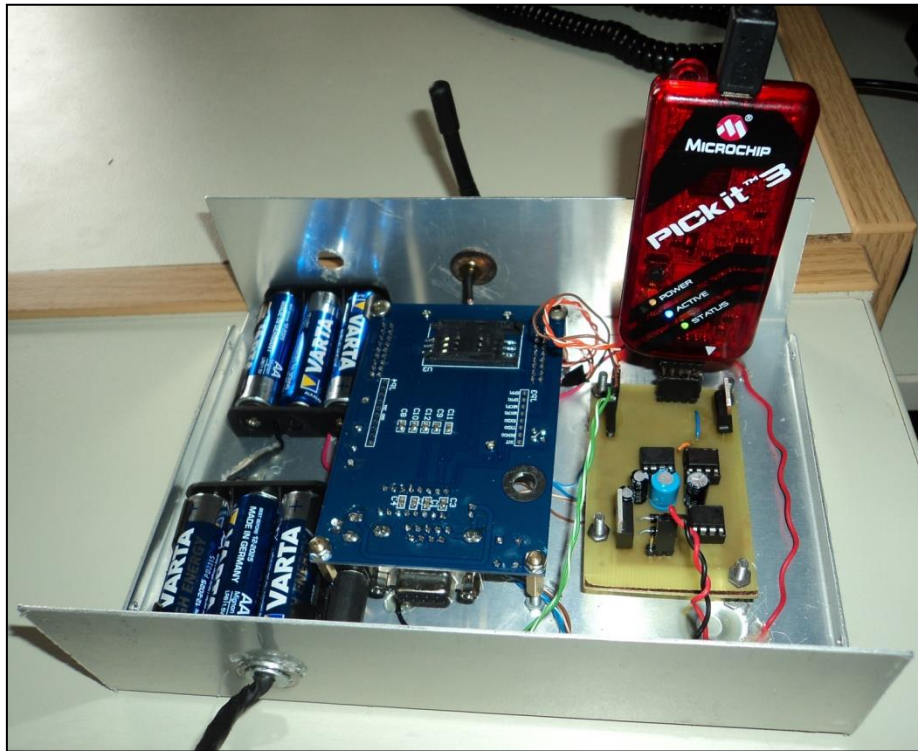
Όσον αναφορά στην κατάσταση λειτουργίας του μικροελεγκτή, αυτή ελέγχεται προγραμματιστικά μέσω του WDT. Επιλέχθηκε η συσκευή να αποστέλλει δυο μηνύματα ημερησίως και την υπόλοιπη ώρα να βρίσκεται στην κατάσταση sleep, δηλαδή η απόκτηση και η αποστολή της μέτρησης γίνεται ανά δώδεκα ώρες. Η περίοδος του WDT είναι 4ms, η οποία πολλαπλασιάζεται με την τιμή 1048576 του postscaler, και δίνει 4194.304s, δηλαδή περίπου μία ώρα. Δηλαδή, ο WDT μετρά περίπου μία ώρα αλλάζει την κατάσταση λειτουργίας του μικροελεγκτή σε run και τη δωδέκατη φορά ενεργοποιείται η διαδικασία απόκτησης και αποστολής της μέτρησης .

Η παρουσίαση και ανάλυση του προγράμματος γίνεται στο Παράρτημα Β.

Αναλυτικά, για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.1.3.2, ο PICkit 3 χρησιμοποιεί τα σήματα /MCLR, PGC (Program Clock) και PGD (Program Data) καθώς και τις γραμμές τάσης και γείωσης. Στην Εικόνα 18. φαίνεται ο PICkit3 και η σειρά των σημάτων στις υποδοχές του. Διευκρινίζεται πως το σήμα PGM, που χρησιμοποιείται για χαμηλής τάσης προγραμματισμό, δεν συνδέεται. Η σύνδεση του PICkit 3 με τον υπολογιστή γίνεται μέσω θύρας USB, όπως φαίνεται στην Εικόνα 19., η οποία αποτελεί αναπαράσταση προγραμματισμού του μικροελεγκτή.



Εικόνα 18. PICkit 3



Εικόνα 19. Αναπαράσταση Προγραμματισμού Μικροελεγκτή μέσω του PICkit 3

4.ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ $V=f(m)$

Στο Στάδιο 1 της παρούσας εργασίας η δύναμη της εφαρμοζόμενης μάζας μετατρέπεται μέσω των αισθητήρων σε ηλεκτρικό σήμα (τάση). Ο στόχος της εργασίας είναι η αποστολή μέσω SMS της τιμής της εφαρμοζόμενης μάζας και για να επιτευχθεί θα πρέπει να βρεθεί μια σχέση που να συνδέει την τάση εξόδου του συστήματος των αισθητήρων ($V_{IN+} - V_{IN-}$) με την εφαρμοζόμενη μάζα (m).

Επομένως, στο σύστημα των αισθητήρων εφαρμόστηκαν μάζες με γνωστή τιμή (m) και μετρήθηκε η εξερχόμενη τάση του συστήματος ($V = V_{IN+} - V_{IN-}$). Οι μάζες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πρότυπα μαζών των 0.100 kg, 0.200 kg, 0.500 kg και 1.000kg και αντικείμενα, η μάζα των οποίων μετρήθηκε με την ζυγαριά PW 5644 FA (Εικόνα 20.).



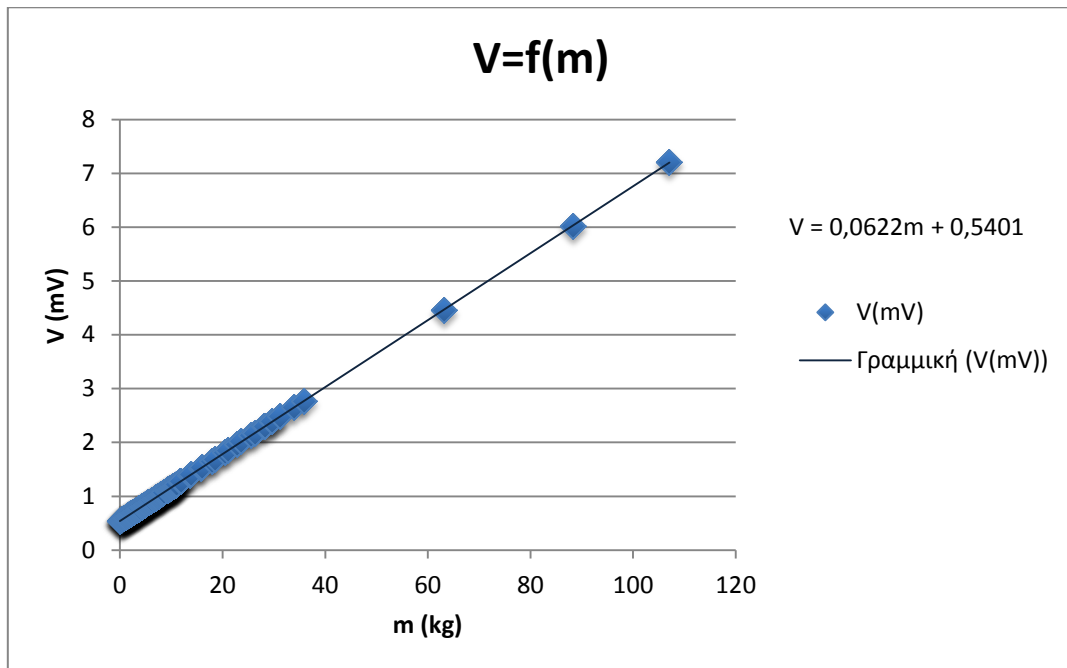
Εικόνα 20. Ζυγαριά PW 5644 FA

Η σειρά των μετρήσεων παρουσιάζεται στον Πίνακα7..

Η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε στο Excel της Microsoft , όπου και σχεδιάστηκε η καμπύλη. Στην καμπύλη προστέθηκε η γραμμή τάσης και εμφανίστηκε η εξίσωση του γραφήματος. Στο Σχήμα 17., λοιπόν, εμφανίζεται η γραφική παράσταση της τάσης εξόδου του συστήματος των αισθητήρων συναρτήσει της εφαρμοζόμενης μάζας. Η καμπύλη, όπως φαίνεται, είναι γραμμική και η εξίσωση που συνδέει τα δύο μεγέθη είναι:

$$V = 0.0622 * m + 0.5401$$

όπου η τάση V μετράται σε mV και η μάζα σε kg.



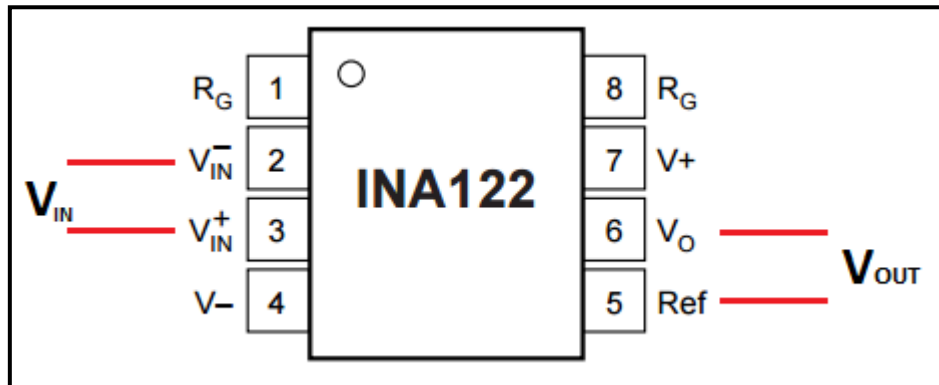
Σχήμα 17. Γραφική Παράσταση $V = f(m)$

m (kg)	V (mV)	m(kg)	V (mV)	m(kg)	V (mV)	m(kg)	V (mV)	m(kg)	V (mV)
0	0,545	3,007	0,728	6,741	0,955	10,246	1,173	63,2	4,454
0,100	0,551	3,107	0,732	6,841	0,961	10,346	1,179	88,3	6,02
0,200	0,557	3,207	0,738	6,941	0,968	10,446	1,187	107,1	7,207
0,300	0,562	3,307	0,745	7,041	0,974	10,546	1,192		
0,400	0,569	3,407	0,751	7,141	0,982	10,646	1,199		
0,500	0,576	3,507	0,757	7,241	0,988	10,746	1,205		
0,600	0,582	3,607	0,765	7,341	0,994	10,846	1,21		
0,700	0,587	3,707	0,77	7,441	0,999	10,946	1,217		
0,800	0,594	3,807	0,777	7,541	1,007	11,046	1,223		
0,900	0,600	3,907	0,782	7,641	1,013	11,8	1,276		
1,00	0,605	4,269	0,803	7,741	1,021	11,9	1,285		
1,100	0,611	4,369	0,81	7,841	1,025	13,7	1,395		
1,200	0,617	4,469	0,816	7,941	1,032	13,807	1,403		
1,300	0,624	4,569	0,822	8,041	1,038	15,807	1,522		
1,400	0,629	4,669	0,829	8,141	1,045	16,069	1,544		
1,500	0,636	4,769	0,835	8,241	1,05	17,969	1,661		
1,600	0,641	4,869	0,841	8,341	1,058	18,541	1,696		
1,700	0,649	4,969	0,847	8,441	1,063	20,441	1,815		
1,800	0,654	5,069	0,854	8,541	1,070	21,046	1,857		
1,900	0,661	5,169	0,859	8,641	1,076	22,846	1,97		
2,007	0,67	5,269	0,867	9,246	1,111	23,659	2,015		
2,107	0,674	5,369	0,872	9,346	1,117	25,559	2,134		
2,207	0,678	5,469	0,88	9,446	1,124	26,275	2,176		
2,307	0,683	5,569	0,885	9,546	1,129	28,175	2,296		
2,407	0,691	5,669	0,889	9,646	1,136	28,225	2,302		
2,507	0,697	5,769	0,896	9,746	1,143	29,625	2,387		
2,607	0,707	5,869	0,902	9,846	1,148	29,688	2,392		
2,707	0,711	5,969	0,909	9,946	1,154	31,288	2,492		
2,807	0,714	6,069	0,916	10,046	1,160	33,924	2,656		
2,907	0,722	6,169	0,922	10,146	1,166	35,824	2,776		

Πίνακας 7. Μετρήσεις Μάζας-Τάσης Εξόδου Συστήματος Αισθητήρων

4.2. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ $V_{out} = f(V_{IN})$

Στο στάδιο δύο της εργασίας, η έξοδος του συστήματος των αισθητήρων οδηγείται στον ενισχυτή. Προκειμένου να ελεγχθεί η σταθερότητα της ενίσχυσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μεταξύ της διαφορικής τάσης εισόδου του ενισχυτή ($V_{IN+} - V_{IN-} = V_{IN}$) και της τάσης εξόδου του ($V_{out} = V_O - V_{ref}$).



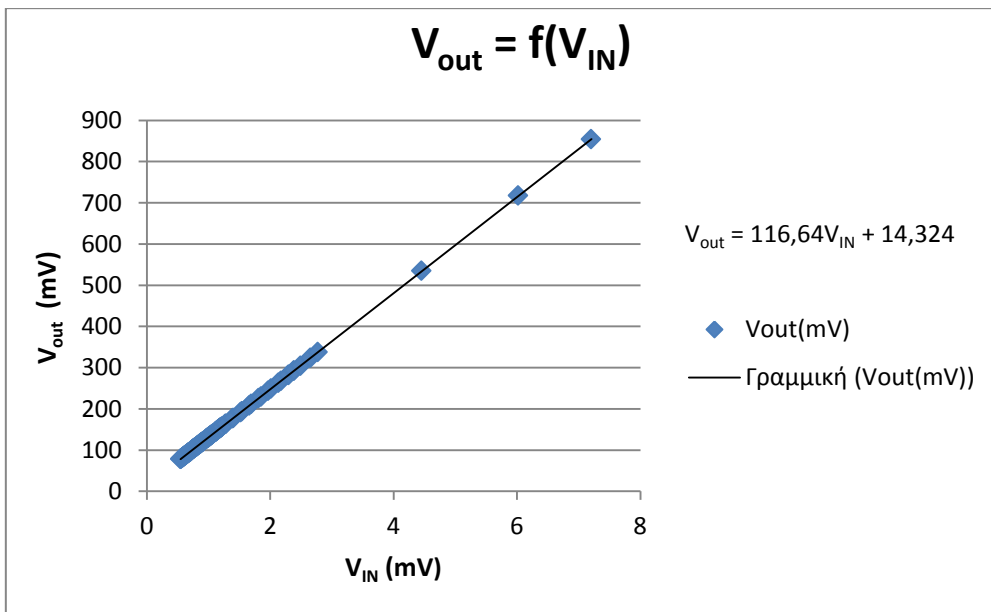
Εικόνα 21. Μέτρηση Τάσης Εισόδου και Εξόδου Ενισχυτή

Η διαφορική τάση εισόδου του ενισχυτή προκύπτει από την εφαρμογή μάζας στο σύστημα των αισθητήρων. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 8. και η γραφική παράσταση στο Σχήμα 18., όπως προκύπτει από το πρόγραμμα Excel της Microsoft. Εμφανώς, η σχέση που συνδέει τα δύο μεγέθη (V_{IN}, V_{out}) είναι γραμμική και είναι η εξής:

$$V_{out} = 116.64 * V_{IN} + 14.324$$

όπου η V_{IN} και η V_{out} μετρούνται σε mV.

Όπως φαίνεται, λοιπόν, το κέρδος του ενισχυτή είναι 116.64, το οποίο αποκλίνει ελάχιστα από τη θεωρητική τιμή των 116.54. Ωστόσο, υπάρχει ένα σφάλμα στην μέτρηση της τάξης των 14.324 mV, το οποίο δεν μπορεί να αγνοηθεί. Καθώς, η τάση που οδηγείται στον ADC του μικροελεγκτή είναι η V_{out} , θα αφαιρείται προγραμματιστικά το σφάλμα ώστε να διορθώνεται η μέτρηση σύμφωνα με την καμπύλη της ενίσχυσης (βλ. Παράρτημα Β).



Σχήμα 18. Γραφική Παράσταση $V_{OUT} = f(V_{IN})$

V _{IN} (mV)	V _{out} (mV)	V _{IN} (mV)	V _{out} (mV)	V _{IN} (mV)	V _{out} (mV)	V _{IN} (mV)	V _{out} (mV)	V _{IN} (mV)	V _{out} (mV)
0,545	78,1	0,728	99,3	0,955	126,0	1,173	151,3	4,454	535,0
0,551	78,8	0,732	100,0	0,961	126,5	1,179	151,8	6,020	717,5
0,557	79,3	0,738	100,6	0,968	127,3	1,187	152,7	7,207	854,5
0,562	79,9	0,745	101,5	0,974	128,0	1,192	153,4		
0,569	80,9	0,751	102,2	0,982	128,6	1,199	154,1		
0,576	81,4	0,757	103,0	0,988	129,5	1,205	154,9		
0,582	82,1	0,765	103,6	0,994	130,3	1,210	155,3		
0,587	82,9	0,770	104,4	0,999	130,9	1,217	156,3		
0,594	83,5	0,777	105,1	1,007	131,5	1,223	157,0		
0,600	84,0	0,782	105,6	1,013	132,6	1,276	163,1		
0,605	85,0	0,803	108,2	1,021	133,2	1,285	163,9		
0,611	85,7	0,81	108,8	1,025	133,8	1,395	177,0		
0,617	86,4	0,816	109,7	1,032	134,7	1,403	177,9		
0,624	86,9	0,822	110,4	1,038	135,4	1,522	191,8		
0,629	87,8	0,829	111,3	1,045	136,1	1,544	194,2		
0,636	88,5	0,835	111,7	1,05	136,9	1,661	207,9		
0,641	89,1	0,841	112,5	1,058	137,6	1,696	212,1		
0,649	89,9	0,847	113,2	1,063	138,3	1,815	225,8		
0,654	90,5	0,854	113,9	1,070	139,0	1,857	230,1		
0,661	91,3	0,859	114,7	1,076	139,7	1,97	244,0		
0,670	92,0	0,867	115,4	1,111	143,9	2,015	249,0		
0,674	93,0	0,872	116,0	1,117	144,6	2,134	263,0		
0,678	93,5	0,880	116,9	1,124	145,4	2,176	268,1		
0,683	94,2	0,885	117,6	1,129	146,2	2,296	282,0		
0,691	95,0	0,889	118,1	1,136	146,9	2,302	282,4		
0,697	95,5	0,896	119,1	1,143	147,6	2,387	292,5		
0,707	96,5	0,902	119,8	1,148	148,4	2,392	293,0		
0,711	97,2	0,909	120,3	1,154	149,0	2,492	304,6		
0,714	97,8	0,916	121,0	1,160	149,8	2,656	323,8		
0,722	98,6	0,922	122,0	1,166	150,5	2,776	337,8		

Πίνακας 8. Μετρήσεις Τάσεις Εισόδου Εισοχητή- Τάσεις Εξόδου Εισοχητή

4.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Σκοπός της εργασίας είναι η αποστολή της τιμής της μάζας, η οποία είναι τοποθετημένη πάνω στο σύστημα των αισθητήρων (ζυγαριά), μέσω της υπηρεσίας SMS, δύο φορές την ημέρα (ανά δώδεκα ώρες). Προκειμένου να ληφθούν οι μετρήσεις, το πρόγραμμα του μικροελεγκτή προσαρμόστηκε ώστε η διαδικασία μέτρησης και αποστολής SMS, να επαναλαμβάνεται ανά τριάντα λεπτά περίπου.

Επίσης, μαζί με την μετρούμενη συνολική μάζα αποστέλλεται μια μεταβλητή, με την ονομασία διαφορά, ο οποία αντιστοιχεί στην επιπλέον μάζα που προστέθηκε στο σύστημα από την τελευταία μέτρηση.

Οι μετρήσεις ξεκινούν με μηδενική αρχική μάζα και έπειτα προστίθενται μάζες οι οποίες είτε έχουν ζυγιστεί στην ζυγαριά PW 5644 FA (Εικόνα 20.) είτε αποτελούν πρότυπα μαζών.

Στον Πίνακα 9., η συνολική μάζα του συστήματος δίνεται στη στήλη Συνολική, η μάζα που προστίθεται κάθε φορά στο σύστημα δίνεται από τη μεταβλητή Προστιθέμενη, οι τιμές που λαμβάνονται με SMS δίνονται στην στήλη Μέτρηση και Διαφορά, αντίστοιχα. Να σημειωθεί πως μετά την προσθήκη των 0,200 kg και την ολοκλήρωση της μέτρησης, η μάζα αφαιρείται από τη διάταξη και η νέα μάζα προστίθεται στην προηγούμενη των 0,200kg τιμή. Μία σειρά από εικόνες παρουσιάζει τη πορεία του πειράματος.

Στον Πίνακα 10. παρουσιάζονται οι διαφορές των μαζών που στέλνονται με SMS και αυτών που τοποθετούνται πάνω στο σύστημα των αισθητήρων, ώστε να παρουσιαστεί η απόκλιση των τιμών.

Το αρνητικό πρόσημο στον Πίνακα 9. δηλώνει την αφαίρεση μάζας από το σύστημα των αισθητήρων, ενώ στον Πίνακα 10. καθώς έχουμε διαφορές μεγεθών, παίρνουμε την απόλυτη τιμή.

Εφαρμοζόμενη Μάζα (kg)		Μάζα SMS (kg)	
Συνολική	Προστιθέμενη	Μέτρηση (kg)	Διαφορά (kg)
0,00	0,00	0,27	-0,16
9,60	9,60	9,86	9,59
19,20	9,60	19,62	9,75
19,20	0,00	19,79	0,16
19,40	0,20	19,96	0,16
19,40	0,00	19,96	0,00
28,10	8,70	28,71	8,74
28,10	0,00	28,71	0,00
28,30	0,20	28,54	-0,16
37,80	9,70	38,64	10,09

Πίνακας 9. Μετρήσεις Πειράματος

Μέτρηση - Συνολική Μ. (kg)	Διαφορά - Προστιθέμενη Μ. (kg)
0,27	0,16
0,26	0,01
0,42	0,15
0,59	0,16
0,56	0,04
0,56	0,00
0,61	0,04
0,61	0,00
0,24	0,36
0,84	0,39

Πίνακας 10. Απόκλιση Μαζών

Κατά την διάρκεια του πειράματος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ζύγισης μαζών, συνολικής και προστιθέμενης, καθώς και επαναληπτικές μετρήσεις, με την ίδια μάζα στο σύστημα, για να μελετηθεί το κατά πόσο ορθά λειτουργεί η κατασκευή.

Όσο αναφορά, τη μέτρηση της ολικής μάζας που είναι τοποθετημένη πάνω στη ζυγαριά, παρατηρείται ένα εύρος στο σφάλμα της μέτρησης, το οποίο ξεκινάει από 0.27kg έως 0.84kg (Πίνακας 10. - Στήλη: |Μέτρηση - Συνολική Μ. | (kg)). Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο μικρή είναι η μάζα προς ζύγιση τόσο πιο μικρό είναι το σφάλμα της μέτρησης, δηλαδή το σφάλμα αυξάνει με την αύξηση της μάζας. Ωστόσο, υπάρχει η μέτρηση των 28.30kg, όπου το σφάλμα είναι εμφανώς σχετικά μικρό (0.24kg), αλλά προέρχεται από υποτιθέμενη αφαίρεση μάζας από το σύστημα, οπότε και δικαιολογείται. Σε γενικές γραμμές το σφάλμα του συστήματος ακολουθεί ανοδική πορεία.

Οι τρεις επαναληπτικές μετρήσεις έγιναν στα 19.20 kg, 19.40 kg και 28.10 kg, με τις δύο τελευταίες να παρουσιάζουν άριστα αποτελέσματα επαναληψιμότητας. Αναλυτικά, στην επαναληπτική μέτρηση των 19.20 kg, η διαδικασία έδειξε στην επανάληψη πως προστέθηκαν 0.16 kg, και οδήγησε σε συνολικό σφάλμα μέτρησης 0.59 kg. Αντίθετα, στην μέτρηση των 19.40 kg και των 28.10 kg, η επαναληπτική μέτρηση έδειξε την ίδια συνολική Μέτρηση, 19.96 kg και 28.71kg, αντίστοιχα, και μηδενική Διαφορά (0.00 kg), διατηρώντας το σφάλμα της μέτρησης στα 0.56 kg και 0.61 kg, αντιστοίχως.

Όσο αναφορά την Στήλη: Διαφορά του Πίνακα 9., η οποία αποδίδει την μάζα που προστέθηκε στη διάταξη, παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το εύρος του σφάλματος ξεκινά από 0.00 kg έως 0.39 kg (Πίνακας 10. – Στήλη: |Διαφορά - Προστιθέμενη Μ. | (kg)), τα οποία κατά κύριο λόγο βρίσκονται κάτω από 0,16 kg.

Οι παρακάτω Εικόνες (21. έως και 23.) ελήφθησαν κατά τη διάρκεια του πειράματος.



Εικόνα 22. Ζύγιση Μαζών

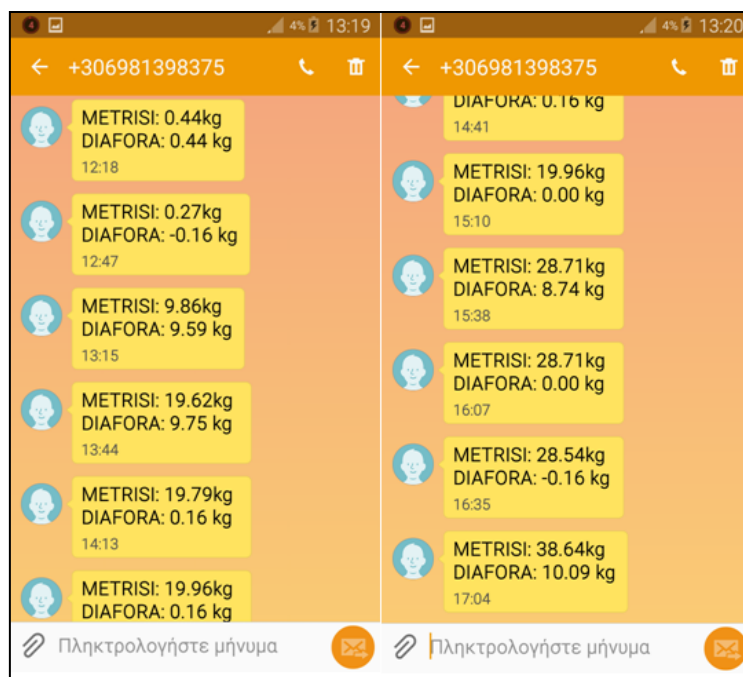


Εικόνα 23. Τοποθέτηση 18.40 kg



Εικόνα 24. Τοποθέτηση 28.10 kg

Τα μηνύματα που ελήφθησαν παρουσιάζονται στην Εικόνα 24. Να σημειωθεί πως το πείραμα ξεκίνησε με μηδενική μάζα στη ζυγαριά, η οποία όμως δεν βρισκόταν σε ηρεμία κατά την αποστολή του πρώτου μηνύματος και καθώς απαιτείται χρόνος για να επανέλθουν οι αισθητήρες (creep), η πρώτη μέτρηση των 0,44kg, απορρίφθηκε. Επομένως, η διαφορά -0.16kg της πραγματικά πρώτης μέτρησης οφείλεται σε αυτή τη λανθασμένη μέτρηση.



Εικόνα 25. Ληφθέντα Μηνύματα

4.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, οι μετρήσεις της ολικής μάζας του συστήματος (Στήλη: Μέτρηση) εμφανίζουν μεγάλο και αυξανόμενο σφάλμα. Οι λόγοι ύπαρξης των σφαλμάτων ποικίλουν και παρακάτω παρουσιάζονται κάποιοι από αυτούς.

Καταρχάς, για τον υπολογισμό της καμπύλης των αισθητήρων, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των μαζών προγραμματιστικά, έγιναν μετρήσεις με μάζες, οι οποίες ζυγίστηκαν σε ηλεκτρονική ζυγαριά, η οποία προσδίδει σφάλμα στη μέτρηση της τάξης των 0.100kg. Επομένως, ένα πρώτο σφάλμα στον υπολογισμό της συνολικής μάζας του συστήματος οφείλεται στις καμπύλες βαθμονόμησης.

Η σύγκριση των τιμών της Στήλης Μέτρησης γίνεται με μάζες οι οποίες μετρήθηκαν και αυτές στη ηλεκτρονική ζυγαριά, και δεν αποτελούν πρότυπα. Επομένως, υπάρχει το ενδεχόμενο, η μάζα των αντικειμένων που μετρούνται να αποκλίνει από την πραγματική τιμή κατά 0.100 kg. Άρα, υπάρχει σφάλμα στη μέτρηση της μάζας των αντικειμένων που έλαβαν μέρος στο πείραμα.

Μελετώντας τη Στήλη: Διαφορά, η οποία προκύπτει από αφαίρεση δύο συνεχόμενων μετρήσεων της διάταξης, και παρατηρώντας πως το εύρος σφαλμάτων της είναι μικρό, οδηγείται κάποιος στο συμπέρασμα πως η απόκλιση των τιμών στη συνολική μέτρηση της μάζας οφείλεται σε συστηματικό σφάλμα, το οποίο αφαιρείται κατά τον υπολογισμό της διαφοράς. Δηλαδή, στη διάταξη υπάρχει ένα σφάλμα που προστίθεται σε κάθε μέτρηση.

Η έκθεση της κατασκευής σε θόρυβο είναι ένας παράγοντας ύπαρξης λαθών στις μετρήσεις. Παρότι, χρησιμοποιήθηκε μεταλλικό κουτί για την θωράκιση των ηλεκτρονικών στοιχείων, φαίνεται πως δεν ήταν αρκετό. Η διαχείριση σημάτων μικρού πλάτους είναι δύσκολη και απαιτεί άριστη θωράκιση του συστήματος από το θόρυβο. Καθώς, ο θόρυβος είναι συγκρίσιμος με το σήμα, υπάρχει κίνδυνος σύγχυσης της πραγματικής μέτρησης, ιδιαίτερα όταν το σήμα ενισχύεται. Μολονότι, το σήμα προς μέτρηση είναι διαφορετικό, και άρα όποιος κοινός θόρυβος αφαιρείται, στην είσοδο του μικροελεγκτή οδηγείται ένα σήμα, η ενισχυμένη διαφορά, που είναι εκτεθειμένη στο θόρυβο.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

5.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η κατασκευή μιας ηλεκτρονικής ζυγαριάς, της οποίας η μέτρηση θα λαμβανόταν εξ αποστάσεως. Ο σκοπός επιτεύχθηκε, καθώς δημιουργήθηκε ένα σύστημα αποτελούμενο από αισθητήρες, μικροελεγκτή και μονάδα σύνδεσης στο δίκτυο κινητής, τα οποία μετρούν, επεξεργάζονται και αποστέλλουν τα δεδομένα στο κινητό τηλέφωνο του χρήστη, μέσω της υπηρεσίας SMS. Επίσης, η συνολική κατασκευή χαρακτηρίζεται οικονομική ως προς το κόστος κατασκευής της αλλά και ως προς τον τρόπο αποστολής της πληροφορίας. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές βελτιώσεις που θα μπορούσαν να γίνουν, ώστε να αυξηθεί η ακρίβεια των μετρήσεων και η εμπιστοσύνη στην τιμή της μέτρησης.

5.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

Όπως κάθε διάταξη, με τον ίδιο τρόπο και η παρούσα, προσφέρει περιθώρια βελτίωσης.

1. Αλλαγή Κυκλώματος Ενίσχυσης

Η επιλογή διαφορετικού ενισχυτή, ο οποίος θα λειτουργούσε σε χαμηλότερη και μη συμμετρική (dual) τάση, θα είχε ως αποτέλεσμα την χρήση λιγότερων ηλεκτρονικών στοιχείων (π.χ. κύκλωμα αναστροφής πόλωσης) και επομένως χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

2. Επιλογή Διαφορετικής Μονάδας GSM

Η παρούσα μονάδα GSM, παρέχει στοιχεία τα οποία δεν χρησιμοποιούνται από την κατασκευή, όπως η θύρα σειριακής επικοινωνίας D9 και οι περισσότερες ακίδες πρόσβασης στα pins. Επομένως, η επιλογή διαφορετικής μονάδας οδηγεί στην ελάττωση του όγκου της πλακέτας. Ακόμη, η πλακέτα Siemens TC35 τροφοδοτείται με 5V DC, η οποία θα μπορούσε να αντικατασταθεί με μία μονάδα, όπου οι απαιτήσεις στην τροφοδοσία θα ήταν χαμηλότερες.

3. Αλλαγή Κυκλώματος Τροφοδοσίας

Επιλέγοντας διαφορετικό κύκλωμα ενίσχυσης και άλλη μονάδα GSM, θα πρέπει να αλλάξει και το κύκλωμα τροφοδοσίας. Ωστόσο, ήδη η χρήση των 9V ως τάση τροφοδοσίας είναι αρκετά μεγάλη και οι μπαταρίες, που έχουν χρησιμοποιηθεί, αποτελούν ακόμη ένα πρόβλημα στην διάταξη, καθώς προσδίδουν όγκο.

4. Απευθείας Κόλληση Στοιχείων Στη Πλακέτα

Καθώς η πλακέτα ήταν δοκιμαστική, η τοποθέτηση των ηλεκτρονικών στοιχείων έγινε σε θήκες. Οι θήκες προσδίδουν θόρυβο στην πλακέτα και δεν συνεισφέρουν στη σωστή λειτουργία των ηλεκτρονικών στοιχείων. Για το λόγο αυτό είναι προτιμότερο να αποφευχθεί η χρήση τους.

5. Βελτίωση Θωράκισης Κατασκευής

Για την διασύνδεση των στοιχείων της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν απλά καλώδια τα οποία δεν προσέφεραν προστασία του σήματος από τον θόρυβο, όπως και το μεταλλικό κουτί. Επομένως, προτείνεται η χρήση θωρακισμένων καλωδίων για την οδήγηση των σημάτων και χρήση κουτιού, που να παρέχει στεγάνωση και θωράκιση.

5.3. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η εξέλιξη της τεχνολογίας οδήγησε στην απόκτηση και επεξεργασία των δεδομένων με ψηφιακό τρόπο, ο οποίος είναι περισσότερο άμεσος και εύκολος στη διαχείριση. Επίσης, η ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών έδωσε τη δυνατότητα στο χρήστη να μπορεί να αποκτή, να επεξεργάζεται και διαχειρίζεται τα δεδομένα εξ αποστάσεως. Οι δύο παράγοντες μαζί οδήγησαν στην δημιουργία συστημάτων, τα οποία λειτουργούν αυτόνομα, συλλέγουν πληροφορίες και τις αποστέλλουν στο χρήστη όσο μακριά και αν βρίσκεται, με το πάτημα ενός κουμπιού.

Σκοπός της εργασίας ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος ζύγισης που παρέχει τη δυνατότητα τηλεμέτρησης, ικανοποιώντας τα παραπάνω. Το σύστημα ζύγισης μετρά την ολική μάζα, που εφαρμόζεται στο σύστημα, υπολογίζει την προστιθέμενη μάζα, σύμφωνα με την τελευταία μέτρηση, και αποστέλλει τα αποτελέσματα μέσω της υπηρεσίας SMS. Το σύστημα που αναπτύχθηκε αποτελείται από αισθητήρες δύναμης, μικροελεγκτή PIC και μονάδα GSM.

Βέβαια, το σύστημα λειτουργεί αποδοτικά για μάζες μεγαλύτερες των δέκα κιλών, καθώς οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ανοχή μέχρι τα 50 kg. Διαφορετικά, ο χρήστης πρέπει να καταφύγει σε άλλες λύσεις.

Το σύστημα μπορεί να αποτελέσει τμήμα μιας γενικότερης εφαρμογής, καθώς οι περισσότερες εισοδοί/έξοδοι του μικροελεγκτή δεν χρησιμοποιήθηκαν. Επομένως, μπορεί να καλύπτει και άλλες μετρήσεις, μέσω αισθητήρων, όπως θερμοκρασίας, πίεσης, υγρασίας κ.α. .

Κατά την ανάπτυξη του συστήματος αποκτήθηκε αρκετή γνώση σε θέματα μικροελεγκτών PIC, όπως προγραμματισμός σε γλώσσα C, μελέτη περιφερειακών μονάδων του μικροελεγκτή, όπως ADC και EUSART κ.α.. Επίσης, μελετήθηκαν οι τελεστικοί ενισχυτές, θέματα ενέργειας και πρωτοκόλλου GSM. Τέλος, αποκτήθηκε μια πρώτη εμπειρία στη κατασκευή πλακετών PCB καθώς και στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΤΕΧΝΙΚΑ ΦΥΛΛΑΔΙΑ

1. L78S05CV



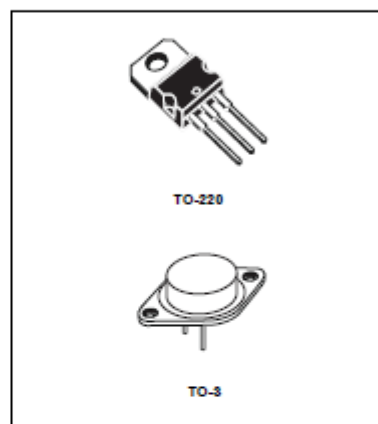
**L78S00
SERIES**

2A POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

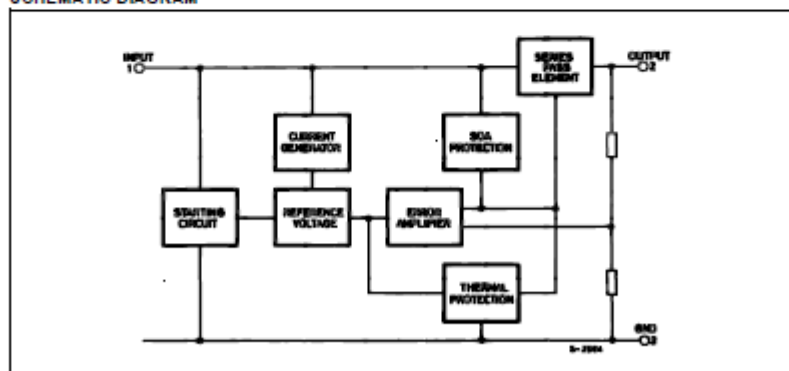
- OUTPUT CURRENT TO 2A
- OUTPUT VOLTAGES OF 5; 7.5; 9; 10; 12; 15; 18; 24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

DESCRIPTION

The L78S00 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220 and TO-3 packages and with several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 2A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter ²	Value	Unit
V _I	DC Input Voltage	for V _O = 5 to 18 V	V
		for V _O = 24 V	
I _O	Output Current	Internally Limited	
P _{tot}	Power Dissipation	Internally Limited	
T _{stg}	Storage Temperature Range	-65 to 150	°C
T _{op}	Operating Junction Temperature Range	for L78S00	°C
		for L78S00C	

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

L78S00 SERIES

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF L78S05 (refer to the test circuits, T_J = 25°C, V_I = 10 V, I_O = 500 mA, unless otherwise specified).

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _O	Output Voltage		4.8	5	5.2	V
V _O	Output Voltage	I _O = 1 A V _I = 7 V	4.75	5	5.25	V
ΔV _O	Line Regulation	V _I = 7 to 25 V			100	mV
		V _I = 8 to 25 V			50	
ΔV _O	Load Regulation	I _O = 20 mA to 2 A			100	mV
I _d	Quiescent Current				8	mA
ΔI _d	Quiescent Current Change	I _O = 20 mA to 1 A			0.5	mA
		I _O = 20 mA V _I = 7 to 25 V			1.3	
ΔV _O /ΔT	Output Voltage Drift	I _O = 5 mA T _J = -55 to 150°C		-1.1		mV/°C
eN	Output Noise Voltage	B = 10 Hz to 100 KHz		40		μV
SVR	Supply Voltage Rejection	f = 120Hz	60			dB
V _I	Dropout Voltage	I _O ≤ 1 A	8			V
R _O	Output Resistance	f = 1 KHz		17		mΩ
I _{sc}	Short Circuit Current	V _I = 27 V		500		mA
I _{scp}	Short Circuit Peak Current			3		A

Το πλήρες τεχνικό φυλλάδιο βρίσκεται στη διεύθυνση:

<http://www.farnell.com/datasheets/76145.pdf>

1. Timer NE555



NA555, NE555, SA555, SE555

SLF80221—SEPTEMBER 1973—REVISED SEPTEMBER 2014

xx555 Precision Timers

1 Features

- Timing From Microseconds to Hours
- Astable or Monostable Operation
- Adjustable Duty Cycle
- TTL-Compatible Output Can Sink or Source Up to 200 mA
- On Products Compliant to MIL-PRF-38535, All Parameters Are Tested Unless Otherwise Noted. On All Other Products, Production Processing Does Not Necessarily Include Testing of All Parameters.

2 Applications

- Fingerprint Biometrics
- Iris Biometrics
- RFID Reader

3 Description

These devices are precision timing circuits capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time-delay or mono-stable mode of operation, the timed interval is controlled by a single external resistor and capacitor network. In the a-stable mode of operation, the frequency and duty cycle can be controlled independently with two external resistors and a single external capacitor.

The threshold and trigger levels normally are two-thirds and one-third, respectively, of V_{CC} . These levels can be altered by use of the control-voltage terminal. When the trigger input falls below the trigger level, the flip-flop is set, and the output goes high. If the trigger input is above the trigger level and the threshold input is above the threshold level, the flip-flop is reset and the output is low. The reset (RESET) input can override all other inputs and can be used to initiate a new timing cycle. When RESET goes low, the flip-flop is reset, and the output goes low. When the output is low, a low-impedance path is provided between discharge (DISCH) and ground.

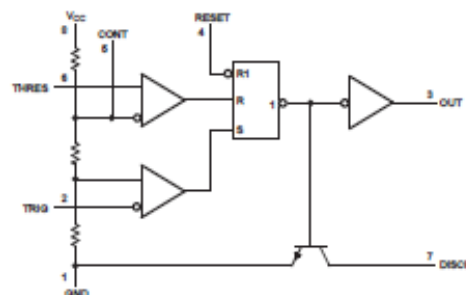
The output circuit is capable of sinking or sourcing current up to 200 mA. Operation is specified for supplies of 5 V to 15 V. With a 5-V supply, output levels are compatible with TTL inputs.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
xx555	PDIP (8)	9.81 mm X 6.35 mm
	SOP (8)	6.20 mm X 5.30 mm
	TSSOP (8)	3.00 mm X 4.40 mm
	SOIC (8)	4.90 mm X 3.91 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

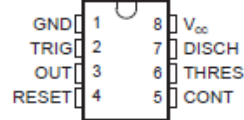
4 Simplified Schematic



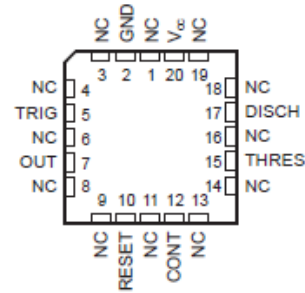
An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

6 Pin Configuration and Functions

NA555...D OR P PACKAGE
NE555...D, P, PS, OR PW PACKAGE
SA555...D OR P PACKAGE
SE555...D, JG, OR P PACKAGE
(TOP VIEW)



SE555...FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

Pin Functions

NAME	PIN		I/O	DESCRIPTION
	D, P, PS, PW, JG	FK		
	NO.			
CONT	5	12	I/O	Controls comparator thresholds, Outputs 2/3 VCC, allows bypass capacitor connection
DISCH	7	17	O	Open collector output to discharge timing capacitor
GND	1	2	–	Ground
NC		1, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 16, 18, 19	–	No internal connection
OUT	3	7	O	High current timer output signal
RESET	4	10	I	Active low reset input forces output and discharge low.
THRES	6	15	I	End of timing input. THRES > CONT sets output low and discharge low
TRIG	2	5	I	Start of timing input. TRIG < 1/2 CONT sets output high and discharge open
V _{CC}	8	20	–	Input supply voltage, 4.5 V to 16 V. (SE555 maximum is 18 V)

7.1 Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply voltage ⁽²⁾		18	V
V _I	Input voltage		V _{CC}	V
I _O	Output current		±225	mA
θ _{JA}	Package thermal impedance ⁽³⁾⁽⁴⁾	D package	97	°C/W
		P package	85	
		PS package	95	
		PW package	149	
θ _{JC}	Package thermal impedance ⁽⁵⁾⁽⁶⁾	FK package	5.61	°C/W
		JG package	14.5	
T _J	Operating virtual junction temperature		150	°C
	Case temperature for 60 s		260	°C
	Lead temperature 1,6 mm (1/16 in) from case for 60 s		300	°C

7.4 Electrical Characteristics

$V_{CC} = 5\text{ V to }15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE555			NA555 NE555 SA555			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
THRES voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$	9.4	10	10.6	8.8	10	11.2	V	
	$V_{CC} = 5\text{ V}$	2.7	3.3	4	2.4	3.3	4.2		
THRES current ⁽¹⁾			30	250		30	250	nA	
TRIG voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	4.5	5	5.6	V
			3		6				
	$V_{CC} = 5\text{ V}$		1.45	1.67	1.9	1.1	1.67	2.2	
TRIG current	TRIG at 0 V	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.5	0.9		0.5	2	μA
RESET voltage level	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.3	0.7	1	0.3	0.7	1	V
					1.1				
RESET current	RESET at V_{CC}		0.1	0.4		0.1	0.4	mA	
	RESET at 0 V		-0.4	-1		-0.4	-1.5		
DISCH switch off-state current			20	100		20	100	nA	
DISCH switch on-state voltage	$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_O = 8\text{ mA}$					0.15	0.4	V	
CONT voltage (open circuit)	$V_{CC} = 15\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	9.6	10	10.4	9	10	11	V
			9.6		10.4				
	$V_{CC} = 5\text{ V}$		2.9	3.3	3.8	2.6	3.3	4	
Low-level output voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 10\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.1	0.15		0.1	0.25	V
					0.2				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 50\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.4	0.5		0.4	0.75	
					1				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 100\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		2	2.2		2	2.5	
					2.7				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 200\text{ mA}$		2.5			2.5			
	$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 3.5\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			0.35				
			0.1	0.2		0.1	0.35		
$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 5\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			0.8					
$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 8\text{ mA}$			0.15	0.25		0.15	0.4		
High-level output voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OH} = -100\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	13	13.3		12.75	13.3	V	
			12						
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OH} = -200\text{ mA}$		12.5			12.5			
$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OH} = -100\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		3	3.3		2.75	3.3		
			2						
Supply current	Output low, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$		10	12		10	15	mA
		$V_{CC} = 5\text{ V}$		3	5		3	6	
	Output high, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$		9	10		9	13	
		$V_{CC} = 5\text{ V}$		2	4		2	5	

(1) This parameter influences the maximum value of the timing resistors R_A and R_B in the circuit of Figure 12. For example, when $V_{CC} = 5\text{ V}$, the maximum value is $R = R_A + R_B \approx 3.4\text{ M}\Omega$, and for $V_{CC} = 15\text{ V}$, the maximum value is $10\text{ M}\Omega$.

Το πλήρες τεχνικό φυλλάδιο βρίσκεται στη διεύθυνση:

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf>

2. LM7905CT



LM7905, LM7912, LM7915

www.ti.com

SN06BQ7C – JUNE 1999 – REVISED MAY 2013

LM79XX Series 3-Terminal Negative Regulators

Check for Samples: LM7906, LM7912, LM7915

FEATURES

- Thermal, Short Circuit and Safe Area Protection
- High Ripple Rejection
- 1.5A Output Current
- 4% Tolerance on Preset Output Voltage

DESCRIPTION

The LM79XX series of 3-terminal regulators is available with fixed output voltages of $-5V$, $-12V$, and $-15V$. These devices need only one external component—a compensation capacitor at the output. The LM79XX series is packaged in the TO-220 power package and is capable of supplying 1.5A of output current.

These regulators employ internal current limiting safe area protection and thermal shutdown for protection against virtually all overload conditions.

Low ground pin current of the LM79XX series allows output voltage to be easily boosted above the preset value with a resistor divider. The low quiescent current drain of these devices with a specified maximum change with line and load ensures good regulation in the voltage boosted mode.

For applications requiring other voltages, see LM137 datasheet.

Connection Diagram

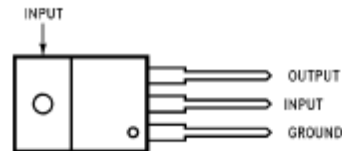
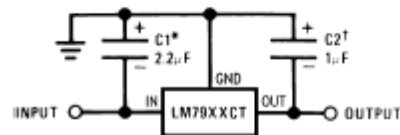


Figure 1. TO-220 Package Front View
See Package Number NDE0003B

Typical Applications



*Required if regulator is separated from filter capacitor by more than 3". For value given, capacitor must be solid tantalum. 25µF aluminum electrolytic may be substituted.

†Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. 25µF aluminum electrolytic may be substituted. Values given may be increased without limit.

For output capacitance in excess of 100µF, a high current diode from input to output (1N4001, etc.) will protect the regulator from momentary input shorts.

Figure 2. Fixed Regulator



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet. All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 1999–2013, Texas Instruments Incorporated

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

Input Voltage	
($V_O = -5V$)	-25V
($V_O = -12V$ and $-15V$)	-35V
Input-Output Differential	
($V_O = -5V$)	25V
($V_O = -12V$ and $-15V$)	30V
Power Dissipation ⁽²⁾	Internally Limited
Operating Junction Temperature Range	0°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	230°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500mA$, $C_{IN} = 2.2\mu F$, $C_{OUT} = 1\mu F$, $0^\circ C \leq T_J \leq +125^\circ C$, Power Dissipation $\leq 1.5W$.

Part Number			LM7905C			Units
Output Voltage			-5V			
Input Voltage (unless otherwise specified)			-10V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ C$	-4.8	-5.0	-5.2	V
		$5mA \leq I_{OUT} \leq 1A$, $P \leq 15W$	-4.75		-5.25	V
				($-20 \leq V_{IN} \leq -7$)		V
ΔV_O	Line Regulation	$T_J = 25^\circ C$, ⁽¹⁾		8	50	mV
					($-25 \leq V_{IN} \leq -7$)	V
				2	15	mV
					($-12 \leq V_{IN} \leq -8$)	V
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ C$, ⁽¹⁾ $5mA \leq I_{OUT} \leq 1.5A$ $250mA \leq I_{OUT} \leq 750mA$		15	100	mV
				5	50	mV
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ C$		1	2	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	With Line			0.5	mA
		With Load, $5mA \leq I_{OUT} \leq 1A$			0.5	mA
V_n	Output Noise Voltage Ripple Rejection	$T_A = 25^\circ C$, $10Hz \leq f \leq 100Hz$ $f = 120Hz$	54	125		μV
				66		dB
					($-18 \leq V_{IN} \leq -8$)	V
	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ C$, $I_{OUT} = 1A$		1.1		V
$I_{O MAX}$	Peak Output Current	$T_J = 25^\circ C$		2.2		A
	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	$I_{OUT} = 5mA$, $0^\circ C \leq T_J \leq 100^\circ C$		0.4		mV/°C

Το πλήρες τεχνικό φυλλάδιο βρίσκεται στη διεύθυνση:

<http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/lm7905.pdf>

3. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Technical Specifications

Capacity	5kg,10 kg,20kg,30kg,50kg
Comprehensive error	0.1%FS
Rated output	1.0±0.15mv/v
Cable Length	φ0.6×450mm
Output Sensitivity	1.5mV/V±5%
Temp effect on Zero	0.01%F.S/°C
Temperature effect on span	0.05%F.S/°C
Operation Temp. Range	-10°C To +40°C
Zero Output	±10%F.S
Creep	0.05%F.S
Resistance (input and output)	1000±10Ω
Excitation Voltage	5-15VDC
Nonlinearity	0.1%F.S
Repeatability	0.05%F.S
Insulation Resistance	2000MΩ(100V)
Safe overload Capacity	150%F.S

Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρων.

4. INA122



INA122

Single Supply, *MicroPower* INSTRUMENTATION AMPLIFIER

FEATURES

- LOW QUIESCENT CURRENT: 60µA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE
Single Supply: 2.2V to 36V
Dual Supply: -0.9V to +1.3V to ±18V
- COMMON-MODE RANGE TO (V-) -0.1V
- RAIL-TO-RAIL OUTPUT SWING
- LOW OFFSET VOLTAGE: 250µV max
- LOW OFFSET DRIFT: 3µV/°C max
- LOW NOISE: 60nV/√Hz
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 25nA max
- 8-PIN DIP AND SO-8 SURFACE-MOUNT

APPLICATIONS

- PORTABLE, BATTERY OPERATED SYSTEMS
- INDUSTRIAL SENSOR AMPLIFIER:
Bridge, RTD, Thermocouple
- PHYSIOLOGICAL AMPLIFIER:
ECG, EEG, EMG
- MULTI-CHANNEL DATA ACQUISITION

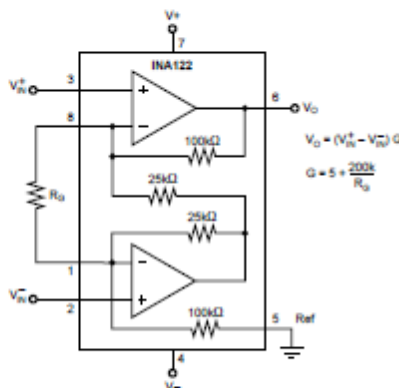
DESCRIPTION

The INA122 is a precision instrumentation amplifier for accurate, low noise differential signal acquisition. Its two-op-amp design provides excellent performance with very low quiescent current, and is ideal for portable instrumentation and data acquisition systems.

The INA122 can be operated with single power supplies from 2.2V to 36V and quiescent current is a mere 60µA. It can also be operated from dual supplies. By utilizing an input level-shift network, input common-mode range extends to 0.1V below negative rail (single supply ground).

A single external resistor sets gain from 5V/V to 1000V/V. Laser trimming provides very low offset voltage (250µV max), offset voltage drift (3µV/°C max) and excellent common-mode rejection.

Package options include 8-pin plastic DIP and SO-8 surface-mount packages. Both are specified for the -40°C to +85°C extended industrial temperature range.



$$V_0 = (V_+ - V_-) G$$

$$G = 5 + \frac{200k}{R_0}$$

International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85714 • Street Address: 6750 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Fax: (520) 746-1111
Internet: <http://www.burr-brown.com> • FAXLine: (800) 945-0130 (US/Canada Only) • Cable: BBRGDRP • Telex: 965-6491 • FAX: (520) 889-1810 • Immediate Product Info: (800) 945-0132

©1997 Burr-Brown Corporation

PD-1388D

Printed in U.S.A. October, 1997

SBOS069

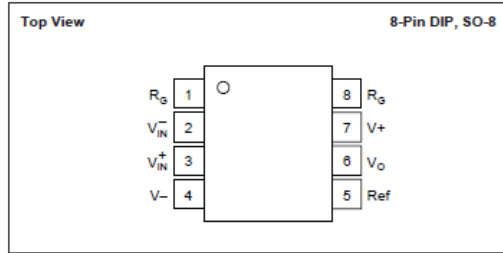
SPECIFICATIONS

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = +5\text{V}$, $R_L = 20\text{k}\Omega$ connected to $V_O/2$, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA122P, U			INA122PA, UA			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
INPUT								
Offset Voltage, RTI vs Temperature	$V_S = +2.2\text{V to } +36\text{V}$		± 100	± 250		± 150	± 500	μV
vs Power Supply (PSRR)			± 1	± 3	*	*	± 5	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Impedance				10	30	*	*	100
Safe Input Voltage	$R_S = 0$ $R_S = 10\text{k}\Omega$	$(V^-) - 0.3$ $(V^-) - 4.0$ 0		$(V^+) + 0.3$ $(V^+) + 4.0$ 3.4	*	*	*	$\Omega \parallel \text{pF}$ V V V
Common-Mode Voltage Range					*	*	*	V
Common-Mode Rejection	$V_{CM} = 0\text{V to } 3.4\text{V}$	83	96		76	90		dB
INPUT BIAS CURRENT								
vs Temperature			-10	-25		*	-50	nA
Offset Current			± 40			*		$\text{pA}/^\circ\text{C}$
vs Temperature			± 1	± 2		*	± 5	nA
			± 40			*		$\text{pA}/^\circ\text{C}$
GAIN			G = 5 to 10k G = 5 + 200k Ω/R_S			*		V/V
Gain Equation						*		V/V
Gain Error	G = 5		± 0.05	± 0.1		*	± 0.15	%
vs Temperature	G = 5		5	10		*	*	$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
Gain Error	G = 100		± 0.3	± 0.5		*	± 1	%
vs Temperature	G = 100		± 25	± 100		*	*	$\text{ppm}/^\circ\text{C}$
Nonlinearity	G = 100, $V_O = -14.85\text{V to } +14.9\text{V}$		± 0.005	± 0.012		*	± 0.024	%
NOISE (RTI)								
Voltage Noise, f = 1kHz			60			*		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 100Hz			100			*		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 10Hz			110			*		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
$f_b = 0.1\text{Hz to } 10\text{Hz}$			2			*		$\mu\text{Vp-p}$
Current Noise, f = 1kHz			80			*		$\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$
$f_b = 0.1\text{Hz to } 10\text{Hz}$			2			*		pAp-p
OUTPUT								
Voltage, Positive	$V_S = \pm 15\text{V}$	$(V^+) - 0.1$	$(V^+) - 0.05$		*	*		V
Negative	$V_S = \pm 15\text{V}$	$(V^-) + 0.15$	$(V^-) + 0.1$		*	*		V
Short-Circuit Current	Short-Circuit to Ground		+3/-30			*		mA
Capacitive Load Drive			1			*		nF
FREQUENCY RESPONSE								
Bandwidth, -3dB	G = 5		120			*		kHz
	G = 100		5			*		kHz
	G = 500		0.9			*		kHz
Slew Rate			+0.08/-0.16			*		$\text{V}/\mu\text{s}$
Settling Time, 0.01%	G = 5		350			*		μs
	G = 100		450			*		μs
	G = 500		1.8			*		ms
Overload Recovery	50% Input Overload		3			*		μs
POWER SUPPLY								
Voltage Range, Single Supply		+2.2	+5	+36	*	*	*	V
Dual Supplies		-0.9/+1.3		± 18	*	*	*	V
Current	$I_O = 0$		60	85		*	*	μA
TEMPERATURE RANGE								
Specification		-40		+85	*	*	*	$^\circ\text{C}$
Operation		-55		+85	*	*	*	$^\circ\text{C}$
Storage		-55		+125	*	*	*	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, θ_{JA}								
8-Pin DIP			150			*		$^\circ\text{C}/\text{W}$
SO-8 Surface-Mount			150			*		$^\circ\text{C}/\text{W}$

* Specification same as INA122P, INA122U.

PIN CONFIGURATION



ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Burr-Brown recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

Supply Voltage, $V+$ to $V-$	36V
Signal Input Terminals, Voltage ⁽²⁾	$(V-)-0.3V$ to $(V+)+0.3V$
Current ⁽²⁾	5mA
Output Short Circuit	Continuous
Operating Temperature	$-40^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$
Storage Temperature	$-55^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$
Lead Temperature (soldering, 10s)	$+300^{\circ}C$

NOTES: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage.
(2) Input terminals are internally diode-clamped to the power supply rails. Input signals that can exceed the supply rails by more than 0.3V should be current-limited to 5mA or less.

Το πλήρες τεχνικό φυλλάδιο βρίσκεται στη διεύθυνση:

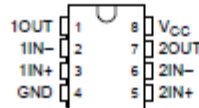
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina122.pdf>

5. LM358

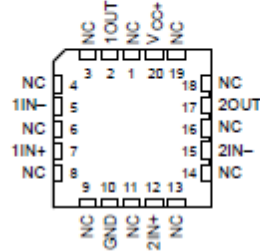
**LM158, LM158A, LM258, LM258A
LM358, LM358A, LM2904, LM2904Q
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**
SLOS068E – JUNE 1976 – REVISED SEPTEMBER 2002

- **Wide Range of Supply Voltages:**
 - Single Supply ... 3 V to 30 V (LM2904 and LM2904Q ... 3 V to 26 V) or
 - Dual Supplies
- **Low Supply-Current Drain Independent of Supply Voltage ... 0.7 mA Typ**
- **Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground, Allowing Direct Sensing Near Ground**
- **Low Input Bias and Offset Parameters:**
 - Input Offset Voltage ... 3 mV Typ
 - Input Offset Current ... 2 nA Typ
 - Input Bias Current ... 20 nA Typ
 - Input Bias Current ... 15 nA Typ
- **Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage ... ±32 V (LM2904 and LM2904Q ... ±26 V)**
- **Open-Loop Differential Voltage Amplification ... 100 V/mV Typ**
- **Internal Frequency Compensation**

LM158, LM158A ... JG PACKAGE
LM258 ... D OR P PACKAGE
LM258A ... P PACKAGE
LM358 ... D, P, PS, OR PW PACKAGE
LM358A ... D OR P PACKAGE
LM2904 ... D, P, PS, OR PW PACKAGE
LM2904Q ... D PACKAGE
(TOP VIEW)



LM158, LM158A ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No Internal connection

description/ordering information

These devices consist of two independent, high-gain, frequency-compensated operational amplifiers designed to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split supplies also is possible if the difference between the two supplies is 3 V to 30 V (3 V to 26 V for the LM2904 and LM2904Q), and V_{CC} is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. The low supply-current drain is independent of the magnitude of the supply voltage.

Applications include transducer amplifiers, dc amplification blocks, and all the conventional operational amplifier circuits that now can be implemented more easily in single-supply-voltage systems. For example, these devices can be operated directly from the standard 5-V supply used in digital systems and easily provide the required interface electronics without additional ± 5 -V supplies.

The LM2904Q is manufactured to demanding automotive requirements.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38533, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

		LM158, LM158A LM258, LM258A LM358, LM358A	LM2904 LM2904Q	UNIT
Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)		32	26	V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2)		± 32	± 26	V
Input voltage, V_I (either input)		-0.3 to 32	-0.3 to 26	V
Duration of output short circuit (one amplifier) to ground at (or below) 25°C free-air temperature ($V_{CC} \leq 15$ V) (see Note 3)		Unlimited	Unlimited	
Operating virtual junction temperature, T_J		150	150	°C
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 4 and 5)	D package	97	97	°C/W
	P package	85	85	
	PS package	95	95	
	PW package	149	149	
Package thermal impedance, θ_{JC} (see Notes 6 and 7)	FK package	5.61		°C/W
	JG package	14.5		
Operating free-air temperature range, T_A	LM158, LM158A	-55 to 125		°C
	LM258, LM258A	-25 to 85		
	LM358, LM358A	0 to 70		
	LM2904, LM2904Q		-40 to 125	
Case temperature for 60 seconds	FK package	260		°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	JG package	300	300	°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	P package	260	260	°C
Storage temperature range, T_{stg}		-65 to 150	-65 to 150	°C

operating conditions, $V_{CC} = \pm 15$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER		TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
SR	Slew rate at unity gain	$R_L = 1\text{ M}\Omega$, $C_L = 30\text{ pF}$, $V_I = \pm 10\text{ V}$ (see Figure 1)	0.3	V/ μs
B_1	Unity-gain bandwidth	$R_L = 1\text{ M}\Omega$, $C_L = 20\text{ pF}$ (see Figure 1)	0.7	MHz
V_n	Equivalent input noise voltage	$R_S = 100\ \Omega$, $V_I = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ kHz}$ (see Figure 2)	40	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$

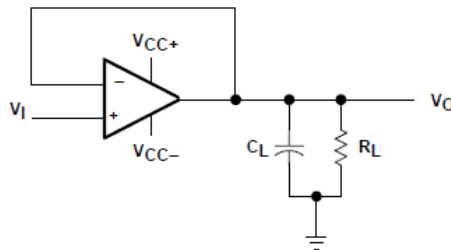


Figure 1. Unity-Gain Amplifier

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	LM158 LM258			LM358			UNIT
			MIN	TYP§	MAX	MIN	TYP§	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX,}$ $V_{IC} = V_{ICR(\text{min})}$ $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		3	5		3	7	mV
		Full range						9	
$\alpha_{V_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset voltage		Full range		7			7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		2	30		2	50	nA
		Full range			100			150	
$\alpha_{I_{IO}}$ Average temperature coefficient of input offset current		Full range		10			10		$\text{pA}/^\circ\text{C}$
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		-20	-150		-20	-250	nA
		Full range			-300			-500	
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$	25°C		0 to $V_{CC}-1.5$			0 to $V_{CC}-1.5$		V
		Full range		0 to $V_{CC}-2$			0 to $V_{CC}-2$		
V_{OH} High-level output voltage	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C		$V_{CC}-1.5$			$V_{CC}-1.5$		V
	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	25°C							
	$V_{CC} = \text{MAX}$	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	Full range		26			26	
		$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	Full range		27	28		27	
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range		5	20		5	20	mV
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V,}$ $V_O = 1\text{ V to }11\text{ V,}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25°C		50	100		25	100	V/mV
		Full range		25			15		
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX,}$ $V_{IC} = V_{ICR(\text{min})}$	25°C		70	80		65	80	dB
k_{SVR} Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD}/\Delta V_{IO}$)	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$	25°C		65	100		65	100	dB
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$	25°C			120			120	dB
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V, }V_{ID} = 1\text{ V,}$ $V_O = 0$	25°C		-20	-30		-20	-30	mA
		Full range		-10			-10		
	$V_{CC} = 15\text{ V, }V_{ID} = -1\text{ V,}$ $V_O = 15\text{ V}$	25°C		10	20		10	20	
		Full range		5			5		
$V_{ID} = -1\text{ V, }V_O = 200\text{ mV}$	25°C		12	30		12	30	μA	
I_{OS} Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$	25°C		± 40	± 60		± 40	± 60	mA
I_{CC} Supply current (two amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V, No load}$	Full range		0.7	1.2		0.7	1.2	mA
	$V_{CC} = \text{MAX, }V_O = 0.5\text{ V,}$ No load	Full range		1	2		1	2	

Το πλήρες τεχνικό φυλλάδιο βρίσκεται στη διεύθυνση:

<https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/602-00015-LM358-Dual-Op-Amp-Datasheet.pdf>



PIC18F66K80 FAMILY

28/40/44/64-Pin, Enhanced Flash Microcontrollers
with ECAN™ and nanoWatt XLP Technology

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, Peripherals on
- Idle: CPU off, Peripherals on
- Sleep: CPU off, Peripherals off
- Two-Speed Oscillator Start-up
- Fail-Safe Clock Monitor (FSCM)
- Power-Saving Peripheral Module Disable (PMD)
- Ultra Low-Power Wake-up
- Fast Wake-up, 1 μ s, Typical
- Low-Power WDT, 300 nA, Typical
- Run mode Currents Down to Very Low 3.8 μ A, Typical
- Idle mode Currents Down to Very Low 880 nA, Typical
- Sleep mode Current Down to Very Low 13 nA, Typical

ECAN Bus Module Features:

- Conforms to CAN 2.0B Active Specification
- Three Operating modes:
 - Legacy mode (full backward compatibility with existing PIC18CXX8/FOX8 CAN modules)
 - Enhanced mode
 - FIFO mode or programmable TX/RX buffers
- Message Bit Rates up to 1 Mbps
- DeviceNet™ Data Byte Filter Support
- Six Programmable Receive/Transmit Buffers
- Three Dedicated Transmit Buffers with Prioritization
- Two Dedicated Receive Buffers

ECAN Bus Module Features (Continued):

- 16 Full, 29-Bit Acceptance Filters with Dynamic Association
- Three Full, 29-Bit Acceptance Masks
- Automatic Remote Frame Handling
- Advanced Error Management Features

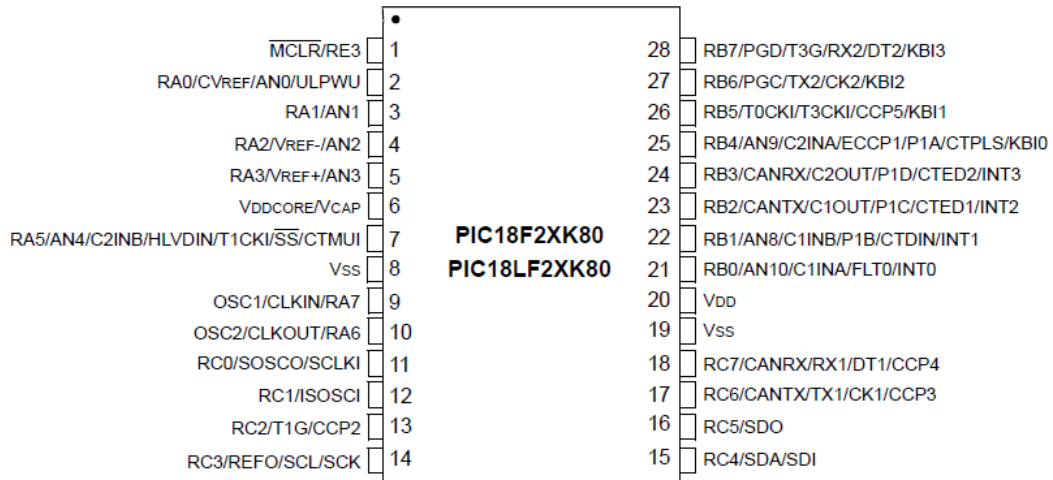
Special Microcontroller Features:

- Operating Voltage Range: 1.8V to 5.5V
- On-Chip 3.3V Regulator
- Operating Speed up to 64 MHz
- Up to 64 Kbytes On-Chip Flash Program Memory:
 - 10,000 erase/write cycle, typical
 - 20 years minimum retention, typical
- 1,024 Bytes of Data EEPROM:
 - 100,000 Erase/Write cycle data EEPROM memory, typical
- 3.6 Kbytes of General Purpose Registers (SRAM)
- Three Internal Oscillators: LF-INTOSC (31 KHz), MF-INTOSC (500 KHz) and HF-INTOSC (16 MHz)
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 4 ms to 4,194s
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- In-Circuit Debug via Two Pins
- Programmable BOR
- Programmable LVD

TABLE 1: DEVICE COMPARISON

Device	Program Memory	Data Memory (Bytes)	Data EE (Bytes)	Pins	I/O	CTMU	12-Bit A/D Channels	CCP/ EOP	Timers 8-Bit/16-Bit	EUSART	Comparators	ECAN™	MSSP	BOR/MVLD	DSM
PIC18F25K80	32 Kbytes	3,648	1,024	28	24	1	8-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	No
PIC18LF25K80	32 Kbytes	3,648	1,024	28	24	1	8-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	No
PIC18F26K80	64 Kbytes	3,648	1,024	28	24	1	8-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	No
PIC18LF26K80	64 Kbytes	3,648	1,024	28	24	1	8-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	No
PIC18F45K80	32 Kbytes	3,648	1,024	40/44	35	1	11-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	No
PIC18LF45K80	32 Kbytes	3,648	1,024	40/44	35	1	11-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	No
PIC18F46K80	64 Kbytes	3,648	1,024	40/44	35	1	11-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	No
PIC18LF46K80	64 Kbytes	3,648	1,024	40/44	35	1	11-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	No
PIC18F65K80	32 Kbytes	3,648	1,024	64	54	1	11-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	Yes
PIC18LF65K80	32 Kbytes	3,648	1,024	64	54	1	11-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	Yes
PIC18F66K80	64 Kbytes	3,648	1,024	64	54	1	11-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	Yes
PIC18LF66K80	64 Kbytes	3,648	1,024	64	54	1	11-ch	4/1	2/3	2	2	1	1	Yes	Yes

28-Pin SSOP/SPDIP/SOIC



22.0 ENHANCED UNIVERSAL SYNCHRONOUS ASYNCHRONOUS RECEIVER TRANSMITTER (EUSART)

The Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (EUSART) module is one of two serial I/O modules. (Generically, the EUSART is also known as a Serial Communications Interface or SCL.)

The EUSART can be configured as a full-duplex, asynchronous system that can communicate with peripheral devices, such as CRT terminals and personal computers. It can also be configured as a half-duplex synchronous system that can communicate with peripheral devices, such as A/D or D/A integrated circuits, serial EEPROMs, etc.

The Enhanced USARTx modules implement additional features, including automatic baud rate detection and calibration, automatic wake-up on Sync Break reception and 12-bit Break character transmit. These make it ideally suited for use in Local Interconnect Network bus (LIN/J2602 bus) systems.

All members of the PIC18F86K80 family are equipped with two independent EUSART modules, referred to as EUSART1 and EUSART2. They can be configured in the following modes:

- Asynchronous (full duplex) with:
 - Auto-wake-up on character reception
 - Auto-baud calibration
 - 12-bit Break character transmission
- Synchronous – Master (half duplex) with selectable clock polarity
- Synchronous – Slave (half duplex) with selectable clock polarity

The pins of EUSART1 and EUSART2 are multiplexed with the functions with the following ports, depending on the device pin count. See Table 22-1.

TABLE 22-1: CONFIGURING EUSARTx PINS⁽¹⁾

Pin Count	EUSART1		EUSART2	
	Port	Pins	Port	Pins
28-pin	PORTC	RC6/TX1/CK1 and RC7/RX1/DT1	PORTB	RB6/PGC/TX2/CK2/KBI2 and RB7/PGD/T3G/RX2/DT2/KBI3
40/44-pin	PORTC	RC6/TX1/CK1 and RC7/RX1/DT1	PORTD	RD6/TX2/CK2/P1C/PSP6 and RD7/RX2/DT2/P1D/PSP7
64-pin	PORTG	RG3/TX1/CK1 and RG0/RX1/DT1	PORTE	RE7/TX2/CK2 and RE8/RX2/DT2

Note 1: The EUSARTx control will automatically reconfigure the pin from input to output as needed.

In order to configure the pins as an EUSARTx:

- For EUSART1:
 - SPEN (RCSTA1<7>) must be set (= 1)
 - TRISx<x> must be set (= 1)
 - For Asynchronous and Synchronous Master modes, TRISx<x> must be cleared (= 0)
 - For Synchronous Slave mode, TRISx<x> must be set (= 1)
- For EUSART2:
 - SPEN (RCSTA2<7>) must be set (= 1)
 - TRISx<x> must be set (= 1)
 - For Asynchronous and Synchronous Master modes, TRISx<x> must be cleared (= 0)
 - For Synchronous Slave mode, TRISx<x> must be set (= 1)

23.0 12-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER (A/D) MODULE

The Analog-to-Digital (A/D) Converter module in the PIC18F86K80 family of devices. It is a 13-bit differential A/D with 12-bit single-ended compatibility. It has inputs eight inputs for the 28-pin devices, 11 inputs for the 40/44-pin and 64-pin devices. This module allows conversion of an analog input signal to a corresponding 12-bit digital number.

The module has these registers:

- A/D Control Register 0 (ADCON0)
- A/D Control Register 1 (ADCON1)
- A/D Control Register 2 (ADCON2)
- A/D Port Configuration Register 1 (ANCON0)
- A/D Port Configuration Register 2 (ANCON1)
- ADRESH (the upper, A/D Results register)
- ADRESL (the lower, A/D Results register)

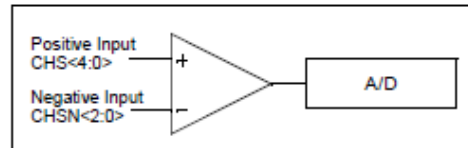
The ADCON0 register, shown in [Register 23-1](#), controls the operation of the A/D module. The ADCON1 register, shown in [Register 23-2](#), configures the voltage reference and special trigger selection. The ADCON2 register, shown in [Register 23-3](#), configures the A/D clock source and programmed acquisition time and justification.

23.1 Differential A/D Converter

The converter in PIC18F86K80 family devices is implemented as a differential A/D where the differential voltage between two channels is measured and converted to digital values (see [Figure 23-1](#)).

The converter also can be configured to measure a voltage from a single input by clearing the CHSNx bits (ADCON1<2:0>). With this configuration, the negative channel input is connected internally to AVSS (see [Figure 23-2](#)).

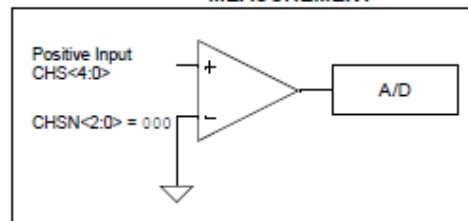
FIGURE 23-1: DIFFERENTIAL CHANNEL MEASUREMENT



Differential conversion feeds the two input channels to a unity gain differential amplifier. The positive channel input is selected using the CHSx bits (ADCON0<6:2>) and the negative channel input is selected using the CHSNx bits (ADCON1<2:0>).

The output from the amplifier is fed to the A/D Converter, as shown in [Figure 23-1](#). The 12-bit result is available on the ADRESH and ADRESL registers. An additional bit indicates if the 12-bit result is a positive or negative value.

FIGURE 23-2: SINGLE CHANNEL MEASUREMENT



In the Single Channel Measurement mode, the negative input is connected to AVSS by clearing the CHSNx bits (ADCON1<2:0>).

REGISTER 23-2: ADCON1: A/D CONTROL REGISTER 1

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x	R/W-x	R/W-x	R/W-x
TRIGSEL1	TRIGSEL0	VCFG1	VCFG0	VNCFG	CHSN2	CHSN1	CHSN0
bit 7							bit 0

Legend:

R = Readable bit W = Writable bit U = Unimplemented bit, read as '0'
-n = Value at POR '1' = Bit is set '0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

- bit 7-6 **TRIGSEL<1:0>**: Special Trigger Select bits
11 = Selects the special trigger from the CCP2
10 = Selects the special trigger from the Timer1
01 = Selects the special trigger from the CTMU
00 = Selects the special trigger from the ECCP1
- bit 5-4 **VCFG<1:0>**: A/D VREF+ Configuration bits
11 = Internal VREF+ (4.1V)
10 = Internal VREF+ (2.0V)
01 = External VREF+
00 = AVDD
- bit 3 **VNCFG**: A/D VREF- Configuration bit
1 = External VREF
0 = AVSS
- bit 2-0 **CHSN<2:0>**: Analog Negative Channel Select bits
111 = Channel 07 (AN6)
110 = Channel 06 (AN5)
101 = Channel 05 (AN4)
100 = Channel 04 (AN3)
011 = Channel 03 (AN2)
010 = Channel 02 (AN1)
001 = Channel 01 (AN0)
000 = Channel 00 (AVSS)

REGISTER 23-3: ADCON2: A/D CONTROL REGISTER 2

R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	ACQT2	ACQT1	ACQT0	ADCS2	ADCS1	ADCS0
bit 7							bit 0

Legend:

R = Readable bit W = Writable bit U = Unimplemented bit, read as '0'
 -n = Value at POR '1' = Bit is set '0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

- bit 7 **ADFM:** A/D Result Format Select bit
 1 = Right justified
 0 = Left justified
- bit 6 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 5-3 **ACQT<2:0>:** A/D Acquisition Time Select bits
 111 = 20 TAD
 110 = 16 TAD
 101 = 12 TAD
 100 = 8 TAD
 011 = 6 TAD
 010 = 4 TAD
 001 = 2 TAD
 000 = 0 TAD⁽¹⁾
- bit 2-0 **ADCS<2:0>:** A/D Conversion Clock Select bits
 111 = FRC (clock derived from A/D RC oscillator)⁽¹⁾
 110 = Fosc/64
 101 = Fosc/16
 100 = Fosc/4
 011 = FRC (clock derived from A/D RC oscillator)⁽¹⁾
 010 = Fosc/32
 001 = Fosc/8
 000 = Fosc/2

Note 1: If the A/D FRC clock source is selected, a delay of one T_{cy} (instruction cycle) is added before the A/D clock starts. This allows the SLEEP instruction to be executed before starting a conversion.

TABLE 23-1: TAD vs. DEVICE OPERATING FREQUENCIES

AD Clock Source (TAD)		Maximum Device Frequency
Operation	ADCS<2:0>	
2 TOSC	000	2.50 MHz
4 TOSC	100	5.00 MHz
8 TOSC	001	10.00 MHz
16 TOSC	101	20.00 MHz
32 TOSC	010	40.00 MHz
64 TOSC	110	64.00 MHz
RC ⁽²⁾	x11	1.00 MHz ⁽¹⁾

- Note 1:** The RC source has a typical TAD time of 4 μs.
- 2:** For device frequencies above 1 MHz, the device must be in Sleep mode for the entire conversion or the A/D accuracy may be out of specification.

28.2 Watchdog Timer (WDT)

For the PIC18F06K80 family of devices, the WDT is driven by the LF-INTOSC source. When the WDT is enabled, the clock source is also enabled. The nominal WDT period is 4 ms and has the same stability as the LF-INTOSC oscillator.

The 4 ms period of the WDT is multiplied by a 16-bit postscaler. Any output of the WDT postscaler is selected by a multiplexer, controlled by bits in Configuration Register 2H. Available periods range from 4 ms to 4,194 seconds (about one hour). The WDT and postscaler are cleared when any of the following events occur: a SLEEP or CLRWDT instruction is executed, the IRCF_x bits (OSCCON<8:4>) are changed or a clock failure has occurred.

The WDT can be operated in one of four modes as determined by WDTEN<1:0> (CONFIG2H<1:0>). The four modes are:

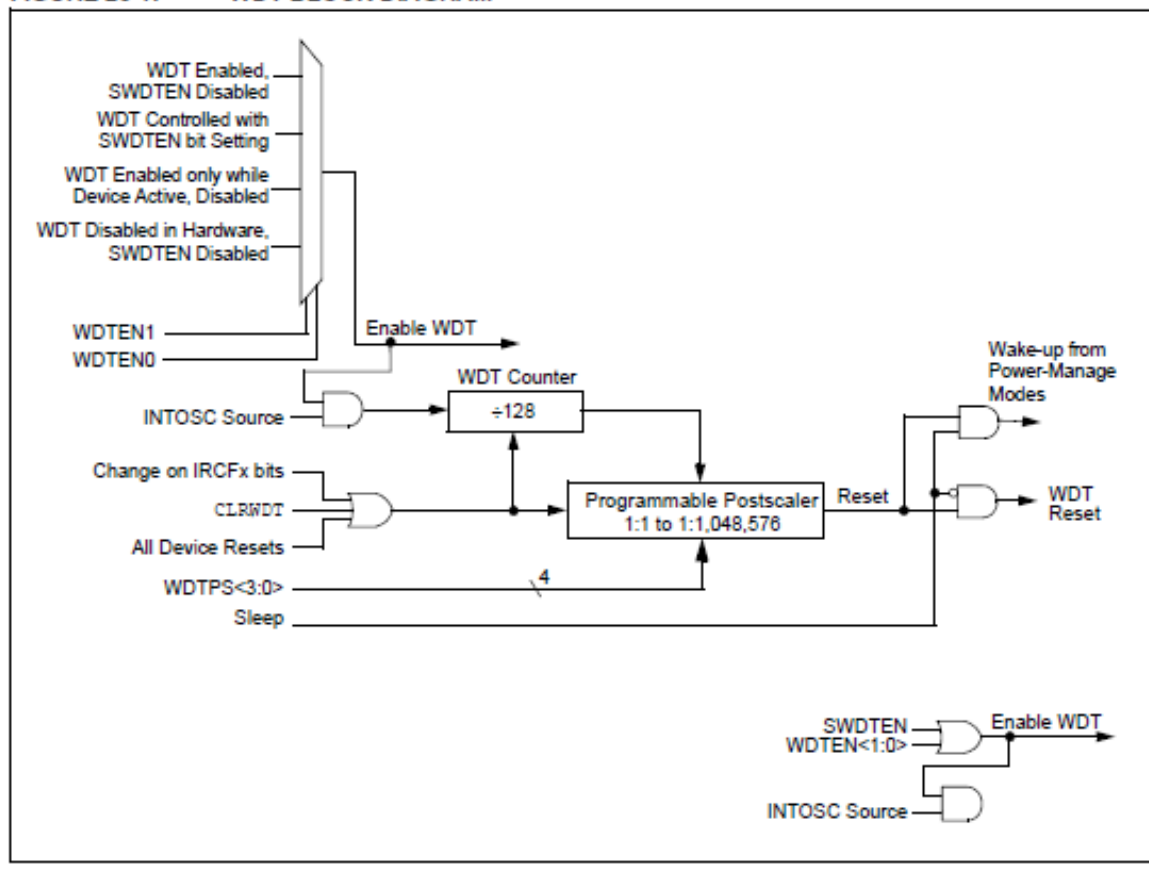
- WDT Enabled
- WDT Disabled
- WDT under Software Control, SWDTEN (WDTCON<0>)
- WDT
 - Enabled during normal operation
 - Disabled during Sleep

Note 1: The CLRWDT and SLEEP instructions clear the WDT and postscaler counts when executed.

2: Changing the setting of the IRCF_x bits (OSCCON<8:4>) clears the WDT and postscaler counts.

3: When a CLRWDT instruction is executed, the postscaler count will be cleared.

FIGURE 28-1: WDT BLOCK DIAGRAM



REGISTER 28-4: CONFIG2H: CONFIGURATION REGISTER 2 HIGH (BYTE ADDRESS 300003h)

U-0	R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1	R/P-1
—	WDTPS4	WDTPS3	WDTPS2	WDTPS1	WDTPS0	WDTEN1	WDTEN0
bit 7							bit 0

Legend:	P = Programmable bit
R = Readable bit	W = Writable bit
-n = Value at POR	'1' = Bit is set
	U = Unimplemented bit, read as '0'
	'0' = Bit is cleared
	x = Bit is unknown

bit 7 **Unimplemented:** Read as '0'

bit 6-2 **WDTPS<4:0>:** Watchdog Timer Postscale Select bits

- 11111 = Reserved
- 10100 = 1:1,048,576 (4,194.304s)
- 10011 = 1:524,288 (2,097.152s)
- 10010 = 1:262,144 (1,048.576s)
- 10001 = 1:131,072 (524.288s)
- 10000 = 1:65,536 (262.144s)
- 01111 = 1:32,768 (131.072s)
- 01110 = 1:16,384 (65.536s)
- 01101 = 1:8,192 (32.768s)
- 01100 = 1:4,096 (16.384s)
- 01011 = 1:2,048 (8.192s)
- 01010 = 1:1,024 (4.096s)
- 01001 = 1:512 (2.048s)
- 01000 = 1:256 (1.024s)
- 00111 = 1:128 (512 ms)
- 00110 = 1:64 (256 ms)
- 00101 = 1:32 (128 ms)
- 00100 = 1:16 (64 ms)
- 00011 = 1:8 (32 ms)
- 00010 = 1:4 (16 ms)
- 00001 = 1:2 (8 ms)
- 00000 = 1:1 (4 ms)

bit 1-0 **WDTEN<1:0>:** Watchdog Timer Enable bits

- 11 = WDT is enabled in hardware; SWDTEN bit is disabled
- 10 = WDT is controlled by the SWDTEN bit setting
- 01 = WDT is enabled only while the device is active and is disabled in Sleep mode; SWDTEN bit is disabled
- 00 = WDT is disabled in hardware; SWDTEN bit is disabled

Absolute Maximum Ratings^(†)

Ambient temperature under bias.....	-40°C to +125°C
Storage temperature	-65°C to +150°C
Voltage on $\overline{\text{MCLR}}$ with respect to V_{SS}	-0.3V to 9.0V
Voltage on any digital only I/O pin with respect to V_{SS} (except V_{DD}).....	-0.3V to 7.5V
Voltage on any combined digital and analog pin with respect to V_{SS} (except V_{DD} and $\overline{\text{MCLR}}$).....	-0.3V to ($V_{DD} + 0.3V$)
Voltage on V_{DD} with respect to V_{SS} (PIC18F66K80).....	-0.3V to 7.5V
Voltage on V_{DD} with respect to V_{SS} (PIC18LF66K80).....	-0.3V to 3.66V
Total power dissipation (Note 1)	1W
Maximum current out of V_{SS} pin	300 mA
Maximum current into V_{DD} pin	250 mA
Input clamp current, I_{IK} ($V_I < 0$ or $V_I > V_{DD}$).....	± 20 mA
Output clamp current, I_{OK} ($V_O < 0$ or $V_O > V_{DD}$).....	± 20 mA
Maximum output current sunk by PORTA<7:6> and any PORTB and PORTC I/O pins.....	25 mA
Maximum output current sunk by any PORTD and PORTE I/O pins.....	8 mA
Maximum output current sunk by PORTA<5:0> and any PORTF and PORTG I/O pins.....	2 mA
Maximum output current sourced by PORTA<7:6> and any PORTB and PORTC I/O pins	25 mA
Maximum output current sourced by any PORTD, PORTE and PORTJ I/O pins	8 mA
Maximum output current sourced by PORTA<5:0> and any PORTF, PORTG and PORTH I/O pins	2 mA
Maximum current sunk by all ports combined.....	200 mA

Note 1: Power dissipation is calculated as follows:

$$P_{dis} = V_{DD} \times \{I_{DD} - \sum I_{OH}\} + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$$

† **NOTICE:** Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

31.1 DC Characteristics: Supply Voltage
PIC18F66K80 Family (Industrial/Extended)

PIC18F66K80 Family (Industrial, Extended)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature -40°C ≤ TA ≤ +85°C for industrial -40°C ≤ TA ≤ +125°C for extended					
Param No.	Symbol	Characteristic	Min	Typ	Max	Units	Conditions
D001	VDD	Supply Voltage	1.8 1.8	— —	3.6 5.5	V V	For LF devices For F devices
D001C	AVDD	Analog Supply Voltage	VDD - 0.3	—	VDD + 0.3	V	
D001D	AVSS	Analog Ground Potential	VSS - 0.3	—	VSS + 0.3	V	
D002	VDR	RAM Data Retention Voltage⁽¹⁾	1.5	—	—	V	
D003	VPOR	VDD Start Voltage to Ensure Internal Power-on Reset Signal	—	—	0.7	V	See Section 5.3 "Power-on Reset (POR)" for details
D004	SVDD	VDD Rise Rate to Ensure Internal Power-on Reset Signal	0.05	—	—	V/ms	See Section 5.3 "Power-on Reset (POR)" for details
D005	BVDD	Brown-out Reset Voltage (High, Medium and Low-Power mode) BORV<1:0> = 11 ⁽²⁾ BORV<1:0> = 10 BORV<1:0> = 01 BORV<1:0> = 00	1.69 1.88 2.53 2.82	1.8 2.0 2.7 3.0	1.91 2.12 2.86 3.18	V V V V	

Note 1: This is the limit to which VDD can be lowered in Sleep mode, or during a device Reset, without losing RAM data.
Note 2: Device will operate normally until Brown-out Reset occurs, even though VDD may be below VDDMIN.

31.2 DC Characteristics: Power-Down and Supply Current
PIC18F66K80 Family (Industrial/Extended)

PIC18F66K80 Family (Industrial/Extended)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature -40°C ≤ TA ≤ +85°C for industrial -40°C ≤ TA ≤ +125°C for extended				
Param No.	Device	Typ	Max	Units	Conditions	
Power-Down Current (I_{DD})⁽¹⁾						
PIC18LFXXK80		8	400	nA	-40°C	VDD = 1.8V (Sleep mode) Regulator Disabled
		13	500	nA	+25°C	
		35	750	nA	+60°C	
		218	980	nA	+85°C	
		3	6	µA	+125°C	
PIC18LFXXK80		14	500	nA	-40°C	VDD = 3.3V (Sleep mode) Regulator Disabled
		34	600	nA	+25°C	
		92	850	nA	+60°C	
		312	1250	nA	+85°C	
		4	8	µA	+125°C	
PIC18FXXK80		200	700	nA	-40°C	VDD = 3.3V (Sleep mode) Regulator Enabled
		230	800	nA	+25°C	
		320	1050	nA	+60°C	
		510	1500	nA	+85°C	
		5	9	µA	+125°C	
PIC18FXXK80		220	1000	nA	-40°C	VDD = 5V (Sleep mode) Regulator Enabled
		240	1000	nA	+25°C	
		340	1100	nA	+60°C	
		540	1580	nA	+85°C	
		5	10	µA	+125°C	

**31.2 DC Characteristics: Power-Down and Supply Current
PIC18F66K80 Family (Industrial/Extended) (Continued)**

PIC18F66K80 Family (Industrial/Extended)		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature -40°C ≤ TA ≤ +85°C for industrial -40°C ≤ TA ≤ +125°C for extended				
Param No.	Device	Typ	Max	Units	Conditions	
Supply Current (I_{DD}) Cont.(2,3)						
PIC18LFXXK80		520	820	μA	-40°C	V _{DD} = 1.8V ⁽⁴⁾ Regulator Disabled
		520	820	μA	+25°C	
		520	820	μA	+60°C	
		530	880	μA	+85°C	
		540	1000	μA	+125°C	
PIC18LFXXK80		941	1600	μA	-40°C	V _{DD} = 3.3V ⁽⁴⁾ Regulator Disabled
		941	1600	μA	+25°C	
		941	1600	μA	+60°C	
		950	1610	μA	+85°C	
		960	1800	μA	+125°C	
PIC18FXXK80		981	1640	μA	-40°C	V _{DD} = 3.3V ⁽⁵⁾ Regulator Enabled
		981	1640	μA	+25°C	
		981	1640	μA	+60°C	
		990	1650	μA	+85°C	
		1000	1900	μA	+125°C	
PIC18FXXK80		1	2.2	mA	-40°C	V _{DD} = 5V ⁽⁵⁾ Regulator Enabled
		1	2.2	mA	+25°C	
		1	2.2	mA	+60°C	
		1	2.2	mA	+85°C	
		1	2.2	mA	+125°C	

Fosc = 4 MHz
(RC_RUN mode,
HF-INTOSC)

Το πλήρες τεχνικό φυλλάδιο βρίσκεται στη διεύθυνση:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39977f.pdf>

PIC18F66K80

Silicon Errata Issues

Note: This document summarizes all silicon errata issues from all revisions of silicon, previous as well as current. Only the issues indicated by the shaded column in the following tables apply to the current silicon revision (A6).

1. Module: Analog-to-Digital Converter (A/D)

The 12-bit A/D performance is outside the data sheet's A/D Converter specifications. When used as a 12-bit A/D, the possible issues are: high offset error, up to a maximum of ± 25 LSBs at 25°C, ± 30 LSBs at 85°C, 125°C and -40°C; high DNL error, up to a maximum of +6.0/-4.0 LSBs; and multiple missing codes, up to a maximum of twenty. Users should evaluate the 12-bit A/D performance in their application using the suggested work around below. See Table 3 for guidance specifications.

The 12-bit A/D issues will be fixed in future revisions of this part. Reduced bit resolution specifications can be derived by dividing, as appropriate. For instance, 10-bit guidance is obtained by dividing the parameters in Table 3 by four.

A/D Offset

The A/D may have high offset error, up to a maximum of ± 25 LSBs; it can be used if the A/D is calibrated for the offset.

Work around

Calibrate for offset in Single-Ended mode by connecting A/D +ve input to ground and taking the A/D reading. This will be the offset of the device and can be used to compensate for the subsequent A/D readings on the actual inputs.

TABLE 3: A/D CONVERTER CHARACTERISTICS

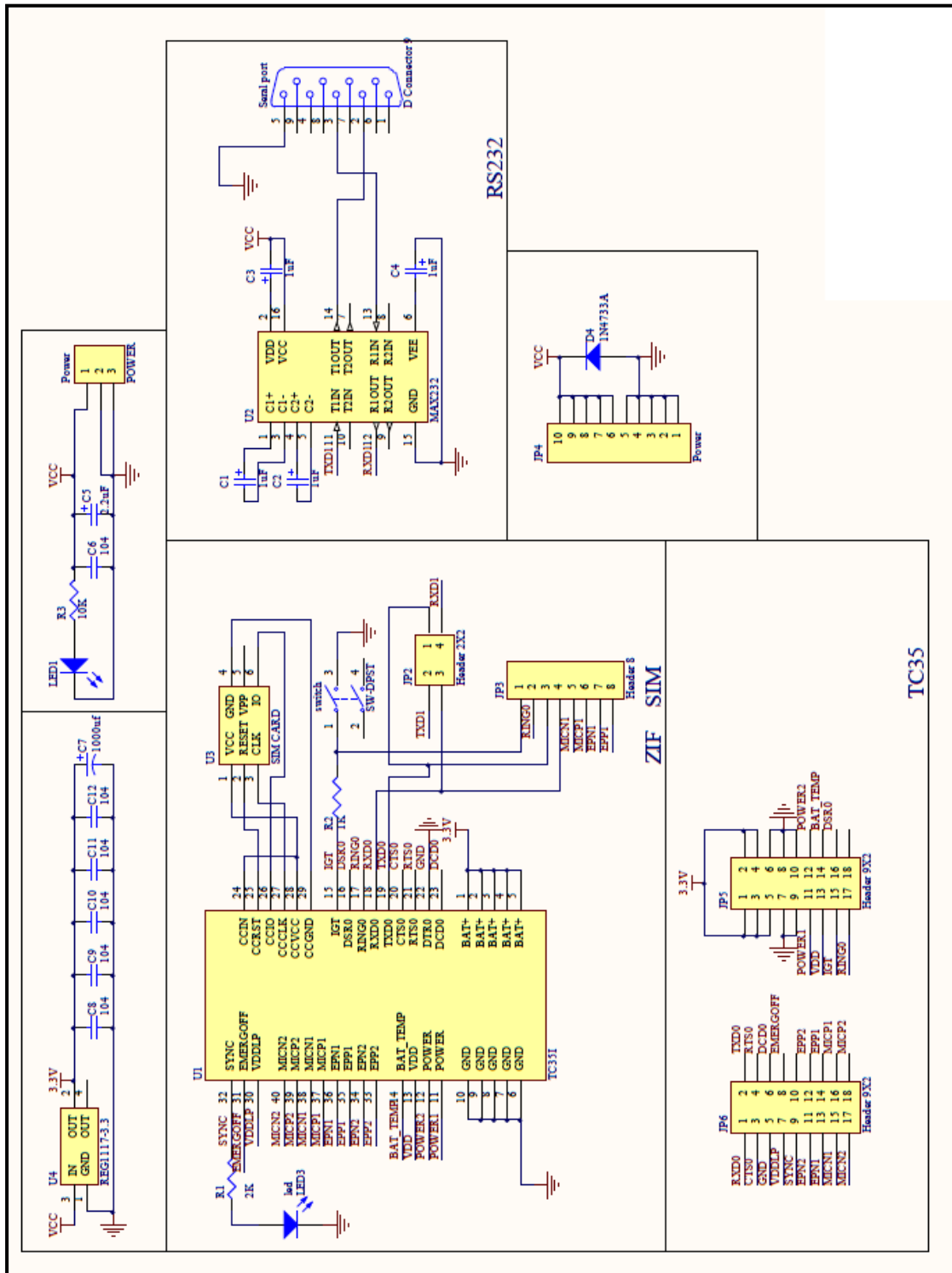
Param No.	Sym.	Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions	
A01	NR	Resolution	—	—	12	bit	$\Delta V_{REF} \geq 5.0V$	
A03	EIL	Integral Linearity Error	—	—	± 10.0	LSb	$\Delta V_{REF} \geq 5.0V$	
A04	EDL	Differential Linearity Error	—	—	+6.0/-4.0	LSb	$\Delta V_{REF} \geq 5.0V$	
A06	E _{OFF}	Offset Error	—	—	± 25 ± 30	LSb	$\Delta V_{REF} \geq 5.0V$, TEMP = 25°C TEMP $\geq 85^\circ C$, -40°C	
A07	E _{GN}	Gain Error	—	—	± 15	LSb	$\Delta V_{REF} \geq 5.0V$	
A10	—	Monotonicity ⁽¹⁾	—					$V_{SS} \leq V_{AIN} \leq V_{REF}$
A20	ΔV_{REF}	Reference Voltage Range ($V_{REFH} - V_{REFL}$)	3	—	$AV_{DD} - AV_{SS}$	V		
A21	V_{REFH}	Reference Voltage High	$AV_{SS} + 3.0V$	—	$AV_{DD} + 0.3V$	V		
A22	V_{REFL}	Reference Voltage Low	$AV_{SS} - 0.3V$	—	$AV_{DD} - 3.0V$	V		
A25	V_{AIN}	Analog Input Voltage	V_{REFL}	—	V_{REFH}	V		

Note 1: The A/D conversion result never decreases with an increase in the input voltage.

Affected Silicon Revisions

A2	A3	A4	A6				
X	X	X	X				

8. GSM - TC35



Σχηματικό Διάγραμμα Πλακέτας GSM

SIEMENS

TC35 TC37 Siemens Cellular Engines



Table 1: TC35 / TC37 key features

Feature	Implementation
Transmission	Voice, Data, SMS, Fax
Power supply	Single supply voltage 3.3V – 5.5V Please refer to Chapter 6.4 for more detailed information
Frequency bands	Dual Band EGSM 900 and GSM 1800 (GSM Phase 2+)
GSM class	Small MS
Transmit power	Class 4 (2W) for EGSM 900 Class 1 (1W) for GSM 1800
SIM card reader	External – connected via interface connector Note: The SIM card reader is not part of the GSM engine
Antenna design	50 Ohm antenna interface. Connectors vary with type of GSM engine: <ul style="list-style-type: none"> • TC35: GSC coaxial connector • TC37: Coaxial switching connector from AMP and antenna pad
Temperature range	Normal operation: -20°C to +55°C Restricted operation: -25° to -20°C and +55°C to +70°C Storage: -40°C to +85°C
Current consumption (typical)	Depending on operating mode <ul style="list-style-type: none"> • TALK mode (peak) at EGSM 900 / GSM 1800: 1.8A • TALK mode at EGSM 900 / GSM 1800: 300mA / 270mA • IDLE mode at EGSM 900 / GSM 1800: 10mA / 10mA • SLEEP mode: 3mA • Power Down mode: 50µA
Speech codec	Triple rate codec: <ul style="list-style-type: none"> • Half Rate (ETS 06.20) • Full Rate (ETS 06.10) • Enhanced Full Rate (ETS 06.50 / 06.60 / 06.80)
SMS	MT, MO, CB, Text and PDU mode
DATA	Transmission rates: 2.4, 4.8, 9.6, 14.4 kbps, non-transparent, USSD
FAX	Group 3: Class 1, Class 2
Audio interface	Analog voice: <ul style="list-style-type: none"> • Microphone • Earpiece • Handsfree (supports echo cancellation and noise reduction)

Feature	Implementation
Serial interface	RS232 (2.65V CMOS level) bi-directional bus for commands / data using AT commands TC35/TC37 modules support Multiplex mode according to the GSM 07.10 Multiplexer Protocol and enable one physical serial interface to be partitioned into three virtual channels. This allows you to take advantage of up to 3 simultaneous sessions on the serial interface. For example, you can transfer data over one channel while two further channels are free to control the GSM engine with AT commands.
Supported SIM card	3V
Phonebook management	Supported phonebook types: SM, FD, LD, MC, RC, ON, ME
Selectable baud rate	300bps ... 115kbps (AT interface)
Autobauding range	Supported baud rates: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200
Firmware download	Optionally via RS232 interface or SIM interface
Real time clock	Implemented
Timer function	Programmable via AT command
Physical characteristics	Size: 54.5 x 36 x 6.75mm Weight: approx. 18g

Το πλήρες τεχνικό φυλλάδιο βρίσκεται στη διεύθυνση:

<http://www.robotshop.com/media/files/PDF/datasheet-gsm-tc35.pdf>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΚΩΔΙΚΑΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

1. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Πριν την παρουσίαση του προγράμματος είναι σκόπιμη η εξήγηση ορισμένων στοιχείων.

Ο Watch Dog Timer (WDT) του μικροελεγκτή έχει μέγιστο time out περίπου τη μία ώρα (4194.304sec). Σκοπός της εργασίας είναι η αποστολή δύο μηνυμάτων την ημέρα, δηλαδή ανά δώδεκα ώρες. Επομένως, ο μικροελεγκτής πρέπει δώδεκα ώρες να βρίσκεται σε κατάσταση sleep (δώδεκα time out του WDT), ώστε να έχει τη λιγότερη κατανάλωση, και να επανέρχεται στη κατάσταση run όταν πρέπει να στείλει το μήνυμα.

Σύμφωνα με αυτά, λοιπόν, πρέπει να υπάρχει ένας μετρητής, που να καταγράφει τις φορές που ο μικροελεγκτής εισέρχεται στην κατάσταση sleep, και μετά την δωδέκατη φορά να τον ωθεί στην αποστολή μηνύματος. Η συνθήκη πετυχαίνεται με την ύπαρξη μετρητή (counter), του οποίου η τιμή αποθηκεύεται στην εσωτερική EEPROM του μικροελεγκτή, για να μην χάνεται.

Στην εσωτερική EEPROM του μικροελεγκτή αποθηκεύεται, επίσης, η τελευταία μέτρηση της μάζας, καθώς χρησιμεύει για τον υπολογισμό της διαφοράς στην επόμενη αποστολή της πληροφορίας, μετά από δώδεκα κύκλους sleep.

```

1: #include <18f25k80.h>
2:
3: #device ADC=12 //δήλωση αριθμού bit του ADC
4:
5: #fuses INTRC_IO // Internal RC Osc & no CLKOUT
6: #fuses NOPUT // No Power Up Timer
7: #fuses NOPROTECT // Code not protected from reading
8: #fuses NOCPD // No EE protection
9: #fuses WDT_SW // No Watch Dog Timer-enabled in Software
10: #fuses WDT1048576 // Watch Dog Timer uses 1:1048576 Postscale
11:
12: #use delay(clock=4000000) // Δήλωση συχνότητας ρολογιού σε Hz (4MHz)
13: #use rs232(baud=9600,bits=8, PARITY=N, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)
14: // Baud Rate: 9600 bps, Bits: 8, No Parity Bit
15: //Transmit Pin: PIN_C6, Receive Pin: PIN_C7
16:
17: #byte ADCON1=0xFC1 // Δήλωση διεύθυνσης του register ADCON1
18:
19: #define last_count 0x00 // Δήλωση της μεταβλητής last_count ως τη διεύθυνση
20: //0x00 της εσωτερικής EEPROM
21: //σε αυτή αποθηκεύεται η τιμή του counter που μετρά
22: // τις φορές που ο MCU μπήκε σε κατάσταση sleep
23: #define last_mass 0x04 // Δήλωση της μεταβλητής last_mass ως τη διεύθυνση
24: // 0x04 της εσωτερικής EEPROM,σε αυτή αποθηκεύεται
25: // η τιμή της τελευταίας Μέτρησης μάζας, που
26: // χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της Διαφοράς
27:
28: #define INTERNAL_EEPROM_UTILITIES // Βοηθητικό πρόγραμμα για Εσωτερική EEPROM
29: #define INT_EEPROM_ADDRESS unsigned int16
30: //Ρύθμιση Εύρους Διευθύνσεων της Εσωτερικής EEPROM
31:
32: void write_float_eeprom(INT_EEPROM_ADDRESS address, float32 data)
33: // Συνάρτηση για εγγραφή float αριθμού σε διεύθυνση της EEPROM
34: {
35: int8 i;
36: for(i = 0; i < 4; i++)
37: write_eeprom(address + i, *((int8 *)(&data) + i));
38: }
39:
40: float32 read_float_eeprom(INT_EEPROM_ADDRESS address)
41: // Συνάρτηση για ανάγνωση float αριθμού από διεύθυνση της EEPROM
42: {
43: float32 data;
44: int8 i;
45: for(i = 0; i < 4; i++)
46: *((int8 *)(&data) + i) = read_eeprom(address + i);
47: return(data);
48: }
49:
50:
51:
52: void main(void)
53: {
54:
55: delay_ms(10000); // Καθυστέρηση 10 δευτ. για σταθεροποίηση του ρολογιού
56:
57: //Δήλωση μεταβλητών
58:
59: unsigned int8 counter;
60: unsigned int16 i,temp,calib,calcon;
61: unsigned int32 sum;
62: float vcalcon,vcalib,vteliko,nogain,kg,mass,diafora;
63: const float first=0.000, vref=5000.0, steps=4096.0, arxi = 0.5401
64: const float klisi= 0.0622, gain=116.64, gainarxi=14.324;
65: char kgchar[8],masschar[8];
66:
67: write_eeprom(last_count,0x0C); // Αρχικοποίηση last_count
68:
69: write_float_eeprom(last_mass, first); // Αρχικοποίηση last_mass
70:
71: printf("AT+CMGF=1\r"); // Εντολή επιλογής του text mode για το GSM
72: Delay_ms (200);
73: printf("AT^SMSO\r"); // Εντολή Powerdown GSM
74: Delay_ms(1000);

```

```

75:
76: setup_wdt(WDT_ON); // Ενεργοποίηση Watch Dog Timer
77:
78:
79: while(true){
80:
81:     delay_ms(3000);
82:     restart_wdt(); // Επανάραξη του Watch Dog Timer
83:
84:     counter = read_eeprom(last_count); // Διάβασει τη διεύθυνση last_count και
85:     //αποθηκεύει τη τιμή στη μεταβλητή counter
86:
87:     if(counter==0x0C){ // Αν ο counter έχει την τιμή 12, τότε ακολουθεί
88:     //το πρόγραμμα αλλιώς μεταβαίνει στο else
89:
90:         setup_adc_ports(sAN1); // Ορισμός PIN_A1 ως αναλογικό
91:
92:         setup_adc_ports(sAN2); // Ορισμός PIN_A2 ως αναλογικό
93:
94:         ADCON1=0x00; // Ορισμός ως Vref+ τη VDD και ως Vref- τη Vss
95:
96:         setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL|ADC_TAD_MUL_16);
97:         // Ορισμός ADC ρολογιού το εσωτερικό RC (TAD)
98:         //και Conversion Time 16*TAD
99:
100:        disable_interrupts(GLOBAL); // Απενεργοποίηση όλων των Interrupts
101:
102:        enable_interrupts(INT_AD); // Ενεργοποίηση του Interrupt του ADC
103:
104:        clear_interrupt(INT_AD); // Εκκαθάριση Interrupt ADC (set flag=0)
105:
106:
107:        //READ AN1 - Vref
108:
109:        set_adc_channel(1); // Ενεργοποίηση Καναλιού 1
110:
111:        temp = 0;
112:        sum=0;
113:
114:        for( i=0 ; i<100 ;i++ ){ // Δειγματοληψεί 100 φορές
115:
116:            clear_interrupt(INT_AD);
117:
118:            read_adc(ADC_START_ONLY); //Εκκίνηση ADC, χωρίς εκκίνηση μετατροπής
119:
120:            sleep(); // Ο MCU μπαίνει σε κατάσταση sleep
121:            delay_cycles(1);
122:
123:            // Όταν η flag του Interrupt ADC γίνει 1 η μετατροπή έχει τελειώσει,
124:            //ο MCU επανέρχεται σε κατάσταση RUN και το πρόγραμμα συνεχίζει
125:
126:            temp = read_adc(ADC_READ_ONLY); // Αποθήκευση της τιμής στη temp
127:
128:            sum+=temp; // Δημιουργία Αθροίσματος
129:
130:            adc_done(); // Δήλωση τέλους μετατροπής ADC
131:            delay_ms(10);
132:
133:        }
134:
135:        calcon=(sum/100); // Υπολογισμός μέσου όρου των 100 μετρήσεων
136:
137:        vcalcon=((calcon *vref)/steps); // Μετατροπή από bits σε τάση
138:
139:        clear_interrupt(INT_AD); // Εκκαθάριση flag του Interrupt ADC
140:
141:        //READ AN2 - signal
142:
143:        set_adc_channel(2); // Ενεργοποίηση Καναλιού 2 και επανάληψη
144:        // διαδικασίας για το κανάλι 2
145:
146:        temp = 0;
147:        sum=0;
148:

```

```

149:     for( i=0 ; i<100 ;i++ ){
150:
151:         clear_interrupt(INT_AD);
152:
153:         read_adc(ADC_START_ONLY);
154:         sleep();
155:         delay_cycles(1);
156:
157:         temp = read_adc(ADC_READ_ONLY);
158:         sum+=temp;
159:         adc_done();
160:         delay_ms(10);
161:
162:     }
163:
164:     calib=(sum/100);
165:     vcalib=((calib *vref)/steps);
166:
167:     clear_interrupt(INT_AD);
168:
169:     setup_adc(ADC_OFF); // Απενεργοποίηση του ADC
170:
171:     disable_interrupts(GLOBAL); // Απενεργοποίηση όλων των Interrupts
172:     delay_ms(200);
173:
174:         // Διαδικασία απόκτησης μετρήσεων
175:
176:     vteliko=vcalib-vcalcon; // Αφαίρεση από την Μέτρηση την Vref
177:
178:     nogain=(vteliko-gainarxi)/gain; //Εφαρμογή της εξίσωσης της Καμπύλης
179:         //Ενίσχυσης, για αφαίρεση της από τη Μέτρηση
180:
181:     kg=((nogain-arxi)/klisi); //Εφαρμογή της εξίσωσης της Καμπύλης
182:         //Αισθητήρων, για τον υπολογισμό της μάζας (kg)
183:
184:     mass = read_float_eeprom(last_mass); // Διαβάζει τη διεύθυνση last_mass
185:         //και αποθηκεύει την τιμή στη μεταβλητή mass
186:
187:     diafora= kg-mass ; // Υπολογισμός της Διαφοράς
188:
189:     sprintf(kgchar,"%0.2f",kg); // Μετατροπή σε χαρακτήρα της kg,
190:         //για την αποστολή της μέσω της RS232
191:
192:     delay_ms(200);
193:
194:     sprintf(masschar,"%0.2f",diafora); // Ομοίως για την diafora
195:     delay_ms(800);
196:
197:         // Ενεργοποίηση του GSM μέσω της γραμμής IGNITION
198:         //Αποστολή παλμού στην IGNITION LINE
199:
200:     output_high(pin_C5);
201:     delay_ms(100);
202:     output_low(pin_C5);
203:     delay_ms(500);
204:     output_high(pin_C5);
205:     delay_ms(20000);
206:
207:     printf("AT\r"); // Εντολή ενεργοποίησης
208:     Delay_ms (1000);
209:
210:     printf("AT+CMGF=1\r"); // Εντολή επιλογής του text mode για το GSM
211:     Delay_ms (200);
212:
213:     printf("AT+CMGS=6980844798\r"); // Εντολή Εκκίνησης εγγραφής μηνύματος
214:         //και παράλληλη δήλωση αριθμού παραλήπτη
215:
216:     if(kbhit()){ //Αναμονή ανταπόκρισης GSM με αποστολή ενός χαρακτήρα
217:         // Συνταξη μηνύματος
218:
219:         DELAY_MS(200);
220:         printf("METRISI: ");
221:         Delay_ms(800);
222:         printf("%s",kgchar);
223:         Delay_ms(800);
224:         printf("kg");
225:         Delay_ms(800);

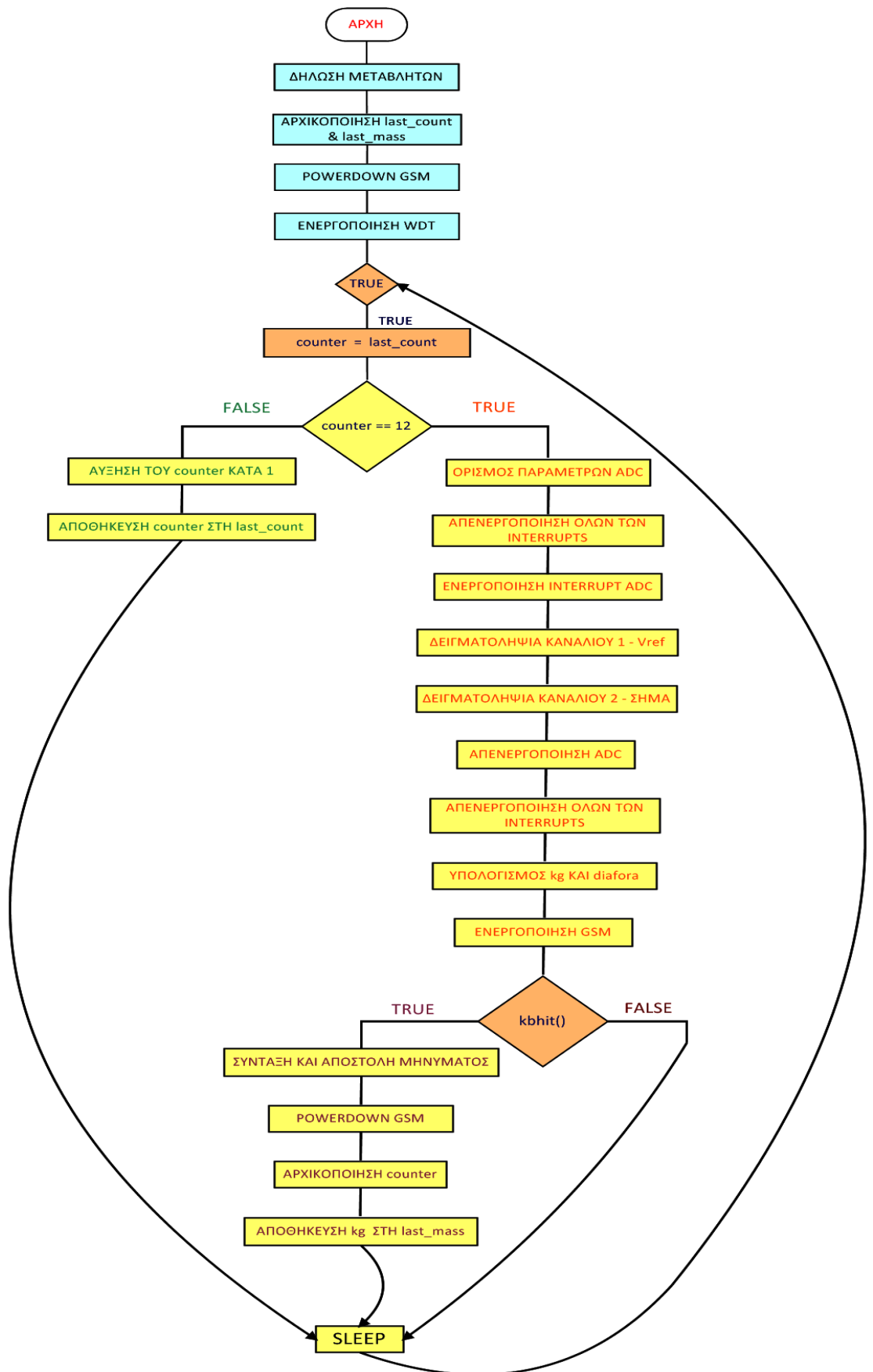
```

```

223:         PUTC(0x0D); //CARRIAGE RETURN - Νέα σειρά
224:         Delay_ms(800);
225:         printf("DIAFORA: ");
226:         Delay_ms(800);
227:         printf("%s",masschar);
228:         Delay_ms(800);
229:         printf(" kg");
230:         Delay_ms(800);
231:         // Αποστολή χαρακτήρων ολοκλήρωσης της διαδικασίας
232:         PUTC(0x1A); //ct1+z
233:         PUTC(0x0D); //CARRIAGE RETURN
234:         PUTC(0x0A); //LINE FEED
235:         delay_ms(15000); //Καθυστέρηση για αποστολή μηνύματος
236:
237:
238:         printf("AT^SMSO\r"); //Εντολή Powerdown GSM
239:         delay_ms(5000);
240:
241:         write_eeprom(last_count,0x01); // Αρχικοποίηση του counter
242:         delay_ms(2000);
243:         mass=kg*1.000; // Η τελευταία Μέτρηση μάζας πρέπει να αποθηκευτεί
244:         // για την επόμενη φορά και εισάγεται στην μεταβλητή mass
245:
246:         write_float_eeprom(last_mass, mass); // Αποθήκευση στη last_mass
247:
248:         delay_ms(2000);
249:     }
250: }
251:
252:
253: else{ // Στην περίπτωση που ο counter δεν έχει την τιμή 0x0C,
254:         //το πρόγραμμα οδηγείται στο else
255:
256:         delay_ms(2000);
257:         counter=counter +1; // Αυξάνει κατά 1 τον counter
258:         delay_ms(300);
259:         write_eeprom(last_count,counter); // Αποθήκευση τιμής στη last_count
260:         delay_ms(5000);
261:
262:     }
263:
264:     sleep(); // Ο MCU εισέρχεται στην κατάσταση sleep
265: }
266: }
267:

```

2. Διάγραμμα Ροής



BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. IC Voltage Regulators
Circuits Today
<http://www.circuitstoday.com/ic-voltage-regulators>
2. Linear and Switching Voltage Regulator Fundamental Part 1
Texas Instruments
<http://www.ti.com/lit/an/snva558/snva558.pdf>
3. Linear and Switching Voltage Regulator Fundamental Part 1 (continue)
Texas instruments
<http://www.ti.com/lit/an/snva559/snva559.pdf>
4. How many different types of force transducer are there? (FAQ- Force)
NPL
<http://www.npl.co.uk/reference/faqs/how-many-different-types-of-force-transducer-are-there-faq-force>
5. Meaning of Poisson's ratio
<http://silver.neep.wisc.edu/~lakes/PoissonIntro.html>
6. Strain Gauge
Wikipedia
https://en.wikipedia.org/wiki/Strain_gauge
7. Elementary Amplifier Theory
All about Circuits
<http://www.allaboutcircuits.com/worksheets/elementary-amplifier-theory/>
8. The Instrumentation Amplifier
All about Circuits
<http://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-8/the-instrumentation-amplifier/>
9. Don't fall in love with one type of instrumentation amp
EDN Network
<http://www.edn.com/design/analog/4346481/Don-t-fall-in-love-with-one-type-of-instrumentation-amp>
10. Analog-to-digital converter
Wikipedia
https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter
11. Introduction to Microcontrollers
Günther Gridling, Bettina Weiss
<https://ti.tuwien.ac.at/ecs/teaching/courses/mclu/theory-material/Microcontroller.pdf>
12. Microcontroller
Wikipedia
<https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>
13. GSM Phases
<http://gsmcommunications.blogspot.gr/2011/01/gsm-phases.html>

14. GSM Power Control

http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/gsm_technical/power-control-classes-amplifier.php

15. GSM Frequency Bands

Wikipedia

https://en.wikipedia.org/wiki/GSM_frequency_bands