

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ
ΣΕ ΣΗΜΑΔΟΥΡΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΕ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ
ΚΟΚΚΩΝΗ ΘΕΟΔΩΡΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: Δόλλας Απόστολος
Χανιά 2016

Εξεταστική Επιτροπή

- Δόλλας Απόστολος, Καθηγητής Π.Κ.
- Κουτρούλης Ευτύχιος, Επ. Καθηγητής Π.Κ.
- Πετυχάκης Γεώργιος, Διδάκτωρ ΕΛΚΕΘΕ

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Απόστολο Δόλλα, επιβλέπων της διπλωματικής μου εργασίας, για την άψογη συνεργασία, τις συμβουλές και την καθοδήγηση του καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησής της, την άμεση διαθεσιμότητα του όποτε τον χρειαζόμουν και την ενθαρρυντική του στάση για να ασχοληθώ με το εν λόγω σύστημα.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Ευτύχιο Κουτρούλη και τον κ. Γεώργιο Πετυχάκη για την συμμετοχή τους στην αξιολόγηση της διπλωματικής μου.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω τον κ. Ευριπίδη Σωτηριάδη για τις συζητήσεις που κάναμε καθώς και την βοήθεια του κατά την εύρεση και παραγγελία του αναγκαίου εξοπλισμού καθώς και τον κ. Μάρκο Κιμιωνή για την υλικοτεχνική του υποστήριξη, την προσωπική του απασχόληση και τον χρόνο που διέθεσε.

Πολλά ευχαριστώ στους μεταπτυχιακούς φοιτητές του εργαστηρίου για την βοήθεια που μου παρείχαν σε οποιοδήποτε πρόβλημα προέκυπτε και μπορούσαν να συνεισφέρουν με την εμπειρία και την καλή τους διάθεση.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου που είχα την τιμή να συνεργαστώ και να γνωρίσω όλα αυτά τα χρόνια, την συνάδελφο και κουμπάρα μου Νίκη Αλεβυζάκη.

Κυρίως όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την στήριξη και την ώθηση τους, όλα αυτά τα χρόνια και πάνω από όλα τον σύζυγό μου Κώστα Χρυσάφης για τη υπομονή, τη συμπαράσταση και τις συμβουλές του σε οποιαδήποτε σημαντική απόφαση της ζωής μου.

Αφιερωμένη,
στην κόρη μου Ειρήνη...

Περίληψη

Η συλλογή και καταγραφή, ωκεανογραφικών και μετεωρολογικών δεδομένων γίνεται με την χρήση συστημάτων ονομαζόμενων ως σημαδούρες. Οι σημαδούρες είναι υπεύθυνες εκτός από την συλλογή και καταγραφή των δεδομένων και για την αποστολή τους στον σταθμό βάσης. Οι δυσκολίες πρόσβασης σε συνδυασμό με το κόστος οδήγησαν στο σχεδιασμό συστήματος ασφαλείας για αυτή κάθε αυτή την σημαδούρα.

Το σύστημα που υλοποιήθηκε επιτυγχάνει τον προγραμματισμό και έλεγχο εξ αποστάσεως με την χρήση SMS. Το βασικό στοιχείο του συστήματος είναι ένας Atmega1284P. Επιπλέον παρέχεται ένα σύνολο από αισθητήρες, οι οποίοι επιλέχθηκαν κυρίως με βάση τα κριτήρια που θα έφερναν ολόκληρη την σημαδούρα σε κίνδυνο, καθώς και ένα GSM modem όπου με την χρήση των γραπτών μηνυμάτων επιτυγχάνεται η αμφίδρομη επικοινωνία σταθμού-βάσης.

Πίνακας Περιεχομένων

Κατάλογος Σχημάτων	9
Κατάλογος Πινάκων	10
1 Εισαγωγή	11
1.1 Περιγραφή προβλήματος	11
1.2 Στόχος και επιστημονική συνεισφορά.....	12
1.3 Δομή της διπλωματικής.....	13
2 Σχετική Έρευνα	15
2.1 Ερευνητικές εφαρμογές.....	15
2.1.1 Σε σηματοδότες.....	15
2.1.2 Συλλογή δεδομένων με χρήση αισθητήρων.....	16
2.1.3 Απομακρυσμένα συστήματα και αντίξοες συνθήκες.....	16
2.1.4 Εφαρμογές με χρήση μικροελεγκτή.....	17
2.2 Εμπορικές Εφαρμογές.....	18
3 Μοντελοποίηση Συστήματος	21
3.1 Λειτουργικά Χαρακτηριστικά	21
3.2 Σχεδιαστικά ζητήματα.....	22
3.2.1 Επιλογή αισθητήρων.....	23
3.3.1 Θέματα ενέργειας.....	24
3.3.2 Θέματα κόστους.....	27
3.3.3 Πρωτότυπο σύστημα.....	27
4 Σχεδίαση Συστήματος	29
4.1 Γενική Δομή Συστήματος.....	29
4.2 Μικροελεγκτής (AVR).....	29
4.3 Περιφερειακές συσκευές συστήματος.....	32
4.3.1 STK 500	32
4.3.2 Αισθητήρες πρωτοκόλλου I ² C.....	33
4.3.3 Αισθητήρες πρωτοκόλλου RS-232	40

4.3.4	MAX232	45
4.3.5	54HC4052	47
4.3.6	GSM module.....	48
4.4	Κατανομή μνήμης.....	51
4.5	Χρήση Timer, Watchdog Timer και ρυθμός δειγματοληψίας.....	57
4.6	Χρήση interrupt και polling	58
4.7	Επισκόπηση τελικού συστήματος.....	59
5	Επιβεβαίωση Λειτουργίας	63
5.1	Εκκίνηση συστήματος.....	63
5.2	Πρόγραμμα Bootloader	63
5.3	Πρόγραμμα αισθητήρων	68
5.3	Καταστάσεις προγράμματος αισθητήρων.....	71
5.4	Έξοδος από το πρόγραμμα αισθητήρων	72
5.5	Πρωτόκολλο επικοινωνίας σταθμού-βάσης.....	73
6	Μελλοντικές Επεκτάσεις	77
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	79
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	83
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	85
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	88

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Σύστημα αισθητήρων και επικοινωνία σημαδούρας-βάσης μέσω ασύρματης επικοινωνίας	21
Σχήμα 2: Καταναλισκόμενη ισχύς συστήματος.....	26
Σχήμα 3: Πρόσοψη prototype συστήματος.....	28
Σχήμα 4: Γενική Δομή Συστήματος.....	29
Σχήμα 5: Ο μικροελεγκτής ATmega1284P.....	31
Σχήμα 6: Γενική δομή του ενσωματωμένου συστήματος.....	31
Σχήμα 7: STK 500	32
Σχήμα 8: Αισθητήρες I ² C.....	33
Σχήμα 9: Αισθητήρες I ² C-Πυξίδα	33
Σχήμα 10: Pinout πυξίδας CMPS10.....	34
Σχήμα 11: Αισθητήρες I ² C-Υγρασία.....	35
Σχήμα 12: Αισθητήρες I ² C-Θερμοκρασία.....	36
Σχήμα 13: Block Diagram TMP102	37
Σχήμα 14: Αισθητήρες I ² C-Ρεύματος.....	38
Σχήμα 15: Αισθητήρας ρεύματος.....	38
Σχήμα 16: Block Diagram Αισθητήρα Ρεύματος.....	39
Σχήμα 17: Αισθητήρες πρωτοκόλλου RS-232	40
Σχήμα 18: Αισθητήρες RS-232-GPS	41
Σχήμα 19: Pins του GPS.....	43
Σχήμα 20: Αισθητήρες RS-232-Αλατότητας	43
Σχήμα 21: MAX232	45
Σχήμα 22: Σύνδεση MAX232 μέσω σειριακής.....	46
Σχήμα 23: 54HC4052	47
Σχήμα 24: Λογικό block diagram διπλού τετρακαναλικού πολυπλέκτη.....	48
Σχήμα 25: GSM modem	48
Σχήμα 26: GSM Block Diagram.....	50
Σχήμα 27: Διαχωρισμός μνήμης Flash.....	51
Σχήμα 28: Flash Memory Mapping.....	56
Σχήμα 29: Block diagram Watchdog Timer	58
Σχήμα 30: block diagram συστήματος	60
Σχήμα 31: Κυκλωματικό διάγραμμα.....	61
Σχήμα 32: Τμήματα μνήμης.....	65

Σχήμα 33: Διάγραμμα Ροής για εγγραφή νέου page στην Flash.....	66
Σχήμα 34: Διάγραμμα Ροής Προγραμμάτων	70
Σχήμα 35: Διάγραμμα Καταστάσεων	72
Σχήμα 36: Ασύγχρονη Σειριακή Μετάδοση	88
Σχήμα 37: Συσκευές που επικοινωνούν με χρήση του I ² C πρωτοκόλλου	90
Σχήμα 38: Εγγραφή σε μία slave συσκευή.....	91
Σχήμα 39: Ανάγνωση από μία slave συσκευή.....	92

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Κατανάλωση ρεύματος	25
Πίνακας 2: Συνολικό κόστος υλοποίησης	27
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Ασύγχρονης Σειριακής Μετάδοσης.....	85
Πίνακας 4: Βασικές προτάσεις του πρωτοκόλλου NMEA.....	86
Πίνακας 5: Παράδειγμα αποκωδικοποίησης μίας πρότασης NMEA.....	86
Πίνακας 6: Εντολές Εισόδου πρωτοκόλλου NMEA.....	87
Πίνακας 7: Pins πολυπλέκτη.....	97
Πίνακας 8: Λογικός πίνακας των select του πολυπλέκτη.....	98

1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η περιγραφή του προβλήματος που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική, αναλύεται ο στόχος και η επιστημονική της συνεισφορά και στο τέλος παρουσιάζεται η δομή της.

1.1 Περιγραφή προβλήματος

Στον τεχνολογικά αυξανόμενο κόσμο μας παρατηρούμε την ολοένα μεγαλύτερη χρήση των ενσωματωμένων συστημάτων, ιδίως με χρήση μικροελεγκτών για την κάλυψη απλών αλλά και πιο σύνθετων αναγκών. Μία τέτοια ανάγκη περιήλθε και στον θαλάσσιο χώρο όπου εκατοντάδες σημαδούρες έχουν εγκατασταθεί με στόχο την συλλογή δεδομένων τόσο για τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν όσο και συλλογή στοιχείων του υδάτινου κόσμου, όπως την μέτρηση της αλατότητας του νερού ή το ποσοστό του ρύπου του.

Κάθε σημαδούρα αποτελεί ένα σταθμό συλλογής δεδομένων τα οποία αποστέλλονται στην βάση ώστε να γίνουν οι κατάλληλες μετρήσεις και υπολογισμοί. Καθεμία φέρει έναν εξοπλισμό ο οποίος είναι αναντικατάστατος κυρίως εξαιτίας του υψηλού του κόστους. Αισθητήρες υψηλής ευκρίνειας, ηλιακά πάνελ και ανεμογεννήτριες είναι μόνο μερικά από αυτά τα οποία βρίσκονται στο έλεος των δύσκολων συνθηκών που επικρατούν στην θάλασσα. Επιπλέον η προσέγγιση κάθε σημαδούρας για τον έλεγχο της είναι πολύ δύσκολη καθώς απαιτεί την πλεύση ειδικών καραβιών, επανδρωμένων με το ειδικευμένο προσωπικό ώστε να γίνει η συλλογή της και να διαπιστωθεί που υφίσταται το πρόβλημα. Κι όλα αυτά χωρίς την δημιουργία σεναρίων, όπως ότι η σημαδούρα λύθηκε και πλέει ανεξέλεγκτα στον ωκεανό, ή ότι δημιουργήθηκε κάποια ανάφλεξη εξαιτίας υψηλών θερμοκρασιών.

Όλες αυτές οι δυσκολίες πρόσβασης στη σημαδούρα καθώς και η ανάγκη για άμεσο έλεγχο από απόσταση, μας οδήγησε στην μελέτη και δημιουργία αυτού του συστήματος που στόχο έχει τον απομακρυσμένο έλεγχο, με την χρήση απλών αισθητήρων και ενός μικροελεγκτή, παρέχοντας την λειτουργικότητα που απαιτείται για αυτόματο και αξιόπιστο έλεγχο της σημαδούρας.

1.2 Στόχος και επιστημονική συνεισφορά

Η παρούσα διπλωματική υλοποιεί τον απομακρυσμένο έλεγχο και επαναπρογραμματισμό από απόσταση συστήματος συλλογής δεδομένων, συνδεδεμένου με πληθώρα αισθητήρων, που βρίσκεται επάνω σε μία αγκυροβολημένη σημαδούρα. Στόχος είναι η μελέτη του τρόπου που υλοποιήθηκε το σύστημα καθώς και η αποτελεσματικότητά του ώστε να μας παρέχεται η καλύτερη δυνατή λειτουργικότητα με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Το σύστημα που μελετάμε στην συγκεκριμένη εργασία μας δίνει την δυνατότητα ενημέρωσης της τρέχουσας κατάστασης της σημαδούρας σε προκαθορισμένο χρόνο, όσο και σε έκτακτα συμβάντα όπως η απότομη αύξηση της υγρασίας και θερμοκρασίας στο εσωτερικό της. Επιπλέον μπορούμε ανά πάσα στιγμή να αλλάξουμε τον ρυθμό δειγματοληψίας των αισθητήρων ή να αποκλείσουμε κάποιον από αυτούς χρησιμοποιώντας τον προγραμματισμό από απόσταση. Όλα αυτά γίνονται μέσω του δικτύου GSM και κάνοντας χρήση της υπηρεσίας SMS της κινητής τηλεφωνίας.

Το επίκεντρο όλων είναι ένας μικροελεγκτής, ATmega1284P, στον οποίο έχουμε συνδέσει σε πρώτη φάση ένα GPS για την ανίχνευση οποιασδήποτε μετατόπισης, μία πυξίδα, έναν αισθητήρα υγρασίας, θερμοκρασίας και ρεύματος. Για περαιτέρω πληροφόρηση έχει προστεθεί και ένας αισθητήρας αλατότητας, καθώς επίσης και ένα GSM module, το οποίο αποτελεί τον δίαυλο επικοινωνίας μεταξύ του συστήματος και του σταθμού βάσης. Όλα τα παραπάνω ελέγχονται από τον μικροελεγκτή AVR εξαιτίας της ευκολίας τόσο στον σχεδιασμό όσο και στον προγραμματισμό.

Το αποτέλεσμα είναι ένα οικονομικό σύστημα απομακρυσμένου πλήρους ελέγχου του μικροελεγκτή AVR, ATmega1284P, καθιστώντας μη αναγκαία την άμεση επαφή μας με την σημαδούρα καθώς η κατάσταση και ο έλεγχός της μπορεί να μας δοθεί με ένα γραπτό SMS.

1.3 Δομή της διπλωματικής

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται σχετικές εργασίες και μελέτες που έχουν δημοσιευθεί και είναι σχετικές με την παρούσα διπλωματική, καθώς και για το τι συστήματα υπάρχουν, πού υπερτερούν και πού υστερούν.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα βασικά βήματα για την σχεδίαση του συστήματός μας. Δίνεται βάση στις λειτουργικές ανάγκες, στις προδιαγραφές και τους περιορισμούς του συστήματος μας, καθώς και σε θέματα κόστους υλοποίησης του συστήματος.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται η παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του συστήματος, αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την υλοποίηση, ο τρόπος διασύνδεσης του μικροελεγκτή με τις υπόλοιπες περιφερειακές συσκευές, ενώ παρουσιάζεται η συνολική εικόνα του συστήματος.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται η επαλήθευση της λειτουργίας του συστήματος, δοκιμάζονται τα υποσυστήματα και εντοπίζονται τυχόν αστοχίες.

Τέλος στο Κεφάλαιο 6, δίδονται τα συμπεράσματα που αποκομίσθηκαν από την εργασία και προτείνονται μελλοντικές επεκτάσεις και βελτιώσεις για το σύστημα που υλοποιήθηκε.

2 Σχετική Έρευνα

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει τη σχετική έρευνα που έγινε σε πραγματικά συστήματα καθώς και έρευνες που έχουν άμεση σχέση με την παρούσα διπλωματική. Το κεφάλαιο αυτό διαχωρίζεται σε δύο μέρη, όπου στο πρώτο περιγράφονται εργασίες και έρευνες που αφορούν την χρήση μικροελεγκτή και του εξ αποστάσεως ελέγχου του, εφαρμογές πάνω σε σημαδούρες και γενικότερα συστήματα συλλογής δεδομένων. Στο δεύτερο μέρος γίνεται αναφορά σε εμπορικές μελέτες από επιχειρήσεις.

2.1 Ερευνητικές εφαρμογές

2.1.1 Σε σημαδούρες

Οι Orán, Roldán, Vázquez και Viera[16] δημιούργησαν ένα σύστημα συλλογής δεδομένων από μία σημαδούρα που δίνει την δυνατότητα πρόβλεψης ακραίων φαινομένων όπως τσουνάμι ή σεισμών. Όλα τα δεδομένα συλλέγονται από τους κατάλληλους αισθητήρες οι οποίοι είναι διασυνδεδεμένοι με τον κεντρικό επεξεργαστή που διαθέτει και μία κάρτα microSD για την αποθήκευση των δεδομένων. Μόλις κάποιο έκτακτο περιστατικό συμβεί αμέσως στέλνονται σήματα κινδύνου.

Οι Hayes, Mellinger, Croll, Costa και Borsani[17] σχεδίασαν ένα σύστημα καταγραφής και εντοπισμού των ήχων που εκπέμπουν άγρια ζώα θαλάσσια, τοποθετημένο σε σημαδούρα. Το εν λόγω σύστημα περιέχει ένα GPS για τον εντοπισμό της τοποθεσίας και ένα ψηφιακό καταγραφέα φωνής.

Στην Ελλάδα δημιουργήθηκε το σύστημα Ποσειδών[18], ένα σύστημα παρακολούθησης, πρόγνωσης και πληροφόρησης για την κατάσταση των ελληνικών θαλασσών, το οποίο καλύπτει την ανάγκη ενημέρωσης της κατάστασης του υγρού στοιχείου. Το δίκτυο πλωτών σταθμών μέτρησης καταγράφει τις φυσικές, βιολογικές και χημικές παραμέτρους των θαλασσών. Στη συνέχεια τα δεδομένα μεταδίδονται στο κέντρο όπου τροφοδοτούν μοντέλα πρόγνωσης τελευταίας γενιάς.

2.1.2 Συλλογή δεδομένων με χρήση αισθητήρων

Οι Κουτρούλης και Καλαϊτζάκης[19] μελέτησαν ένα σύστημα που αποτελείται από ένα σύνολο αισθητήρων για την μέτρηση μετεωρολογικών και ηλεκτρικών παραμέτρων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προκειμένου να συλλέξουν δεδομένα για την απόδοση του συστήματος και για σκοπούς αξιολόγησης. Τα δεδομένα που συλλέγονται από το εν λόγω σύστημα καταλήγουν σε Η/Υ για περαιτέρω επεξεργασία. Το συγκεκριμένο σύστημα κατέχει ευελιξία και μπορεί να υποστεί επέκταση σε περίπτωση που θα χρειαστεί. Η διαφοροποίηση σε αυτήν την μελέτη βρίσκεται στο γεγονός της χρήσης αισθητήρων για την μέτρηση όχι μόνο θερμοκρασίας, υγρασίας κτλ αλλά επίσης του ρεύματος που εισέρχεται από ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά.

Οι Rubio, Albaladejo, Soto, Navarro και Iborra[20] παρουσιάζουν ένα σύστημα που μπορεί να συλλέξει ωκεανογραφικά δεδομένα από αισθητήρες. Όλες οι πληροφορίες που συλλέγονται αποστέλλονται σε έναν απομακρυσμένο server μέσω GPRS.

Ακόμα μία εργασία συλλογής και επεξεργασίας περιβαλλοντικών μετρήσεων είναι και αυτή των Waghmare και Chatur[21] .

2.1.3 Απομακρυσμένα συστήματα και αντίξοες συνθήκες

Πολύτιμες πληροφορίες για την ποσότητα του νερού και τα φερτά υλικά που διατρέχουν ένα ποτάμι όταν αναπτύσσεται ένα πλημμυρικό φαινόμενο, καθώς και για την πιθανή μόλυνση των νερών, προσφέρει ένα καινοτόμο σύστημα που ανέπτυξαν οι Ευσταθίου, Μωραΐτης και Νικολαΐδης[22]. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται μία συσκευή στην οποία χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις των ιζημάτων για τη βαθμονόμηση και επαλήθευση των προσομοιώσεων μεταφοράς τους στον ποταμό Κοιλιάρη. Οι προσομοιώσεις μεταφοράς φερτών υλών και η ανάπτυξη του αυτοματισμού δειγματοληψίας ήταν μέρος των προκαταρκτικών εργασιών για την εφαρμογή του "Cybersensors". Το Cybersensors στοχεύει στην ανάπτυξη ενός ευφυούς ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης, το οποίο θα χρησιμοποιεί ηλεκτροχημικούς και οπτικούς αισθητήρες, και θα επιτρέπει την παρακολούθηση των φυσικών και χημικών παραμέτρων της ροής του ποταμού και την ταχεία ανίχνευση των περιβαλλοντικών

αλλαγών κατά τη διάρκεια πλημμυρικών γεγονότων, καθώς και την μακροπρόθεσμη μελέτη τους.

Παρόμοια λογική συστήματος, σε αντίξοες συνθήκες και καθόλου επέμβαση από τον άνθρωπο ήταν και οι μη επανδρωμένες αποστολές δορυφόρων στο ηλιακό σύστημα που χρησιμοποιούσε η **Jet Propulsion Lab** (JPL) [23][24] της NASA το 1980. Το σημαντικότερο γεγονός ήταν η εξαιρετική απόδοση του συστήματος τοποθετημένου σε διαστημικό ανιχνευτή η οποία φάνηκε από πλήθος φωτογραφιών του Κρόνου, που μεταδόθηκαν ένα δισεκατομμύριο μίλια μακριά. Το διαστημόπλοιο Voyager εμπεριείχε σημαντικό εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε ως ο σύνδεσμος επικοινωνίας μεταξύ διαστημοπλοίου και γης από όπου μεταδίδονταν όλες οι μετρήσεις. Κύριο ρόλο σε όλα αυτά έπαιξε ο μικροελεγκτής Motorola CMOS 6805 series, ο οποίος αντικατέστησε έναν μεγάλο αριθμό από ξεχωριστά ολοκληρωμένα κυκλώματα και επέκτεινε σε μεγάλο βαθμό την ζωή της μπαταρίας.

2.1.4 Εφαρμογές με χρήση μικροελεγκτή

Η εξέλιξη και η ευκολία χρήσης των μικροελεγκτών τους έχει καταστήσει ως ενδιαφέρουσα επιλογή για υλοποίηση ενσωματωμένων συστημάτων σε διάφορους τομείς.

Ο Αποστολάκης[13] υλοποίησε ένα ενσωματωμένο σύστημα ιχνηλάτησης σταθερών κατευθυντικών κεραιών για κινούμενα οχήματα και πιο συγκεκριμένα για πλοία που θέλουν να αποκτήσουν πρόσβαση σε ασύρματα δίκτυα, βασισμένο στη χρήση μικροελεγκτή AVR και ενός δέκτη GPS. Δημιούργησε εντολές ελέγχου για μία βάση περιστροφής της κεραίας του πλοίου προκειμένου να τη διατηρήσει στο σταθμό βάσης που έχει επιλέξει να παρακολουθεί.

Η Βερέμη[14] υλοποίησε ένα σύστημα ελέγχου και απογραφής προϊόντων σε μια γραμμή παραγωγής με την χρήση αναγνώστη RFID και μικροελεγκτή AVR. Στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η δημιουργία ενός κυκλώματος που συνδυάζει την οικονομία με την πλήρη λειτουργικότητα που απαιτείται σε μια τέτοια εφαρμογή.

Η διπλωματική εργασία των Κοσκινοπούλου και Καλιτσουνάκη[15] περιγράφει την μελέτη και την δημιουργία ενός συστήματος τηλεχειρισμού και τηλε-ελέγχου με έναν AVR μικροελεγκτή. Χρησιμοποιείται γι' αυτό τον σκοπό και ένα GPRS που επιτρέπει την αποστολή και λήψη των μηνυμάτων, απαραίτητων για τον χειρισμό και έλεγχο των εισόδων και εξόδων του συστήματος. Τέλος το σύστημά τους περιλαμβάνει και διασύνδεση με Η/Υ με

ειδικά σχεδιασμένο λειτουργικό και έχει αναπτυχθεί ιστοσελίδα για την επεξεργασία των δεδομένων του συστήματος.

Οι Nhivekar και Mudholker[25] προχώρησαν στον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός ενσωματωμένου συστήματος με μικροελεγκτή με σκοπό τη λήψη περιβαλλοντικών δεδομένων και απομακρυσμένο έλεγχο αυτών με χρήση SMS από το κινητό του χρήστη.

Οι Saidu, Momoh και Mindaudu[26] σχεδίασαν ένα σύστημα συλλογής των δεδομένων της θερμοκρασίας ασθενή με την χρήση ενός μικροελεγκτή AVR ATmega16, με σκοπό την ενημέρωση του γιατρού μέσω ενός γραπτού μηνύματος. Για τον σκοπό αυτόν χρησιμοποιείται η μνήμη EEPROM για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων καθώς και το GSM modem για την αποστολή των SMS.

Οι περισσότερες έρευνες που μελετήθηκαν έχουν να κάνουν με την συλλογή δεδομένων από την θάλασσα ή κάποιο αντίξοο περιβάλλον και αποστολή με χρήση κάποιου GSM modem στη βάση. Πανομοιότυπη μελέτη ενός συστήματος πάνω σε σημαδούρα που στόχο θα έχει όχι μόνο την συλλογή δεδομένων από τον ωκεανό, αλλά κυρίως την συλλογή δεδομένων για τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό της σημαδούρας δεν υπάρχει επακριβώς. Τέτοιου είδους συστήματα είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα σε σπίτια όπου μπορούμε να εντοπίζουμε τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό τους, όπως η θερμοκρασία ή ανίχνευση κίνησης, αλλά όχι σε σημαδούρες. Επομένως με την παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει μία πρώτη προσέγγιση ενός συστήματος ελέγχου και απομακρυσμένου προγραμματισμού ενός μικροελεγκτή πάνω σε σημαδούρα, που στόχο θα έχει την ασφάλειά της και την διευκόλυνση του χρήστη, ο οποίος θα μπορεί να εντοπίσει τα προβλήματα ή να μεταβάλει το σύστημα από απόσταση. Βεβαίως υπάρχουν εμπορικές εφαρμογές αυτού του είδους, όπως παρουσιάζονται παρακάτω.

2.2 Εμπορικές Εφαρμογές

Καθ' όλη την αναζήτηση παρόμοιου συστήματος, με αυτό της παρούσας διπλωματικής, διαπιστώθηκε πως υπάρχουν πολλών ειδών σημαδούρες καθεμία για διαφορετική χρήση. Κάποιες παίρνουν δεδομένα για τον καιρό, άλλες για το θαλασσινό νερό, κάποιες μπορούν να προβλέψουν ακραία φαινόμενα όπως τσουνάμι ή σεισμούς. Οι περισσότερες περιέχουν ένα δίκτυο επικοινωνίας με τον έξω κόσμο όπου μπορούν να μοιράζονται τα δεδομένα που λαμβάνουν καθώς και κάποιον επεξεργαστή που αποτελεί την καρδιά του συστήματος. Στις περισσότερες υπάρχουσες

σημαδούρες παρόλο το κόστος τους δεν αναφέρεται να έχουν κάποιου είδους συστήματος ασφαλείας για την άμεση ενημέρωση του χρήστη, όταν η σημαδούρα θα βρίσκεται σε έκτακτη ανάγκη.

Τέτοιου είδους σημαδούρα είναι η TRIAXYS Directional Wave Buoy[27], η οποία συλλέγει δεδομένα για τα κύματα. Εμπεριέχει ευαίσθητους αισθητήρες και επιταχυνσιόμετρα, ενώ μπορεί να κάνει καταγραφές για περισσότερα από πέντε χρόνια.

Παρόμοιου τύπου είναι και η OSIL's Shearwater Buoy[28] που παρέχει εξοπλισμό και κατάλληλους αισθητήρες που χρησιμεύουν στην συλλογή και την μέτρηση ωκεανογραφικών και μετεωρολογικών δεδομένων, καθώς και δεδομένων για την ποιότητα του νερού. Παρέχεται πλήρης συλλογή δεδομένων, συνδυαζόμενη με ένα πρόγραμμα μέσω server για την πρόσβασή τους.

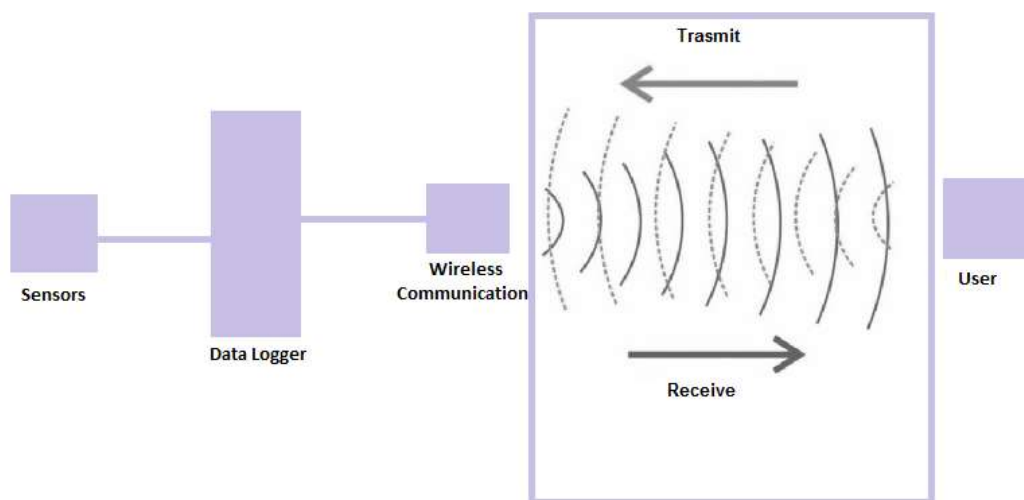
Η σημαδούρα DB 4700 της AANDERA[29] είναι ακόμη μία εμπορική επιλογή για συλλογή ωκεανογραφικών δεδομένων. Μπορεί να κάνει μέτρηση του ύψους και της περιόδου των κυμάτων, την ταχύτητα και την κατεύθυνσή τους, την θερμοκρασία του νερού, την αγωγιμότητα και αλατότητά του. Επιπλέον γίνεται μέτρηση μετεωρολογικών παραμέτρων, όπως την πίεση του αέρα, την θερμοκρασία, την υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου. Τα δεδομένα έχουν την δυνατότητα να αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο ή και να αποθηκεύονται εσωτερικά του συστήματος με χωρητικότητα έως και 30 ημερών.

Με πολλές επιλογές τηλεμετρίας για απομακρυσμένη πρόσβαση στα δεδομένα και με τον έλεγχο αισθητήρων, οι σημαδούρες μπορούν να επικοινωνούν με διακομιστές και ηλεκτρονικά συστήματα. Με ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης, μπορούν να λειτουργήσουν για πολύ καιρό χωρίς διακοπή. Βέβαια το κόστος για κάτι τέτοιο αναμένεται να είναι αρκετά μεγάλο, ενώ αντιθέτως ο στόχος μας είναι να έχουμε τον πλήρη έλεγχο της σημαδούρας, ανά πάσα χρονική στιγμή και κυρίως πολύ οικονομικά.

3 Μοντελοποίηση Συστήματος

Στο κεφάλαιο αυτό θα δοθεί η γενική εικόνα του συστήματος που υλοποιήθηκε καθώς και θέματα που αντιμετωπίστηκαν, όπως το κόστος και η κατανάλωση ενέργειας.

3.1 Λειτουργικά Χαρακτηριστικά



Σχήμα 1: Σύστημα αισθητήρων και επικοινωνία σηματοδύρας-βάσης μέσω ασύρματης επικοινωνίας

Η λειτουργικότητα του συστήματος περιλαμβάνει δύο βασικές καταστάσεις.

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα, αρχικά θα γίνεται συλλογή των δεδομένων από ένα σύνολο αισθητήρων. Οι αισθητήρες αυτοί θα έχουν ως στόχο την κάλυψη κάποιων τυχών σεναρίων τα οποία θα μπορούσαν να φέρουν την σηματοδύρα σε κίνδυνο. Εφόσον διευκρινιστούν τα βασικά σενάρια που θέλουμε να καλύψουμε κάνουμε επιλογή των κατάλληλων αισθητήρων, με κύριο μέλημα τον συνδυασμό ευκρίνειας και κόστους, αλλά και με βάση τους διαθέσιμους πόρους.

Κατά την εκκίνηση του συστήματος λοιπόν θα συλλέγονται όλα τα δεδομένα των αισθητήρων από τον συλλέκτη δεδομένων και εφόσον γίνει η επεξεργασία τους, θα οδηγούνται προς μετάδοση στον χρήστη.

Στο δεύτερο βήμα γίνεται η ενεργοποίηση και αρχικοποίηση ενός συστήματος αποστολής δεδομένων. Το σύστημα αυτό θα είναι ο δίαυλος επικοινωνίας μεταξύ βάσης και συλλέκτη δεδομένων. Η επικοινωνία αυτή θα πρέπει να είναι ασύρματη, καθώς θέλουμε να επιτύχουμε τον απομακρυσμένο έλεγχο του συστήματος και αμφίδρομη καθώς θα πρέπει

και ο χρήστης από την μεριά του να μπορεί να κάνει αλλαγές στο σύστημα από απόσταση. Μέσω του διαύλου επικοινωνίας ο χρήστης ενημερώνεται για τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό της σημαδούρας καθώς επίσης και για τα έκτακτα συμβάντα.

Επιπλέον θα μπορεί να ενημερωθεί για μεμονωμένους αισθητήρες, να απενεργοποιήσει, ή ενεργοποιήσει κάποιον αισθητήρα του συστήματος, ακόμα και να προγραμματίσει το σύστημα εκ νέου. Με αυτόν τον τρόπο θα εξασφαλίσουμε ένα σύστημα πλήρους ελέγχου εξ αποστάσεως, δεδομένο που θα αποτρέπει την ανάγκη μετάβασης στο σημείο που θα βρίσκεται η σημαδούρα, παρά μόνο για έκτακτα γεγονότα.

3.2 Σχεδιαστικά ζητήματα

Κατά την διαδικασία της σχεδίασης έπρεπε να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες μεταξύ των οποίων η εξοικονόμηση ενέργειας και των πόρων του συστήματος, ώστε να διατηρηθούν ανέγγιχτοι για μελλοντικές επεκτάσεις και δόθηκε έμφαση στην ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης, προκειμένου να μπορεί να λειτουργήσει δίχως ανθρώπινη παρέμβαση για πολύ καιρό.

Η επιλογή των αισθητήρων έπρεπε να γίνει με βασικό γνώμονα τον συνδυασμό αξιοπιστίας και οικονομίας, ενώ επιπλέον έγινε προσπάθεια επίλυσης πρακτικών ζητημάτων, από το πώς θα επιτευχθεί η επικοινωνία σημαδούρας-βάσης, μέχρι το μέγεθος του κουτιού το οποίο θα έπρεπε να προσαρμοστεί επάνω στην σημαδούρα.

Επιπλέον λήφθηκε υπόψη ότι το σύστημα έπρεπε να είναι σε θέση να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε σημείο εντός του δικτύου, επομένως θα έπρεπε να σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να έχει την δυνατότητα έως και ολοκληρωτικού προγραμματισμού του. Για τον σκοπό αυτόν σχεδιάστηκε ένα σύστημα που αποτελείται από έναν μικροελεγκτή με μεγάλο μέγεθος επαναπρογραμματιζόμενης μνήμης.

3.2.1 Επιλογή αισθητήρων

Η επιλογή του είδους των αισθητήρων έγινε έχοντας υπόψη μερικά βασικά σενάρια τα οποία θα μπορούσαν να φέρουν σε επικίνδυνη κατάσταση μέρος ή και ολόκληρη την σημαδούρα.

- Αρχικό σενάριο είναι η ανάφλεξη εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που υφίστανται στις περιοχές που βρίσκονται οι σημαδούρες. Για αυτόν τον σκοπό απαιτείται η χρήση ενός αισθητήρα θερμοκρασίας, κοντά στην μπαταρία η οποία θα ελέγχει την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό.
- Επόμενο σενάριο είναι η εισροή θαλασσινού νερού στο σύστημα. Για να καλυφθεί και αυτό το σενάριο επιλέχθηκε ένας αισθητήρας υγρασίας που ανιχνεύει οποιαδήποτε αλλαγή με μεγάλη ακρίβεια.
- Εάν η σημαδούρα για οποιοδήποτε λόγο λυθεί από την άγκυρα της και αρχίσει να πλέει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, θα ήταν καλό να έχουμε έναν αισθητήρα εντοπισμού της θέσης της ανά πάσα χρονική στιγμή, γι' αυτό και χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας GPS, σε συνδυασμό με την πυξίδα, η οποία θα χρησιμοποιείται σε περίπτωση που η σημαδούρα είναι εγκατεστημένη σε σταθερή βάση. Σε ένα τέτοιο έκτακτο γεγονός θα μπορούμε να βρούμε την πορεία της σημαδούρας ώστε να δράσουμε ανάλογα.
- Το μόνο που θα μας περιόριζε θα ήταν η κατανάλωση ισχύος. Γι αυτό το λόγο έπρεπε να τοποθετηθεί ένας αισθητήρας ρεύματος, ο οποίος εντοπίζει την πτώση τάσης που προέρχεται από τις μπαταρίες.

Για να είναι αποδοτικός ένας αισθητήρας θα πρέπει να εμπεριέχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ευαισθησία στο μετρούμενο μέγεθος
- Μη ευαισθησία σε άλλα μεγέθη ή φαινόμενα
- Να μην επηρεάζεται από το μέγεθος που υπολογίζει

Με βάση τα παραπάνω έγινε η αναζήτηση αισθητήρων θερμοκρασίας, υγρασίας, ρεύματος και εντοπισμού θέσης. Εξετάστηκαν πολλών τύπων αισθητήρες, αισθητήρες που υποστηρίζουν διαφορετικά πρωτόκολλα, όπως I2C και RS232 και απλοί αναλογικοί αισθητήρες. Οι αναλογικοί αισθητήρες απορρίφθηκαν, καθώς εκτός των διαφορετικών τάσεων που υποστηρίζουν, δεδομένο που θα αύξανε τον αριθμό των υλικών που θα χρησιμοποιούνταν, όπως σταθεροποιητές τάσης, ή ενισχυτές, θα γινόταν και κατασπατάληση των πόρων εφόσον ο καθένας θα έπρεπε να συνδεθεί με μία αναλογική έξοδο του μικροελεγκτή, η οποία αντιστοιχίζεται συνήθως στα 5 ή 3,3V. Επιπλέον οι περισσότεροι μικροελεγκτές διαθέτουν το πολύ δύο RS-232, οπότε και η αναζήτηση περιορίστηκε σε αισθητήρες που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο I2C το οποίο υλοποιείται με την χρήση δύο μόνο καλωδίων διπλής κατεύθυνσης

και δύο pull-up αντιστάσεων. Με άλλα λόγια όλοι οι αισθητήρες επικοινωνούν με τον μικροελεγκτή μέσω του ίδιου διαύλου επικοινωνίας, χρησιμοποιώντας διαφορετικές διευθύνσεις.

Επιπλέον βασικό στοιχείο για την επιλογή των αισθητήρων ήταν η ακρίβεια τους και η ευκολία της χρήσης του πρωτοκόλλου.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω σενάρια καθώς και την αποδοτικότητά τους επιλέχθηκαν οι αισθητήρες που παρουσιάζονται στην ενότητα 4.3, ο διαχωρισμός των οποίων έγινε με βάση το πρωτόκολλο που υποστηρίζουν.

3.3.1 Θέματα ενέργειας

Σημαντικό ρόλο κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού έπαιξε η κατανάλωση που θα είχε ένα τέτοιο σύστημα. Εφόσον πρόκειται για ένα πλήρως αυτόνομο σύστημα το οποίο θα μπορεί να δέχεται αλλαγές μόνο από απόσταση.

Έπρεπε εξ αρχής λοιπόν να διασαφηνιστεί ότι η πρόσβαση στο σημείο είναι πολύ δύσκολη ώστε να γίνεται αλλαγή ή επαναφόρτιση των μπαταριών χειροκίνητα και για το σκοπό αυτόν έπρεπε να διατηρήσουμε την κατανάλωση του συστήματος σε χαμηλά επίπεδα.

Επομένως όλες οι μετέπειτα επιλογές έγιναν με στόχο την μεγιστοποίηση της αυτονομίας του σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης και ο τρόπος που αυτό επετεύχθη παρουσιάζεται παρακάτω.

Εφόσον το σύστημά μας εμπεριέχει έναν μικροελεγκτή κι ένα GSM, έπρεπε να επιλέξουμε το πρόγραμμα χαμηλής κατανάλωσης, κατά το οποίο ο AVR βρίσκεται σε sleep mode. Δηλαδή μπορούμε να αφήσουμε τον μικροελεγκτή μας σε κατάσταση αδράνειας και να τον ξυπνάμε σε προκαθορισμένο χρόνο για την δειγματοληψία από τους αισθητήρες και την επικοινωνία από τον χρήστη. Πέρα από την χρήση του sleep mode για τον μικροελεγκτή, έπρεπε να βρεθεί και μία καθοριστική λύση για το υπόλοιπο. Για τον λόγο αυτόν τοποθετήθηκαν δύο τρανζίστορ, τα οποία χειριζόμαστε ως διακόπτες, τοποθετώντας το υπόλοιπο κύκλωμα σε αδράνεια, έχοντας σχεδόν μηδενική κατανάλωση, πράγμα που βελτιώνει την απόδοση της μπαταρίας.

Εάν βέβαια ενεργοποιούμε το σύστημα λιγότερες φορές την ημέρα θα έχουμε ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Επιπλέον εάν το σύστημα βρεθεί σε έκτακτη ανάγκη ενεργοποιούνται όλα τα περιφερειακά με αποτέλεσμα να αυξηθεί η κατανάλωση και να μειωθεί αντίστοιχα ο χρόνος ζωής της μπαταρίας.

Η τροφοδοσία που παρέχεται στο σύστημα προέρχεται από μία μπαταρία των 12V η οποία μπορεί να επαναφορτίζεται από τα εξωτερικά πάνελ και τις ανεμογεννήτριες της σηματοδούρας. Ταυτόχρονα έχει συνδεθεί εξωτερικά και μία εφεδρική μπαταρία, για λόγους ασφάλειας. Επομένως όταν η εσωτερική μπαταρία τελειώσει, θα αναλαμβάνει η εξωτερική μέχρις ότου να δράσει ο χρήστης, ο οποίος θα έχει ενημερωθεί μέσω μηνύματος.

Τέλος, σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ζωή μιας μπαταρίας είναι και οι περιβαλλοντικές συνθήκες, με την θερμοκρασία να παίζει τον κυριότερο ρόλο. Το ρεύμα του συστήματος δίνεται ως εξής:

Συσκευή	Κατάσταση Συστήματος		
	Report/Alert	Sleep	Normal
Atmega1284P (1.8V 1MHz 30°C)	0.4mA	0.0046mA	0.4mA
GSM modem	45mA	-	-
GPS	44mA	-	-
TMP102	0.01mA	-	0.01mA
INA219	0.006mA	-	0.006mA
CMPS10	25mA	-	
HIH6130	0.006mA	-	0.006mA
MAX232	4mA	-	-
54HC4052	0.08mA	-	-
Σύνολο	118.502mA	0.0046mA	0.422mA

Πίνακας 1: Κατανάλωση ρεύματος

Ακολουθεί ο υπολογισμός της μέσης ισχύς, και στη συνέχεια της κατανάλωσης ενέργειας με 12V τάση και η συνολική διάρκεια ζωής της μπαταρίας στις αντίστοιχες καταστάσεις:

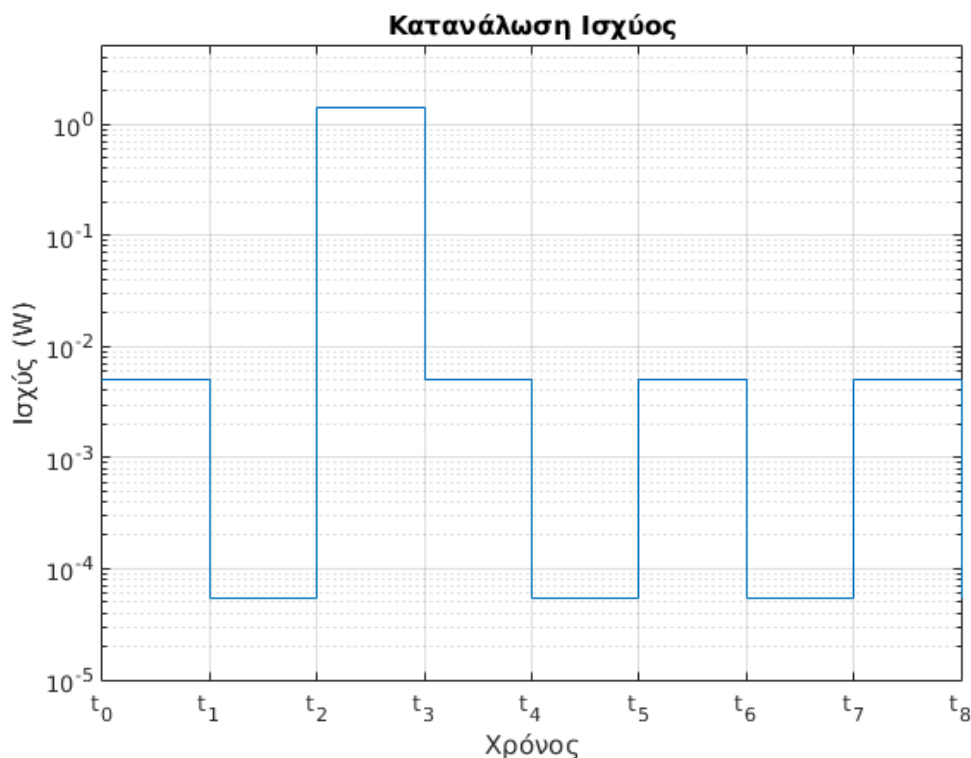
$$E_{battery} = 7Ah \cdot 12V = 84Wh = 302.400J$$

$$P_{alert} = 118.502mA \cdot 12V = 1.4W$$

$$P_{sleep} = 0.0046mA \cdot 12V = 0.055mW$$

$$P_{normal} = 0.422mA \cdot 12V = 5.064mW$$

Μέση ισχύς συστήματος:



Σχήμα 2: Καταναλισκόμενη ισχύς συστήματος

$$\bar{P} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt = \frac{1}{T} (k \int_{t_0}^{t_1} P_{normal}(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} P_{sleep}(t) dt) + \int_{t_2}^{t_3} P_{report}(t) dt =$$

$$= k \frac{(t_1 - t_0)}{T} P_{normal} + k \frac{(t_2 - t_1)}{T} P_{sleep} + \frac{(t_3 - t_2)}{T} P_{report} =$$

$$= k \frac{\Delta t_{normal}}{T} P_{normal} + k \frac{\Delta t_{sleep}}{T} P_{sleep} + \frac{\Delta t_{report}}{T} P_{report} =$$

$$= \frac{1.14h}{24h} * 5.064mW + \frac{22.81h}{24h} * 0.055mW + \frac{0.048h}{24h} * 1.4W = 0.0032W$$

*k=πόσες φορές εισήλθε στις καταστάσεις normal-sleep κατά τη διάρκεια μίας ημέρας.

Διάρκεια ζωής μπαταρίας κατάστασης normal-sleep-report:

$$E_{battery} = \bar{P} * t_{battery} = >$$

$$t_{battery} = \frac{E_{battery}}{\bar{P}} = >$$

$$t_{battery} = \frac{84Wh}{0.0032W} = 26250h = 3.0y$$

Διάρκεια ζωής μπαταρίας κατάστασης alert:

$$t_{battery} = \frac{E_{battery}}{P_{alert}} = >$$

$$t_{battery} = \frac{84Wh}{1.4W} = 60h = 2,5d$$

Τέλος, το GSM που μας παραχωρήθηκε, καταναλώνει αρκετή ισχύ σε σχέση με αντίστοιχες συσκευές που κυκλοφορούν και κατά κύριο λόγο στην διαδικασία αποστολής και λήψης, γεγονός που θα μπορούσε να επιλυθεί σε επόμενη έκδοση.

3.3.2 Θέματα κόστους

Όλα τα περιφερειακά που χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκαν με κριτήριο την αξιοπιστία τους συναρτήσει της τιμής τους. Η επιλογή ενός AVR μικροελεγκτή που αποτελεί το κεντρικό και βασικότερο στοιχείο του συστήματος, εκτός των ποικίλων δυνατοτήτων του έχει και ένα πολύ μικρό κόστος. Οι αισθητήρες επιλέχθηκαν με βάση την ακρίβεια τους και το εύρος τιμών τους αλλά και το κόστος τους σε σχέση με αυτά που προσφέρουν. Ενδεικτικά το συνολικό κόστος για την υλοποίηση του συστήματος φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

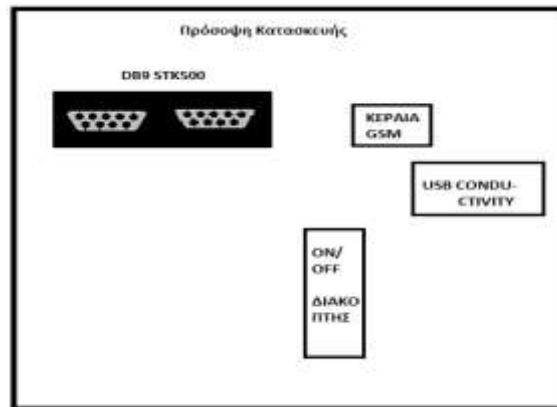
Item	Price €
ATmega1284P	5
HIH6130	14
TMP102	5
INA219	11
mc35i (GSM)	30
EM-406A (GPS)	40
CMPS10	30
Σύνολο	135

Πίνακας 2: Συνολικό κόστος υλοποίησης

Το κόστος αυτό βέβαια μπορεί να μειωθεί περαιτέρω κάνοντας χρήση μόνο των αισθητήρων και όχι των αισθητήρων πάνω στα breakout boards τους. Επιπλέον οι τιμές αφορούν την αγορά μεμονωμένων αισθητήρων, με προφανή αλλαγή τιμής για αγορά περισσότερων τεμαχίων.

3.3.3 Πρωτότυπο σύστημα

Κατά την σχεδίαση έπρεπε να ληφθεί υπόψη το μέγεθος και η αντοχή των υλικών. Όλο το σύστημα τοποθετήθηκε σε ένα μεταλλικό κουτί, μικρού μεγέθους, από το οποίο εξέρχονται οι δύο σειριακές θύρες για τυχόν σύνδεση με τον H/Y, η κεραία του GSM και ο conductivity sensor, ενώ υπάρχει και ένας διακόπτης ON/OFF, για ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση του συστήματος. Εν συνεχεία το σύστημα θα σφραγιστεί και θα συμπιεστεί με ειδικό αέριο, με αποτέλεσμα οι συνθήκες εντός του συστήματος να διατηρούνται και οποιαδήποτε διαφοροποίηση να γίνεται άμεσα αντιληπτή. Η πρόσοψη του κουτιού φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

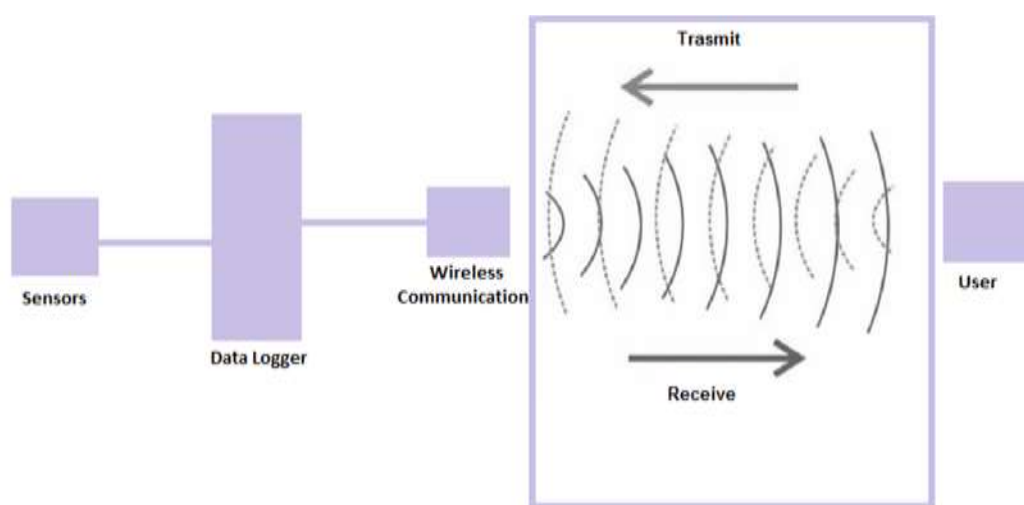


Σχήμα 3: Πρόσωση prototype συστήματος

4 Σχεδίαση Συστήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η γενική δομή του συστήματος, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του και ο τρόπος που όλα αυτά συνδέθηκαν μεταξύ τους προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

4.1 Γενική Δομή Συστήματος



Σχήμα 4: Γενική Δομή Συστήματος

Όπως προαναφέρθηκε, η γενική δομή του συστήματος αποτελείται από έναν συλλέκτη δεδομένων, ένα σύνολο αισθητήρων και ένα σύστημα αμφίδρομης απομακρυσμένης επικοινωνίας μεταξύ του συλλέκτη και του σταθμού βάσης. Ο τρόπος που επιλέχθηκαν και διασυνδέθηκαν τα υποσυστήματα γίνεται παρακάτω.

4.2 Μικροελεγκτής (AVR)

Αρχικά έπρεπε να διευκρινιστεί ο τρόπος με τον οποίο θα γινόταν η συλλογή των δεδομένων, τα οποία θα παράγονταν από το σύνολο των αισθητήρων και κατόπιν επεξεργασίας θα έπρεπε να μεταδοθούν στον χρήστη. Τα χαρακτηριστικά του συλλέκτη των δεδομένων που θα θέλαμε να εμπεριέχονται στο σύστημά μας είναι:

- Αυτονομία
- Δυνατότητα ενσωμάτωσης επιπλέον περιφερειακών

- Χαμηλό κόστος.
- Αξιοπιστία
- Χαμηλή κατανάλωση
- Μικρό μέγεθος συνολικού υπολογιστικού συστήματος.

Με οδηγό τα παραπάνω αποφασίστηκε η χρήση ενός μικροελεγκτή ο οποίος θα αποτελούσε την καρδιά του συστήματος και θα εκτελούσε όλη την διαδικασία λήψης των δεδομένων, επεξεργασία τους, αποστολή στον χρήστη και όχι μόνο.

Ιδανικοί για τέτοιου είδους embedded εφαρμογών είναι οι μικροελεγκτές AVR της Atmel, που υποστηρίζουν όλα τα παραπάνω. Τον κυριότερο ρόλο στην υλοποίηση του συστήματος μας λοιπόν έχει ο μικροελεγκτής της οικογένειας AVR. Οι μικροελεγκτές αυτής της οικογένειας διαθέτουν έναν επεξεργαστή τύπου RISC των 8-bit που είναι σχεδιασμένος σύμφωνα με την αρχιτεκτονική Harvard δηλαδή την αρχιτεκτονική στην οποία η μονάδα CPU συνεργάζεται ταυτόχρονα με μία μνήμη στην οποία βρίσκονται οι εντολές προγράμματος και με μια δεύτερη ξεχωριστή μνήμη στην οποία αποθηκεύονται τα δεδομένα.

Ενώ αρχικά έγινε χρήση ενός Atmega16L στην πορεία διαπιστώθηκε πως διέθετε μία σειριακή θύρα και πολύ μικρή μνήμη για προγραμματισμό, δύο βασικά ζητήματα του συστήματος. Γι' αυτό έγινε αναζήτηση νέου μικροελεγκτή, ο οποίος θα εξυπηρετούσε καλύτερα τις ανάγκες του συστήματος. Για τους λόγους αυτούς επιλέχθηκε ο ATmega1284P, ο οποίος έχει 2 σειριακές θύρες, εκ των οποίων η μία χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με τον έξω κόσμο και η άλλη μοιράζεται για τους σειριακούς αισθητήρες, και έχει 128kBytes Flash μνήμη απαραίτητη για τον προγραμματισμό εξ αποστάσεως δίχως την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

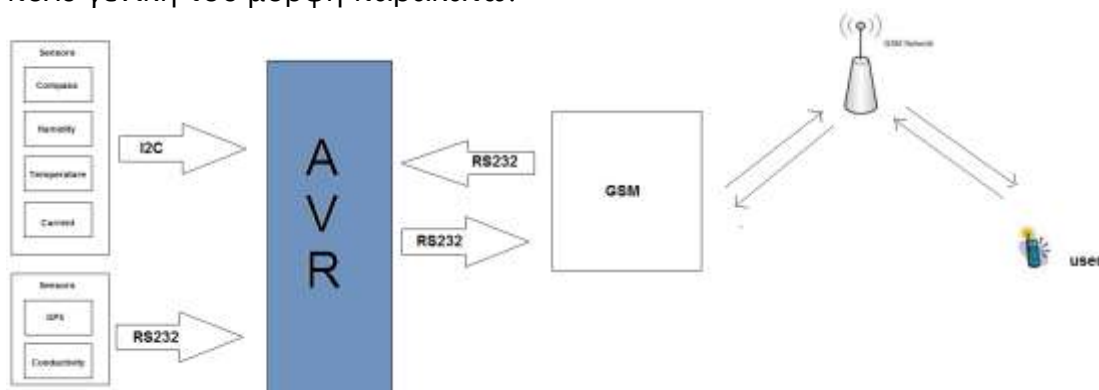
Το pinout του μικροελεγκτή ATmega1284P της Atmel παρουσιάζεται σχηματικά παρακάτω:

(PCINT8/XCK0/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0/PCINT0)
(PCINT9/CLKO/T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1/PCINT1)
(PCINT10/INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2/PCINT2)
(PCINT11/OC0A/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3/PCINT3)
(PCINT12/OC0B/SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4/PCINT4)
(PCINT13/ICP3/MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5/PCINT5)
(PCINT14/OC3A/MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6/PCINT6)
(PCINT15/OC3B/SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7/PCINT7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2/PCINT23)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1/PCINT22)
(PCINT24/RXD0/T3) PD0	14	27	PC5 (TDI/PCINT21)
(PCINT25/TXD0) PD1	15	26	PC4 (TDO/PCINT20)
(PCINT26/RXD1/INT0) PD2	16	25	PC3 (TMS/PCINT19)
(PCINT27/TXD1/INT1) PD3	17	24	PC2 (TCK/PCINT18)
(PCINT28/XCK1/OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA/PCINT17)
(PCINT29/OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL/PCINT16)
(PCINT30/OC2B/ICP) PD6	20	21	PD7 (OC2A/PCINT31)

Σχήμα 5: Ο μικροελεγκτής ATmega1284P

Γενικά η δομή αυτού του συστήματος αποτελείται κατά κύριο λόγο από έναν μικροελεγκτή AVR και πιο συγκεκριμένα τον ATmega1284P της Atmel, ενός GSM modem, ενός GPS, τον αισθητήρα αλατότητας, θερμοκρασίας, υγρασίας, ρεύματος καθώς και μία πυξίδα. Η επικοινωνία με το GSM θέλουμε να είναι αμφίδρομη και είναι αυτή που καθιστά δυνατό τον επαναπρογραμματισμό και τον έλεγχο του συστήματος.

Ένα σχηματικό διάγραμμα του συστήματος, παρουσιάζεται στην πολύ γενική του μορφή παρακάτω:



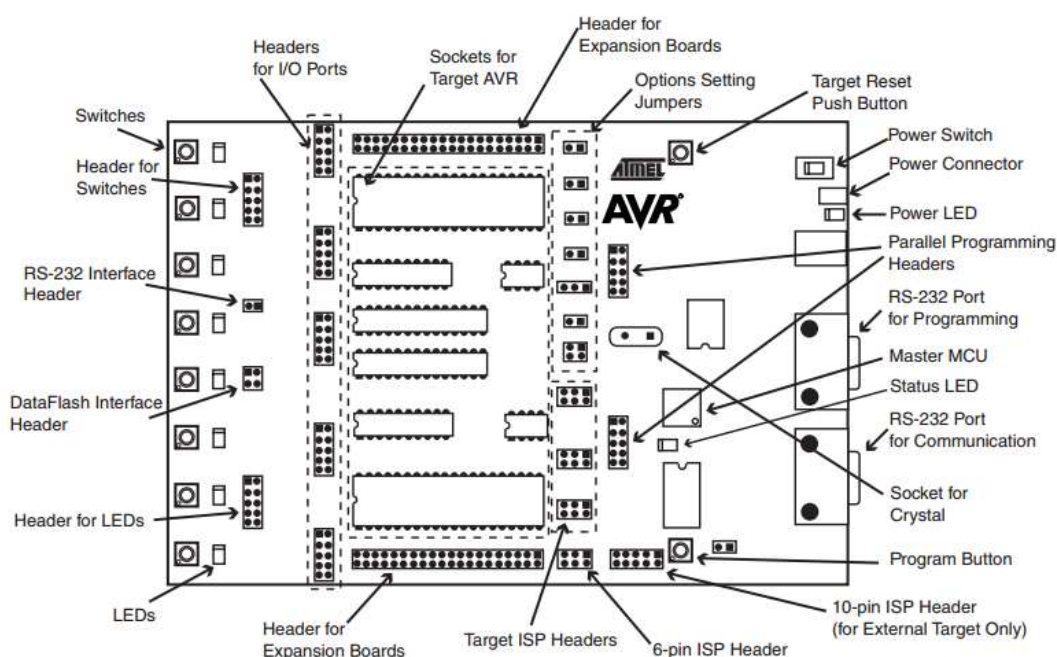
Σχήμα 6: Γενική δομή του ενσωματωμένου συστήματος

Στη συνέχεια ακολουθεί μία ειδική περιγραφή όλων των επιμέρους περιφερειακών που αποτελούν το σύστημά μας.

4.3 Περιφερειακές συσκευές συστήματος

Εκτός από τον μικροελεγκτή που αποτελεί την καρδιά του συστήματος, κάναμε χρήση πληθώρας περιφερειακών συσκευών προκειμένου να εξασφαλίσουμε την επικοινωνία αλλά και την ασφάλεια του συστήματος. Το gsm module και αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και ρεύματος είναι μερικά από αυτά που θα αναλύσουμε παρακάτω.

4.3.1 STK 500



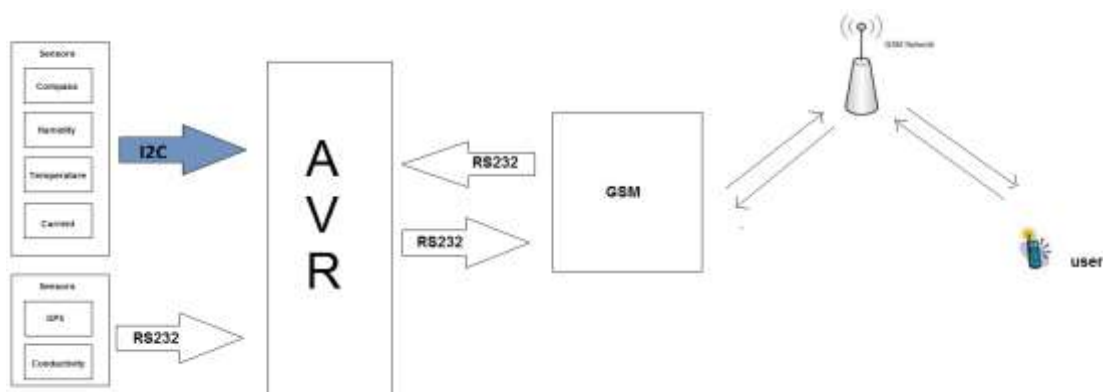
Σχήμα 7: STK 500

Το STK 500, είναι μία πλατφόρμα ανάπτυξης για τους μικροελεγκτές AVR και επιτρέπει στους σχεδιαστές να αναπτύξουν γρήγορα και εύκολα τους κώδικες τους. Το STK 500 λειτουργεί στα 10-15V και ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή γίνεται διαμέσου μίας σειριακής θύρας και του συμβατού προγράμματος AVR Studio 4.

Πάνω στο STK500 τοποθετήθηκε ο μικροελεγκτής μας προκειμένου να ξεκινήσει άμεσα η διαδικασία προγραμματισμού του, μέσω της θύρας RS232, με την οποία αρχικά συνδέσαμε τον Η/Υ και μέσω ενός terminal καταφέραμε να διαπιστώσουμε την ορθή ή μη λειτουργία του προγράμματος. Η σειριακή επικοινωνία ρυθμίστηκε με baud rate 9600, 8 Data bits, 1 stop bit, no parity, XON/XOFF handshake.

Προφανώς το STK500, χρησιμοποιήθηκε για λόγους απόκτησης τεχνογνωσίας, ευκολίας της χρήσης του, άνεσης και ταχύτητας και δεν θα αποτελεί μέρος του τελικού συστήματος.

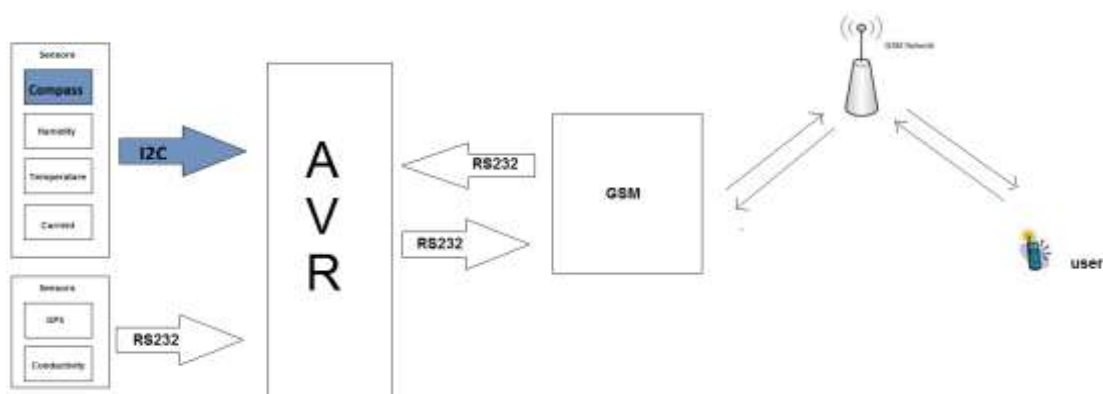
4.3.2 Αισθητήρες πρωτοκόλλου I²C



Σχήμα 8: Αισθητήρες I²C

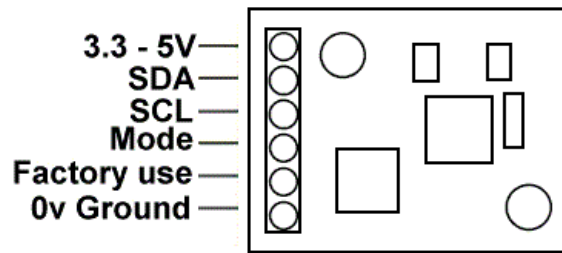
Για την υλοποίηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις αισθητήρες που κάνουν χρήση του πρωτοκόλλου I²C. Ο μικροελεγκτής ATmega1284P έχει δύο pins για την χρήση αυτού του πρωτοκόλλου, όπου πάνω στον ίδιο δίαυλο μπορούν να τοποθετηθούν μέχρι και 128 συσκευές (οι I²C διευθύνσεις είναι των 7bits)

4.3.2.1 Πυξίδα (CMPS10)



Σχήμα 9: Αισθητήρες I²C-Πυξίδα

Ο πρώτος αισθητήρας που εγκαταστάθηκε ήταν η πυξίδα, η οποία μας δίνει τον προσανατολισμό μίας αγκυροβολημένης, σταθερής βάσης σημαδούρας. Επομένως σε περίπτωση που η σημαδούρα φύγει από την βάση της μπορούμε να το αντιληφθούμε από τον συνδυασμό πυξίδας και GPS. Ο αισθητήρας που επιλέξαμε είναι ο CMPS10. Είναι ένας αισθητήρας που κάνει χρήση του πρωτοκόλλου I²C, εκπέμπει σε χαμηλή τάση στα 3,3-5V και έχει απόκλιση μόλις 0,1° μοίρες.



Σχήμα 10: Pinout πυξίδας CMPS10

Η σύνδεση της πυξίδας με τον μικροελεγκτή είναι πολύ απλή. Συνδέσαμε το SDA και SCL με τις αντίστοιχες εξόδους του μικροελεγκτή και την τάση με το ground, με τα αντίστοιχα pins του μικροελεγκτή. Το εύρος τιμών των τάσεων του μικροελεγκτή και του αισθητήρα συμπίπτουν, επομένως δεν χρειαζόμαστε κάποια άλλη ρύθμιση.

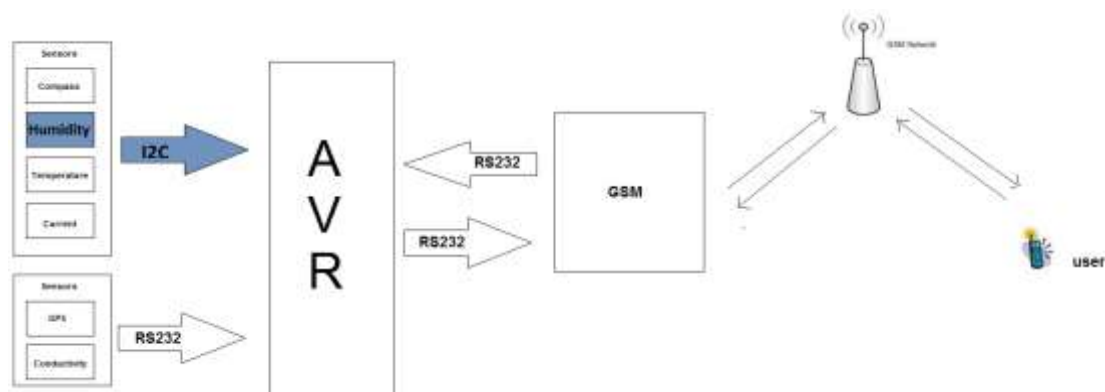
Αρχικά κάναμε calibration του αισθητήρα θέτοντας ορθά το που βρίσκονται τα τέσσερα σημεία του ορίζοντα και στη συνέχεια περάσαμε στη δημιουργία του software για την ορθή λειτουργία του πρωτοκόλλου και κατ'επέκταση της πυξίδας.

Για την λειτουργία του πρωτοκόλλου I²C της πυξίδας, στέλνουμε το αρχικό start bit, την διεύθυνση του slave που για την συγκεκριμένη πυξίδα είναι η 0xC0, τη διεύθυνση ανάγνωσης 0xC1 και τον register που θα διαβάσουμε (0x02, 0x03). Προτιμήσαμε αυτόν τον καταχωρητή από τους 23 που κατέχει λόγω της δυναμικής περιοχής, καθώς αναπαριστά από 0-359,9°.

Πιο συγκεκριμένα η επικοινωνία γίνεται ως εξής:

1. Στέλνουμε start sequence
2. Στέλνουμε 0xC0 (I²C διεύθυνση της πυξίδας ξεκινώντας από το low bit)
3. Στέλνουμε 0x02 (την διεύθυνση του καταχωρητή)
4. Ξαναστέλνουμε ένα start sequence
5. Στέλνουμε 0xC1 (I²C διεύθυνση της πυξίδας ξεκινώντας από το high bit)
6. Διαβάζουμε τα δεδομένα από την πυξίδα
7. Στέλνουμε ένα stop sequence

4.3.2.2 Αισθητήρας Υγρασίας (HIH-6130)



Σχήμα 11: Αισθητήρες I²C-Υγρασία

Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει υδρατμούς σε διαφορετική ποσότητα από τόπο σε τόπο και από ώρα σε ώρα. Ο αέρας όμως δεν είναι δυνατόν να περιέχει απεριόριστη ποσότητα υδρατμών, αλλά για κάθε θερμοκρασία υπάρχει μια μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα υδρατμών. Όταν ο αέρας περιέχει τη μέγιστη τέτοια ποσότητα ονομάζεται κορεσμένος. Μετράμε την υγρασία με τα υγρόμετρα, τα οποία δείχνουν πόσους υδρατμούς περιέχει η ατμόσφαιρα επί της εκατό (%) (όπου 100 θεωρούνται οι υδρατμοί οι οποίοι θα περιέχονταν για την ίδια θερμοκρασία αν είχαμε κορεσμό). Η Υγρασία της ατμόσφαιρας διακρίνεται σε "απόλυτη" και σε "σχετική υγρασία".

Για τον εντοπισμό τυχόν διαρροών στο σύστημα κάναμε χρήση ενός αισθητήρα υγρασίας, ο οποίος με πολύ μεγάλη ακρίβεια εντοπίζει τυχόν αλλαγή στην υγρασία που επικρατεί στον χώρο. Οποιαδήποτε αλλαγή είναι σημαντική καθώς θα κρίνει τον κίνδυνο ή όχι του συστήματος μας. Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήσαμε είναι ο HIH-6130, αισθητήρας που εντοπίζει την υγρασία από 10-90%. Η υγρασία που εντοπίζει είναι η λεγόμενη σχετική υγρασία (relative humidity(RH)), η οποία ορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας υδρατμών που περιέχει ο αέρας προς το βάρος των υδρατμών τους οποίους μπορεί να συμπεριλάβει μέχρις ότου αυτός κορεσθεί. Η σχετική υγρασία εκφράζεται επί τοις εκατό και δίνεται από τον τύπο :

$$\Sigma Y = \frac{e}{e_s} \cdot 100\%$$

Όπου :

e: ποσότητα υπαρχόντων υδρατμών και

es: ποσότητα που καθιστά τον αέρα κεκορεσμένο ή μέγιστη τάση υδρατμών.

Έτσι αυτές οι τιμές δείχνουν πόσο τοις εκατό απέχει από την κατάσταση κορεσμού, η ατμόσφαιρα μέσα στην οποία γίνεται η μέτρηση. Για παράδειγμα ΣΥ=70%, σημαίνει ότι απέχουμε από την κατάσταση κορεσμού 30%.

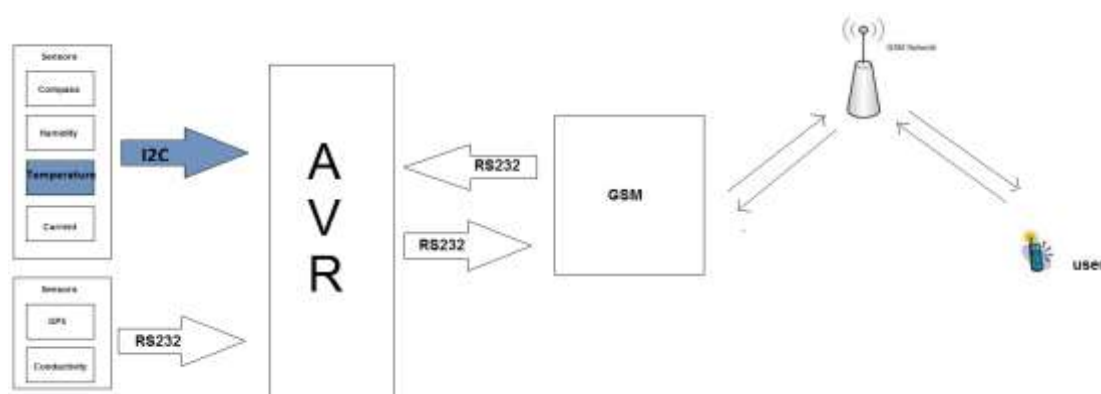
Ο λόγος που επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι αφενός για την πολύ καλή του ανάλυση σε επίπεδο υγρασίας αλλά και αφετέρου, διότι χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο I²C. Είναι ένας σχετικά οικονομικός και αξιόπιστος αισθητήρας, με μικρό μέγεθος και μικρή κατανάλωση.

Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- Τάση λειτουργίας: 2.3-5.5V
- Εύρος υγρασίας: 10-90% RH
- Ψηφιακή I²C έξοδος
- Ανάλυση: 14 bit ADC,
- Ακρίβεια: 0.04 %RH
- Response time : 6- 8 s

Κατά την σύνδεσή του με τον μικροελεγκτή κάναμε χρήση τεσσάρων pins, VCC, ground για την τροφοδοσία του και SDA, SCL για την γραμμή επικοινωνίας I²C.

4.3.2.3 Αισθητήρας Θερμοκρασίας (TMP102)



Σχήμα 12: Αισθητήρες I²C-Θερμοκρασία

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας είναι απαραίτητος για ένα τέτοιο σύστημα ελέγχου το οποίο θα βρίσκεται συνεχώς εκτεθειμένο σε ακραίες καιρικές συνθήκες και αντίστοιχα ακραίες θερμοκρασίες. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε έναν πολύ οικονομικό αλλά αξιόπιστο αισθητήρα που έχει την δυνατότητα μέτρησης από -25 έως και 85°C με ακρίβεια που φτάνει το 0,5°C . Λειτουργεί στα 3,3V και επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή μέσω του πρωτοκόλλου I²C. Πρόκειται για τον αισθητήρα TMP102, της Texas Instruments. Όπως φαίνεται και παρακάτω εκτός από τα γνωστά pins V+, GND, SDA, SCL έχει ένα ακόμα ADD0 το οποίο ανάλογα με το που είναι συνδεδεμένο παίρνει διαφορετικές διευθύνσεις στον διάλυο, δίνοντας έτσι

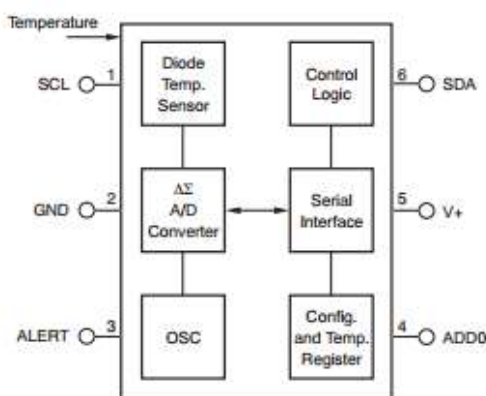
την δυνατότητα διασύνδεσης έως και τεσσάρων θερμομέτρων ταυτόχρονα. Το ADD0 ήταν εργοστασιακά συνδεδεμένο με το ground, ειδικά έπρεπε να το γειώσουμε εμείς.

Τα χαρακτηριστικά αυτού του αισθητήρα έχουν ως εξής:

- Ανάλυση: 12-bit, 0.0625°C
- Ακρίβεια: 0.5°C (-25°C to +85°C)
- Κατανάλωση ρεύματος: -10μΑ Active (max)
-1μΑ Shutdown (max)
- 1.4V to 3.6VDC τάση τροφοδοσίας

Εξαιτίας των παραπάνω χαρακτηριστικών ο αισθητήρας TMP102 κρίθηκε κατάλληλος για να ενταχθεί στο σύστημα. Μικρό ποσοστό λάθους, λήψη θερμοκρασιών, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου I²C, δημιουργούν τις κατάλληλες προδιαγραφές για την επιλογή του κάθε αισθητήρα.

Το block diagram του αισθητήρα φαίνεται παρακάτω:

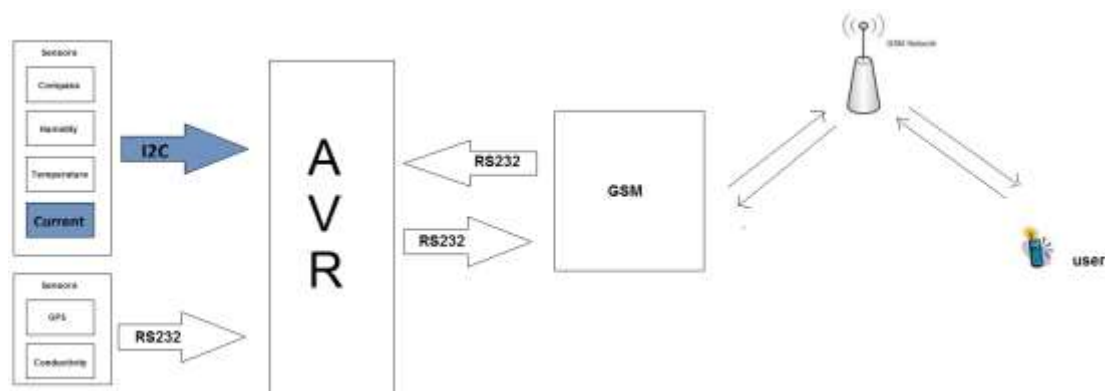


Σχήμα 13: Block Diagram TMP102

Για τον συγκεκριμένο αισθητήρα, κάθε τιμή θερμοκρασίας αποθηκεύεται σε ένα καταχωρητή ανάγνωσης. Για να λάβουμε τα δεδομένα πρέπει να διαβάσουμε 2 bytes. Το πρώτο byte είναι το MSB ακολουθούμενο από το δεύτερο byte που είναι το LSB. Για την συνένωσή τους και ανάγνωση της τελικής θερμοκρασίας κάναμε χρήση του $\text{temp} = (\text{msb} < < 8) | \text{lsb} > > 4$; Ενώ επιπλέον έπρεπε να πολλαπλασιαστεί με το 0,0625 ή αλλιώς /16 προκειμένου να μετατραπεί η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.

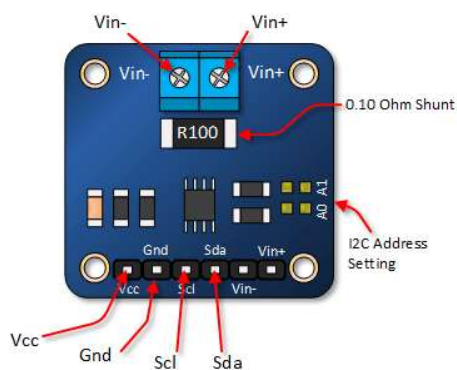
Οι καταχωρητές ανάγνωσης και εγγραφής είναι αντίστοιχα οι 0x90, 0x91. Τέλος οι αρνητικές θερμοκρασίες υπολογίζονται αφού γίνει χρήση του two's complement.

4.3.2.4 Αισθητήρας Ρεύματος (INA219)



Σχήμα 14: Αισθητήρες I²C-Ρευματος

Η ανάγκη για πλήρη ανεξαρτησία του συστήματος έκρινε απαραίτητη την παρουσία ενός αισθητήρα που θα εντοπίζει τυχόν προβλήματα στην κεντρική τροφοδοσία του συστήματος. Ένας αισθητήρας ρεύματος που θα εντοπίζει την τάση που διαρρέεται από το ενδιαφερόμενο κύκλωμα και θα μας ενημερώνει για τυχόν ραγδαίες αλλαγές. Η τροφοδοσία του συστήματος θα γίνεται από επαναφορτιζόμενες μπαταρίες των 12V και ο αισθητήρας που επιλέξαμε για τον σκοπό αυτόν είναι ο INA219.



Σχήμα 15: Αισθητήρας ρεύματος

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτού του αισθητήρα είναι τα εξής:

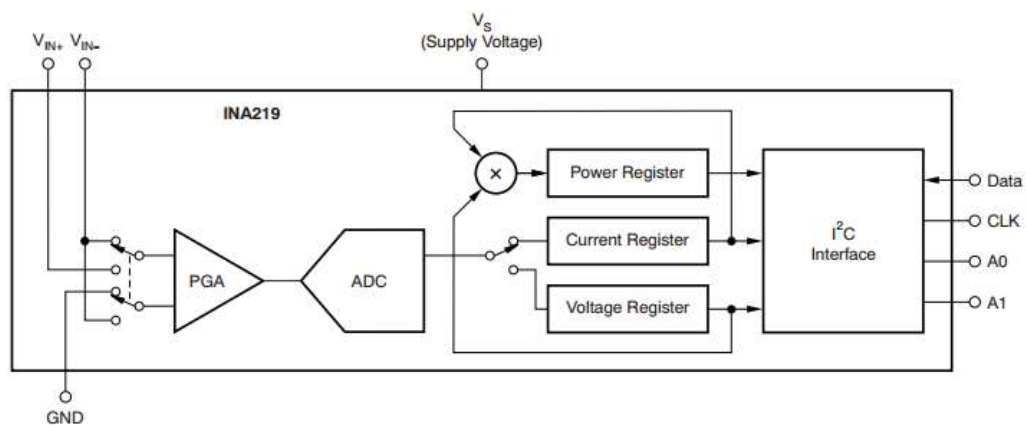
- Μέτρηση τάσεων από 0-26V
- Μέτρηση ρεύματος, τάσης
- 16 προγραμματιζόμενες διευθύνσεις
- Ακρίβεια 0,5%

Αισθητήρας για ποικίλες εφαρμογές και δύσκολες συνθήκες με περιοχές λειτουργίας από -40 έως 125°C

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας παρεμβάλλεται στο κύκλωμα, συνδεόμενος σε σειρά με το προς μέτρηση ηλεκτρονικό κύκλωμα και

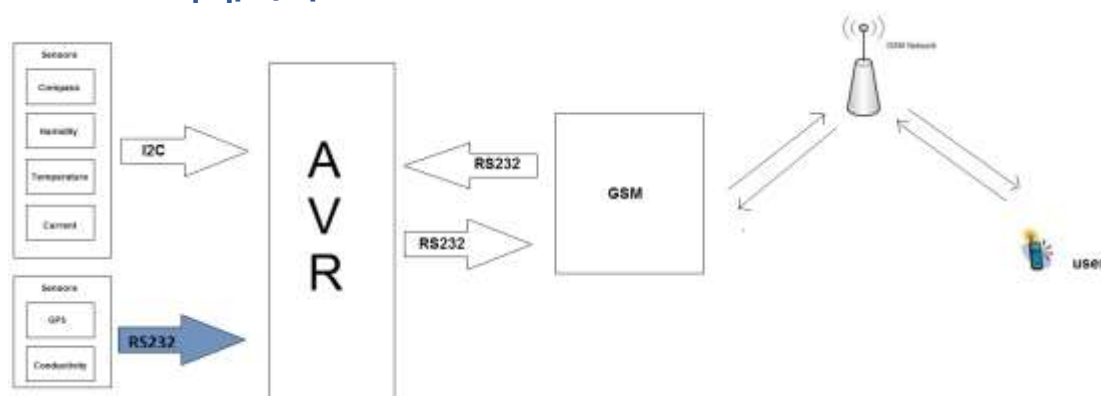
προσφέρει ενημέρωση της τιμής των Volts του. Στην ουσία λειτουργεί όπως ένα πολύμετρο, με το οποίο θέλουμε να μετρήσουμε την τάση σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Μέσα στον αισθητήρα υπάρχει ένας αντιστάτης $0.1\ \Omega$ και σύμφωνα με τον Νόμο του Ohm, η μετρούμενη τάση στον αντιστάτη θα είναι το $1/10$ της έντασης του ρεύματος που τον διαρρέει. Ακολουθώντας, αυτή η τιμή της τάσης, περνά από μονάδα ενισχυτή, όπου προσαρμόζεται στο εύρος τιμών 0-26V, που είναι και το αποδεκτό εύρος από τον αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα. Μόλις διαπιστωθεί πτώση τάσης ενημερώνεται ο χρήστης.

Το block diagram του αισθητήρα δίνεται παρακάτω:



Σχήμα 16: Block Diagram Αισθητήρα Ρεύματος

4.3.3 Αισθητήρες πρωτοκόλλου RS-232



Σχήμα 17: Αισθητήρες πρωτοκόλλου RS-232

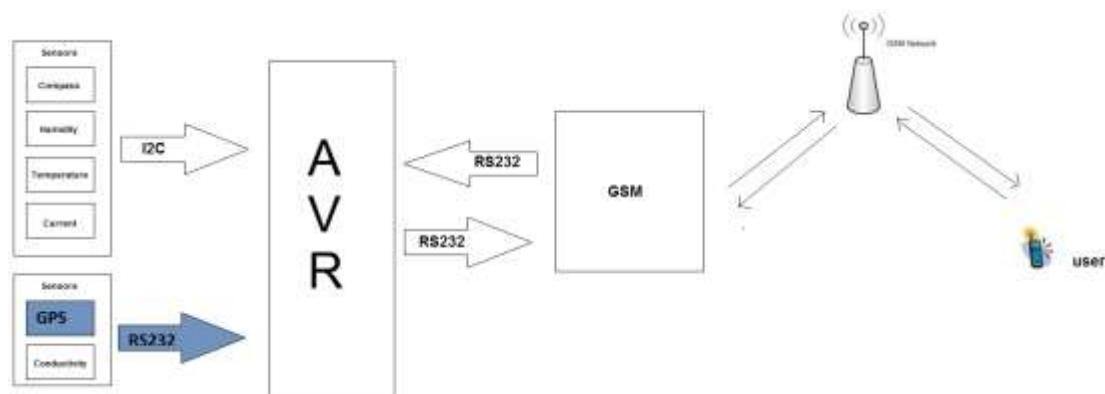
Η σειριακή θύρα αποτελεί τον πιο κοινό τρόπο επικοινωνίας που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε με έναν μικροελεγκτή AVR. Η επικοινωνία αποτελεί έναν μηχανισμό ασύγχρονης σειριακής μετάδοσης δεδομένων, βασιζόμενη στην σειριακή μετάδοση σε επίπεδο bit, χωρίς την απαίτηση ρολογιού για συγχρονισμό, μεταξύ πομπού και δέκτη. Πριν την έναρξη κάθε επικοινωνίας πρέπει αν αρχικοποιηθεί η σειριακή θύρα, η οποία διαδικασία περιλαμβάνει τον καθορισμό της μορφής πλαισίου, της ταχύτητας μετάδοσης και την ενεργοποίηση ή όχι του πομπού και του δέκτη.

Ο μικροελεγκτής AVR ATmega1284P που χρησιμοποιήσαμε έχει δύο USART's την USART0 και την USART1, όπου η πρώτη χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία με τον έξω κόσμο, ενώ η δεύτερη για επικοινωνία των σειριακών αισθητήρων. Οι ακροδέκτες PD0,PD2 αντιστοιχούν στους UART ακροδέκτες RXD, ενώ οι PD1,PD3 στους TXD.

Στο σύστημά μας χρησιμοποιήσαμε ένα frame με 1 start bit, 8 Data bits, κανένα parity bit και 2 stop bits. Ο ρυθμός των προς μετάδοση Bit ήταν ο 9600bps και η επικοινωνία του GSM με την σειριακή θύρα RS232 επιτεύχθηκε με την χρήση ενός οδηγού MAX232 όπου μετατρέπει τα σήματα από επίπεδα RS232 σε TTL και αντιστρόφως.

Η επικοινωνία με τον έξω κόσμο πραγματοποιείται διαμέσου του GSM modem που μας προσφέρθηκε με σειριακή έξοδο δεδομένων διαμορφωμένη σε TTL επίπεδα και με ρυθμό τα 9600bps. Ο μικροελεγκτής που επιλέχθηκε έχει δύο σειριακές θύρες και εξαιτίας αυτού το GSM συνδέθηκε στην πρώτη σειριακή θύρα για επικοινωνία ενώ η άλλη σειριακή μοιράζεται από 2 σειριακούς αισθητήρες μέσω ενός multiplexer.

4.3.3.1 GPS SENSOR



Σχήμα 18: Αισθητήρες RS-232-GPS

Με τον όρο GPS (Global Positioning System- Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας) καλούμαστε να προσδιορίσουμε το σύστημα εκείνο που εντοπίζει τη θέση μας πάνω στην επιφάνεια της Γης. Το σύστημα αυτό βασίζεται σε ένα δίκτυο δορυφόρων που κατέχουν συσκευές εντοπισμού και ονομάζονται πομποδέκτες GPS. Οι πομποδέκτες αυτοί μας δίνουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τη θέση, το ύψος, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του σημείου.

Η λειτουργικότητα του συστήματος είναι σχετικά απλή. Οι δορυφόροι εκπέμπουν εξατομικευμένα σήματα που δείχνουν την ακριβή ώρα που το σήμα φεύγει από τον δορυφόρο. Οι δέκτες GPS έχοντας αποθηκευμένες όλες τις συντεταγμένες των τροχιών των δορυφόρων, διαβάζουν το εισερχόμενο μήνυμα και αναγνωρίζουν από ποιον δορυφόρο προέρχεται και τον χρόνο που χρειάστηκε το σήμα να φτάσει οπότε και μπορούν με ακρίβεια να προσδιορίζουν την απόσταση από τους δορυφόρους και κατ'έπείταση την τοποθεσία τους.

Όπως σε όλες τις μορφές επικοινωνίας, έτσι και σε αυτήν εδώ χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας, το NMEA που χρησιμοποιεί ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας που ορίζει πως τα δεδομένα μεταδίδονται υπό την μορφή προτάσεων.

Η αποκωδικοποίηση των προτάσεων γίνεται σύμφωνα με κάποιους κανόνες:

- Κάθε πρόταση ξεκινάει με το σύμβολο του δολαρίου.
- Οι επόμενοι πέντε χαρακτήρες προσδιορίζουν τον εκπομπό (δύο χαρακτήρες) και τον τύπο του μηνύματος (τρεις χαρακτήρες).
- Όλα τα πεδία των δεδομένων που ακολουθούν είναι οριοθετημένα με κόμμα.
- Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, το αντίστοιχο πεδίο περιέχει NULL bytes (π.χ. στο «123, 456,» τα δεδομένα στο δεύτερο πεδίο δεν είναι διαθέσιμα).

- Ο πρώτος χαρακτήρας που ακολουθεί αμέσως μετά τον τελευταίο χαρακτήρα πεδίου δεδομένων είναι ένας αστερίσκος, αλλά περιλαμβάνεται μόνο εάν παρέχεται το checksum.
- Ο αστερίσκος ακολουθείται από ένα διψήφιο ψηφίο, που αντιπροσωπεύει έναν δεκαεξαδικό αριθμό. Το checksum είναι η λογική πράξη OR όλων των χαρακτήρων μεταξύ των \$ και *. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές, το checksum είναι προαιρετικό για τις περισσότερες «προτάσεις» που εξάγονται από το GPS, αλλά είναι υποχρεωτικό για τις RMA, RMB, και RMC.
- <CR> <LF> τέλος της πρότασης.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα «προτάσεων» που εξάγονται από έναν δέκτη GPS:

\$GPRMC,225446,A,4916.45,N,12311.12,W,000.5,054.7,191194,020.3,E*68

όπου:

- 225446 :Time of fix 22:54:46 UTC
- A :Navigation receiver warning A = OK, V = warning
- 4916.45,N :Latitude 49 deg. 16.45 min North
- 12311.12,W :Longitude 123 deg. 11.12 min West
- 000.5 :Speed over ground, Knots
- 054.7 :Course Made Good, True
- 191194 :Date of fix 19 November 1994
- 020.3,E :Magnetic variation 20.3 deg East
- *68 :mandatory checksum

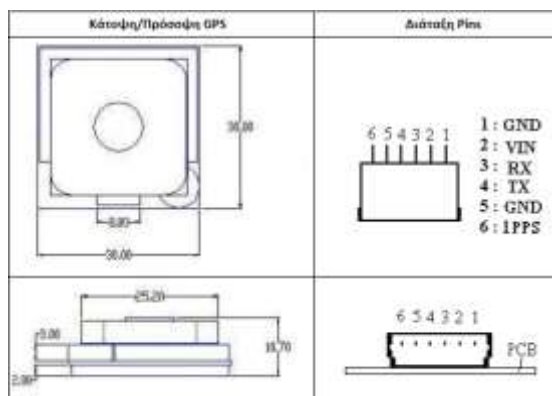
Το GPS που επιλέξαμε ήταν απαραίτητο να έχει μικρό σφάλμα καθώς σε οποιαδήποτε αλλαγή της πορείας της σημαδούρας μας θα θέλουμε τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης της για τον εντοπισμό της. Η διασύνδεση με τον μικροελεγκτή είναι πολύ εύκολη και η επικοινωνία τους είναι σειριακή.

Τα ειδικά χαρακτηριστικά του EM-406A GPS είναι :

- Προσφέρει ρυθμό ανανέωσης δεδομένων ανά 1 δευτερόλεπτο.
- Υποστηρίζει λήψη 20 διαφορετικών καναλιών
- Παρέχει σειριακή επικοινωνία με το μικροελεγκτή
- Κωδικοποιεί τα εξερχόμενα δεδομένα με βάση τον κανόνα NMEA 0183
- Έχει σχετικά χαμηλό κόστος

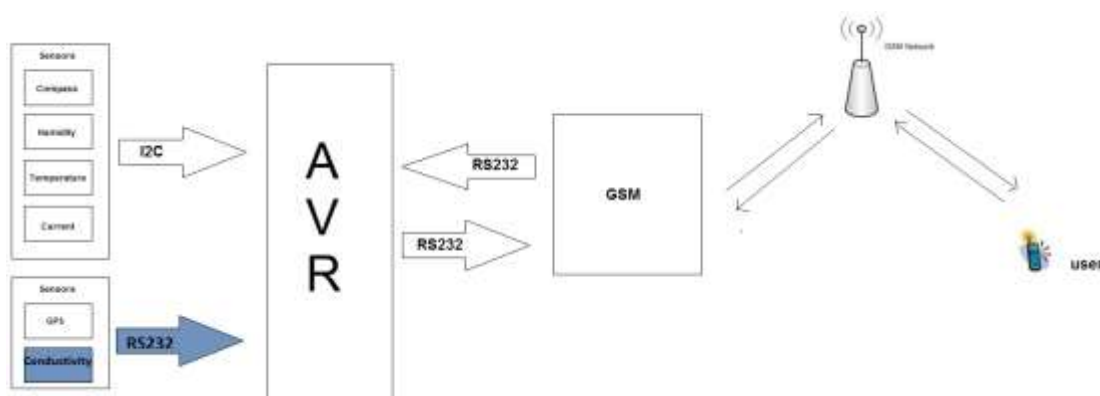
Ο δέκτης διαθέτει 6 pins, εκ των οποίων τα δύο αποτελούν τους ακροδέκτες για τη σειριακή επικοινωνία (RX & RT) με το μικροελεγκτή. Από την στιγμή της ενεργοποίησης του, χρειάζεται περίπου 30 δευτερόλεπτα για να αρχίσει να λαμβάνει στίγμα από τους δορυφόρους και 60 δευτερόλεπτα

για να μην υπάρχουν εσφαλμένες τιμές, με μέγιστη τιμή σφάλματος τα 5 μέτρα.



Σχήμα 19: Pins του GPS

4.3.3.2 Αισθητήρας Αλατότητας (AANDERA)



Σχήμα 20: Αισθητήρες RS-232-Αλατότητας

Από το Θαλάσσιο Κέντρο Ερευνών μας στάλθηκε ένας αισθητήρας ο οποίος ήταν εγκατεστημένος στο ήδη υπάρχων σύστημα της σημαδούρας και πρόκειται για τον αισθητήρα αγωγιμότητας AANDERA 4019. Ο σκοπός ήταν η δυνατότητα εφαρμογής έστω και ενός αισθητήρα από τη σημαδούρα στο δικό μας σύστημα.

Η αγωγιμότητα είναι το χαρακτηριστικό που μας δείχνει κατά πόσο ένα υλικό μπορεί να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Μετρώντας την αγωγιμότητα και την θερμοκρασία του θαλασσινού νερού μπορούμε να βγάλουμε πολλά συμπεράσματα για την αλατότητα του νερού και κατ'επέκταση για την καθαρότητα του, αφού η αγωγιμότητα αποτελεί ένα δείκτη ποιότητας του νερού. Είναι ένας πολύ ανθεκτικός αισθητήρας, που μπορεί να φτάσει και στα 6000m κάτω από την επιφάνεια του νερού.

Με έξοδο RS-232 ο αισθητήρας μας δίνει τα εξής στοιχεία:

- Αγωγιμότητα(S)

- Θερμοκρασία(°C)
- Αλατότητα (PSU)
- Ταχύτητα (m/s)
- Πίεση (KPa)

Αρχικά συνδέσαμε τον αισθητήρα σειριακά με τον υπολογιστή και δίνοντάς του τροφοδοσία με ένα USB καλώδιο, πάλι διαμέσου υπολογιστή παρατηρήσαμε πως έστελνε τις μετρήσεις προκειμένου να μας ενημερώσει για την ποιότητα του νερού. Βάζοντας τον αισθητήρα σε νερό και διαφοροποιώντας την περιεκτικότητά του σε αλάτι και την θερμοκρασία του, διαπιστώσαμε ότι ο αισθητήρας ανταποκρινόταν και άλλαζε τις μετρήσεις του.

Το αμέσως επόμενο βήμα ήταν να συνδέσουμε τον αισθητήρα μαζί με τον μικροελεγκτή μας. Η επικοινωνία εδώ θα γινόταν σειριακά με baud rate 9600,8 Data bits,1 stop bit, no parity ,Xon/Xoff handshake. Για να επιτευχθεί όμως αυτό έπρεπε να κάνουμε χρήση του MAX232.

Ο ATmega1284P έχει δύο σειριακές θύρες επικοινωνίας. Και οι δύο θύρες έχουν ηλεκτρικές στάθμες που κυμαίνονται από 0 έως 5 Volts. Ο αισθητήρας αγωγιμότητας λειτουργεί στα 12Volts όμως και γι'αυτό χρησιμοποιούμε τον max232 ο οποίος μετατρέπει την τάση από 0-5 σε 12 volts. Με αυτόν τον τρόπο καταστήσαμε δυνατή την επικοινωνία του AVR με τον αισθητήρα. Αναλυτικά για τον MAX232 και την χρήση του αναφερόμαστε παρακάτω.

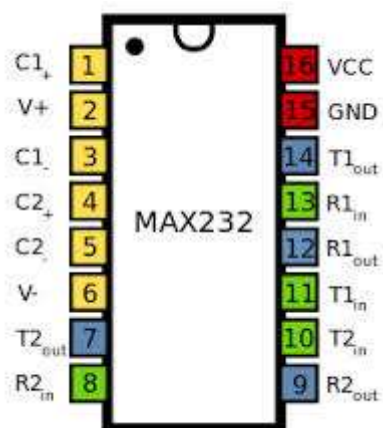
Κατά την εκκίνηση ο αισθητήρας παίρνει ένα δείγμα και το αποστέλλει. Κατόπιν ελέγχεται ένας input buffer για 100ms. Εάν έστω και ένας χαρακτήρας έχει αποσταλεί τότε το timeout παρατείνεται για ακόμη 1 sec και έπειτα αναλαμβάνει την αποκωδικοποίηση και εφαρμογή της εντολής που εστάλη. Εάν δεν αποσταλεί τίποτα ο αισθητήρας συνεχίζει να παίρνει δείγματα και να τα στέλνει. Όταν περάσουν 40s και δεν έχει σταλεί τίποτα στον αισθητήρα, δηλαδή ο input buffer παραμένει άδειος τότε ο αισθητήρας μπαίνει σε sleep mode μέχρι να του δοθεί κάποια εντολή. Υπάρχουν αρκετές εντολές οι πιο βασικές από τις οποίες είναι οι ακόλουθες:

- Get_All : στέλνει όλες τις τιμές
- save: αποθηκεύει τις τρέχουσες ρυθμίσεις
- load: φορτώνει τις ρυθμίσεις

Σε μία έγκυρη εντολή ο αισθητήρας θα απαντήσει με τον χαρακτήρα #, ενώ ο χαρακτήρας * υποδεικνύει κάποιο λάθος όπου ακολουθείται με το σχετικό μήνυμα λάθους.

4.3.4 MAX232

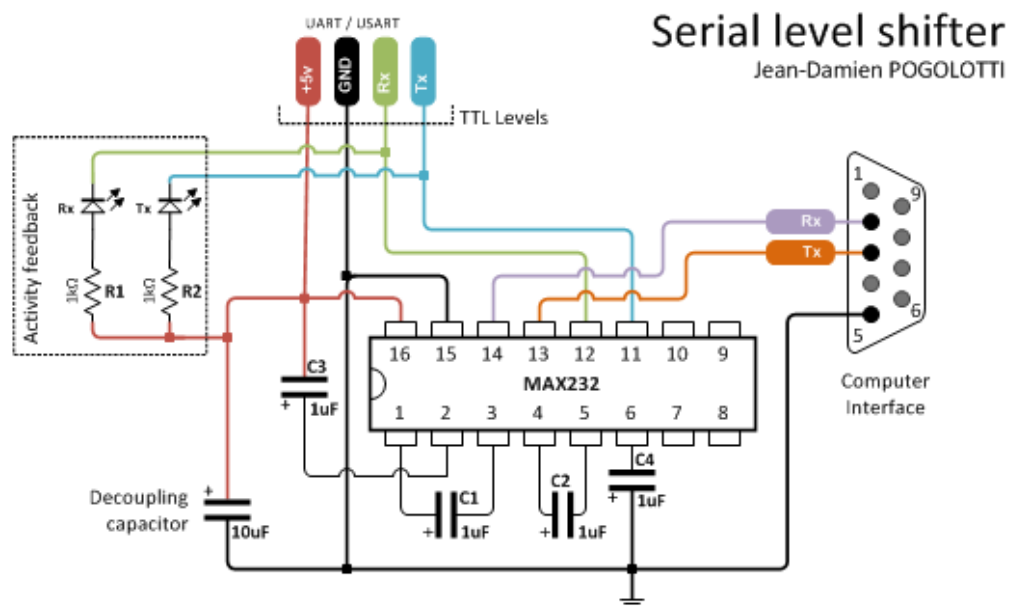
Ως κύκλωμα οδήγησης χρησιμοποιήθηκε η οικογένεια των MAX και πιο συγκεκριμένα ο max232. Ο μικροελεγκτής μας έχει δύο σειριακές θύρες που λειτουργούν στα 0-5V. Όταν όμως θελήσαμε να συνδέσουμε τις δύο σειριακές με το gsm και τον αισθητήρα αγωγιμότητας οι οποίοι δουλεύουν στα 12volts κάναμε χρήση του max232, ο οποίος μετατρέπει τα σήματα από επίπεδα RS232 σε επίπεδα TTL και αντιστρόφως. Έτσι λοιπόν για να μετατραπούν οι στάθμες των σημάτων RX,TX του USART σε στάθμες RS232 πρέπει να συνδέσουμε έναν MAX232 ολοκληρωμένο. Τα pins του MAX232 φαίνονται παρακάτω:



Σχήμα 21: MAX232

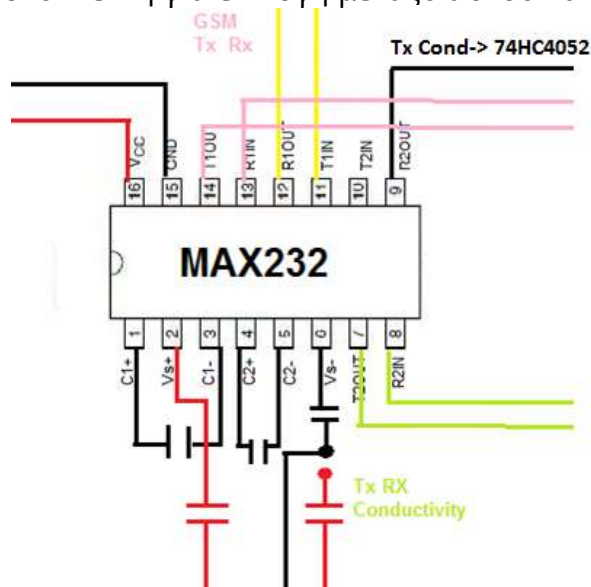
Όπως βλέπουμε και στο παρακάτω σχήμα ο max232 λαμβάνει από τη σειριακή του μικροελεγκτή (Transmit) τα δεδομένα και τα στέλνει στη σειριακή του αισθητήρα ή του GSM (Receive) και αντιστρόφως. Το κύκλωμα λειτουργεί χρησιμοποιώντας πυκνωτές και συνδέοντας το κατάλληλο Vcc και GND. Στην άλλη άκρη του MAX232 έχουμε τις δύο συσκευές που κάνουν το αντίστροφο, δηλαδή τα $\pm 12V$ τα μετατρέπει σε 0-5 V.

Από τους ακροδέκτες TX και RX του MAX232 στέλνονται και λαμβάνονται τα δεδομένα από ή προς τον μικροελεγκτή και έτσι ο ATmega1284P είναι αυτός που λαμβάνει τα δεδομένα από το max232 και τα επεξεργάζεται

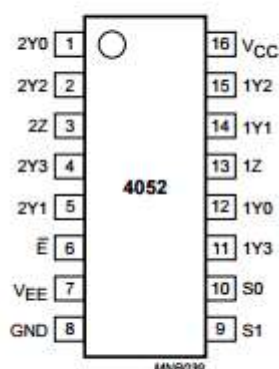


Σχήμα 22: Σύνδεση MAX232 μέσω σειριακής

Στο σύστημά μας συνδέσαμε στο ολοκληρωμένο το GSM του οποίου την έξοδο στέλνουμε απευθείας στην σειριακή θύρα του μικροελεγκτή και τον αισθητήρα αλατότητας του οποίου η έξοδος στέλνεται στο επόμενο ολοκληρωμένο, πολυπλέκτη για επιλογή μεταξύ αυτού και του GPS.



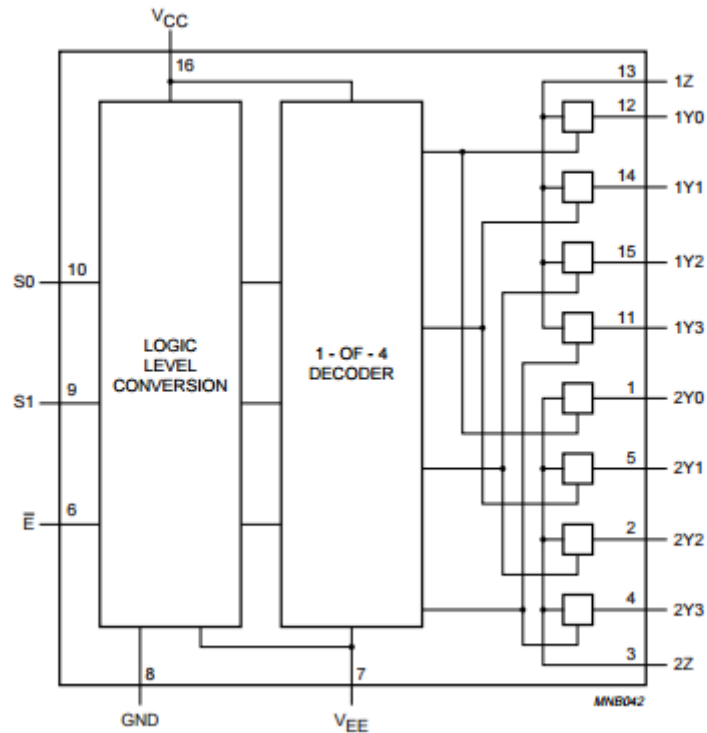
4.3.5 54HC4052



Σχήμα 23: 54HC4052

Η επιλογή του μικροελεγκτή ATmega1284P έγινε εκτός των υπολοίπων και εξαιτίας του γεγονότος ότι κατείχε δύο σειριακές θύρες. Η πρώτη σειριακή θύρα χρησιμοποιείται για την επικοινωνία, είτε μέσω του GSM είτε μέσω του υπολογιστή, ενώ η δεύτερη για τους σειριακούς αισθητήρες και πιο συγκεκριμένα το GPS και τον αισθητήρα αγωγιμότητας. Για τον λόγο αυτόν ήταν απαραίτητη η χρήση ενός πολυπλέκτη, που αναλόγως τα select του θα επικοινωνούσαμε κάθε φορά και με άλλο αισθητήρα. Για αυτόν τον σκοπό εντάξαμε στο σύστημά μας το 54HC4052 που είναι ένας διπλός πολυπλέκτης έκαστος εκ των οποίων περιέχει τέσσερις εισόδους (Y0,Y1,Y2,Y3), δύο γραμμές επιλογής S0,S1, ένα Enable που για να λειτουργήσουν τα select πρέπει να είναι LOW και μία έξοδο Z.

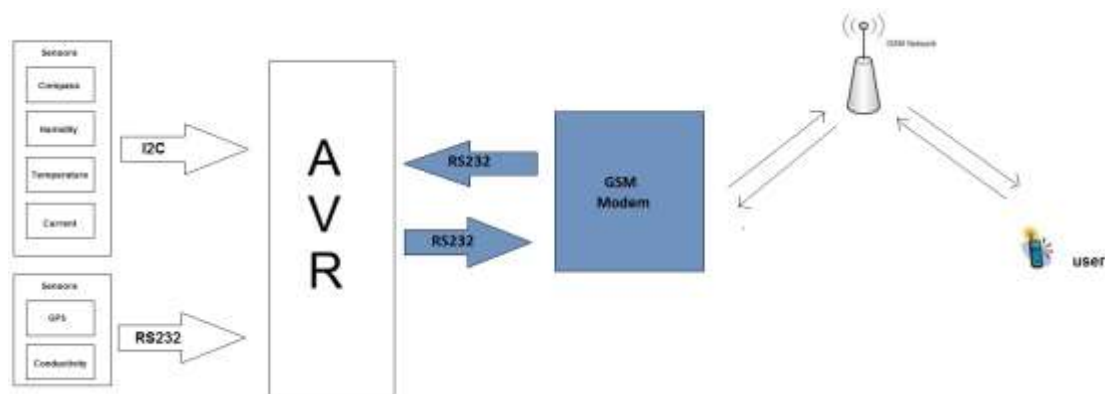
Το λογικό block diagram διπλού τετρακαναλικού πολυπλέκτη φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 24: Λογικό block diagram διπλού τετρακαναλικού πολυπλέκτη

Πιο συγκεκριμένα στο σύστημά μας, στον πολυπλέκτη εισέρχεται το transmit του GPS και το transmit του Conductivity, μέσω του MAX232, και με την επιλογή των select που είναι τα PA0 και PA1, εκπέμπεται το αντίστοιχο σήμα. Συγκεκριμένα όταν PA0=0, PA1=1 ενεργοποιείται το GPS, διαφορετικά το conductivity.

4.3.6 GSM module



Σχήμα 25: GSM modem

Το απαραίτητο στοιχείο ολόκληρου του συστήματος είναι η εξασφάλιση της επικοινωνίας από την ξηρά στην θάλασσα και το αντίστροφο. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά το σύστημα μας αυτόνομο και λειτουργικό καθώς οποιαδήποτε αλλαγή και έλεγχος μπορεί να γίνει από απόσταση. Το module που χρησιμοποιήσαμε για την εξ αποστάσεως επικοινωνία μικροελεγκτή – βάσης είναι το GSM. Το GSM επιλέχτηκε καθαρά με σκοπό την απόκτηση της απαραίτητης τεχνογνωσίας, και πιο συγκεκριμένα προκειμένου να γίνει αντιληπτό πώς μπορούμε να επικοινωνήσουμε με ένα GSM με τη χρήση των κατάλληλων εντολών και στη συνέχεια πως αυτές οι εντολές θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μέσω ενός μικροελεγκτή προκειμένου να διασφαλιστεί η απομακρυσμένη επικοινωνία μεταξύ χρήστη και συστήματος.

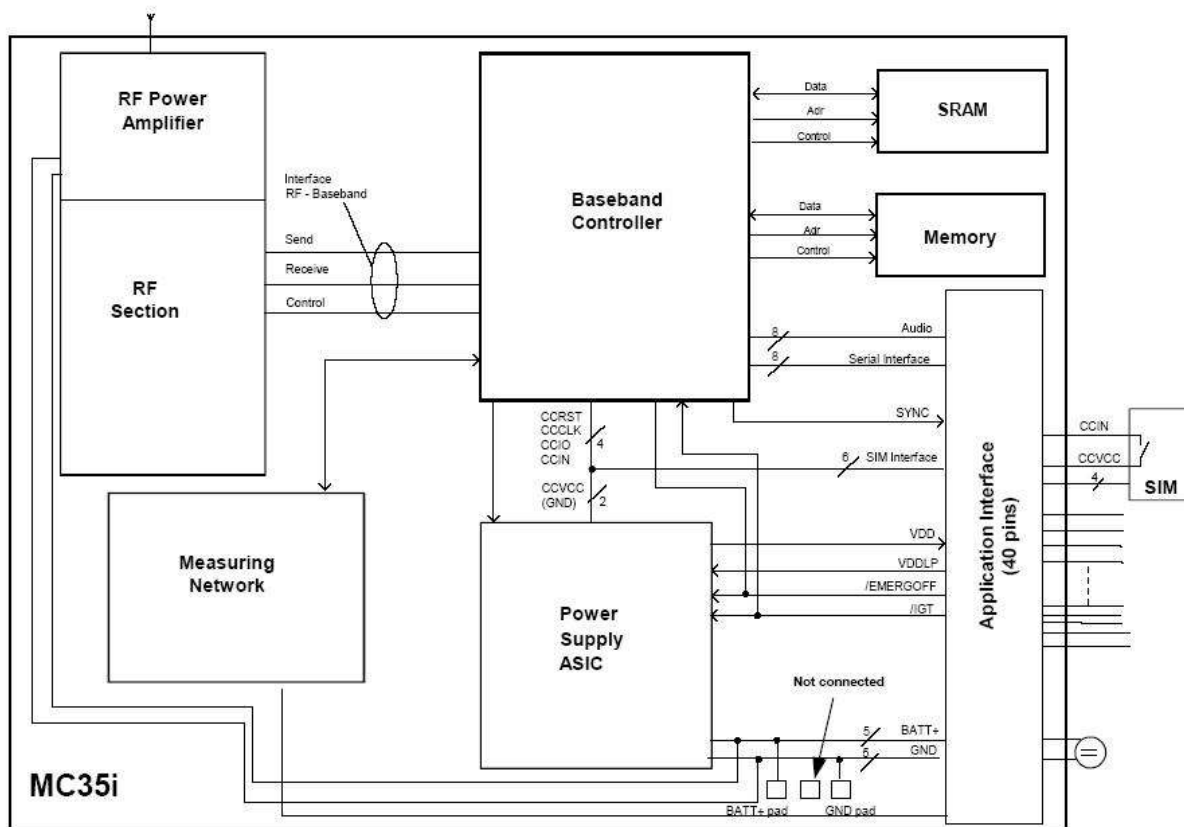
Η επικοινωνία μεταξύ χρήστη και μικροελεγκτή γίνεται διαμέσου γραπτών μηνυμάτων. Και πιο συγκεκριμένα ο χρήστης θα πρέπει μέσω του κινητού του, να στείλει την κωδικοποιημένη εντολή με SMS το οποίο θα λάβει το GSM και θα το τοποθετήσει σε ένα προσωρινό Buffer, από όπου ο μικροελεγκτής θα το αποκωδικοποιήσει και θα το εκτελέσει.

Είναι δυνατόν και πάλι με τη χρήση γραπτών μηνυμάτων ο χρήστης να προγραμματίσει εκ νέου τον μικροελεγκτή στέλνοντας με πολλαπλά SMS τον εκτελέσιμο κώδικα (hex file) στην μνήμη flash. Κάθε μήνυμα που στέλνει ο χρήστης μπορεί να φτάσει τους 160 χαρακτήρες. Η διαδικασία, που περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο, μας δίνει την δυνατότητα του εξ αποστάσεως προγραμματισμού του μικροελεγκτή, απολύτως απαραίτητη για ένα σύστημα που θα βρίσκεται στο εσωτερικό μιας αγκυροβολημένης σημαδούρας.

Για την εκπόνηση της εργασίας και ιδιαίτερα την διεκπεραίωση του τμήματος της επικοινωνίας μέσω γραπτών μηνυμάτων, χρησιμοποιήθηκε το GSM modem MC35i της Siemens. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά αυτού του modem είναι τα εξής:

- Μετάδοση: Voice, Data, SMS, Fax
- Τροφοδοσία: Single supply voltage 8V to 30V
- Ζώνες συχνοτήτων: Dual Band E-GSM 900 and GSM 1800
- Υποστήριξη SIM card 3V
- SMS: MT, MO, CB, Text and PDU mode
- Serial interface:
 - RS-232 interface, bi-directional bus for AT Commands and data
 - Baud rates from 300bps to 115200bps
 - Autobauding supports: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 and 115200bps
- Λειτουργεί σε θερμοκρασίες: -20°C και +55°C.
- Μέγιστη σχετική υγρασία max. 80 %
- Διαστάσεις 65x74x33 mm
- Βάρος 130g

Ενδεικτικά το block diagram του module φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 26: GSM Block Diagram

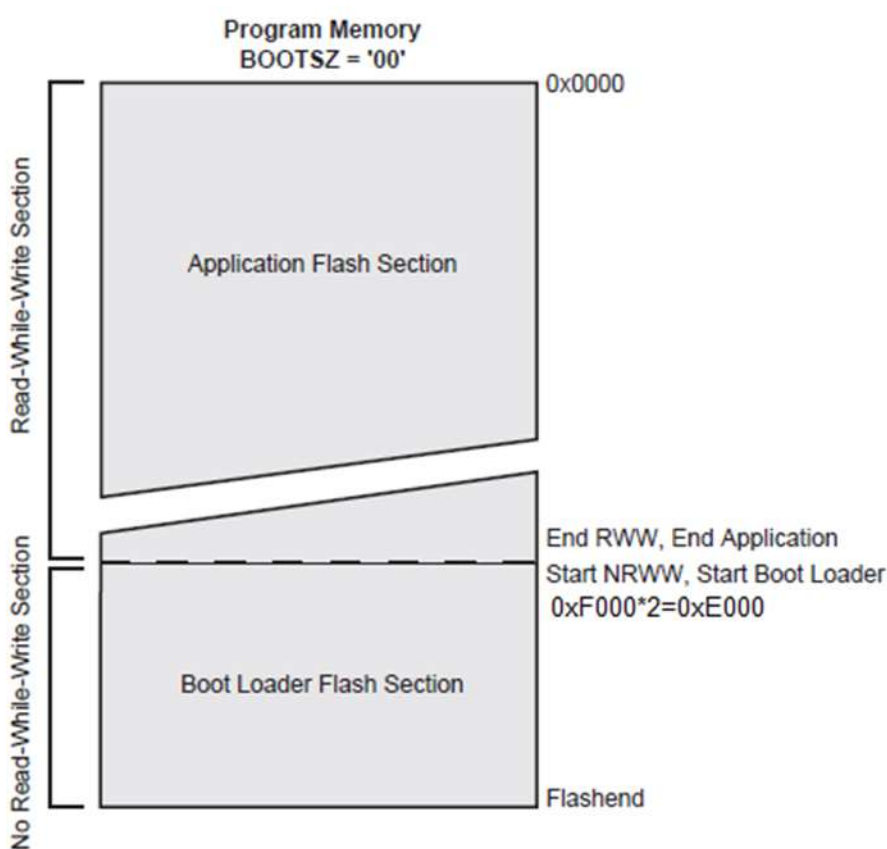
Μόλις δόθηκε η κατάλληλη τροφοδοσία από την 6 pole western έξοδο, με σύνδεση των pin 1 και pin 4 στο +12V και του pin 6 στο ground ξεκίνησε η διαδικασία επικοινωνίας του μέσω της σειριακής θύρας του υπολογιστή και με την χρήση του terminal. Οι AT Commands που χρησιμοποιούνται είναι συγκεκριμένες και περιγράφονται αναλυτικά στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.

Κατά την εκκίνηση του GSM πρέπει να ενεργοποιηθεί η κάρτα SIM, δίνοντας τους σωστούς κωδικούς χρήσης, καθώς επίσης να δοθούν οι κατάλληλες εντολές (AT commands), προκειμένου να αρχίσει η επικοινωνία με τον χρήστη. Η διεπαφή επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή γίνεται διαμέσου της σειριακής θύρας RS-232. Τόσο τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται για τις ρυθμίσεις του GSM μέσω του μικροελεγκτή και για την λήψη νέων μηνυμάτων από τον χρήστη, όσο και για τα δεδομένα εξόδου δηλαδή αυτή κάθε αυτή η αποστολή μηνυμάτων προς τον χρήστη, πραγματοποιούνται με την κωδικοποίηση προτάσεων γνωστών ως και AT commands.

4.4 Κατανομή μνήμης

Ο μικροελεγκτής AVR με βάση την αρχιτεκτονική Harvard που ακολουθεί διαθέτει τρία είδη μνήμης. Μία μνήμη προγράμματος τύπου Flash, μια στατική μνήμη δεδομένων τύπου SRAM και μία μνήμη EEPROM. Ο μικροελεγκτής ATmega1284P που χρησιμοποιούμε διαθέτει 128kB μνήμη προγράμματος, 16kB μνήμη δεδομένων και 4kB μνήμη EEPROM.

Όπως προαναφέρθηκε η flash είναι η μνήμη που χρησιμοποιείται για προγραμματισμό και χωρίζεται σε δύο επίπεδα, το application section και το bootloader section όπως παρουσιάζεται παρακάτω



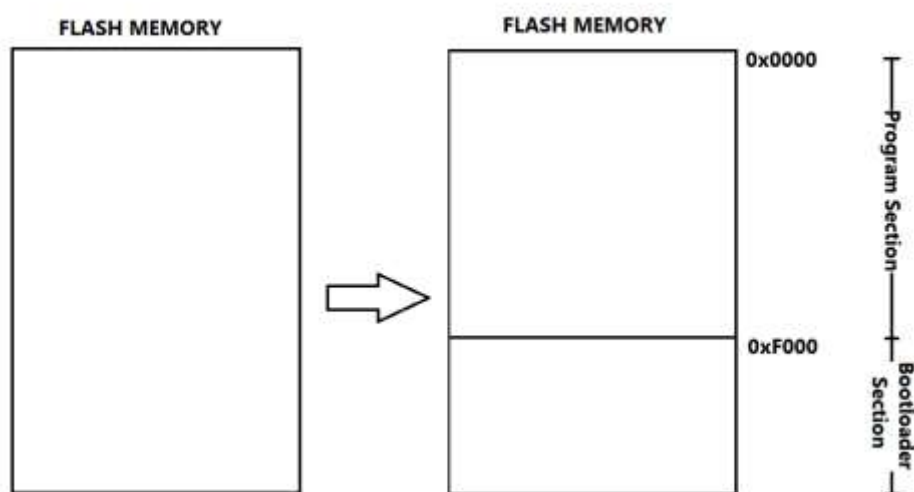
Σχήμα 27: Διαχωρισμός μνήμης Flash

Ένα χαρακτηριστικό των AVR είναι η SPM (Self Program Memory), η δυνατότητα επαναπρογραμματισμού της μνήμης Flash κατά την διάρκεια που το πρόγραμμα εκτελείται και δίνει την δυνατότητα αναβάθμισης του software ή εγκατάσταση νέων παραμέτρων στην μνήμη. Χωρίζοντας την μνήμη σε δύο τμήματα, όπως φαίνεται παραπάνω και δημιουργώντας το πρόγραμμα που βρίσκεται στο Bootloader section με χρήση σειράς

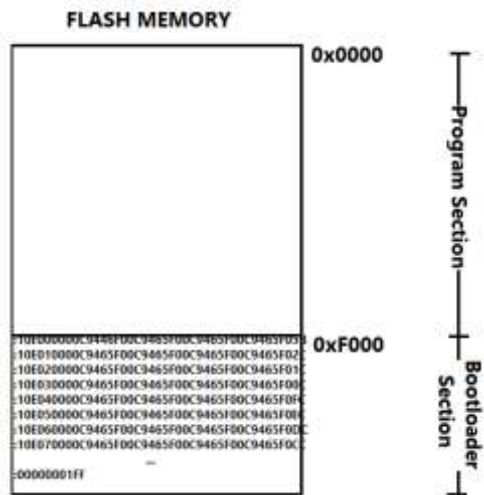
συναρτήσεων SPM, η μνήμη Flash καθίσταται κατάλληλη για την φόρτωση εκ νέου προγράμματος από τον χρήστη.

Πιο συγκεκριμένα ο χρήστης θα στείλει με μηνύματα το hex file, δηλαδή τον τελικό εκτελέσιμο κώδικα σε δεκαεξαδική μορφή, το οποίο και θα φορτωθεί από την διεύθυνση 0x0000, ενώ αντίστοιχα το κομμάτι του κώδικα που αναλαμβάνει την λήψη νέων μηνυμάτων και φόρτωση του κώδικα σε σωστές διευθύνσεις θα είναι εγκατεστημένο στην διεύθυνση 0xF000 και αυτό σύμφωνα με τις ρυθμίσεις του datasheet ώστε το μέγεθος του προγράμματος φόρτωσης νέου Hex file να είναι 4096 words ή 32 pages ή 8kB αφήνοντας στο application section 120kB. Η φόρτωση των εκάστοτε προγραμμάτων σε διαδοχικές διευθύνσεις μνήμης γίνεται ως εξής:

Αρχικά χωρίζουμε την μνήμη Flash σε δύο sections, application και bootloader. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία του AVR Studio και ενεργοποιήθηκαν τα κατάλληλα fuses.

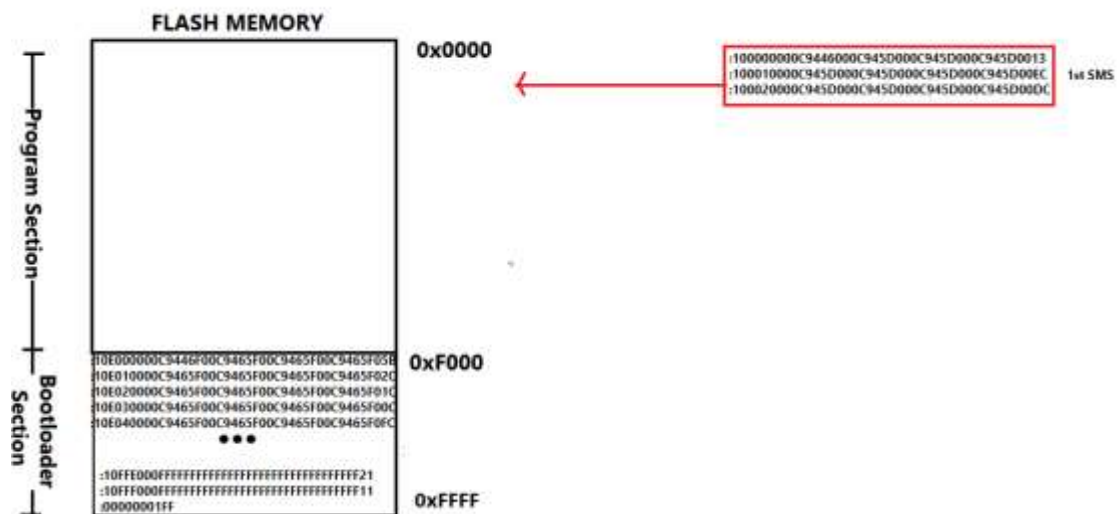


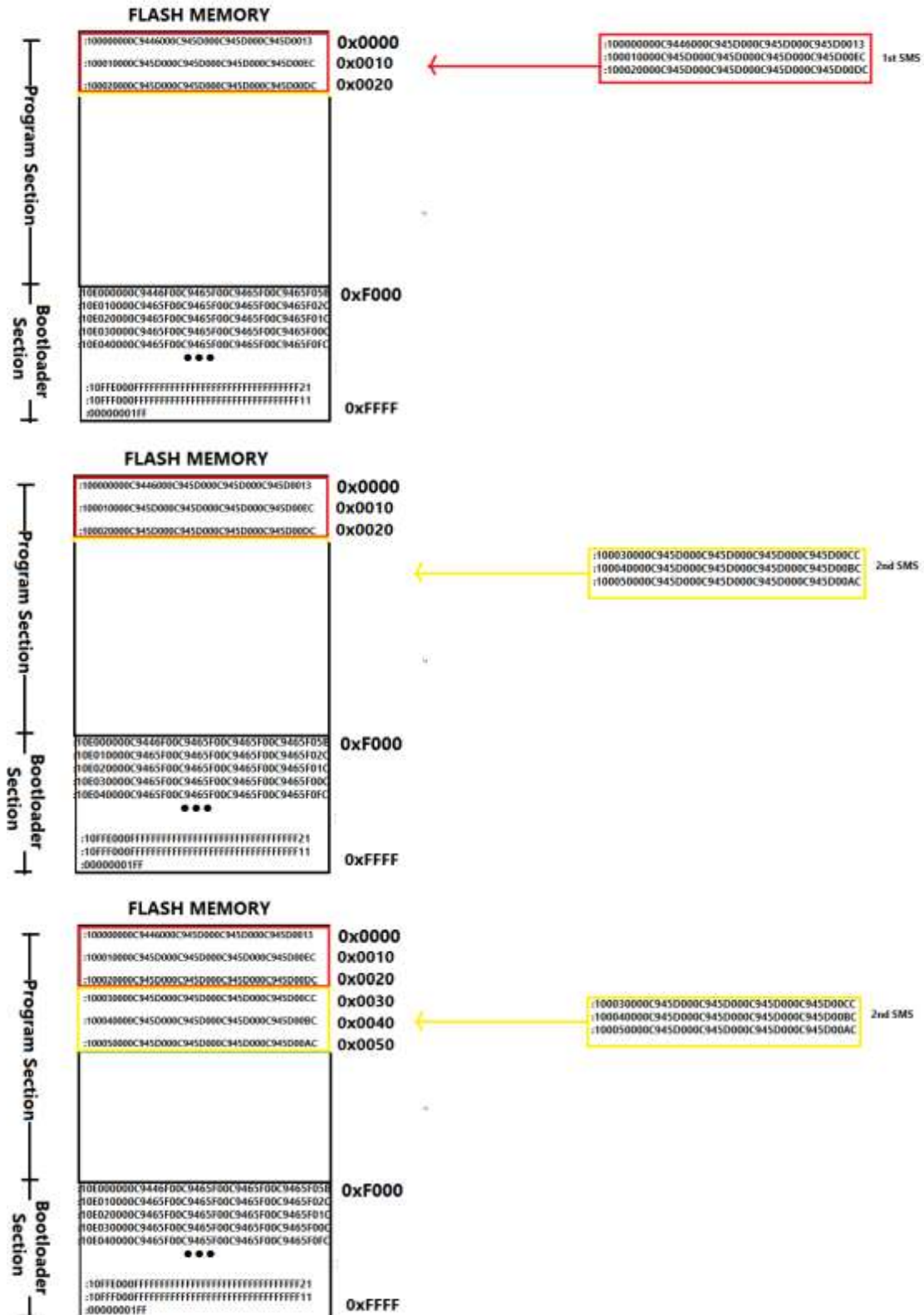
Μετά τον διαχωρισμό της μνήμης έγινε εγγραφή του προγράμματος Monitor.c, που εμπεριέχει τις κατάλληλες συναρτήσεις προκειμένου να γίνει η εγγραφή εκ νέου του application(Sensors.c) στις αρχικές διευθύνσεις της μνήμης.

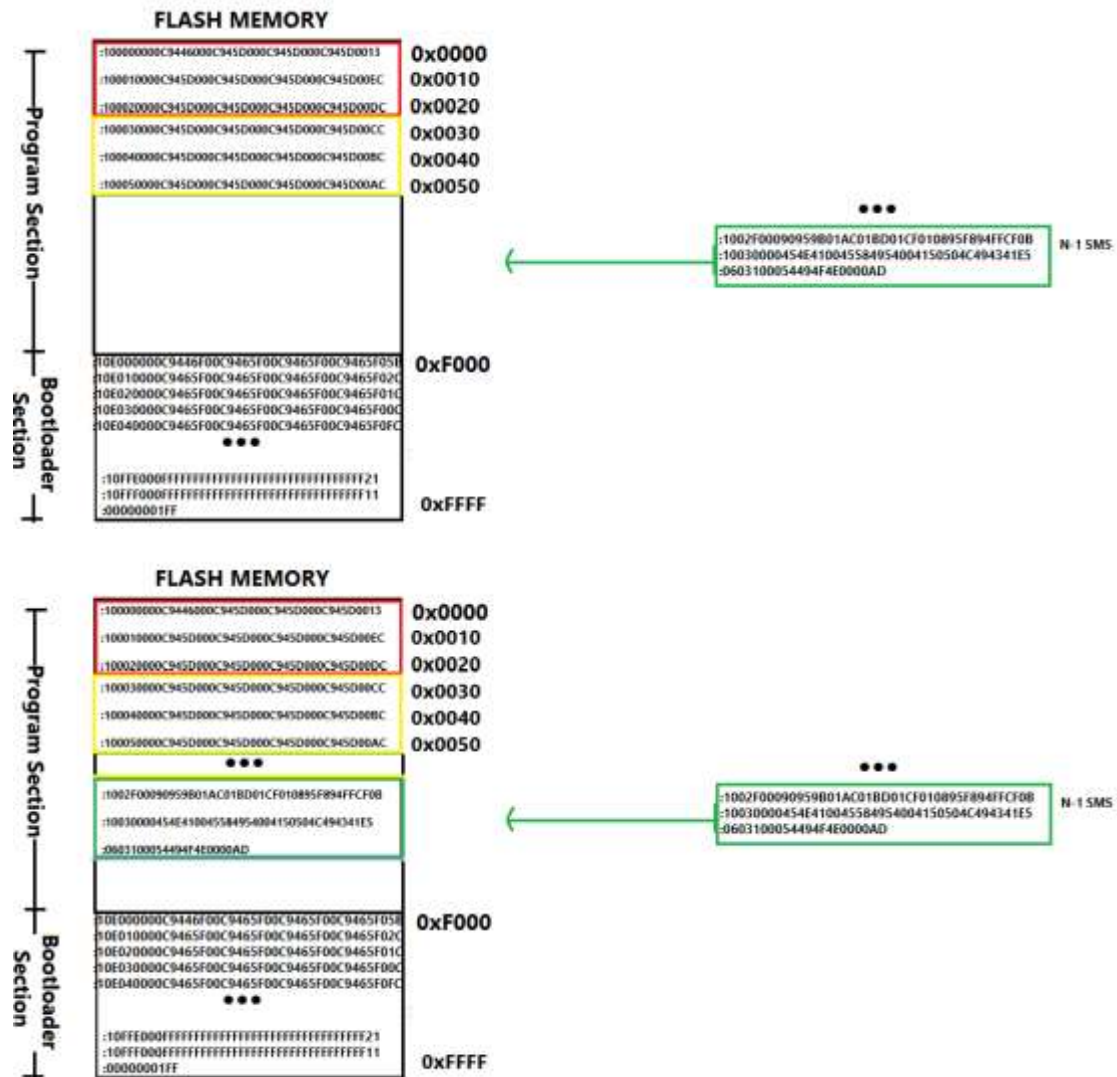


Το Monitor.c είναι το πρόγραμμα που εγγράφεται στην διεύθυνση 0xF000 και είναι αυτό που θα τρέχει πάντα κατά την εκκίνηση του συστήματος.

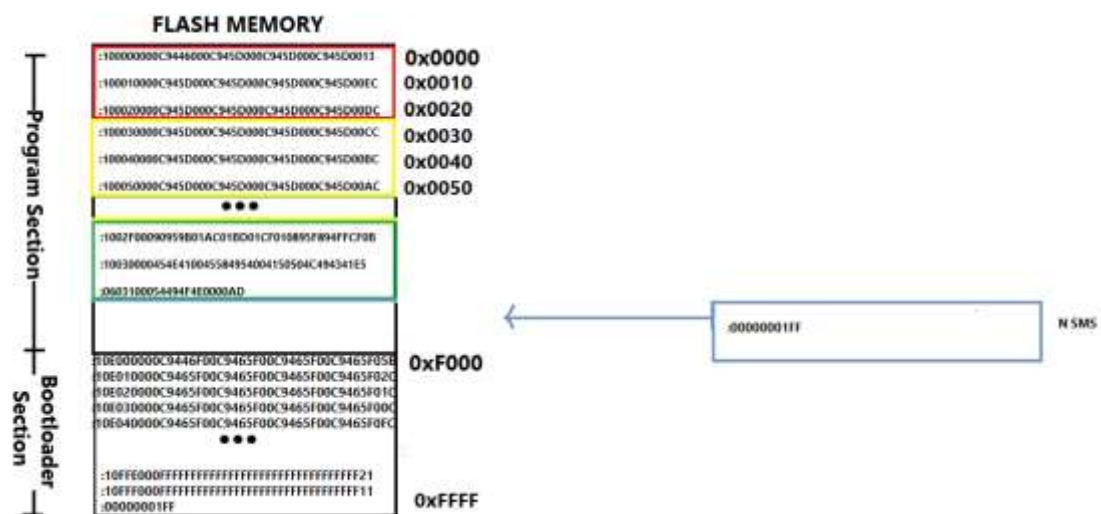
Το καινούριο πρόγραμμα που θα θέλει ο χρήστης να φορτώσει στον μικροελεγκτή αποστέλλεται με την μορφή μηνυμάτων του κινητού. Ανάλογα με την διεύθυνσή του κάθε record εγγράφεται σε κατάλληλη διαδοχική θέση μνήμης.

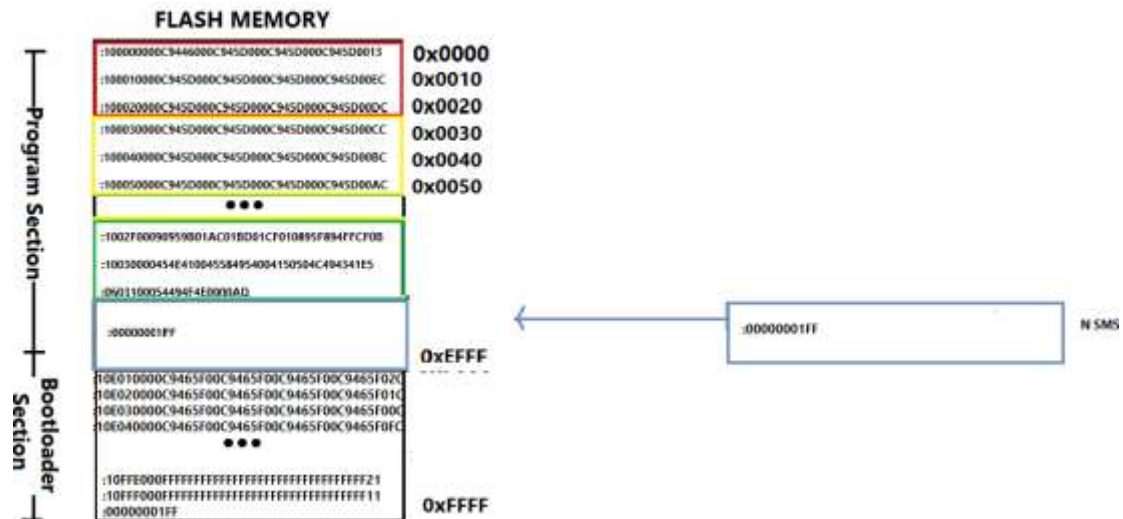




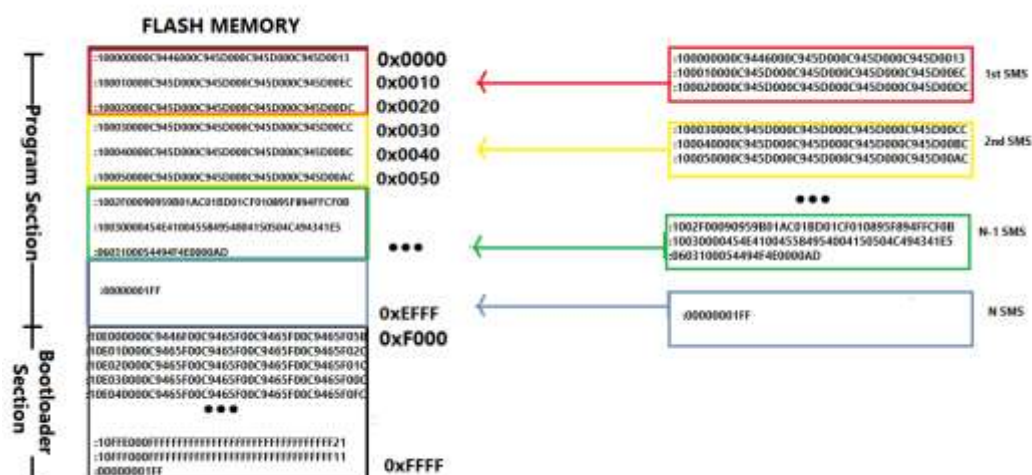


Όταν ολοκληρωθούν τα records του hex file, πρέπει να αποσταλεί από τον χρήστη και το τελευταίο record ώστε να διαπιστωθεί από τον μικροελεγκτή ότι δεν υπάρχουν άλλα μηνύματα και να συνεχίσει την διαδικασία προγραμματισμού.





Μετά το τέλος της φόρτωσης του νέου κώδικα, η μνήμη flash θα έχει πάρει αυτήν την μορφή.



Σχήμα 28: Flash Memory Mapping

Από την διεύθυνση 0x0000, λοιπόν αρχίζει η αποθήκευση του νέου προγράμματος που θέλουμε να τρέξουμε στον μικροελεγκτή μας. Από την διεύθυνση 0xF000 ξεκινάει η φόρτωση του προγράμματος που είναι υπεύθυνο για την φόρτωση νέων applications. Οι διευθύνσεις είναι σε hex μορφή ή αλλιώς σε δεκαδικούς 0, 16, 32, 48 κτλ. Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά η όλη διαδικασία.

Εφόσον η περιοχή μνήμης για προγραμματισμό είναι αρκετά μεγάλη, υπήρξε η ιδέα να φορτωθούν δύο προγράμματα αντί για ένα ώστε να αποφευχθούν να αποστέλλονται μηνύματα για προγραμματισμό σε τακτά χρονικά διαστήματα. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα καινούριο hex file το οποίο επί της ουσίας θα ήταν η συνένωση των δύο προγραμμάτων. Κατά την εκτέλεση του πρώτου προγράμματος υπάρχει η δυνατότητα

εξόδου από αυτό και εισόδου στο δεύτερο πρόγραμμα με την χρήση της εντολής jump στην διεύθυνση που ξεκινάει το 2^ο πρόγραμμα.

Τέλος όταν υπάρχει ανάγκη επαναπρογραμματισμού ο μόνος τρόπος εισαγωγής στο πρόγραμμα του Bootloader section είναι διαμέσου ενός reset, το οποίο μπορεί να προκληθεί από τον Watchdog timer, όπως περιγράφεται παρακάτω.

4.5 Χρήση Timer, Watchdog Timer και ρυθμός δειγματοληψίας

Ο μικροελεγκτής λειτουργεί σε συχνότητα 8 MHz, άρα η διάρκεια ενός κύκλου είναι $1/8\text{MHz}=125\text{ns}$. Καθότι όμως οι αισθητήρες δεν ανταποκρίνονται όλοι σε αυτές τις ταχύτητες και για να εξασφαλίσουμε την σταθερότητα του χρόνου δειγματοληψίας κάναμε χρήση του Timer/Counter του AVR.

Ένας timer (χρονομετρητής) είναι απλά ένας ειδικός καταχωρητής του μικροελεγκτή, που ρυθμίζεται, αυξάνει την τιμή του χωρίς την βοήθεια του προγράμματος αλλά από το ίδιο το υλικό. Αυτό από μόνο του δεν θα ήταν και τόσο χρήσιμο αν δεν μπορούσε να προκαλέσει κάποιο γεγονός που να εκμεταλλευτούμε μέσω του προγράμματος που γράφουμε.

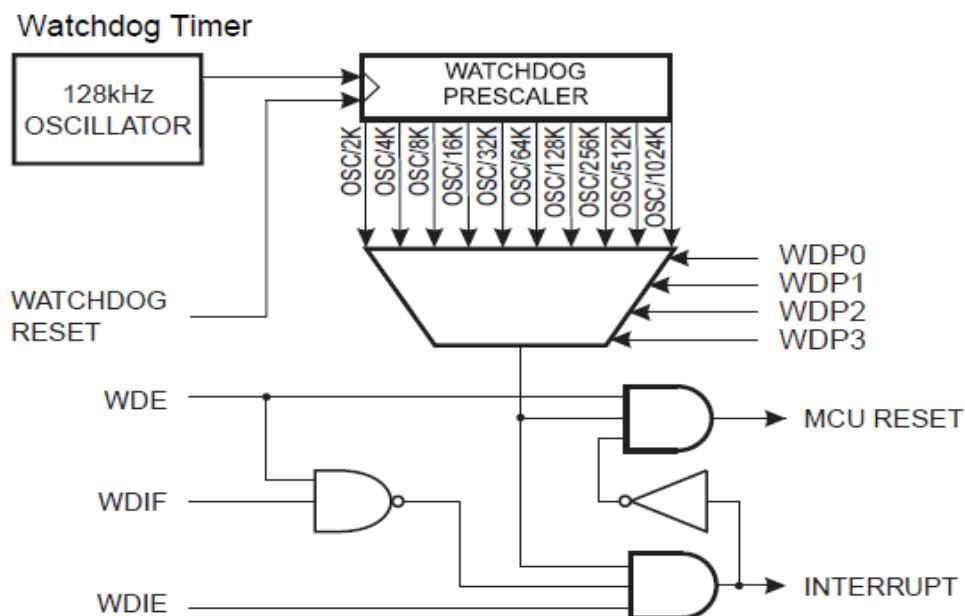
Αυτό το γεγονός είναι το Overflow Interrupt (Interrupt υπερχείλισης). Από την στιγμή που το μέγεθος του καταχωρητή είναι πεπερασμένο είναι λογικό ότι και ο Timer/Counter κάποια στιγμή να γεμίσει. Τότε θα κάνει επανεκκίνηση και θα πάρει την τιμή μηδέν (0) και θα αρχίσει πάλι το μέτρημα. Το γεγονός αυτό ονομάζεται Υπερχείλιση (Overflow).

Αντί όμως σε κάθε loop να ελέγχουμε εάν ο timer έχει ξεπεράσει την τιμή που θέλουμε, κάναμε χρήση μίας λειτουργικότητας του timer που ονομάζεται CTC, "Clear on Timer Compare". Με αυτήν την λειτουργία κάνουμε μέσω hardware ότι με το software, δηλαδή γίνεται εξέταση από το υλικό εάν ο timer περιήλθε στην επιθυμητή τιμή, οπότε και δίνεται σε ένα flag μία συγκεκριμένη τιμή, μηδενίζοντας ξανά τον timer. Αυτό πραγματοποιείται με την χρήση των timer interrupts που θα δούμε παρακάτω. Επιπλέον έγινε χρήση των prescalers, διαιρέτες συχνότητας προκειμένου να μεγαλώσουμε την περίοδο του timer. Όταν διαιρέσουμε μία από τις τιμές 1, 8, 64, 256 και 1024 με την συχνότητα του ρολογιού, το αποτέλεσμα θα είναι να έχουμε αύξηση του χρόνου για τον timer. Στο πρόγραμμά μας έγινε χρήση του 1024 prescaler με 8MHz συχνότητα.

Επομένως κάθε 10s σύμφωνα με τις ρυθμίσεις του timer που χρησιμοποιείται κάνει επανεκκίνηση και μεταπηδάει σε επόμενο αισθητήρα. Επομένως ο χρόνος δειγματοληψίας όλων των δεδομένων χωρίς κάποια διακοπή είναι 60s.

Στο σύστημά μας ο Watchdog timer κρίνεται απαραίτητος όταν θέλουμε να εξέλθουμε από την κανονική ροή του προγράμματος και να

επέλθουμε στον πρόγραμμα που βρίσκεται στο bootloader section, προκειμένου να επαναπρογραμματίσουμε τον μικροελεγκτή. Ο μόνος τρόπος εξόδου είναι με την χρήση του Watchdog timer.



Σχήμα 29: Block diagram Watchdog Timer

Όπως και οποιοσδήποτε άλλος timer έτσι και ο watchdog timer, ο οποίος μετράει τους κύκλους του εσωτερικού ταλαντωτή του chip που υπολογίζεται στα 128kHz, όταν ενεργοποιηθεί και κατόπιν φτάσει στην υπερχείλιση παράγει έναν παλμό προκειμένου να πραγματοποιηθεί ένα reset στο σύστημα. Με αυτό το reset, θα μπορούμε να αποφύγουμε τυχόν σφάλματα σοβαρά του συστήματος αλλά και να προγραμματίσουμε εκ νέου τον μικροελεγκτή μας

4.6 Χρήση interrupt και polling

Τα interrupts είναι ειδικά κομμάτια κώδικα που εκτελούνται παράλληλα με το κυρίως πρόγραμμά μας. Αυτά τα κομμάτια κώδικα οδηγούν τον AVR να εκτελέσει μία ειδική ρουτίνα που καλείται ISR (Interrupt Service Routine), όταν διαπιστωθούν έγκυρες συνθήκες.

Πιο συγκεκριμένα με την ενεργοποίηση του timer ενεργοποιούνται και τα global interrupts, προκειμένου, όταν γίνει το timer overflow, δηλαδή ο timer ξεπεράσει την τιμή που θέλουμε εκτελείται το interrupt, που κατά βάση είναι η αλλαγή της τιμής ενός flag. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται

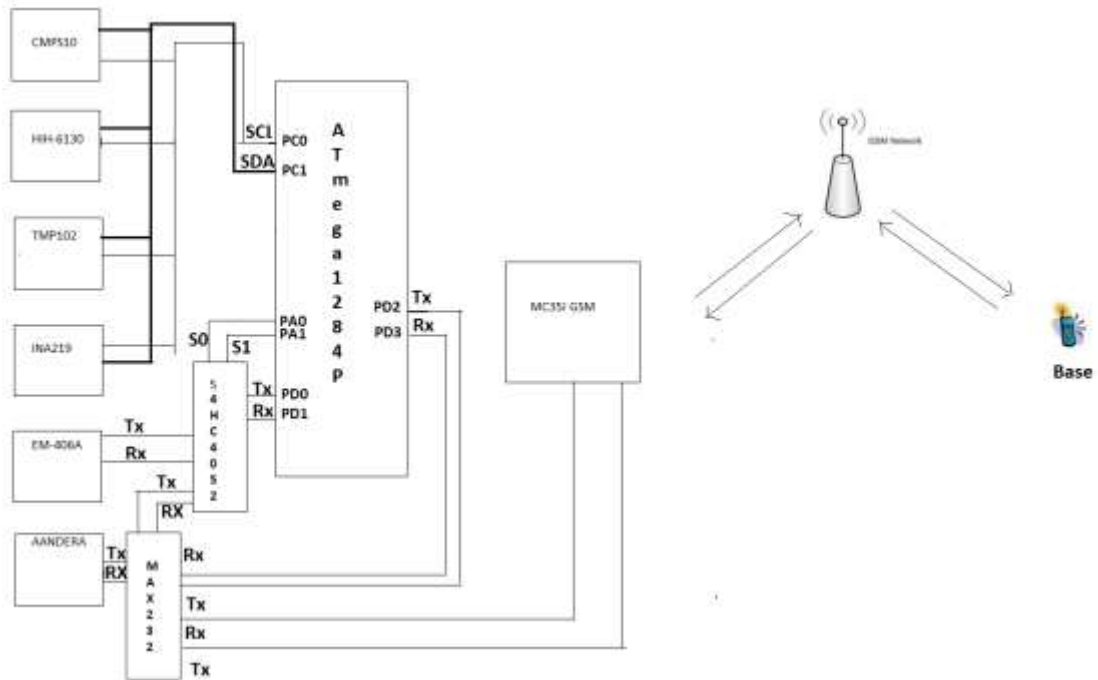
δειγματοληψία από όλους τους αισθητήρες σε ίσα χρονικά διαστήματα και έχει προγραμματιστεί αντίστοιχα η αποστολή ενός ενημερωτικού SMS στον χρήστη ανά 12 ώρες, πάλι μέσω της χρήσης του timer interrupt.

Επιπλέον γίνεται χρήση polling εξαιτίας του GSM, όπου μέσω του software μετά την δειγματοληψία των αισθητήρων γίνεται έλεγχος για το εάν εντοπίστηκε νέο SMS από τον χρήστη στο GSM modem, προκειμένου να το εξυπηρετήσει.

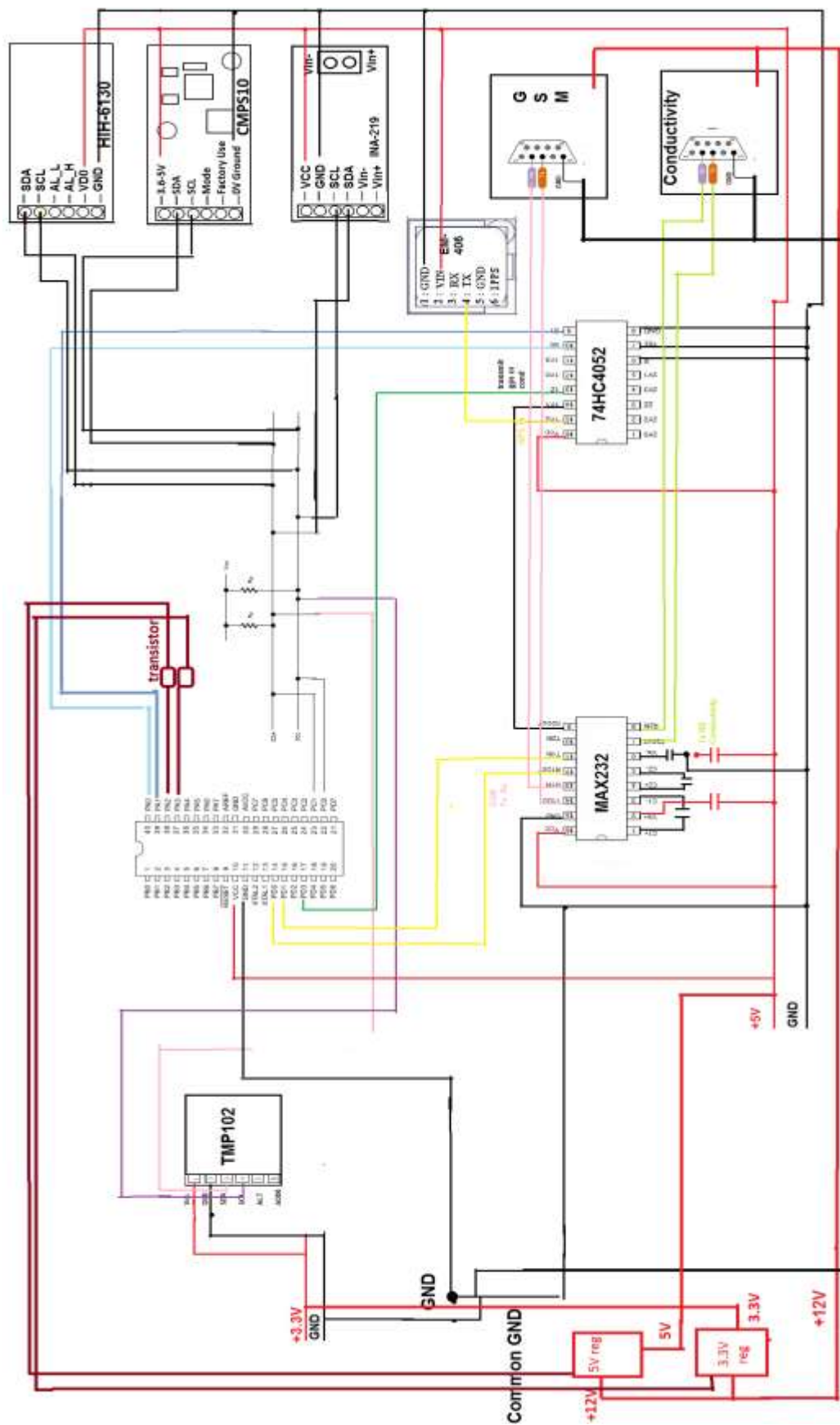
4.7 Επισκόπηση τελικού συστήματος

Το σύστημα υλοποιήθηκε κάνοντας χρήση ενός breadboard και του αναπτυξιακού STK500. Αρχικά πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες εσωτερικές συνδέσεις προκειμένου να ενεργοποιηθεί το αντίστοιχο τμήμα του αναπτυξιακού STK 500. Έγινε χρήση ενός εξωτερικού κρυστάλλου των 8 MHz για να επιτευχθεί η σταθερότητα και η ακρίβεια που χρειαζόμαστε. Για να ενεργοποιηθεί αυτή η επιλογή αποσυνδέουμε τον jumper με την ονομασία XTAL1 και τοποθετούμε στην ειδική υποδοχή τον κρύσταλλο μας. Επιπλέον για να επιτευχθεί η επικοινωνία του υπολογιστή με τον μικροελεγκτή συνδέσαμε τα PD0-PD1 με τα pin του STK RX-TX.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το block diagram του συστήματος και αμέσως μετά ακολουθεί το τελικό σύστημα με όλες τις συνδέσεις και τις απαραίτητες τροφοδοσίες του κάθε περιφερειακού με τον μικροελεγκτή ATmega1284P.



Σχήμα 30: block diagram συστήματος



Σχήμα 31: Κυκλωματικό διάγραμμα

5 Επιβεβαίωση Λειτουργίας

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αναλυτικά η λειτουργία του συστήματος καθώς και πώς αυτό υλοποιήθηκε με γλώσσα προγραμματισμού C.

5.1 Εκκίνηση συστήματος

Το σύστημα εκκίνησης έχει τάση λειτουργίας τα 12V και ο μικροελεγκτής Atmega1284P έχει οριστεί να λειτουργεί με συχνότητα 8MHz. Με την εκκίνηση του συστήματος γίνεται και εκκίνηση όλων των περιφερειακών του.

Αρχικά γίνεται η ενεργοποίηση του GSM module, το οποίο με κάθε επανεκκίνηση ενεργοποιείται ορίζοντας του τον κατάλληλο κωδικό Pin της κάρτας SIM, τίθεται σε text mode και τέλος τοποθετείται σε κατάσταση αναμονής για ένα νέο μήνυμα. Όλα αυτά γίνονται με την χρήση των ειδικά σχεδιασμένων συναρτήσεων για το σκοπό αυτό και την χρήση των AT commands με τα οποία μπορούμε να επικοινωνήσουμε με το GSM και περιγράφονται στο παράρτημα παρακάτω.

Εφόσον θα έχει γίνει και η ενεργοποίηση του GSM modem θα σταλεί μήνυμα στον χρήστη για το αν θέλει να φορτώσει νέο πρόγραμμα ή να περάσει στην ήδη φορτωμένη εφαρμογή. Ένα επιλεχθεί η πρώτη επιλογή τότε ξεκινάει η διαδικασία προγραμματισμού του μικροελεγκτή διαμέσου του προγράμματος bootloader.

5.2 Πρόγραμμα Bootloader

Το πρώτο και σημαντικότερο γεγονός που έπρεπε να αναζητηθεί ήταν ο τρόπος με τον οποίο θα μπορούσε ο μικροελεγκτής να επαναπρογραμματιστεί από απόσταση. Ο επικρατέστερος και πλέον συνηθισμένος τρόπος για μικροελεγκτές AVR αυτής της κατηγορίας, είναι η χρήση της μνήμης flash ως Store Program Memory (SPM), χρήση της μνήμης δηλαδή για την αποθήκευση ολόκληρου προγράμματος που στόχο θα έχει τον επαναπρογραμματισμό του ίδιου του AVR. Για τον σκοπό αυτόν έπρεπε να δημιουργηθεί αρχικά μία εφαρμογή που θα δεχόταν ολόκληρο hex file, εκτελέσιμο αρχείο μέσω της σειριακής θύρας, πράγμα που θα μπορούσε να αντικατασταθεί με ένα μήνυμα απομακρυσμένου κινητού μετέπειτα.

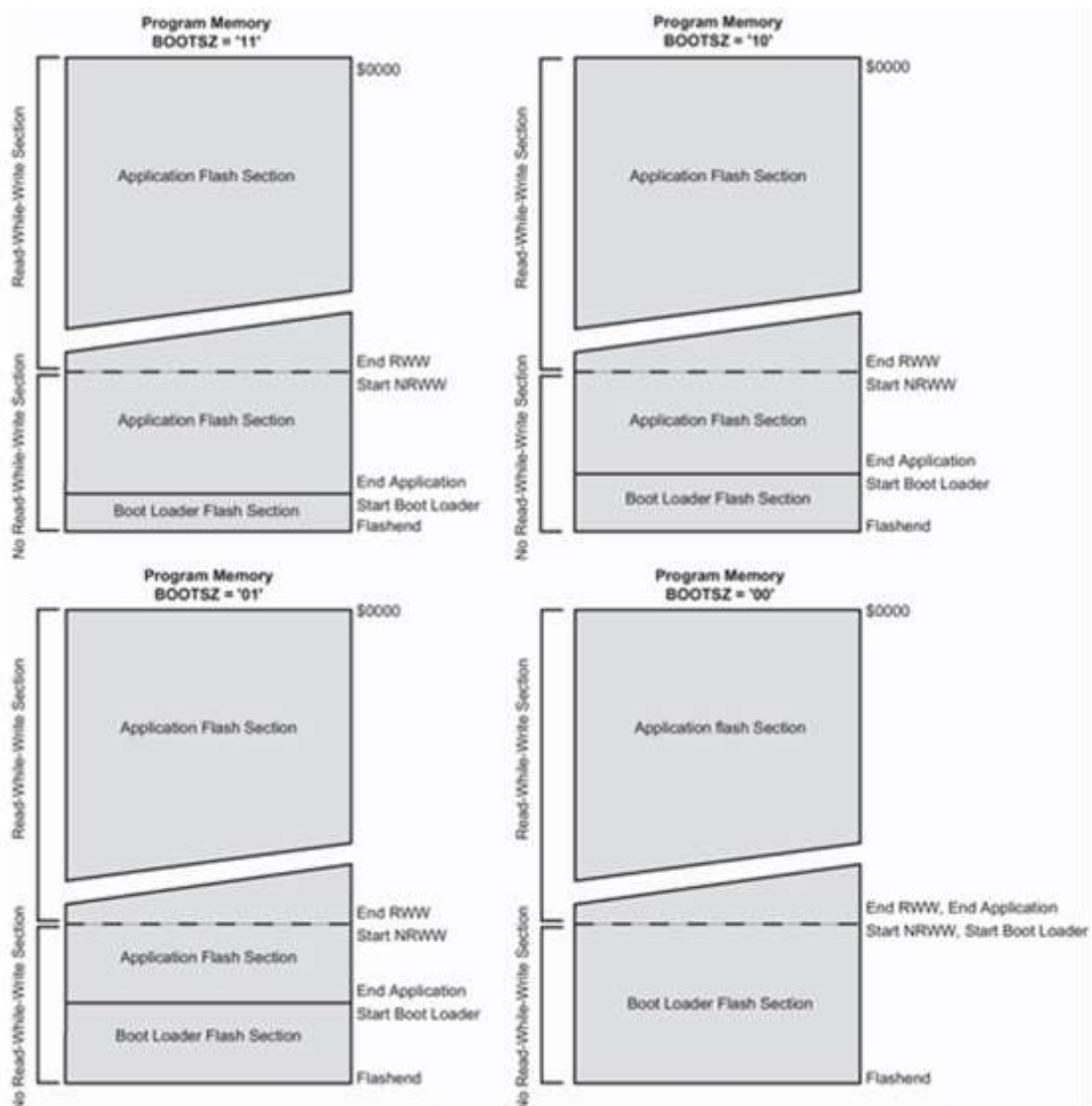
Το πρόγραμμα αυτό εκτός από το να περιμένει ένα καινούριο εκτελέσιμο, ενεργοποιεί μέσω συναρτήσεων τον προγραμματισμό της Flash δίδοντας την χρήση εξωτερικού προγραμματιστή.

Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε λοιπόν η μνήμη flash του μικροελεγκτή η οποία έχει την δυνατότητα του self-programming, χωρίζοντας την μνήμη flash σε δυο τμήματα, application section και bootloader section. Στο bootloader section της flash, αποθηκεύουμε το κυρίως πρόγραμμα και είναι αυτό που θα τρέχει πάντα κατά την εκκίνηση του μικροελεγκτή, είναι το πρόγραμμα το οποίο χειρίζεται την διαδικασία επικοινωνίας και προγραμματισμού της Flash. Η οποιαδήποτε εφαρμογή που θέλουμε να φορτώσουμε εγγράφεται από την διεύθυνση 0x0000 έως το τέλος του application section (120kB). Μόλις ο χρήστης επιλέξει να φορτώσει ένα πρόγραμμα (application), αμέσως γίνεται erase της μνήμης, σε περίπτωση που πριν ήταν κάποιο άλλο εγγεγραμμένο πρόγραμμα. Πρώτα από όλα αποκωδικοποιούμε τα hex records ελέγχοντας σε κάθε ένα το checksum. Μετατρέπουμε τους ASCII χαρακτήρες πάλι σε binary και τους αποστέλλουμε σε ένα buffer στην flash. Μόλις το αρχείο ολοκληρωθεί, εγγράφουμε αυτό το buffer στις διαδοχικές διευθύνσεις μνήμης του application section. Μεταφέρουμε τον program counter στην πρώτη διεύθυνση και τρέχουμε το application. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να αποστείλουμε όσα αρχεία θέλουμε και αντίστοιχα να προγραμματίσουμε τον μικροελεγκτή μας όσες φορές θέλουμε.

Ο μικροελεγκτής παρέχει μηχανισμό αυτοπρογραμματισμού με δυνατότητα εγγραφής κατά την ανάγνωση, με αποτέλεσμα την ενημέρωση του λογισμικού. Η μνήμη flash χωρίζεται σε δύο βασικά τμήματα, το τμήμα εφαρμογής και το τμήμα του bootloader, καθένα από τα οποία καταλαμβάνει διαφορετικό χώρο στην μνήμη. Το μέγεθος κάθε τμήματος καθορίζεται από τις ασφάλειες προγραμματισμού BOOTSZ, όπως φαίνεται στο σχήμα. Το τμήμα εφαρμογής είναι το τμήμα που η flash χρησιμοποιεί για την αποθήκευση του κώδικα της εφαρμογής. Στο τμήμα αυτό δεν είναι δυνατή η αποθήκευση κώδικα bootloader καθώς η εντολή SPM (Store Program Memory) είναι ανενεργή όταν εκτελείται από το τμήμα εφαρμογής. Η εντολή SPM μπορεί να ενεργοποιήσει προγραμματισμό μόνο όταν εκτελείται από το τμήμα bootloader και για αυτό εκεί αποθηκεύεται το λογισμικό του bootloader.

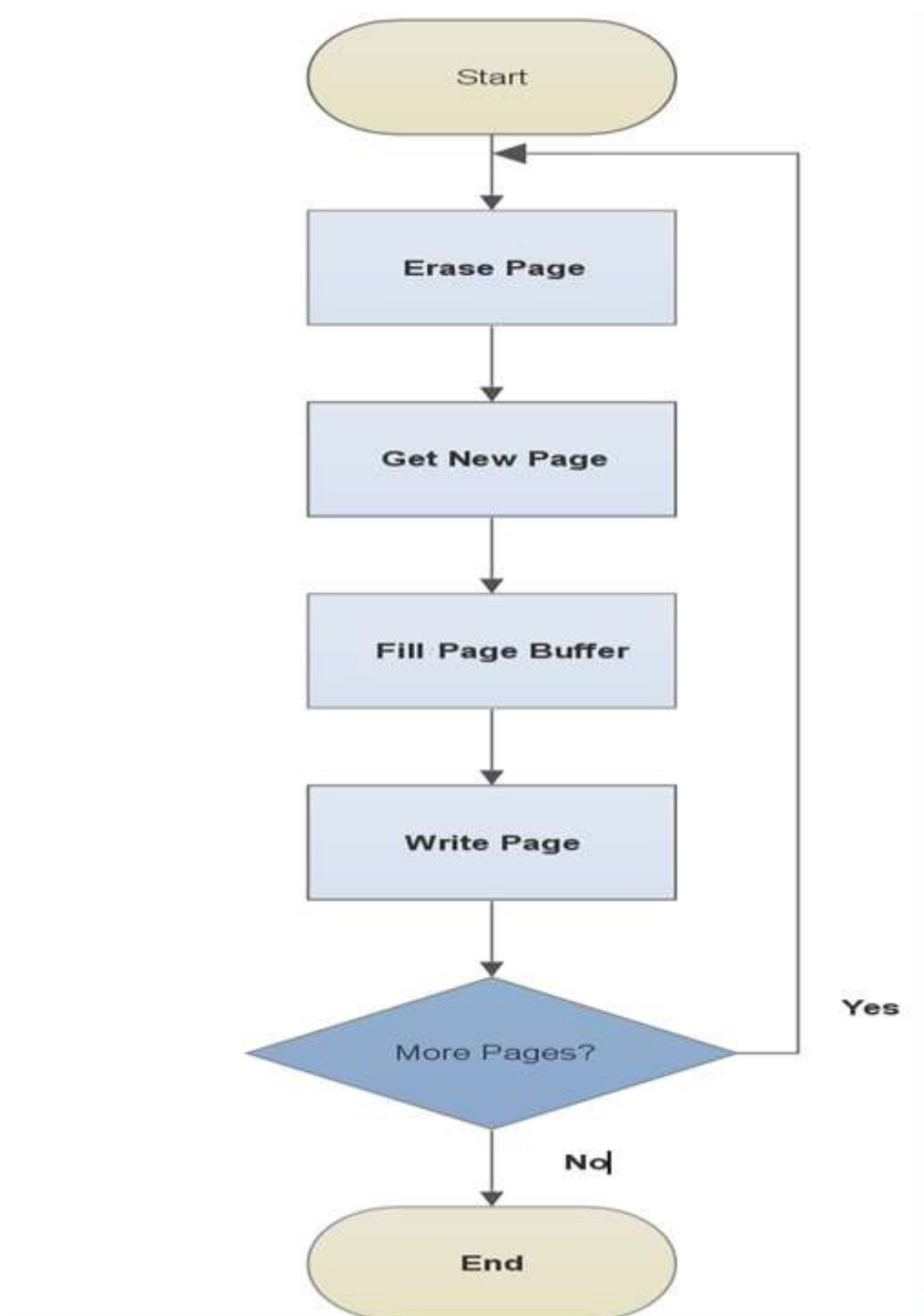
Το πρόγραμμα που βρίσκεται στο Boot Loader section μπορεί να χρησιμοποιήσει κάθε διαθέσιμη διεπαφή δεδομένων και το σχετικό πρωτόκολλο, για να διαβάσει κώδικα και να τον καταγράψει στη μνήμη flash. Ο κώδικας προγράμματος του τμήματος Boot Loader έχει την ικανότητα να γράφει σε ολόκληρη τη Flash, περιλαμβανομένης και της μνήμης Boot Loader. Με τον τρόπο αυτό ο χρήστης έχει μοναδική ευελιξία στην επιλογή επιπέδου ασφαλείας που επιθυμεί. Στο δικό μας σύστημα κάναμε χρήση της τελευταίας επιλογής όπου BOOTSZ='00' και

- Boot Size: 4096 words
- Pages: 32
- Application Flash Section : 0x0000 - 0xEFFF
- Boot Loader Flash Section: 0xF000 - 0xFFFF
- End Application Section: 0xEFFF
- Boot Reset Address (Start BootLoader Section): 0xF000



Σχήμα 32: Τμήματα μνήμης

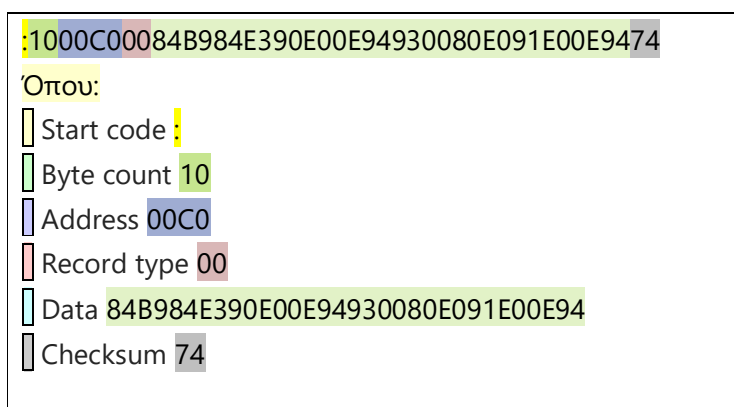
Και καθώς η μνήμη Flash χωρίζεται σε pages η διαδικασία διαβάσματος και φορτώματος νέων pages στην μνήμη έχει ως εξής



Σχήμα 33: Διάγραμμα Ροής για εγγραφή νέου page στην Flash

Με οδηγό όλα τα παραπάνω δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού C το οποίο μόλις λάβει το νέο μήνυμα το GSM ειδοποιεί με μία ειδική εντολή. Ο μικροελεγκτής αντιλαμβάνεται ότι ήρθε καινούριο μήνυμα οπότε και το αποθηκεύει σε ένα πίνακα σε συγκεκριμένη

διεύθυνση μνήμης του, διαγράφει το μήνυμα από την πρώτη διεύθυνση της κάρτας SIM όπου είχε εγγραφεί και περιμένει το επόμενο. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να στείλουμε και το τελευταίο μήνυμα το οποίο είναι μοναδικό (:00000001FF). Τα μηνύματα αυτά περιέχουν το hex file δηλαδή σε δεκαεξαδικούς χαρακτήρες (γλώσσα μηχανής) το πρόγραμμα που θέλουμε να φορτωθεί στον μικροελεγκτή μας. Το format κάθε εντολής φαίνεται παρακάτω:



Πιο συγκεκριμένα κάθε εντολή ξεκινάει με άνω κάτω τελεία (:), το οποίο είναι το διακριτικό για την έναρξη μίας καινούριας εντολής, τα επόμενα δύο byte μας ενημερώνουν πόσα bytes δεδομένων περιέχει η εντολή.

Στο παράδειγμά μας το 00C0 αποτελεί την διεύθυνση που τοποθετούνται τα δεδομένα στην μνήμη, ενώ το 00 δηλώνει τον χαρακτήρα της εντολής, όπου συγκεκριμένα το 00 δηλώνει ότι έχουμε data, ενώ το 01 δηλώνει το τέλος του file και εντοπίζεται στις τελευταίες γραμμές του hex file. Τα υπόλοιπα 32 bytes είναι τα δεδομένα αυτά κάθε αυτά, και τα τελευταία δύο είναι το checksum, με το οποίο διαπιστώνεται εάν έχει γίνει κάποιο λάθος κατά την μετάδοση. Ο υπολογισμός του checksum γίνεται ως εξής,

Έστω το record :1000C00084B984E390E00E94930080E091E00E9474

Με άθροισμα

$$10+00+C0+00+84+B9+84+E3+90+E0+0E+94+93+00+80+E0+91+E0+0E+94=98C.$$

Παραβλέπουμε την υπερχείλιση και έχουμε 8C= 10001100

10001100->01110011(73)

01110011+1=1110011 (74)

Το two's complement του 8C είναι το 74, το οποίο και φαίνεται στο τέλος του record.

Επομένως για να επαληθευθεί ότι στάλθηκε σωστά το κάθε page θα πρέπει η κάθε εντολή να ξεκινάει με (:) και να έχει σωστό checksum. Μόλις ολοκληρώνεται το κάθε page εγγράφεται στην μνήμη flash, εφόσον πρώτα έχει γίνει η μετατροπή των χαρακτήρων που στέλνονται με τα SMS σε binary μέσω της συνάρτησης unsigned char ascii_to_bin (char data). Μόλις λοιπόν έχουμε αποθηκεύσει όλα τα μηνύματα περνάμε στην διαδικασία εκτέλεσης του νέου προγράμματος.

Εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία και φορτωθεί το πρόγραμμα των αισθητήρων, το εκτελούμε.

5.3 Πρόγραμμα αισθητήρων

Αμέσως μετά την επίτευξη του επαναπρογραμματισμού του μικροελεγκτή σειρά πήρε η δημιουργία ενός προγράμματος που θα περιελάμβανε την κυκλική δειγματοληψία από όλους τους αισθητήρες, άμεση ειδοποίηση του χρήστη για τυχόν επικίνδυνη αύξηση κάποιας τιμής, όπως της θερμοκρασίας, δυνατότητα για τον χρήστη ενημέρωσης για κάποιους επιλεκτικά αισθητήρες οποιαδήποτε χρονική στιγμή, πλήρης ενημέρωση για όλους τους αισθητήρες ανά δώδεκα ώρες και δυνατότητα αφαίρεσης κάποιου από τους αισθητήρες ή επανένταξή του στο σύστημα. Όλα αυτά γίνονται με την χρήση απλών SMS.

Πιο συγκεκριμένα με την ενεργοποίηση του συστήματος ενεργοποιούνται και όλα τα περιφερειακά του. Πρώτα από όλα ρυθμίζεται η σειριακή θύρα και έπειτα το I2C ώστε να επιτευχθεί η επικοινωνία με όλους τους αισθητήρες αλλά και με το GSM modem, καθώς επίσης ορίζονται τα σωστά pins προκειμένου να οριστεί το select του πολυπλέκτη. Εφόσον καταστεί δυνατή η επικοινωνία και ενεργοποιηθεί ο Timer ξεκινά η δειγματοληψία από όλους τους αισθητήρες σε σειρά. Μετά την λήξη της δειγματοληψίας, ενεργοποιείται η συνάρτηση η οποία αναμένει κάποιο εξωτερικό μήνυμα, από τον χρήστη. Εάν αυτό ληφθεί κάνει τις απαραίτητες ενέργειες, ειδάλλως προχωράει σε επόμενη κατάσταση.

Τα μηνύματα που μπορεί να δεχτεί ο μικροελεγκτής από τον χρήστη είναι

- Ερώτηση για την τιμή συγκεκριμένου αισθητήρα
- Αφαίρεση αισθητήρα από την ροή του προγράμματος
- Επανένταξη αισθητήρα στο πρόγραμμα
- Έξοδος από το πρόγραμμα των αισθητήρων

Τα μηνύματα που λαμβάνει ο χρήστης από τον μικροελεγκτή είναι

- Αναλυτικές τιμές όλων των αισθητήρων ανά 12 ώρες
- Τιμή αισθητήρα που βρίσκεται σε έκτακτη ανάγκη

- Απάντηση σε μεμονωμένους αισθητήρες

Η αποστολή μηνυμάτων από τον χρήστη έχει οριστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκλείονται αποστολές από άλλους συνδρομητές, ή ακόμα και να αποκλείονται εσφαλμένα μηνύματα. Τα μηνύματα που αποστέλλονται πρέπει να είναι μοναδικά.

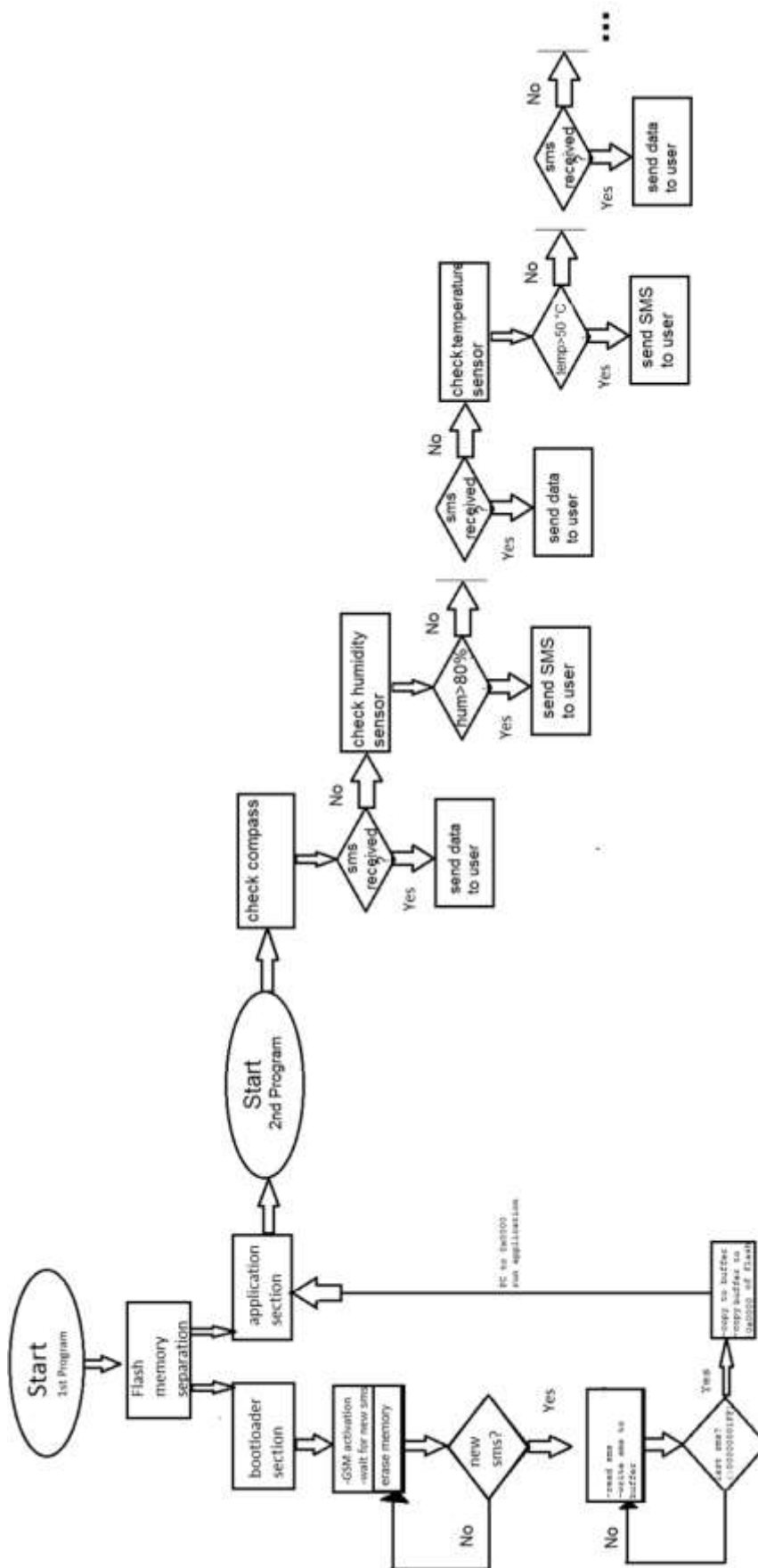
Εφόσον τελειώσει η δειγματοληψία όλων των αισθητήρων, μηδενίζεται ο timer και γίνεται η ενημέρωση του χρήστη.

Έπειτα βρεθήκαμε αντιμέτωποι με τις εξής επιλογές:

Είτε θα συνεχίζαμε το πρόγραμμα δίχως διακοπή, όπου μία τέτοια επιλογή θα μας φαινόταν ιδανική σε περίπτωση που κάποιο έκτακτο συμβάν γινόταν μεταξύ των ωρών που θα επικοινωνούσαμε κανονικά με τον χρήστη. Όμως από την στιγμή που σχεδιάζουμε ένα σύστημα ασφάλειας, θεωρείται ιδανικό το να μπορεί να παρέχει ασφάλεια όλο το 24ωρο και όχι μόνο μερικές φορές κατά την διάρκεια της ημέρας.

Για αυτό υπήρχε η σκέψη δημιουργίας ενός προγράμματος πολύ χαμηλής κατανάλωσης, τοποθετώντας τον μικροελεγκτή σε sleep mode και το υπόλοιπο σύστημα επίσης σε αδράνεια και ξυπνώντας τον μόνο ανά τακτά χρονικά, που δεν υπερβαίνουν το ένα λεπτό. Κάτι τέτοιο ωφελεί ενεργειακά και εξαλείφει θέματα ασφαλείας. Το πρόγραμμα των αισθητήρων αποτελείται από 4 καταστάσεις οι οποίες περιγράφονται στην αμέσως επόμενη ενότητα.

Η λειτουργικότητα των δύο προγραμμάτων (Monitor.c, Sensors.c) φαίνεται στο παρακάτω σχέδιο:

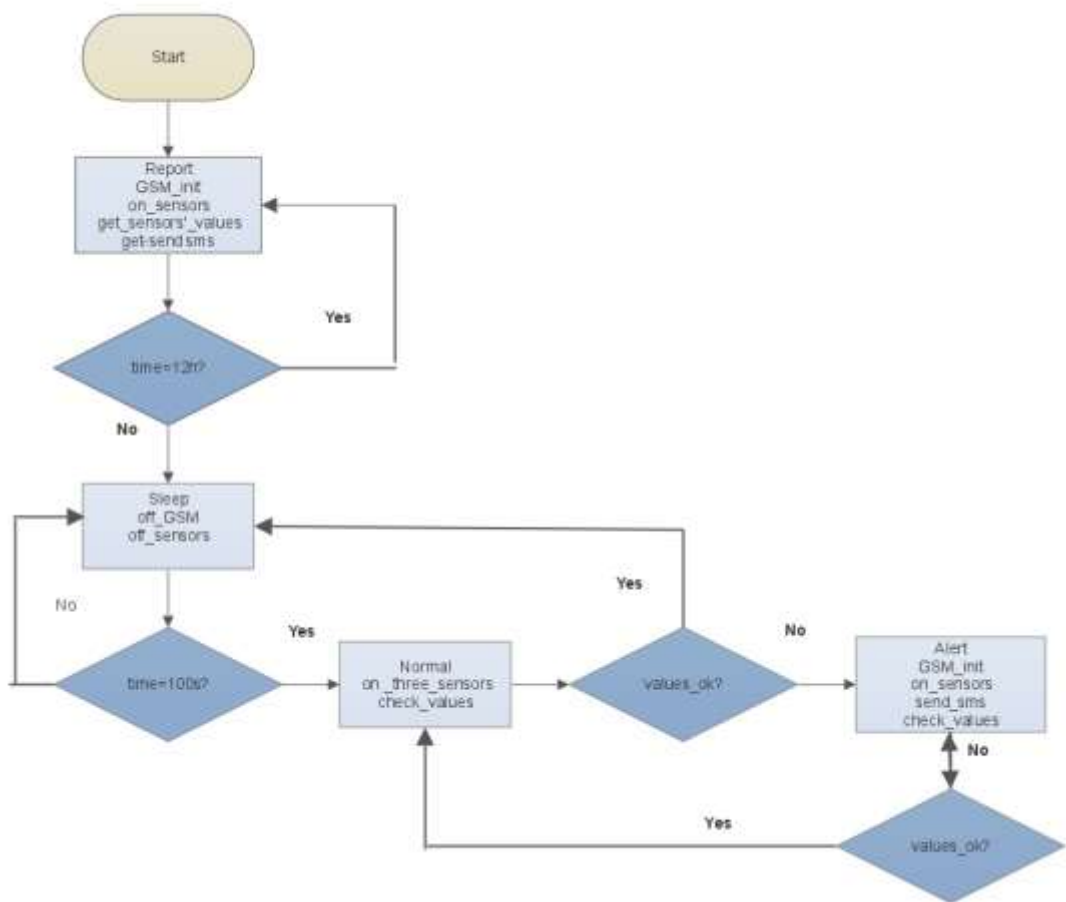


Σχήμα 34: Διάγραμμα Ροής Προγραμμάτων

5.3 Καταστάσεις προγράμματος αισθητήρων

Για την καλύτερη απόδοση του συστήματος δημιουργήθηκαν τέσσερις καταστάσεις που αφορούν την λειτουργικότητά του.

- Κατάσταση REPORT: Είναι η κατάσταση στην οποία ενεργοποιείται το GSM modem και όλοι οι αισθητήρες, γίνεται δειγματοληψία από τους παραπάνω και αποστέλλεται ενημερωτικό μήνυμα. Το μήνυμα αυτό θα αποστέλλεται κάθε 12 ώρες προς τον χρήστη, προκειμένου να τον ενημερώνει για την κατάσταση του συστήματος και η ενεργοποίηση της κατάστασης γίνεται με την χρήση interrupt. Μετά την αποστολή του SMS το σύστημα αναμένει ένδειξη από τον χρήστη προκειμένου να αλλάξει οποιαδήποτε ρύθμιση.
- Κατάσταση SLEEP: Είναι η κατάσταση στην οποία θα βρίσκεται ο μικροελεγκτής και ολόκληρο το σύστημα τον περισσότερο χρόνο προκειμένου να επιτευχθεί ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης. Στην κατάσταση αυτή θα μένει 80sec και θα ακολουθείται από την επόμενη κατάσταση.
- Κατάσταση NORMAL: Είναι η κατάσταση στην οποία θα επέρχεται ο μικροελεγκτής μετά από την κατάσταση SLEEP. Σε αυτήν την κατάσταση θα εξετάζει τους βασικούς αισθητήρες, θερμοκρασία, υγρασία, ρεύμα προκειμένου να διαπιστωθεί ότι δεν υφίσταται κάποιο πρόβλημα εντός του συστήματος. Στην κατάσταση αυτή θα μένει 10sec.
- Κατάσταση ALERT: Είναι η κατάσταση στην οποία επερχόμαστε όταν κάποιος από τους αισθητήρες έχει διαφορετική τιμή από την αναμενόμενη οπότε και ενεργοποιούνται όλα τα περιφερειακά και ξεκινάει να στέλνει ενημερωτικά μηνύματα στη βάση για την κατάσταση της σημαδούρας.



Σχήμα 35: Διάγραμμα Καταστάσεων

5.4 Έξοδος από το πρόγραμμα αισθητήρων

Μετά από κάθε δειγματοληψία και αποστολή ενημερωτικού SMS στον χρήστη υπάρχει η δυνατότητα αποστολής SMS από τον τελευταίο προς το σύστημα με σκοπό την αλλαγή διαφόρων παραμέτρων. Σε εκείνο το σημείο υπάρχει και η δυνατότητα εξόδου από το πρόγραμμα των αισθητήρων. Με την χρήση του Watchdog Timer είναι δυνατή η επανεκκίνηση του συστήματος, δηλαδή η μεταπήδησή του στο πρόγραμμα εκκίνησης, προκειμένου να ξαναπρογραμματιστεί αν και εφόσον είναι αναγκαίο. Διαφορετικά με την χρήση της εντολής `asm("jmp 0x...");` Μπορούμε να αλλάξουμε την ροή του προγράμματος και να μεταπηδήσουμε σε ένα δεύτερο προ-φορτωμένο πρόγραμμα.

5.5 Πρωτόκολλο επικοινωνίας σταθμού-βάσης

Για την επικοινωνία μεταξύ της σηματοδότης και του χρήστη, αναπτύχθηκε ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας, βασισμένο στις AT εντολές στις οποίες υπακούει το GSM modem. Οι εντολές που αναπτύχθηκαν είναι οι εξής:

GSM: Starting Bootloader

Send U to upload, A to go to app

Βάση: AT+U

GSM: Flash erased

Send HEX file

Βάση: : 100000000C94EE000C9416010C9416010C9416013D

: 100010000C9416010C9416010C9416010C94160104

: 100020000C94DA010C9416010C9416010C94160130

GSM: AT+*

Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να ολοκληρωθεί το HEX αρχείο.

Βάση: :00000001FF (στέλνουμε το τελευταίο record)

GSM: Starting Application

Εφόσον γίνει η μετάβαση στους αισθητήρες, μπορούν να σταλούν επιπλέον μηνύματα για ενημέρωση και αλλαγή κάποιων παραμέτρων:

Βάση: AT+A

GSM: Humidity: <value>, Temperature: <value>

Βάση: AT+O

GSM: Conductivity OFF

Βάση: AT+N

GSM: Conductivity ON

Βάση: AT+E

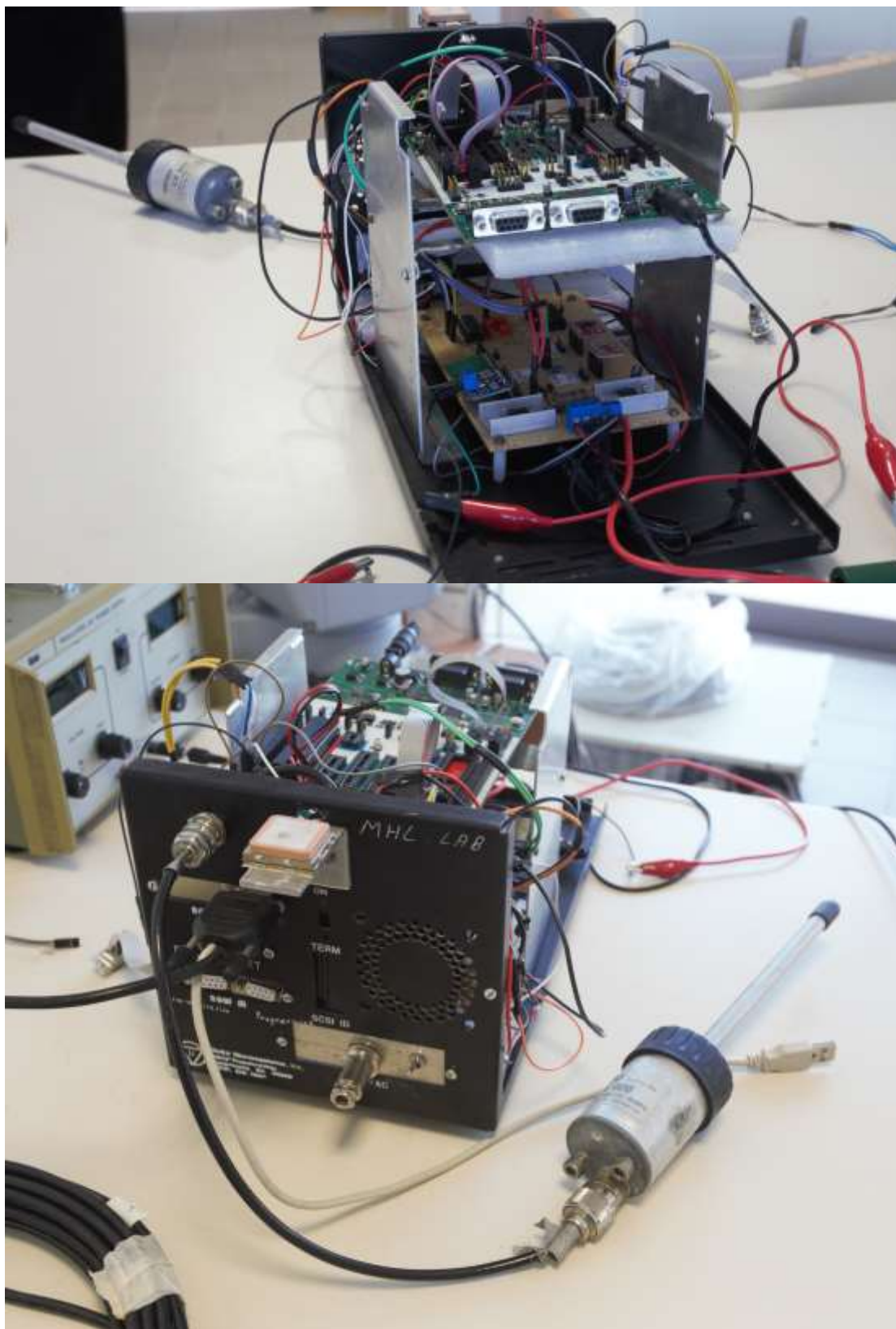
GSM: Exit app

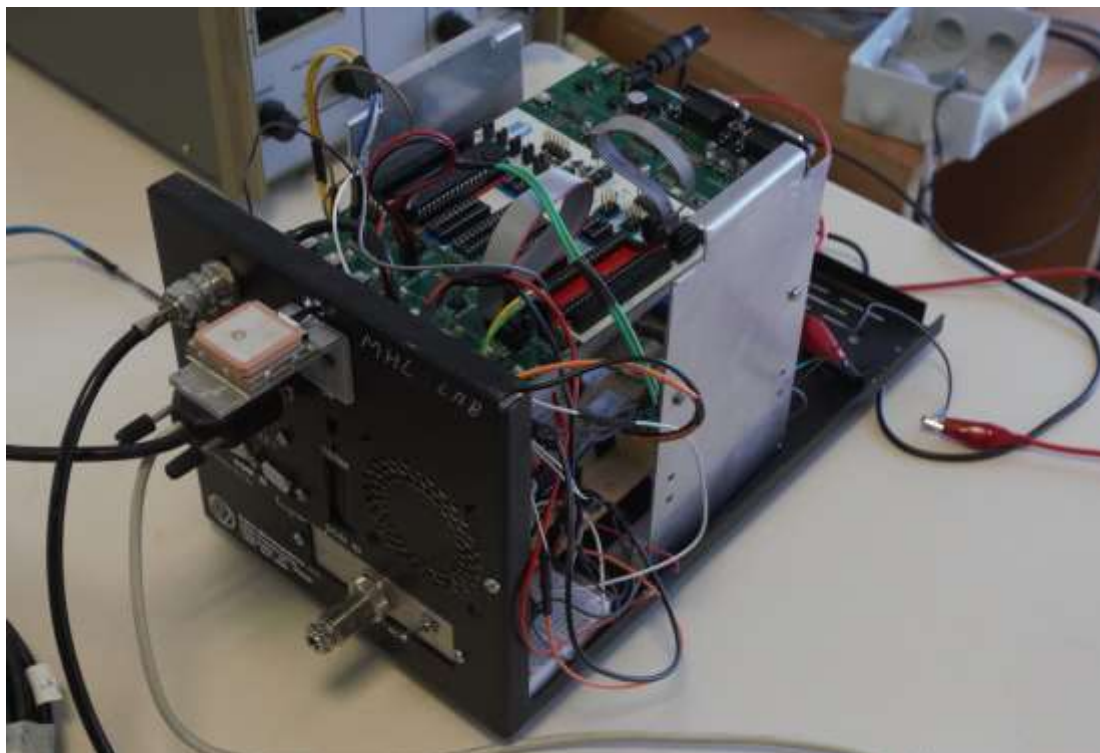
Βάση: AT+R

GSM: Restart app

Βάση: AT+H

GSM: Time has changed (αλλαγή του timer για αποστολή report)





Εικόνα 1: Τελικό σύστημα

6 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Το σύστημα που υλοποιήθηκε ήταν μία πρώτη προσέγγιση, με σκοπό τόσο την διευκόλυνση του χρήστη, όσο και την ασφάλεια της σημαδούρας. Πολλά είναι τα θέματα που θα πρέπει να μελετηθούν μέχρις ότου φτάσει στην τελική του μορφή, ώστε να παρέχει την λειτουργικότητα που χρειάζεται. Ζητήματα διαθεσιμότητας ασύρματης επικοινωνίας, ένταξης του εν λόγω συστήματος με τα υπόλοιπα περιφερειακά της σημαδούρας, το μέγεθός του και η αντοχή των υλικών είναι μερικά από αυτά που θα πρέπει να διευκρινιστούν ή ακόμα και να εξακριβωθούν τοποθετώντας δοκιμαστικά το σύστημα πάνω σε μία σημαδούρα, σε πραγματικές συνθήκες. Θέματα συνδεσιμότητας σε αντίξοες καιρικές συνθήκες είναι αυτά που θα μπορούσαν να μας δημιουργήσουν προβλήματα επικοινωνίας ή ακόμα και αδυναμία εύρεσης στίγματος του GPS.

Επιπλέον μπορεί να μελετηθεί πώς το σύστημα της παρούσας διπλωματικής το οποίο λειτουργεί αυτόνομα, θα μπορούσε να γίνει τμήμα ολοκληρωμένου συστήματος σημαδούρας. Για παράδειγμα να μπορεί να επαναφορτίζει τις μπαταρίες του μέσω των ηλιακών πάνελ ή των ανεμογεννητριών που βρίσκονται πάνω της.

Το σύστημα που υλοποιήθηκε μπορεί να υποστεί αρκετές επεκτάσεις και αλλαγές. Αρχικά μπορεί να γίνει χρήση μίας microSD κάρτας στην οποία θα υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων από τους αισθητήρες, καθώς επίσης και η αποθήκευση πλήθους εφαρμογών, εγκατεστημένες εκδόσεις του προγράμματος δηλαδή, τις οποίες μετέπειτα θα μπορούμε να φορτώσουμε στον μικροελεγκτή μέσω μηνυμάτων.

Η επικοινωνία μεταξύ μικροελεγκτή και βάσης θα μπορούσε να βελτιωθεί, μελετώντας αρχικά το ενδεχόμενο αποστολής long SMS ενώ επιπλέον αντί αποστολής ολόκληρου του αρχείου hex, να αποστέλλονται μόνο οι εντολές οι οποίες θα διαφοροποιούνταν κατά την αναβάθμιση. Γεγονός που θα βελτίωνε κατά πολύ τον επαναπρογραμματισμό του συστήματος.

Πέρα από την ασφάλεια που παρέχεται για το περιεχόμενο του μηνύματος και τον αποστολέα θα πρέπει να γίνει επιπλέον μελέτη για την ασφαλή και ορθή αποστολή των πολλαπλών μηνυμάτων SMS.

Επιπλέον, θα μπορούσαν να εγκατασταθούν αισθητήρες, με κυριότερο αυτών της ατμοσφαιρικής πίεσης, καθώς επίσης και ένας αισθητήρας επιτάχυνσης σε συνδυασμό με μια κάμερα, προκειμένου να καλυφθεί το σενάριο της σύγκρουσης με κάποιο πλοίο, οπότε και θα βλέπαμε την κατάσταση της σημαδούρας με εικόνα.

Με επιπλέον ελάττωση του κόστους και του μεγέθους του είναι ένα σύστημα το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε πολλές περιστάσεις

που ο απομακρυσμένος έλεγχος του υπόλοιπου συστήματος κρίνεται απαραίτητος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Dhananjay V. Gadre, "Προγραμματίζοντας τον Μικροελεγκτή AVR", Εκδόσεις Τζιόλα, 2001.
- [2] B. Cox and O'Cull, "Embedded C Programming and the Atmel AVR", Thomson Delmar Learning, 2nd Edition, 2006.
- [3] J. Morton, "AVR: An Introductory Course", Newnes, 2002.
- [4] Muhammad Ali Mazidi, "AVR Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C (Pearson Custom Electronics Technology)", Prentice Hall, 2010.
- [5] T. S. Margush, "Some Assembly Required: Assembly Language Programming with the AVR Microcontroller", CRC Press, 2011.
- [6] J. Pardue, "C Programming for Microcontrollers Featuring ATMEL's AVR Butterfly and the free WinAVR Compiler", SmileyMicros, 2005.
- [7] S. F. Barrett, D. Pack, "Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing (Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems)", Mitchell A. Thomson, Series Editor, 2007.
- [8] C. Kuhner, "AVR RISC Microcontroller Handbook", Newnes, 1998.
- [9] S. Barrett, "Embedded Systems Design with the Atmel AVR Microcontroller (Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems)", Mitchell A. Thomson, Series Editor, 2009.
- [10] C. Leaver, "Introduction to Atmel AVR Microcontroller Development: Using Free Software with Worked Examples", Sylvania Books, 2010.
- [11] J. Catsoulis, "Designing Embedded Hardware", O'Reilly, 2005.
- [12] Gourab Sen Gupta, "Emdedded Microcontroller Interfacing: Designing Integrated Projects (Lecture Notes in Electrical Engineering)", Springer, 2010.
- [13] Σ. Αποστολάκης, "Ένσωματωμένο σύστημα για ιχνηλάτηση σταθερών κατευθυντικών κεραιών από κινούμενα οχήματα".

- [14] Χ. Βερέμη Σύστημα Ανάγνωσης RFID βασισμένο στον μικροελεγκτή AVR.
- [15] Μ. Κοσκινοπούλου, Μ. Καλιτσουνάκη τηλεχειρισμός και τηλεέλεγχος μέσω ίντερνετ και μέσω γραπτών μηνυμάτων SMS.
- [16] Manuel J.Orán, Omar Roldán, Rafael O. Vázquez, Giovanni Viera "Ultra Deep Sea Water Buoy" June 2011.
- [17] Hayes SA, Mellinger DK, Croll DA, Costa DP, Borsani JF "An inexpensive passive acoustic system for recording and localizing wild animal sounds."
- [18] Σύστημα Ποσειδών: <http://poseidon.hcmr.gr/>
- [19] Eftichios Koutroulis, Kostas Kalaitzakis "Development of an Integrated Data-Acquisition System for Renewable Energy Sources Systems Monitoring", January 2003.
- [20] J.Rubio, C. Albaladejo, F. Soto, H. Navarro, A. Iborra "Wireless Internet Link and Datalogger for Oceanographic Sensors".
- [21] M. B. Waghmare , Dr. P. N. Chatur "Temperature and Humidity Analysis using Data Logger of Data Acquisition System: An Approach".
- [22] D. Efstathiou, D. Moraetis and N.P. Nikolaidis "Environmental Cyberinfrastructure at the Koiliaris Critical Zone Observatory" (2012).
- [23] <http://www.jpl.nasa.gov/>
- [24] Motorola Report:
https://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/en-xw/static_files/history-motorola-annual-report-archive-1980-9p32mb-40.pdf
- [25] G.S. Nhivekar, R.R. Mudholker "Data logger and remote monitoring system for multiple parameter measurement applications"
- [26] I. G. Saidu, M. Momoh and A. S. Mindaudu "Temperature monitoring and logging system suitable for hospitals, incorporating GSM text message"
- [27] <http://axystechnologies.com/products/triaxys-directional-wave-buoy/>
- [28] <http://www.osil.co.uk/>
- [29] <http://www.aanderaa.com/media/pdfs/Data-Buoy-4700.pdf>

- [30] Intel HEX file format https://en.wikipedia.org/wiki/Intel_HEX
- [31] P. Marwedel "Embedded System Design", Springer.
- [32] Μ. Δασκαλάκης "Υλοποίηση Συστήματος Τηλεχειρισμού πάνω από δίκτυο GSM", 2011.
- [33] Τ. Τραντίδου "Ανάπτυξη προσωπικής συσκευής με πληροφορίες ιατρικού φακέλου και GPS δέκτη", Μάρτιος 2009.
- [34] Μ. Ε. Δούναβη "Σχεδίαση συστήματος κινητών επικοινωνιών λαμβάνοντας υπόψη ιδιαιτερότητες στο γεωγραφικό ανάγλυφο και το συνδρομητικό φορτίο".
- [35] Ν. Μούζη "Μετάδοση Δεδομένων Μέσω Του Πρωτοκόλλου I²C", Ιούνιος 2005.
- [36] AVR ATmega1284P MC Datasheet :
<http://www.atmel.com/images/doc8059.pdf>
- [37] Κ. Καλαϊτζάκης, Ε. Κουτρούλης "Ηλεκτρικές Μετρήσεις και Αισθητήρες", Εκδόσεις Κλειδάριθμο, 2010.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Επικοινωνία με το GSM Modem, με την χρήση εντολών AT Commands

Για την επικοινωνία με οποιαδήποτε τηλεφωνική γραμμή, γίνεται χρήση των AT Commands, ενός συνόλου εντολών που αποτελούνται από μία σειρά σύντομων String ,τα οποία συνδυαζόμενα παράγουν εντολές ενέργειας, όπως έναρξη κλήσης, τερματισμού, αποστολή μηνύματος κτλ.

Το σύνολο των εντολών ξεκινάει με τους χαρακτήρες AT και υποδηλώνει ότι κάτι χρήζει προσοχής, προερχόμενο από την λέξη attention.

Στο δικό μας πρόγραμμα κάναμε χρήση μερικών εντολών προκειμένου να καταστήσουμε δυνατή την επικοινωνία μεταξύ χρήστη-GSM-μικροελεγκτή. Τα AT Commands που χρησιμοποιήθηκαν περιγράφονται παρακάτω:

- **AT+CPIN=**
Σύνταξη: AT+CPIN=<index>
Παράμετροι: index= κωδικός κάρτας SIM
Απάντηση: OK
Σκοπός: Κατά την εκκίνηση του συστήματος πρέπει αρχικά να ενεργοποιήσουμε την κάρτα SIM τοποθετώντας τον μοναδικό κωδικό της.
- **AT+CMGF=**
Σύνταξη: AT+CMGF=<index>
Παράμετροι: index= αριθμός που υποδηλώνει σε τι μορφή θα διαβαστεί το καινούριο SMS που θα ληφθεί.
Απάντηση: OK
Σκοπός: Δηλώνουμε το AT+CMGF=1 για να ληφθεί το SMS σε μορφή Text.
- **AT+CNMI=**
Σύνταξη: AT+CNMI=<index>,<index>
Απάντηση: +CNMI:
Σκοπός: Χρήση αυτής της εντολής προκειμένου να περιμένω καινούριο μήνυμα. Αν το καινούριο μήνυμα ληφθεί τότε το GSM αποκρίνεται με την εντολή +CNMI=MT,12, όπου 12 είναι η διεύθυνση στην οποία καταχωρείται το καινούριο μήνυμα.
- **AT+CMGD=**

Σύνταξη: AT+CMGD=<index>

Παράμετροι: index= αριθμός μηνύματος στη sim

Απάντηση: OK

Σκοπός: Χρησιμοποιείται για τη διαγραφή ενός μηνύματος sms. Μετά το χαρακτήρα '=' γράφεται ένας αριθμός ο οποίος υποδηλώνει τη θέση του μηνύματος στη μνήμη της κάρτας sim το οποίο θέλουμε να διαγράψουμε.

- **AT+CMGS=**

Σύνταξη: AT+CMGS= <data1><data2>

Παράμετροι: data1 = ο αριθμός κινητού, data2 = μήνυμα που θα να αποσταλεί.

Απάντηση: OK

Σκοπός: Χρησιμοποιείται για την αποστολή ενός μηνύματος sms. Στη θέση του data1 γράφεται ο αριθμός του παραλήπτη του μηνύματος και στη συνέχεια στη θέση του data2 το μήνυμα που θέλουμε να αποσταλεί.

- **AT+CMGR=**

Σύνταξη: AT+CMGR= <index>

Παράμετροι: index = αριθμός μηνύματος που έχει ληφθεί

Απάντηση: OK

Σκοπός: Χρησιμοποιείται για την ανάγνωση ενός μηνύματος που έχει ληφθεί και είναι αποθηκευμένο σε κάποια (index) διεύθυνση μνήμης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Πρωτόκολλο NMEA 0183

Ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή του πρωτοκόλλου NMEA, το οποίο ως επί τω πλείστον χρησιμοποιείται στα GPS modem και κατ'επέκταση στο GPS του δικού μας συστήματος. Κατασκευάστηκε και συνεχίζει να ελέγχεται από την National Marine Electronics Association (NMEA).

Όλα τα δεδομένα μεταδίδονται υπό την μορφή προτάσεων, όπου κάθε πρόταση εμπεριέχει ASCII χαρακτήρες καθώς και τους χαρακτήρες <CR> (carriage return) και <LF> (line feed) οι οποίοι τερματίζουν κάθε πρόταση.

Κάθε νέα πρόταση ξεκινάει με το σύμβολο του δολαρίου <\$> και το μέγιστο όριο της είναι οι 80 χαρακτήρες. Η κάθε πρόταση που λαμβάνει χώρα σε μία μόνο γραμμή εμπεριέχει όλα τα δεδομένα, τα οποία χωρίζονται με κόμματα. Στο τέλος της κάθε πρότασης έχουμε και το λεγόμενο checksum, με το οποίο ελέγχεται αν έχει ληφθεί σωστά η πρόταση και το οποίο αποτελείται από το χαρακτήρα "*" και δύο δεκαεξαδικά ψηφία που αντιπροσωπεύουν ένα αποτέλεσμα 8 bit της πράξης XOR μεταξύ όλων των χαρακτήρων της πρότασης μη συμπεριλαμβανομένων των συμβόλων "\$" και "*". Κάθε πρόταση τερματίζει με τους χαρακτήρες <CR> και <LF>, οι οποίοι δεν είναι εκτυπώσιμοι, αλλά γίνονται αντιληπτοί από το GPS module και τον processor που θα επεξεργαστεί τα δεδομένα.

Όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας, έχουμε:

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Baud Rate	4800
Number of data bits	8
Stop bits	1
Parity	none
Handshake	none

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Ασύγχρονης Σειριακής Μετάδοσης

Όπως προαναφέρθηκε το NMEA αποτελείται από προτάσεις εκ των οποίων η πρώτη λέξη είναι το Data type, δηλαδή από το τύπο αυτόν καθορίζεται το είδος της πρότασης που θα ακολουθήσει. Υπάρχουν πολλές

προτάσεις του προτύπου NMEA, παρακάτω ακολουθούν οι προτάσεις που χρησιμοποιεί το δικό μας GSM.

Χαρακτηριστικό	Τιμή
\$GPGGA	GGA-Global Positioning System Fixed Data
\$GPGSA	GSA-GNSS DOP and Active Satellites
\$GPRMC	RMC-Recommended Minimum Specific GNSS Data
\$GPGSV	GSV-GNSS Satellites in View
\$GPGLL	Geographic position - Lat/Lon data

Πίνακας 4: Βασικές προτάσεις του πρωτοκόλλου NMEA

Παράδειγμα αποκωδικοποίησης NMEA προτάσεων

\$GPGGA,053740.000,2503.6319,N,12136,0099,E,1,08,1.1,63.8,M,15.2,0000*64

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPGGA		GGA protocol header
UTC Time			hhmmss.sss
Latitude			ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude			dddmm.mmmm
E/W Indicator	W		E=east or W=west
Position Fix Indicator	1		See Table
Satellites Used			Range 0 – 12
HDOP			Horizal Dilution of Precision
MSL Altitude		Meters	
Units	M	Meters	
Geoid Separation		Meters	
Units	M	Meters	
Age of Diff. Station ID		Seconds	Null fields when DGPS in not used
Diff. Ref. Station ID			
Checksum			Hex value (without *)
<CR> <LF>			End of message

Πίνακας 5: Παράδειγμα αποκωδικοποίησης μίας πρότασης NMEA

Value	Description
0	Fix not available or invalid
1	GPS SPS Mode. Fix valid
2	Differential GPS. SPS Mode. Fix valid
3	GPS PPS Mode. Fix valid

Παρομοίως αναλύονται και οι υπόλοιποι τύποι.

Τέλος το GPS στέλνει μόνο δεδομένα χωρίς να περιμένει να λάβει τίποτα από τον χρήστη. Η μοναδική περίπτωση που λαμβάνει είναι όταν ο χρήστης θέλει να κάνει κάποια ρύθμιση, όπως για παράδειγμα αλλαγή του baud rate.

Πίνακας 6: Εντολές Εισόδου πρωτοκόλλου NMEA

Οι εντολές εισόδου φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΤΟΛΗΣ	ΠΛΗΡΕΣ ΟΝΟΜΑ ΕΝΤΟΛΗΣ
\$PSRF100	Set Serial Port
\$PSRF101	Navigation Initialization
\$PSRF103	Query/Rate Control
\$PSRF104	LLA Navigation Initialization
\$PSRF105	Development Data On/Off

Για παράδειγμα:

\$PSRF100,<protocol>,<baud>,<DataBits>,<StopBits>,<Parity>*CKSUM<CR><LF>
>

Name	Values
<protocol>	0=SiRF Binary , 1=NMEA , 4=USER1
<baud>	1200 , 2400 , 4800 , 9600 , 19200 ,38400
<DataBits>	7 or 8
<StopBits>	0 or 1
<Parity>	0=None , 1=Odd , 2=Even

Παράδειγμα :

\$PSRF100,0,9600,8,1,0*0C<CR><LF> (Μετάβαση στο πρωτόκολλο SiRF Binary με baud στα 9600bps)

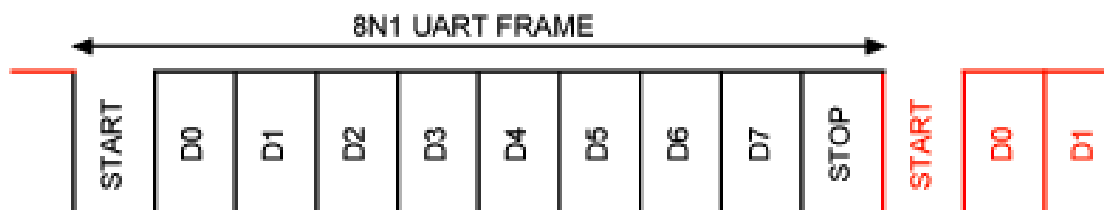
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Επικοινωνία μικροελεγκτή με περιφερειακά διαμέσου των πρωτοκόλλων UART και I²C.

RS232:

Η τηλεπικοινωνιακή ζεύξη RS232 είναι ο πιο κοινός τρόπος ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας που μπορούμε να έχουμε με έναν μικροελεγκτή. Η μέθοδος αυτή που βασίζεται στην σειριακή επικοινωνία σε επίπεδο bit χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο αφορά τον τρόπο που οργανώνεται το αρχικό byte, με σκοπό την μετάδοση του, ενώ το δεύτερο με τον τρόπο που αυτά τα δεδομένα καταλήγουν σε μετάδοση στις γραμμές επικοινωνίας.

Το αρχικό λοιπόν byte μιας πληροφορίας ανασυντάσσεται με σκοπό την αποστολή του. Στην αρχή του προστίθεται ένα bit εκκίνησης (start bit), ενώ στο τέλος ένα bit ισοτιμίας (parity bit) και ένα με δύο bits τερματισμού (stop bit). Τέλος η σειρά με την οποία εκπέμπονται τα δεδομένα επιβάλλει πρώτα την εκπομπή του λιγότερου σημαντικού bit (LSB) και τελευταίο τοποθετείται το σημαντικότερο bit (MSB).



Σχήμα 36: Ασύγχρονη Σειριακή Μετάδοση

Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία προσαρμογής της πληροφορίας, όπως φαίνεται παραπάνω, περνάμε στο επόμενο βήμα που είναι ο τρόπος με τον οποίο η πληροφορία αυτή θα μεταδοθεί στις γραμμές επικοινωνίας.

Οι μονάδες εκπομπής και λήψης δεδομένων, λειτουργούν σε προκαθορισμένες ταχύτητες μετάδοσης, αλλιώς bit rate., με πιο συνήθη τα 300,600,1200,1800,2400,4800,9600,19200 bits ανά δευτερόλεπτο. Ο ρυθμός μετάδοσης αντιστοιχεί στον χρόνο κατά τον οποίο ένα bit πληροφορίας εμφανίζεται στην γραμμή εξόδου.

Για μία απλή μορφή αμφίδρομης επικοινωνίας μέσω της σειριακής θύρας RS232 χρειαζόμαστε τις γραμμές TXD, RXD και GND.

I²C:

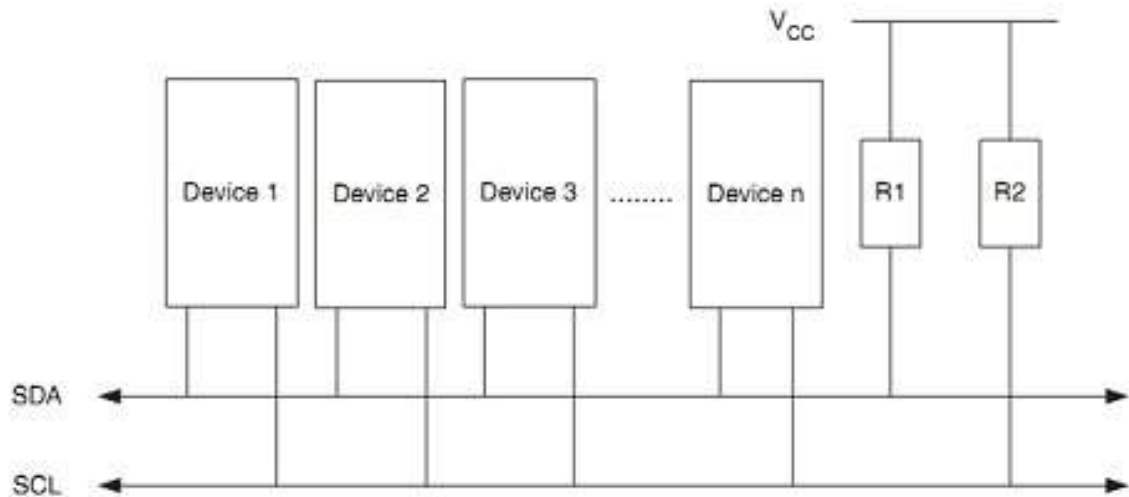
Ο δίαυλος Διασύνδεσης Ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (Inter Integrated Circuit ή IIC ή I²C) είναι επίσης ένας από τους πλέον πιο δημοφιλείς διαύλους επικοινωνίας, με κυριότερο σκοπό την επέκταση των διασυνδέσεων με περιφερειακές μονάδες. Το πρωτόκολλο I²C αναπτύχθηκε και διαδόθηκε από την εταιρία Philips, η οποία το χρησιμοποίησε στα δικά της προϊόντα.

Ο δίαυλος εμπεριέχει δύο γραμμές οι οποίες καλούνται αντίστοιχα, γραμμή σειριακών δεδομένων (Serial Data Line ή SDA) και γραμμή σειριακού ρολογιού (Serial Clock Line ή SCL).

Κάθε ένα περιφερειακό που συνδέεται στον δίαυλο διευθυνσιοδοτείται από το πρόγραμμα οδήγησης με μία μοναδική διεύθυνση η οποία αντιστοιχεί αποκλειστικά στην διάταξη αυτή.

Η σχέση που επικρατεί σε αυτόν τον δίαυλο είναι σχέση κύριας και εξαρτώμενης διάταξης (Master-Slave). Τα δεδομένα μεταφέρονται υπό την μορφή λέξεων των 8 bits. Στο σύστημά μας ο μικροελεγκτής είναι ο master και οι αισθητήρες είναι οι slaves.

Ο μικροελεγκτής διαχειρίζεται το χρονισμό του διαδρόμου και τα σήματα για την μεταφορά των πληροφοριών από τις slave συσκευές. Με το I²C παρέχεται η δυνατότητα σύνδεσης στον διάδρομο μέχρι και 128 διαφορετικών συσκευών με μόνη απαίτηση την σύνδεση μιας pull up αντίστασης για κάθε μία από τις δύο ενεργές γραμμές.



Σχήμα 37: Συσκευές που επικοινωνούν με χρήση του I²C πρωτοκόλλου

Στην κατάσταση Start σηματοδοτείται η εκκίνηση της μεταφοράς δεδομένων που θέλουμε. Η κατάσταση αυτή σηματοδοτείται μόνο από τον master και σε περίπτωση multi-master περιβάλλοντος από εκείνον τον master που θα εκπέμψει πρώτος. Για να μπει το καλώδιο στην Start κατάσταση πρέπει αρχικά να είναι σε αδρανή (idle) κατάσταση και όταν τελικά μπει στην Start κατάσταση θεωρείται απασχολημένο και δεν μπορεί να το οικειοποιηθεί άλλος master ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή που είναι συνδεδεμένη πάνω στο καλώδιο.

Στο τέλος της διαδικασίας αποστολής ενός byte δεδομένων στον δέκτη του σήματος, αποστέλλεται από αυτόν ένα σήμα επιβεβαίωσης (ACK) ότι έλαβε αυτό το byte. Στην περίπτωση που το byte δεδομένων που αποστέλλεται είναι το τελευταίο της όλης μετάδοσης ή ο δέκτης δεν μπορεί να λάβει άλλα δεδομένα ή γενικά κάτι πήγε στραβά στην όλη μετάδοση, τότε αποστέλλεται από τον δέκτη ένα σήμα μη-επιβεβαίωσης (NACK).

Τόσο η ανάγνωση όσο και η εγγραφή είναι γνωστά μετά την αρχικοποίηση μιας μεταφοράς δεδομένων. Η μεταφορά δεδομένων γίνεται σε πακέτα των 8 bits. Τα δεδομένα θεωρούνται έγκυρα όταν η SCL γραμμή είναι σε υψηλή στάθμη ενώ όταν η SCL δεν είναι σε υψηλή στάθμη δεν επιτρέπεται να αλλάξουν, όπως φαίνεται και από το σχήμα 2.8. Στην περίπτωση τώρα που ο master θέλει να κάνει εγγραφή (write) δεδομένων στον slave, τοποθετεί τα προς εγγραφή δεδομένα πάνω στην SDA γραμμή και παράγει κατάλληλους παλμούς ρολογιού. Μετά των 8ο παλμό εάν όλα πήγαν καλά, ο slave παίρνει την γραμμή SDA στην κατοχή του και την μηδενίζει, δηλαδή παράγει ένα σήμα ACK. Στην περίπτωση που ο slave δεν ανταποκρίνεται με το παλμό ACK καταλαβαίνουμε αμέσως ότι υπάρχει

κάποιο σφάλμα και το λογισμικό θα πρέπει να προβλέπει την διαδικασία που θα ακολουθείται σε μια τέτοια περίπτωση.

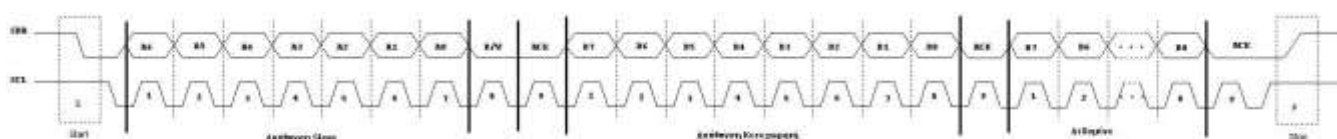
Στην περίπτωση που ο master θέλει να κάνει ανάγνωση (read) δεδομένων από τον slave, παράγει κατάλληλους παλμούς ρολογιού και διαβάζει τα δεδομένα στην SDA γραμμή.

Η κατάσταση Stop σηματοδοτεί το τέλος μιας μεταφοράς δεδομένων. Μαζί με την κατάσταση Start έχει την μεγαλύτερη προτεραιότητα και μπορεί να εκπεμφθεί σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή της μεταφοράς δεδομένων. Με το που σηματοδοτηθεί η stop κατάσταση το καλώδιο απελευθερώνεται και άλλες συσκευές μπορούν να το χρησιμοποιήσουν για να μεταφέρουν δεδομένα.

Εγγραφή σε μία slave συσκευή

Η master συσκευή:

1. Στέλνει την ακολουθία έναρξης
2. Στέλνει την διεύθυνση της slave συσκευής με το **R/W bit low** (άρτια διεύθυνση), δηλώνοντας έτσι ότι θέλει να κάνει εγγραφή δηλ. να στείλει δεδομένα.
3. Στέλνει την διεύθυνση του εσωτερικού καταχωρητή στον οποίο θέλει να γράψει
4. Στέλνει το byte δεδομένων
5. Στέλνει (προαιρετικά) οποιονδήποτε αριθμό επιπλέον byte
6. Στέλνει την ακολουθία λήξης



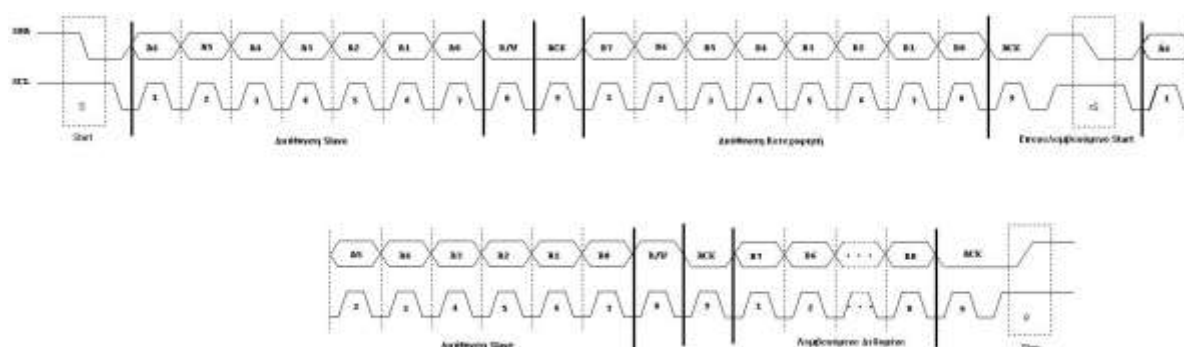
Σχήμα 38: Εγγραφή σε μία slave συσκευή

Ανάγνωση από την slave συσκευή

1. Στέλνει την ακολουθία έναρξης
2. Στέλνει την διεύθυνση της slave συσκευής με το R/W bit low (εγγραφή, άρτια διεύθυνση).
3. Στέλνει την διεύθυνση του εσωτερικού καταχωρητή από τον οποίο θέλει να διαβάσει

Με τα δύο προηγούμενα βήματα, γράφεται ο καταχωρητής-δείκτης της slave συσκευής, σύμφωνα με αυτά που αναφέραμε νωρίτερα για γρήγορη πρόσβαση στα δεδομένα

1. Στέλνει πάλι την ακολουθία έναρξης (επαναλαμβανόμενη έναρξη)
2. Στέλνει πάλι την διεύθυνση της slave συσκευής με το R/W bit high (περιττή διεύθυνση), για να δηλώσει ότι επιθυμεί ανάγνωση
3. Διαβάζει τα δεδομένα (ένα ή περισσότερα byte). Μετά από την λήψη κάθε byte, η συσκευή που λαμβάνει επιβεβαιώνει (ACK) τη λήψη.
4. Στέλνει την ακολουθία λήξης



Σχήμα 39: Ανάγνωση από μία slave συσκευή

Η τυπική συχνότητα ρολογιού για τον δίαυλο I²C είναι 100KHz. Το πρότυπο όμως καθορίζει και μεγαλύτερες ταχύτητες ρολογιού: Τον Fast mode με ταχύτητες ρολογιού μέχρι 400KHz και τον High Speed mode με ταχύτητες ρολογιού μέχρι και 3,4 MHz.

Για το δικό μας πρόγραμμα εξαιτίας της διαθεσιμότητας των πόρων κάναμε χρήση του I²C software που επί της ουσίας είναι η μεταφορά του διαύλου επικοινωνίας σε άλλα pins του μικροελεγκτή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Μικροελεγκτής AVR

Τον κυριότερο ρόλο στην υλοποίηση του συστήματος μας έχει ο μικροελεγκτής της οικογένειας AVR. Ουσιαστικά ένας μικροελεγκτής είναι η διάταξη που προκύπτει εάν τοποθετήσουμε τον μικροϋπολογιστή μέσα στο σώμα του ιδίου ολοκληρωμένου κυκλώματος. Οι μικροελεγκτές αυτής της οικογένειας διαθέτουν έναν επεξεργαστή τύπου RISC των 8-bit που είναι σχεδιασμένος σύμφωνα με την αρχιτεκτονική Harvard δηλαδή την αρχιτεκτονική στην οποία η μονάδα CPU συνεργάζεται ταυτόχρονα με μία μνήμη στην οποία βρίσκονται οι εντολές προγράμματος και με μια δεύτερη ξεχωριστή μνήμη στην οποία αποθηκεύονται τα δεδομένα. Ο μικροελεγκτής ενσωματώνει τα εξής:

- Κεντρική μονάδα Επεξεργασίας
- Εισόδους-Εξόδους, σειριακές θύρες
- Άλλες σειριακές επικοινωνίες (I2C, SPI, CAN)
- Χρονιστές/ μετρητές και watchdog timer, το οποίο είναι ουσιαστικά σαν ένα χρονόμετρο που μπορεί να προκαλέσει επανεκκίνηση του συστήματος, εάν το κύριο πρόγραμμα οδηγηθεί σε εσφαλμένη κατάσταση.
- Διαθέτει λειτουργίες ηρεμίας (Sleep Mode) και αποκοπής (Power Down Mode) ώστε να υπάρξει η ελάχιστη κατανάλωση ισχύος κατά την διάρκεια που ο επεξεργαστής βρίσκεται σε αδράνεια.
- Μνήμη για την αποθήκευση του προγράμματος (FLASH MEMORY) ,η οποία έχει την δυνατότητα προγραμματισμού εντός του συστήματος(In System Programmable (ISP)), ιδιότητα που είναι άκρως απαραίτητη για την υλοποίηση του συστήματος αυτού καθώς υπάρχει ανάγκη επαναπρογραμματισμού.
- Εκτός από την μνήμη προγράμματος διαθέτει και μια μνήμη δεδομένων τύπου EEPROM και RAM στην οποία γίνεται η αποθήκευση των σταθερών τιμών και μεταβλητών που παράγονται κατά την εκτέλεση του προγράμματος.
- Διαθέτει συνολικά 32 καταχωρητές μεγέθους 8-bit ο καθένας για την αποθήκευση δεδομένων εντός της CPU ώστε να μειώνονται οι προσβάσεις στην μνήμη.
- Γεννήτρια ρολογιού. Το ρολόι των μικροελεγκτών AVR υποστηρίζει ταχύτητες από 0 – 20 MHz με κάποιες συσκευές να φτάνουν έως και τα 32 MHz
- A/D- D/A converter

Ένας μικροελεγκτής παρέχει αυτονομία καθώς μπορούμε να ενσωματώσουμε ποικίλα περιφερειακά υποσυστήματα όπως μνήμες ή

θύρες επικοινωνίας, έχει χαμηλό κόστος και χαμηλή κατανάλωση ισχύος και είναι κατάλληλος για embedded systems εφαρμογές. Οι μικροελεγκτές AVR χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα το μέγεθος της μνήμης προγράμματος που διαθέτουν. Πιο συγκεκριμένα χωρίζονται σε :

- tinyAVR
- AVR ειδικής χρήσης και
- megaAVR.

Οι διαφορές τους έχουν να κάνουν με τα διαθέσιμα χαρακτηριστικά του κάθε μικροελεγκτή. Ενδεικτικά οι tinyAVR έχουν μνήμη προγράμματος από 1K έως 8Kbytes, με 8 έως 28 ακροδέκτες και περιορισμένες δυνατότητες συγκρινόμενοι με τους megaAVR. Οι μικροελεγκτές AVR special purpose χρησιμοποιούνται όπως δηλώνει και το όνομά τους για ειδικές εφαρμογές. Ενώ οι πλέον πιο διαδεδομένοι είναι οι megaAVR εξαιτίας του πλήθους των περιφερειακών που υποστηρίζουν, της εκτεταμένης μνήμης προγράμματος και των πολλών ακροδεκτών και εντολών που διαθέτουν.

Για την υλοποίηση του δικού μας συστήματος χρησιμοποιήσαμε έναν AtmegaAVR και πιο συγκεκριμένα τον **ATmega1284P**. Τα γενικά χαρακτηριστικά που ακολουθεί ο μικροελεγκτής μας είναι τα εξής:

- Η μνήμη flash διατίθεται και ως μνήμη προγράμματος δεδομένο που μας επιτρέπει την αποφυγή περαιτέρω εξωτερικών μνημών καθώς επίσης είναι δυνατός ο προγραμματισμός από απόσταση χωρίς να είναι απαραίτητο να απομακρυνθεί ο επεξεργαστής από το κύκλωμα της εφαρμογής. Το γεγονός αυτό διευκολύνει και επιταχύνει τον προγραμματισμό από απόσταση που χρειάζεται να έχει το σύστημα μας εξαιτίας της απομάκρυνσης του από τη στεριά.
- Το πρόγραμμα μας εκτελείται ταχύτατα καθώς κατέχουμε 32 καταχωρητές των 8 bit, επομένως οι διάφορες μεταβλητές αποθηκεύονται εντός της CPU και δεν απαιτείται πρόσβαση σε κάποια μνήμη που θα ήταν χρονοβόρα.
- Κατέχει ενσωματωμένη μνήμη EEPROM και SRAM μνήμες που αντιμετωπίζονται ως μνήμη δεδομένων.
- Έχει προγραμματιζόμενο χρονιστή επιτήρησης (WDT) που χρησιμοποιείται μόνο σε ιδιαίτερες περιπτώσεις και κυρίως όταν αφορά την κατάρρευση του συστήματος. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα το πρόγραμμα χρήσης μηδενίζει τον χρονιστή κι έτσι μας ενημερώνει πως το πρόγραμμα δεν έχει υποστεί κάποια βλάβη, όπως να έχει μπει σε κάποιο αδιάκοπο βρόχο και έχει μη ορθή λειτουργία. Είναι ουσιαστικά αυτός ο χρονιστής που ενεργοποιεί μία επαναφορά του συστήματος (reset). Στην περίπτωση του δικού μας

συστήματος που επιθυμούμε την αυτονομία, ένας watch dog timer είναι η λύση σε οποιαδήποτε περίπτωση το σύστημά μας σταματήσει να λειτουργεί καθώς δεν θα μπορεί κανείς άνθρωπος να το επαννεκινήσει. Ο μικροελεγκτής μας ATmega1284P έχει έναν ενσωματωμένο WDT ο οποίος λειτουργεί ως εξής ένας εσωτερικός μετρητής ξεκινάει την λειτουργία του και το πρόγραμμα χρήσης τον μηδενίζει, εάν κάποια στιγμή ο χρονιστής υπερχειλίσει υποδηλώνει την μη σωστή λειτουργία, δηλαδή ο έλεγχος και το σύστημα επανατοποθετείται (reset). Η κύρια πηγή χρονισμού του Watchdog timer αποτελεί ένας εσωτερικός ταλαντωτής RC και επιλέγοντας σωστά τις τιμές WDP0, WDP1, WDP2, WDP3 μπορούμε να ρυθμίσουμε το χρονικό διάστημα λειτουργίας του χρονιστή. Όταν το bit WDE τεθεί σε λογικό '1' τότε ενεργοποιείται ο χρονιστής επιτήρησης, ενώ για την απενεργοποίηση του θέτουμε το WDE σε λογικό '0'.

- Επιπλέον ο μικροελεγκτής μας στοχεύει στην κατανάλωση ελάχιστης ισχύος, που επιτυγχάνεται και με την κατάσταση ηρεμίας (sleep) καθώς και με αποκοπή (power down), όπου ο μικροελεγκτής μας είναι σε κατάσταση αδράνειας και δεν έχει καμία λειτουργία.

Όπως προαναφέρθηκε για το σύστημά μας χρησιμοποιήσαμε έναν ATmega1284P ο οποίος είναι χαμηλής κατανάλωσης 8bit μικροελεγκτής, που περιλαμβάνει έναν επεξεργαστή της αρχιτεκτονικής RISC (Reduced Instruction Set computer ή Αρχιτεκτονική Μειωμένου Ρεπερτορίου Εντολών) που έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με την αρχιτεκτονική Harvard η οποία αναφέρεται στο γεγονός πως διαφοροποιείται η μνήμη προγράμματος με την μνήμη των δεδομένων.

Ο ATmega1284P έχει ακόμα:

- 128kB ISP (In System Programmable Flash) μνήμη απαραίτητη για τον επαναπρογραμματισμό ή επαναπροσδιορισμό των λειτουργιών του μικροελεγκτή και των αισθητήρων από την στερία.
- 4kB EEPROM
- 16kB εσωτερική SRAM
- Two-wire Serial Interface για επικοινωνία με το Real Time Clock
- Δύο Serial USART με δυνατότητες σύγχρονης και ασύγχρονης λειτουργίας, απαραίτητο στοιχείο καθώς έχουμε 3 συσκευές που χρησιμοποιούν την σειριακή θύρα.
- Master/Slave SPI λειτουργία για επικοινωνία με αισθητήρες
- 40 ακροδέκτες

Περιγραφή ακροδεκτών:

- VCC: Ψηφιακή τάση τροφοδοσίας
- GND: Γείωση
- RESET: Είσοδος reset. Χαμηλό επίπεδο σε αυτή την ακίδα για περισσότερο από την ελάχιστη διάρκεια παλμού, παράγει reset, ακόμα και αν το ρολόι δε λειτουργεί.
- Port A (PA7:PA0): Η port A χρησιμεύει σαν αναλογικές εισόδους σε έναν Analog-to-digital Converter. Επίσης προσφέρει μια 8-bit αμφίδρομη θύρα I/O (Input/Output) με εσωτερικές pull-up αντιστάσεις.
- Port B (PB7:PB0) : Η Port B είναι μια 8-bit αμφίδρομη θύρα I/O με εσωτερικές pull-up αντιστάσεις (που έχουν επιλεγεί για κάθε bit).
- Port C(PC7:PC0): Ομοίως με πάνω μόνο που το PC1 χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση των δεδομένων SDA, ενώ το PC2 για το ρολόι SCL του I²C πρωτοκόλλου.
- Port D (PD7:PD0): Η Port D είναι μια 8-bit αμφίδρομη θύρα I/O με εσωτερικές pull-up αντιστάσεις (που έχουν επιλεγεί για κάθε bit). Τα PD0 και PD2 είναι τα αντίστοιχα receive της πρώτης και της δεύτερης σειριακής θύρας, ενώ τα PD1 και PD3 τα transmit.
- XTAL1: Είσοδος στον αναστρέφων ταλαντωτή ενίσχυσης και είσοδος στο εσωτερικό ρολόι λειτουργίας του κυκλώματος.
- XTAL2: Έξοδος από τον αναστρέφων ταλαντωτή ενίσχυσης.
- AVCC: Η AVCC είναι η ακίδα τάσης τροφοδοσίας για την Port A και τον Analog-to-digital Converter. Πρέπει να είναι εξωτερικά συνδεδεμένη με το VCC, ακόμα και αν το ADC δεν χρησιμοποιείται. Αν το ADC χρησιμοποιείται, πρέπει να συνδεθεί στο VCC μέσω ενός κατωπερατού φίλτρου.
- AREF: Είναι η αναλογική ακίδα για τον Analog-to-digital Converter.

74HC4052

Pin Functions

PIN		I/O ⁽¹⁾	DESCRIPTION
NO.	NAME		
1	2Y0	I ⁽¹⁾	Input to mux 2
2	2Y2	I ⁽¹⁾	Input to mux 2
3	2Z	O ⁽¹⁾	Output of mux 2
4	2Y3	I ⁽¹⁾	Input to mux 2
5	2Y1	I ⁽¹⁾	Input to mux 2
6	E	I	Enables the outputs of the device. Logic low level will turn the outputs on, high level will turn them off.
7	GND	-	Ground
8	GND	-	Ground
9	S1	I	Selector line for outputs (see Device Functional Modes for specific information)
10	S0	I	Selector line for outputs (see Device Functional Modes for specific information)
11	1Y3	I ⁽¹⁾	Input to mux 1
12	1Y0	I ⁽¹⁾	Input to mux 1
13	1Z	O ⁽¹⁾	Output of mux 1
14	1Y1	I ⁽¹⁾	Input to mux 1
15	1Y2	I ⁽¹⁾	Input to mux 1
16	Vcc	I	Device power input

Πίνακας 7: Pins πολυπλέκτη

Ανάλογα με τις τιμές των select μία από τις εισόδους nY0, nY1, nY2, nY3 μεταβιβάζεται στην έξοδο nZ, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

FUNCTION TABLE

INPUT ⁽¹⁾			CHANNEL BETWEEN
\bar{E}	S1	S0	
L	L	L	nY0 and nZ
L	L	H	nY1 and nZ
L	H	L	nY2 and nZ
L	H	H	nY3 and nZ
H	X	X	none

Note

1. H = HIGH voltage level
L = LOW voltage level
X = don't care.

Πίνακας 8: Λογικός πίνακας των select του πολυπλέκτη