



**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»**

**ΤΙΤΛΟΣ**

*Σχεδιασμός και υλοποίηση συστήματος παρακολούθησης και απομακρυσμένου ελέγχου θερμοκρασίας μέσω ασύρματου δικτύου*

**ΤΙΤΛΟΣ ΑΓΓΛΙΚΑ**

*Design and implementation of a remote temperature monitoring and control system via a wireless network*

**Όνοματεπώνυμο Σπουδαστή:**

*Αργύριος Α. Κρουστάλλης*

**Όνοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:**

**Δρ. Μιχαήλ Παπουτσιδάκης**

**ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Φεβρουάριος 2018**



**ΤΙΤΛΟΣ**

**Σχεδιασμός και υλοποίηση συστήματος παρακολούθησης και απομακρυσμένου  
ελέγχου θερμοκρασίας μέσω ασύρματου δικτύου**

**ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ**

**Αργύριος Α. Κρουστάλλης**

**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική  
εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του  
Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες  
στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και  
Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος  
Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε. του ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ.**



### Δήλωση συγγραφέα διπλωματικής διατριβής

Ο/Ηκάτωθι υπογεγραμμένος / η .....,  
του ....., με αριθμό μητρώου .....  
φοιτητής / τρια του. Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες  
Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και  
Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος  
Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε. του ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ, δηλώνω ότι:  
*«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής διατριβής και ότι κάθε  
βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και  
αναφέρεται στην διατριβή. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα  
χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες.  
Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η διατριβή προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για  
τη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική διατριβή».*

Ο δηλών

Ημερομηνία



## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός καινοτόμου συστήματος ελέγχου της μεταβλητής της θερμοκρασίας σύμφωνα με τη φιλοσοφία της Μηχατρονικής το οποίο θα είναι ικανό να ενσωματωθεί στη Ναυτική Τεχνολογία. Η καινοτομία που παρουσιάζει το εν λόγω σύστημα άπτεται στον εξ' αποστάσεως έλεγχο και παρακολούθηση διεργασιών σχετικών εξαρτώμενες αυτού του φυσικού μεγέθους, με αποτέλεσμα να προσφέρεται η δυνατότητα χειρισμού του σε οποιοδήποτε σημείο του πλοίου ή ακόμα και εκτός αυτού, ενώ αντίστοιχα ασύρματα θα είναι και η επικοινωνία μεταξύ αισθητήρα και μονάδας ελέγχου. Για την ανάπτυξη του θα χρησιμοποιηθούν οι τεχνολογίες WiFi και ZigBee ενώ πυρήνα του συστήματος θα αποτελούν μικροελεγκτές ενσωματωμένοι σε πλακέτες ανοιχτού υλικού Arduino. Η μελέτη θα προσανατολιστεί κυρίως στην ανάπτυξη κατάλληλου κώδικα ο οποίος θα ενσωματωθεί στους μικροελεγκτές, στη διαμόρφωση του δικτύου ZigBee όπως και στην ανάπτυξη εφαρμογής συμβατής με λειτουργικό Android ώστε ο απομακρυσμένος έλεγχος να πραγματοποιείται μέσω κινητών συσκευών ευρείας παραγωγής και διάθεσης. Αντίστοιχα θα αναλυθούν και εξεταστούν τα υλικά τα υλικά που απαιτούνται για την ανάπτυξη του συστήματος με σκοπό τη μεταξύ τους συνεργασία και ολοκλήρωσης τους σε μία μονάδα.

Λέξεις Κλειδιά: ZigBee, WiFi, Ασύρματοι αισθητήρες, έλεγχος εξ' αποστάσεως, Μηχατρονική, Arduino, Ναυτική τεχνολογία, Θερμοκρασία, Έλεγχος PID.



### Abstract

The aim of the Thesis is the design and development of an innovative temperature control system according to the Mechatronics philosophy, which will be able to integrate into the Naval Technology. The novelty of this system is the remotely and control and monitoring of the processes relevant to this physical quantity, which enable the handling of the system at any point on the ship or even from the shore, while wireless will be also the data communication between the sensor and the control unit. For the development of the system, WiFi and ZigBee technologies will be used, while the core of the system will be microcontrollers embedded in open source Arduino single boards. In this study we will mainly focus on the development of the appropriate code which will be saved into the microcontrollers, on the configuration of the ZigBee modules, as well on the development of an Android application so that remote control can be performed with wide production and disposal mobile devices. Respectively the required materials for the development of the system will be examined and analyzed on order to collaborate and to integrate them into one unit.

Keywords: ZigBee, WiFi, Wireless Sensors, Wireless control, Wireless monitoring, Mechatronics, Arduino, Naval technology, Temperature, PID Control.



## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Πίνακας περιεχομένων .....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ.....	8
1. Εισαγωγή.....	9
1.1 Βασικές θεωρητικές προσεγγίσεις.....	9
1.2 Σημαντικότητα αντικειμένου και διατύπωση ερευνητικού προβλήματος.....	11
1.3 Σκοπός και Στόχοι Εργασίας.....	14
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	15
2.1 Σύνομη ανασκόπηση της ιστορίας του αυτόματου ελέγχου στα πλοία. ....	15
2.2 Έλεγχος και παρακολούθηση διεργασιών στα πλοία σήμερα.....	16
2.3 Η φιλοσοφία της Μηχατρονικής.....	17
2.4 Οφέλη των μηχατρονικών συστημάτων. ....	19
2.5 Η Μηχατρονική στη ναυτιλία. ....	20
3. Η τεχνολογία της Μηχατρονικής.....	21
3.1 Αισθητήρες και συστήματα μέτρησης.....	23
3.2 Ενεργοποιητές.....	25
3.3 Μικροεπεξεργαστές .....	29
3.4 Μικροελεγκτές.....	30
3.4.1 Στοιχεία μικροελεγκτών .....	32
3.4.1.1 Μικροεπεξεργαστής .....	32
3.4.1.2 Μνήμη.....	32
3.4.1.3 Είσοδοι/ Έξοδοι (I/O).....	34
3.4.1.4 Ρολόι χρονισμού (Clock).....	37
3.4.1.5 Χρονιστές (Timers) .....	37
3.4.1.6 Διακοπές (Interrupts) .....	37
3.4.1.7 Διεπαφές επικοινωνίας.....	38
3.4.2 Χαρακτηριστικά και δυνατότητες μικροελεγκτών .....	43
3.4.3 Λογισμικό μικροελεγκτών (ή προγραμματισμός) .....	45
3.4.4 Γλώσσες προγραμματισμού.....	49
4. Σχεδιασμός και υλοποίηση συστήματος παρακολούθησης και απομακρυσμένου ελέγχου θερμοκρασίας μέσω ασύρματου δικτύου. ....	51



4.1 Έλεγχος θερμοκρασίας στη Ναυτική Τεχνολογία σήμερα.....	51
4.2 Απαιτήσεις του συστήματος μας .....	59
4.3 Επιλογή στοιχείων του συστήματος.....	67
4.4 Σχεδιασμός και ανάπτυξη συστήματος.....	76
4.5 Ανάπτυξη λογισμικού μικροελεγκτή.....	81
4.6 Διαμόρφωση μονάδων XBEE .....	103
4.7 Ανάπτυξη λογισμικού Android.....	109
5. Συζήτηση – Συμπεράσματα .....	112
6. Βιβλιογραφία.....	115



### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1	Κατάλογος περιφερειακών υλικών	Σελ. 70
-----------	--------------------------------	---------

### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχεδιάγραμμα 3.1	Σύγχρονο Μηχατρονικό Σύστημα	Σελ. 23
Σχεδιάγραμμα 3.2	Αισθητήρες Μηχατρονικού Συστήματος	Σελ. 23
Σχεδιάγραμμα 3.3	Ενεργοποιητές Μηχατρονικού Συστήματος	Σελ. 26
Σχεδιάγραμμα 4.1	Σύστημα κλειστού βρόχου με ψηφιακό ελεγκτή	Σελ. 52
Σχέδιο 4.2	Αναλογική πνευματική βάνα	Σελ. 54
Σχέδιο 4.3	Ηλεκτροβάνα πηνίου	Σελ. 55
Σχεδιάγραμμα 4.4	Σύστημα Ψύξης κυλίνδρων κυρίας μηχανής	Σελ 57
Σχεδιάγραμμα 4.5	Σχεδιασμός επιθυμητού συστήματος	Σελ 59
Σχεδιάγραμμα 4.6	Διεπαφές επικοινωνίας συστήματος με εξωτερικές συσκευές	Σελ 64
Σχεδιάγραμμα 4.7	Μονάδα μέτρησης θερμοκρασίας	Σελ 65
Σχεδιάγραμμα 4.8	Σύστημα τροφοδοσίας μονάδων	Σελ. 72
Σχεδιάγραμμα 4.9	Σύστημα μονάδας ελέγχου	Σελ. 74
Σχεδιάγραμμα 4.10	Σύστημα μέτρησης θερμοκρασίας	Σελ. 76
Εικόνα 4.1	Επιλογή θύρας επικοινωνίας (XCTU)	Σελ. 94
Εικόνα 4.2	Επιλογή χαρακτηριστικών επικοινωνίας (XCTU)	Σελ. 95
Εικόνα 4.3	Επιλογή υλικολογισμικού (XCTU)	Σελ. 95
Εικόνα 4.4	Διαμόρφωση μονάδων XBee (XCTU)	Σελ. 96
Εικόνα 4.5	Διαμόρφωση μονάδων XBee (XCTU)	Σελ. 96
Εικόνα 4.6	Διαμόρφωση μονάδων XBee (XCTU)	Σελ. 97
Εικόνα 4.7	Διαμόρφωση μονάδων XBee (XCTU)	Σελ. 98
Εικόνα 4.8	Ανάπτυξη εφαρμογής android	Σελ. 100
Εικόνα 4.9	Ανάπτυξη εφαρμογής android	Σελ. 100





Εικόνα 4.10	Ανάπτυξη εφαρμογής android	Σελ. 101
-------------	----------------------------	----------

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Βασικές θεωρητικές προσεγγίσεις

Σύμφωνα με τα τελευταία αποτελέσματα των ανασκοπήσεων (UNCTAD, 2016/ 2017), της Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για το Εμπόριο και την Ανάπτυξη (UNCTAD), το 90% του Παγκόσμιου Εμπορίου μεταφέρεται μέσω των θαλάσσιων μεταφορών. Κατά συνέπεια η Διεθνής εμπορική ναυτιλιακή βιομηχανία κατέχει έναν ζωτικής σημασίας ρόλο στο Παγκόσμιο εμπόριο αποτελώντας τη ραχοκοκαλιά της Παγκόσμιας οικονομίας.

Η ναυτιλία μέχρι πρότινος θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μία συντηρητική παραδοσιακή βιομηχανία (Kotylevskiy, 2016) όπου οι αλλαγές και οι νέες τεχνολογίες υιοθετούνταν με αργούς ρυθμούς σε σχέση με τους υπόλοιπους οικονομικούς τομείς. Επί του παρόντος η Παγκόσμια ατζέντα δράσης για το περιβάλλον με την ανάπτυξη της περιβαλλοντικής πολιτικής και την επιβολή νέων κανονισμών για τη προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος, οι διακυμάνσεις στη Παγκόσμια οικονομία, όπως και η αναζήτηση λύσεων για τη μείωση των λειτουργικών εξόδων, των χρόνων παράδοσης και της αύξησης της παραγωγικότητας και της απόδοσης, οι επενδύσεις σε νέες τεχνολογίες και σε νέα καινοτόμα προϊόντα έχουν καταστεί επιτακτική ανάγκη στον χώρο (Lai et all, 2011· UNCTAD, 2017).

Διασχίζοντας τα μέσα της 4<sup>ης</sup> Βιομηχανικής Επανάστασης, παρουσιάζεται τεράστιο ερευνητικό ενδιαφέρον σε ακαδημαϊκό, όπως και βιομηχανικό επίπεδο για την υλοποίηση καινοτόμων συστημάτων τα οποία θα καλύπτουν τις παραπάνω ανάγκες, ενώ το ενδιαφέρον αυτό στρέφεται και σε λύσεις απομακρυσμένου ελέγχου των επιχειρησιακών λειτουργιών από τη στεριά ή ακόμη και στη κατασκευή αυτόνομων μη επανδρωμένων πλοίων (Levander, 2017).



Ο δραστικός έλεγχος και η εποπτεία βιομηχανικών διεργασιών και εξοπλισμού συνιστά ένα κρίσιμο στοιχείο για την ανάπτυξη μιας ανταγωνιστικής παραγωγής καθώς μπορεί να υποστηρίξει μείωση του κόστους και βελτίωση της απόδοσης, ενώ η διατήρηση του εξοπλισμού και η λειτουργία αυτού στα βέλτιστα επίπεδα φέρει ως αποτέλεσμα ενεργειακά αποδοτικές και περιβαλλοντικά φιλικές βιομηχανικές διαδικασίες με ταυτόχρονα τη βέλτιστη συντήρηση του εξοπλισμού (Frankowiak et al., 2005).

Η ενσωμάτωση της ίδιας λογικής στον τομέα της ναυτιλίας σε συνδυασμό με τη δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και εποπτείας αποτελεί λύση στους προβληματισμούς που αναπτύχθηκαν παραπάνω. Μία πολλά υποσχόμενη και σημαντική τεχνολογία βάσει της οποίας μπορούν να υλοποιηθούν τα παραπάνω αποτελεί ο συνεχώς αναδυόμενος τομέας της Μηχατρονικής, ο οποίος τις τελευταίες δεκαετίες έχει να επιδείξει σημαντικά επιτεύγματα στη τεχνολογία των μεταφορών, ενώ πρόσφατα έχει αρχίσει να υιοθετείται και στον τομέα της ναυτιλίας.

Η Μηχατρονική ως ένας συνεργιστικός συνδυασμός των επιστημονικών κλάδων της Μηχανολογίας, Ηλεκτρονικής, Πληροφορικής και Αυτόματου ελέγχου συνθέτει διαφορετικές τεχνολογίες σχεδιάζοντας μικτά ηλεκτρομηχανικά συστήματα στα οποία ενσωματώνει ευφυΐα μέσω του ενσωματωμένου υπολογιστή ελέγχου (Νικητάκος, Παπαχρήστος & Χατζόπουλος, 2016). Παράλληλα με τη ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη στο τομέα των μικροελεγκτών παρουσιάζονται συνεχώς στοιχεία χαμηλού κόστους, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, μικρού όγκου, υψηλής υπολογιστικής ισχύος, αξιοπιστίας και απόδοσης. Έτσι προκύπτουν καινοτόμα Μηχατρονικά συστήματα τα οποία επιτυγχάνουν πρωτοφανή επίπεδα απόδοσης και χαρακτηρίζονται από, υψηλούς χρόνους απόκρισης, ελάχιστες φθορές, μικρές διαστάσεις, ευκολότερη συντήρηση, δυνατότητες ευφυΐας, φιλικό περιβάλλον χρήστη, βελτιωμένη ακρίβεια, ευελιξία και αξιοπιστία (Νικητάκος κ.συν., 2016· Venuvinod & Reddy, 2002), ενώ ταυτόχρονα με τη μεταξύ τους συνεργασία αυξάνεται το επίπεδο ολοκλήρωσης των συστημάτων.



## 1.2 Σημαντικότητα αντικειμένου και διατύπωση ερευνητικού προβλήματος.

Κατά τη λειτουργία ενός πλοίου λαμβάνει μέρος μεγάλο πλήθος διεργασιών οι οποίες εξαρτώνται άμεσα από τον έλεγχο συγκεκριμένων μεταβλητών μεγεθών όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η ταχύτητα κ.α.. Ιδιαίτερα η διαδικασία ελέγχου της θερμοκρασίας ασκείται σε νευραλγικά σημεία που αφορούν τόσο την αξιοπλοΐα ενός πλοίου όσο και στη μεταφορά των φορτίων. Ειδικότερα εφαρμόζεται για τον έλεγχο της θερμοκρασίας της κύριας μηχανής για τη πρόωση του πλοίου και των μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες του πλοίου όσον αφορά τα κυκλώματα ψύξης νερού, ελαίου και αέρα, του καυσίμου προς κατανάλωση από τις παραπάνω μηχανές, του νερού και του περιβάλλοντος στους χώρους ενδιαίτησης, όπως και των καυσίμων ή και άλλων υλών που αποτελούν το μεταφερόμενο προϊόν από το πλοίο. Κατά συνέπεια ο έλεγχος της μεταβλητής της θερμοκρασίας στη ναυτική τεχνολογία αποτελεί μία διαδικασία κύριας σημασίας.

Μέχρι στιγμής ο έλεγχος της θερμοκρασίας στις περισσότερες περιπτώσεις Πραγματοποιείται μέσω τοπικών ελεγκτών που εκτελούν έλεγχο κλειστού βρόχου. Οι τοπικοί ελεγκτές μπορεί να αποτελούν:

- I. αυτόνομα μέρη ενός κατανεμημένου συστήματος, όπου η παρακολούθηση της διεργασίας πραγματοποιείται στους σταθμούς ελέγχου χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου μεταξύ αυτών και των ελεγκτών,
- II. συνεργαζόμενα μέρη ενός εποπτικού συστήματος, όπου η παρακολούθηση της διεργασίας πραγματοποιείται στους σταθμούς ελέγχου, ενώ παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας και ελέγχου μεταξύ αυτών και των ελεγκτών,
- III. αυτόνομα και ανεξάρτητα (stand alone) μέρη όπου ο έλεγχος και η παρακολούθηση της διεργασίας πραγματοποιείται αποκλειστικά σε τοπικό επίπεδο από τον χειριστή ο οποίος σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να ασκεί έλεγχο ανοικτού βρόχου.



Σύμφωνα με τα παραπάνω οι τοπικοί ελεγκτές λαμβάνουν τα σήματα ανάδρασης από κατάλληλα αισθητήρια και προσφέρουν την απαιτούμενη ενέργεια στην ελεγχόμενη διαδικασία. Ο χειριστής ορίζει τα επιθυμητά επίπεδα (set points) στους ελεγκτές, είτε τοπικά, είτε μέσω των σταθμών εργασίας οι οποίοι βρίσκονται στο μηχανοστάσιο (M/E Control Room), είτε στη γέφυρα (Bridge Control Room) του πλοίου. Υπάρχουν και οι περιπτώσεις όπου ο έλεγχος κάποιων διεργασιών πραγματοποιείται με αποκλειστικά χειροκίνητο τρόπο από τον χειριστή, χωρίς την ύπαρξη κάποιας ελεγκτή.

Με τη συνδρομή των τεχνολογιών της Μηχατρονικής και της εξέλιξης των μικροελεγκτών είναι δυνατή η ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου που αφορούν τη μεταβλητή της θερμοκρασίας, όπως και άλλων, τα οποία θα χαρακτηρίζονται από την υψηλή απόδοση, το χαμηλό κόστος και την ευελιξία μέσω του προσαρμοστικού σχεδιασμού.

Ένα Μηχατρονικό σύστημα αποτελείται από αισθητήρια όργανα τα οποία ανιχνεύουν ένα φυσικό μέγεθος και παράγουν μία μετρήσιμη έξοδο, τους μικροελεγκτές οι οποίοι αποτελούν τα υπολογιστικά συστήματα του κυκλώματος και τέλος τους ενεργοποιητές οι οποίοι αποδίδουν την απαιτούμενη ενέργεια στην ελεγχόμενη διαδικασία. Το πυρήνα ενός μηχατρονικού συστήματος αποτελούν οι μικροελεγκτές οι οποίοι αποτελούν ένα τύπο επεξεργαστή με τη διαφορά ότι μπορούν να λειτουργήσουν με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα καθώς διαθέτουν αρκετά ενσωματωμένα υποσυστήματα. Κύρια χαρακτηριστικά τους αποτελούν το χαμηλό κόστος, η εξειδίκευση σε εφαρμογές, η χαμηλή κατανάλωση ισχύος, η μεγάλη αξιοπιστία λόγω των ελάχιστων διασυνδέσεων που απαιτούνται, πλήθος διαθέσιμων ψηφιακών ή/ και αναλογικών εισόδων – εξόδων λόγω της μη δέσμευσης τους για τη σύνδεση εξωτερικών περιφερειακών. Κατά συνέπεια οι παραπάνω τεχνολογίες μπορούν να ενσωματωθούν στα λειτουργικά συστήματα των πλοίων αποφέροντας τα παραπάνω πλεονεκτήματα.



Το ερευνητικό ερώτημα στη παρούσα εργασία άπτεται στη δυνατότητα σχεδίασης και ανάπτυξης ενός μηχανολογικού συστήματος χαμηλού συνολικού κόστους, το οποίο θα παρέχει τη δυνατότητα του εξ' αποστάσεως παρακολούθησης και ελέγχου της μεταβλητής από τον χειριστή μέσω ασύρματων δικτύων που βασίζονται στα πρότυπα IEEE 802.11 (WiFi) και IEEE 802.15.4 (ZigBee).

Η ανάπτυξη ενός συστήματος το οποίο θα προσφέρει εξ' αποστάσεως έλεγχο μέσω ενός τοπικού ασύρματου δικτύου (WiFi) του πλοίου, με τη δυνατότητα μάλιστα διασύνδεσης του με τη στεριά μέσω του διαδικτύου (internet) παρουσιάζει μία καινοτομία στο υφιστάμενο επίπεδο της ναυτικής τεχνολογίας. Θα συνεισφέρει θετικά στην εργασιακή καθημερινότητα των χειριστών και θα αυξήσει το επίπεδο της ασφαλούς λειτουργίας του πλοίου καθώς οι χειριστές θα είναι σε θέση να παρακολουθούν αλλά και να ασκούν έλεγχο στη συγκεκριμένη μεταβλητή σε οποιοδήποτε χρόνο και οποιοδήποτε σημείο εντός του πλοίου μέχρι να βρεθούν στο χώρο του μηχανοστασίου. Θα επιφέρει μεγάλη μείωση του κόστους εγκατάστασης είτε στο αρχικό στάδιο κατασκευής είτε σε ενδεχόμενη μετασκευή λόγω της έλλειψης μεγάλου όγκου καλωδίων καθώς η επικοινωνία μεταξύ μικροελεγκτή, αισθητήρα και χειριστή θα πραγματοποιείται ασύρματα, ενώ το αρχικό κόστος του θα βρίσκεται εξ αρχής σε χαμηλά επίπεδα. Αντίστοιχα θα εισάγει τεχνολογικά το πλοίο στη 4<sup>η</sup> βιομηχανική επανάσταση και στην εποχή των μη επανδρωμένων πλοίων καθώς θα υπάρχει η δυνατότητα έλεγχου και η παρακολούθησης λειτουργιών από τη στεριά.



### 1.3 Σκοπός και Στόχοι Εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός μηχανολογικού συστήματος, χαμηλού κόστους το οποίο θα προσφέρει τη δυνατότητα αυτόματου ελέγχου κλειστού βρόχου της μεταβλητής της θερμοκρασίας από απόσταση, μέσω ασύρματων δικτύων είτε τοπικά.

Οι στόχοι της έρευνας είναι οι εξής:

1. Η επιλογή και χρήση υλικών χαμηλού κόστους.
2. Η επιλογή και χρήση υλικών που θα επιφέρουν την αποτελεσματική απόδοση για τη συγκεκριμένη διαδικασία ελέγχου.
3. Επιλογή και χρήση υλικών που θα μπορούν να συνεργαστούν μεταξύ τους ώστε να επιτευχθεί ασύρματη επικοινωνία μεταξύ του μικροελεγκτή, του αισθητήρα και του χειριστή.
4. Σχεδιασμός και ανάπτυξη φιλικής, απλής κατανοητής και πλήρης διεπαφής χρήστη.
5. Επιλογή υλικών που θα μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα σε κάθε διαφορετική εγκατάσταση πλοίου.
6. Κατάλληλος σχεδιασμός συστήματος για τη πλήρη συνεργασία του με βιομηχανικά υλικά που συναντώνται στη ναυτική τεχνολογία.



## 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1 Σύντομη ανασκόπηση της ιστορίας του αυτόματου ελέγχου στα πλοία.

Η παρουσία του αυτόματου ελέγχου κλειστού βρόχου στη ναυτική τεχνολογία παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1911 από τον Elmer Sperry με τη κατασκευή μηχανισμού αυτόματης πλοήγησης για τη διατήρηση πορείας του σκάφους (Bennet, S., 2008). Αργότερα το 1922 παρουσιάστηκε για πρώτη φορά ο νόμος ελέγχου τριών όρων (PID) από τον Minorski (Bennet, S., 1984), ο οποίος σχεδίαζε συστήματα αυτόματης πλοήγησης πλοίων για λογαριασμό του πολεμικού ναυτικού των ΗΠΑ. Το 1961 (Yamashita, I., 1967) εμφανίστηκε το πρώτο πλοίο (Kinkasan Maru) που εφάρμοσε εξ' αποστάσεως έλεγχο της εγκατάστασης πρόωσης από σημείο εκτός του μηχανοστασίου ενώ περιελάμβανε και άλλα συστήματα αυτόματου ελέγχου. Αντίστοιχα το 1963 ναυπηγήθηκε το πρώτο εμπορικό πλοίο με αυτόματο σύστημα εντοπισμού βλαβών και σήμανσης συναγερμού. Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1960 συστήματα αυτόματου ελέγχου ενσωματώνονται σε ακόμη δύο εμπορικά πλοία (Ville de Bordeaux και Andora), ενώ το 1968 και το 1972 (Τζιφάκης, Α., 1976) παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά πλοία όπου οι εγκαταστάσεις πρόωσης ελέγχονταν από ηλεκτρονικό υπολογιστή σημαίνοντας μία νέα εποχή για τη ναυτική τεχνολογία.

Από τότε μέχρι και τη δεκαετία του 1990 ο αυτόματος έλεγχος κλειστών βρόχων που εκτελούνταν σε κύριες διεργασίες της κύριας μηχανής, των μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και των βοηθητικών μηχανημάτων πραγματοποιούνταν κυρίως από μηχανικά ή και ηλεκτρομηχανικά συστήματα σε κάποιες περιπτώσεις, ενώ η παρακολούθηση των συστημάτων και των μεταβλητών πραγματοποιούνταν μέσω μηχανικών ή και ηλεκτρομηχανικών οργάνων τοπικά είτε από απόσταση. Έκτοτε η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη των ψηφιακών ηλεκτρονικών, των μικροελεγκτών και των μικροεπεξεργαστών συντέλεσε στην ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου και εποπτείας σε συμβατά κόστη για εμπορική διάθεση και την ενσωμάτωσή τους στα λειτουργικά συστήματα των πλοίων.



## 2.2 Έλεγχος και παρακολούθηση διεργασιών στα πλοία σήμερα.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας σήμερα μπορεί να προσφέρει λύσεις σύγχρονων συστημάτων αυτοματισμού τα οποία αποτελούν πλήρη ολοκληρωμένα συστήματα και είναι σε θέση να καλύψουν πολλές πτυχές της λειτουργίας ενός πλοίου, όπως τα συστήματα πρόωσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα βοηθητικά μηχανήματα και τα συστήματα φόρτωσης, αποθήκευσης και έρματος.

Τα συστήματα αυτά ακολουθούν την αρχιτεκτονική του αποκεντρωμένου και κατανεμημένου ελέγχου (Kongsberg, Samsung, operator manual) . Συγκεκριμένα χρησιμοποιούν κατανεμημένες μονάδες με επεξεργαστική ισχύ (Distributed Processing Units) οι οποίες αναλαμβάνουν τον ρόλο του ανεξάρτητου ελεγκτή σε συστήματα κλειστού βρόχου και επικοινωνούν με αισθητήρια όργανα και με ενεργοποιητές, ενώ στο σύνολο τους επικοινωνούν τόσο μεταξύ τους όσο και με κεντρικούς σταθμούς ελέγχου (Centralized Operator Stations) οι οποίοι κατά βάση αποτελούν μονάδες διεπαφής ανθρώπου – μηχανής, στις οποίες οι χειριστές έχουν τη δυνατότητα εποπτείας των συστημάτων ενώ μπορούν να ασκήσουν και μερικό έλεγχο.

Αντίστοιχα υπάρχουν συστήματα τα οποία προσανατολίζονται περισσότερο στην εποπτεία των διεργασιών ενώ σε κάποιες περιπτώσεις συνδέονται με ανεξάρτητους ελεγκτές σε επίπεδο παρακολούθησης των τιμών του και όχι άσκησης ελέγχου σε αυτούς είτε στους ενεργοποιητές. Ακόμη υπάρχουν και περιπτώσεις όπου ο έλεγχος ασκείται χειροκίνητα με τον ρόλο του ελεγκτή να αναλαμβάνει ο ίδιος ο χειριστής.





### 2.3 Η φιλοσοφία της Μηχατρονικής

Ο όρος Μηχατρονική επινοήθηκε από τον Ιάπωνα Κο Kikuchi (Kyura & Oho, 1996) το 1969 και αποτελείται από τις λέξεις Μηχανική και Ηλεκτρονική δηλώνοντας έτσι τη συνέργια των τεχνολογιών της Μηχανολογίας και της Ηλεκτρονικής, ενώ αναφέρεται σε ηλεκτρομηχανικά συστήματα στα οποία ενσωματώνεται και η τεχνολογία της αναλογικής ηλεκτρονικής. Έκτοτε παράλληλα με την τεχνολογική εξέλιξη της μικροηλεκτρονικής και της τεχνολογίας των επικοινωνιών δόθηκαν πολλοί άλλοι ορισμοί (Bolton, W., 1995· Auslander, D. & Kempf, C., 1996· Harshama, F. Et all, 1996· Ashley, S., 1997· Shetty, D & Kolk, R., 1997· Alciatore, D. & Hestand, M., 1998).

Οι Harashima κ.συν. (Harshama, F., Tomizuka, M. & Fukuda, T., 1996) ορίζουν τη Μηχατρονική ως τη συνεργιστική ολοκλήρωση της επιστήμης της Μηχανολογίας με τη τεχνολογία των Ηλεκτρονικών και του ευφυή υπολογιστικού ελέγχου για το σχεδιασμό και τη παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων και διαδικασιών. Ο Masayoshi Tomizuka στο ορισμό που παρουσίασε το 2001 (Tomizuka, M., 2001), δίνει έμφαση στην ενσωμάτωση της τεχνολογίας των πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ – ΙΤ) η οποία διαδραματίζει έναν όλο και πιο σημαντικό ρόλο στη Μηχατρονική καθώς περιλαμβάνονται υπολογιστές και επεξεργαστές ψηφιακών σημάτων οι οποίοι διαχειρίζονται τη πληροφορίες, όπως και οι τεχνολογίες των επικοινωνιών και του διαδικτύου μέσω των οποίων μεταδίδονται αυτές. Οι (Bradley, D., Russel, D., Ferguson, I., Isaacs, J., MacLeod, A. & White, R., 2001) παρουσιάζουν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και τη Μηχατρονική ως δύο εν δυνάμει συμπληρωματικές τεχνολογίες όπου πολλά από τα έξυπνα στοιχεία που σχετίζονται με το πρώτο θα αποτελούν Μηχατρονικά συστήματα ενώ οι σχεδιαστές αυτών των συστημάτων θα πρέπει να στρέψουν τη προσοχή τους προς αυτή τη κατεύθυνση αντιμετωπίζοντας νέα διλλήματα, όπως ηθικά ζητήματα, την ασφάλεια των δεδομένων, ο σχεδιασμός διεπαφών ανθρώπου – μηχανής.

Κάτω από το πρίσμα του ορισμού της Μηχατρονικής όπως αυτός δόθηκε από τους Auslander και Kempf (Auslander, D. & Kempf, C., 1996), όπου αποδίδεται ως «η εφαρμογή πολύπλοκης διαδικασίας λήψης αποφάσεων κατά τη λειτουργία φυσικών συστημάτων» μπορούμε να θεωρήσουμε ένα σύγχρονο μηχατρονικό σύστημα.



Ένα μηχανικό σύστημα ορίζεται ως ένα σύστημα το οποίο περιλαμβάνει μηχανικά μέρη τα οποία εκτελούν τη πιο βασική λειτουργία του συστήματος προσδίδοντας την απαιτούμενη ενέργεια στην ελεγχόμενη διεργασία, λογισμικό το οποίο εκτελεί τον συνολικό έλεγχο του συστήματος, επεξεργάζεται πληροφορίες, λαμβάνει αποφάσεις και παρέχει εντολές προς τα μηχανικά μέρη, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να παρουσιάζει ένα επίπεδο ευφυΐας, και τα ηλεκτρονικά μέρη τα οποία αποτελούν το συνδετικό στοιχείο μεταξύ των μηχανικών και του λογισμικού.



## 2.4 Οφέλη των μηχανικών συστημάτων.

Η σχεδίαση ενός αμιγώς μηχανικού συστήματος παρέχει τη δυνατότητα μίας και μόνο λειτουργίας. Η ενσωμάτωση μίας υπολογιστικής μονάδας πραγματικού χρόνου προσφέρει πλήθος πλεονεκτημάτων στο σύστημα (Auslander, M., D., 1996· Bishop, H., R., 2006· Harshama, F., Tomizuka, M., & Fukuda, T., 1996· Bradley, D., 2004)

- Ακριβή έλεγχο των μεταβλητών με τη βοήθεια της υπολογιστικής μονάδας και τον προσεκτική επιλογή των υπόλοιπων στοιχείων του συστήματος.
- Υψηλή απόδοση με την ενσωμάτωση ευφυΐας στο σύστημα.
- Αποδοτική διαχείριση της ενέργειας με τη βοήθεια της υπολογιστικής μονάδας.
- Χαμηλό κόστος καθώς το με τη χρήση της υπολογιστικής μονάδας το σύστημα αποκτά απλούστερη μορφή σε σχέση με ένα αμιγώς μηχανικό περίπλοκο σύστημα.
- Ευελιξία, καθώς τα μηχανικά συστήματα μπορούν εύκολα να επαναπρογραμματιστούν και να εκτελέσουν διαφορετικές εργασίες.
- Περισσότερη αξιοπιστία από άλλα συστήματα καθώς είναι λιγότερο επιρρεπή στη φθορά.
- Μικρό μέγεθος, καθώς η ενσωμάτωση της υπολογιστικής μονάδας οδηγεί στη κατασκευή συστήματος με λιγότερα στοιχεία.
- Ασφάλεια, καθώς με την ενσωμάτωση της ευφυΐας πλήθος ελέγχων ασφαλείας μπορούν να εκτελούνται.
- Βελτιωμένες δυνατότητες και λειτουργικά χαρακτηριστικά καθώς με τη βοήθεια της υπολογιστικής μονάδας μπορούν να ενσωματωθούν λειτουργικά στοιχεία όπως μονάδες διεπαφής ανθρώπου – μηχανής, οθόνες, η δυνατότητα προγραμματισμού, χαρακτηριστικά ασφαλείας κ.α.



## 2.5 Η Μηχατρονική στη ναυτιλία.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία τάση προς τη μείωση των πληρωμάτων των πλοίων. Μελέτες από τον χώρο της πολεμικής ναυτιλίας όσο και της εμπορικής (Framme, J., 1994· Scofield, T., 2006· Psaraftis, H., 1995· Arciszewski, H., De Greef, T., Van Delft, J., 2009), αναφέρουν πως τα πληρώματα αποτελούν έναν κρίσιμο και αρνητικό παράγοντα στην αξία του συνολικού λειτουργικού κόστους ενός πλοίου συνιστώντας το μεγαλύτερο μέρος εξόδων κατά τη διάρκεια της ζωής του καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως οι συνθέσεις των πληρωμάτων χρειάζεται να αναθεωρηθούν και να μειωθούν αναλόγως του κάθε διαφορετικού τύπου πλοίου. Για να πραγματοποιηθεί η παραπάνω ανάγκη προτείνεται η λύση της ενσωμάτωσης υψηλού επιπέδου αυτοματισμών στα πλοία τα οποία οι σε σχέση με τα μειωμένα λειτουργικά κόστη θα επιφέρουν την απόσβεση του αρχικού κόστους κατά τη διάρκεια της ζωής τους.

Με την εγκατάσταση των υψηλού επιπέδου αυτοματισμών τα σύγχρονης τεχνολογίας πλοία θα αποτελούν ανταγωνιστικές λύσεις προς τους ναυλωτές. Από τη σκοπιά της Ευρωπαϊκής στρατηγικής για τη ναυτιλία (MESA), η εισαγωγή σύγχρονων συστημάτων αυτοματισμών στα πλοία αφορά το μέλλον της Ευρωπαϊκής ναυτιλίας θα επιφέρει την ολοκλήρωση της εφοδιαστικής αλυσίδας με όλους τους τρόπους μεταφορών. Επίσης θα επιτευχθεί βελτιστοποίηση των χειρισμών, αποτελεσματικότερη διαχείριση των καυσίμων και των εκπομπών καυσαερίων, μείωση των ανθρώπινων σφαλμάτων με αποτέλεσμα τη βελτιωμένη ασφάλεια και ποιότητα των υπηρεσιών. Σημαντική είναι και η ενίσχυση της ασφάλειας της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα και η καλύτερευση του επιπέδου εργασίας των πληρωμάτων.

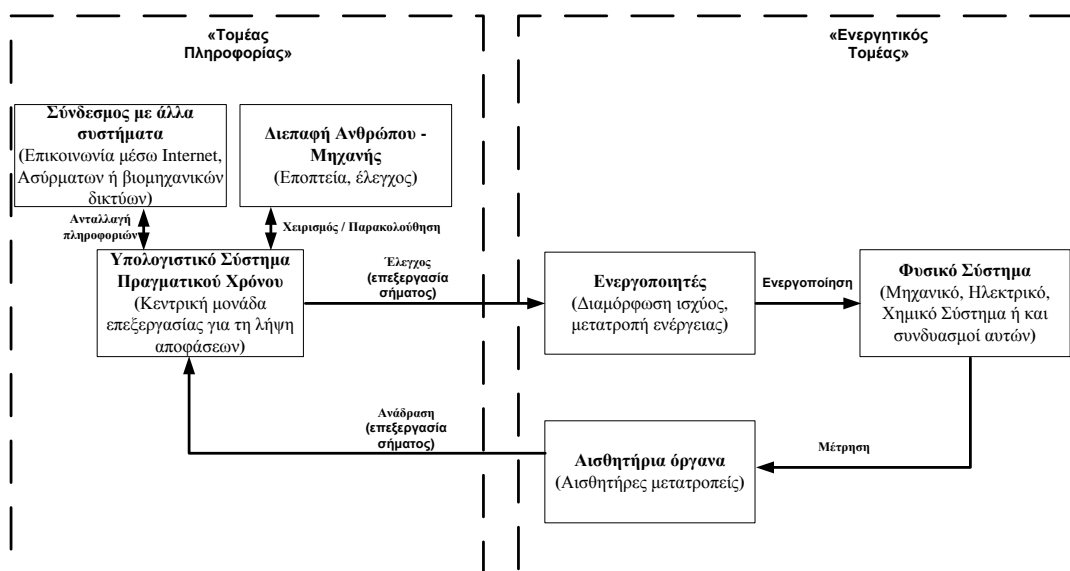
Σύμφωνα με τα παραπάνω και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα μηχανικά συστήματα όπως αυτά προαναφέρθηκαν, η εισαγωγή της συγκεκριμένης φιλοσοφίας και των σύγχρονων μηχανικών συστημάτων στη ναυτική τεχνολογία προτείνεται ως μία αξιόπιστη λύση για τη κατασκευή πλοίων που θα καλύπτουν όλες τις παραπάνω ανάγκες, ενώ ταυτόχρονα θα αποκτήσουν το δυναμικό να ανταπεξέλθουν σε κάθε υφιστάμενη ή μη, πιθανή οικονομική ή λειτουργική ανάγκη.

### 3. Η τεχνολογία της Μηχατρονικής

Ένα σύγχρονο μηχαντρονικό σύστημα όπως φαίνεται και στο σχέδιο (3.1) αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία (Hackl, M., C., 2017· Tomizuka, M., 2001 ).

- Τη κεντρική μονάδα υπολογιστικής ισχύς η οποία είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση υπολογισμών (αποφάσεων) σε πραγματικό χρόνο μέσω αλγορίθμων ενώ προσφέρει μία διεπαφή ανθρώπου – μηχανής και ταυτόχρονα μπορεί να επικοινωνεί με άλλα συστήματα.
- Τους ενεργοποιητές οι οποίοι αποδίδουν την απαιτούμενη ενέργεια στη διεργασία σύμφωνα με τη πληροφορία που λαμβάνουν στην είσοδο τους από τον ελεγκτή και τους εφαρμοσμένους αλγόριθμους που αυτός εκτελεί.
- Τα αισθητήρια όργανα μέσω των οποίων εξασφαλίζονται οι απαιτούμενες μετρήσεις και η απαιτούμενη ανατροφοδότηση (αρνητική ανάδραση) προς τον ελεγκτή σε πραγματικό χρόνο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω ένα Μηχατρονικό Σύστημα μπορεί να χωριστεί σε δύο τομείς, τον τομέα της πληροφορίας και τον ενεργητικό τομέα (Harshama, F., Tomizuka, M., & Fukuda, T., 1996).



Σχ. 3.1: Σύγχρονο Μηχατρονικό Σύστημα



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ & ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.**

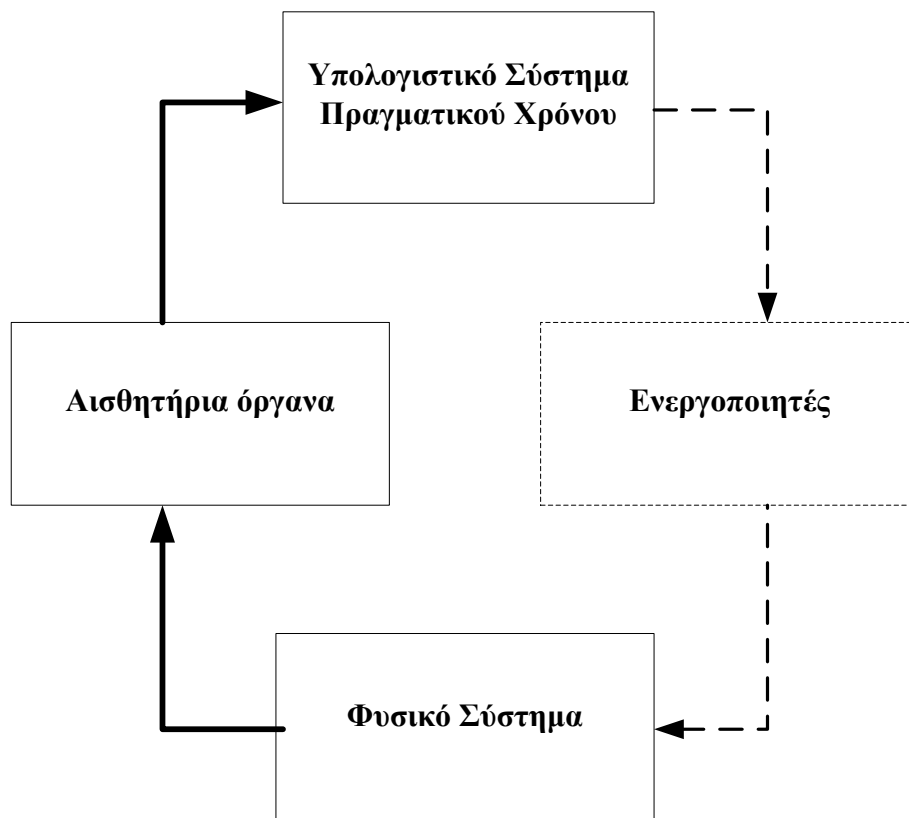
Τμήματα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών & Μηχ. Αυτοματισμού ΤΕ

---



### 3.1 Αισθητήρες και συστήματα μέτρησης

Οι αισθητήρες και τα συναφή μετρητικά συστήματα παρέχουν την απαιτούμενη πληροφορία σχετικά με τη διεργασία σε ένα μηχανικό σύστημα, αποτελώντας έναν ουσιαστικό και απαραίτητο σύνδεσμο μεταξύ αυτής και της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας των πληροφοριών και εκτέλεσης αποφάσεων.



Σχ. 3.2: Αισθητήρες Μηχανικού Συστήματος

Ο σκοπός ενός συστήματος μέτρησης αφορά τη παρακολούθηση και τη ποσοτικοποίηση μιας μεταβλητής ποσότητας (μετρήσιμο μέγεθος) και την επίδοση αυτής της πληροφορίας στη μονάδα ελέγχου. Πρώτο στοιχείο του συστήματος αποτελεί ο αισθητήρας το οποίο έχει ως βασική λειτουργία να ανιχνεύσει το φυσικό μέγεθος και να το μετατρέψει σε κατάλληλο σήμα προς επεξεργασία. Τα μηχανικά συστήματα επί το πλείστον βασίζονται σε αισθητήρες οι οποίοι στην έξοδό τους παρέχουν ηλεκτρικά σήματα, των οποίων τα χαρακτηριστικά τους αναλογούν από την αρχή λειτουργίας του αισθητήρα.



Για την απαραίτητη επεξεργασία των σημάτων χρησιμοποιούνται ενισχυτές ή/και μετατροπείς ώστε να μετατρέψουν τη μετρούμενη ποσότητα σε μία άλλη κατάλληλη για μέτρηση όπως και το σήμα σε ένα τυποποιημένο ηλεκτρικό σήμα (4-20mA, 0-10V κ.α.) το οποίο θα είναι κατάλληλο για τη περαιτέρω επεξεργασία του, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθούν και κατάλληλα φίλτρα σε περιπτώσεις που ο θόρυβος μπορεί να επηρεάσει τη ποιότητα των μετρήσεων. Αντίστοιχα μετατροπείς του ηλεκτρικού σήματος σε ψηφιακό χρησιμοποιούνται ώστε να καταστεί εφικτή η μετάδοση του σήματος σε υπολογιστικές μονάδες.

Οι αισθητήρες ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες αναλόγως των μεγεθών που προορίζονται να μετρούν, την αρχή λειτουργία τους, τη κατασκευαστική τους τεχνολογία, του είδους των σημάτων που αποδίδουν και της διεπαφής τους, του τομέως που πρόκειται να εφαρμοστούν, τις δυνατότητες τους, τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά και το κόστος τους. (Καλοβρέκτης, Κ., Κατέβας, Ν., 2014) Αντίστοιχα τα μετρούμενα μεγέθη που αφορούν τους αισθητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σε γενικές γραμμές σε μηχανικές ποσότητες (ταχύτητα, μετατόπιση, ροή, μάζα, πίεση κ.α.) σε θερμικές ποσότητες (θερμοκρασία), σε ηλεκτρικές ποσότητες (τάση, ένταση, ισχύς, χωρητικότητα, αντίσταση κ.α.) και σε χημικές ποσότητες (pH, υγρασία κ.α.).

Για την επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα για ένα σύστημα εξετάζονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που αφορούν τη συνάρτηση μεταφοράς, τη κλίμακα εισόδου, το εύρος πλήρους κλίμακας εισόδου και εξόδου, την ακρίβεια, τη βαθμονόμηση, την υστέρηση, τη μη γραμμικότητα, τη διακριτική ικανότητα, την επαναληψιμότητα, τον συντελεστή κορεσμού, τη νεκρή ζώνη, τη σύνθετη αντίσταση εξόδου, τη διέγερση, την αξιοπιστία, το ελάχιστο σήμα κατωφλίου, τον χρόνο απόκρισης, τον θόρυβο, την ολίσθηση και τον χρόνο προθέρμανσης.

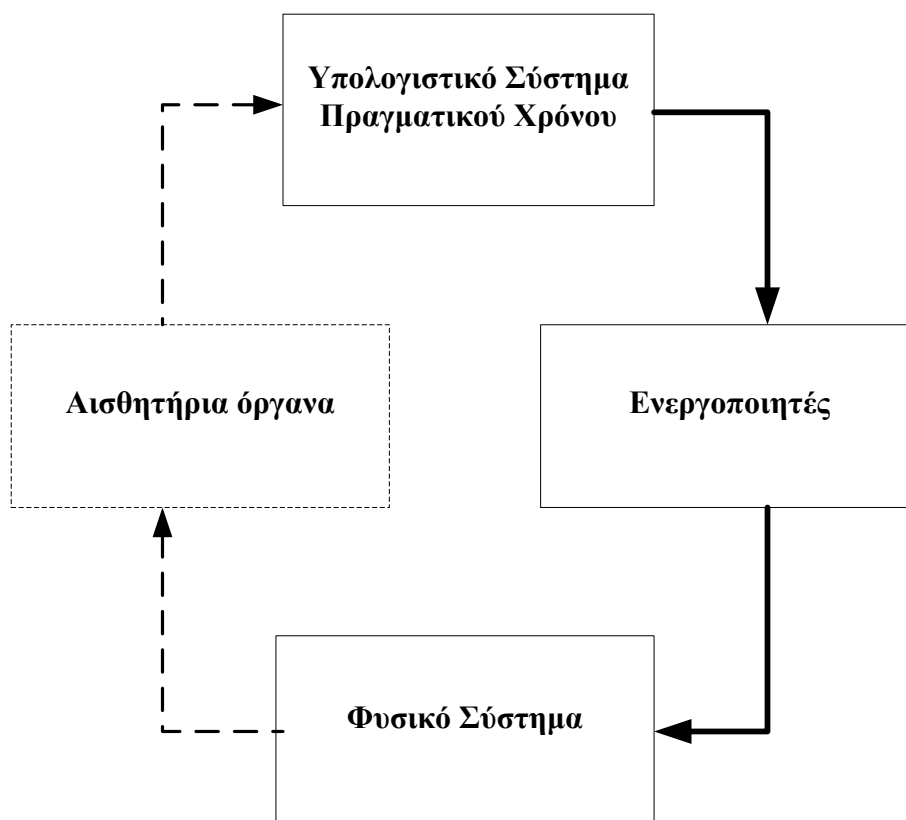




Το σήμα τα οποίο παρέχεται από την έξοδο ενός αισθητήρα εξαρτάται από την αρχή μέτρησης όσο και από τις συνεργαζόμενες συσκευές μετάδοσης και επεξεργασίας αυτού. Έτσι προκύπτουν τρεις βασικές κατηγορίες σημάτων οι οποίες αναφέρονται στα σήματα διαμορφωμένα κατά πλάτος τα οποία χαρακτηρίζονται από μία αναλογική σχέση μεταξύ της μετρούμενης ποσότητας και του πλάτους του σήματος, διαμορφωμένα κατά τη συχνότητα τα οποία χαρακτηρίζονται από μία αναλογική σχέση μεταξύ της συχνότητας του σήματος και της μετρήσιμης ποσότητας και στα ψηφιακά σήματα όπου πραγματοποιείται μία κωδικοποίηση της ποσότητας σε σειριακά ή παράλληλα σήματα.

### 3.2 Ενεργοποιητές

Οι διεργασίες επηρεάζονται ή ελέγχονται από τους ενεργοποιητές (actuators). Ο όρος ενεργοποιητής αφορά κάθε διάταξη ή μονάδα η οποία δρα δυναμικά σε ένα σύστημα μεταβάλλοντας τη κατάσταση του. Στις περισσότερες περιπτώσεις για τη λειτουργία τους απαιτείται ηλεκτρική, υδραυλική ή πνευματική ισχύς.





### Σχ. 3.3: Ενεργοποιητές Μηχατρονικού Συστήματος

Οι μεταβλητές εισόδου ενός ενεργοποιητή μπορούν να ρυθμιστούν είτε με ανατροφοδότηση είτε από τον χειριστή του συστήματος. Κατά συνέπεια ο ενεργοποιητής ενεργεί στη ροή μιας διεργασίας μέσω της επεξεργασίας πληροφοριών αποτελώντας ένα σημαντικό σύνδεσμο μεταξύ της επεξεργαστικής μονάδας και των διαδικασιών που δρα.

Οι ενεργοποιητές εφαρμόζονται σε όλους τους τομείς των τεχνολογιών με αποτέλεσμα λόγω των πολλαπλών απαιτήσεων να υπάρχει μεγάλη γκάμα πρότυπων σχεδιασμών. Οι ενεργοποιητές που χρησιμοποιούνται στα μηχανικά συστήματα λαμβάνουν χαμηλής ισχύος σήματα εντολών τα οποία συνήθως χρειάζεται να μετασχηματιστούν σε υψηλότερα επίπεδα ισχύς και κατάλληλης δομής σήματα ώστε να παρασχεθεί η απαιτούμενη ισχύς στο μηχανισμό δράση τους, και με την χρήση διαφορετικών ειδών βοηθητικής ισχύος (ηλεκτρική, υδραυλική, πνευματική) αναλόγως της δομής του συστήματος, επιδρούν στο σύστημα μέσω μηχανικής εξόδου, η οποία είναι δυνατόν να αποφέρει μεγαλύτερα μεγέθη ισχύος συναρτήσει της ισχύς της βοηθητικής ενέργειας που χρησιμοποιούν (Huber, J., Fleck, A., Ashby, M., 1997).

Οι τύποι των βοηθητικών ισχύων διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες.

- Την ηλεκτρική ισχύ η οποία είναι διαθέσιμη στις περισσότερες περιπτώσεις. Η απροβλημάτιστη παραγωγή της και αποθήκευση της σε συνδυασμό με την σωστή μετατροπή της και διανομή της την καθιστούν μία ευέλικτη μορφή ενέργειας. Τα ημιαγώγιμα ηλεκτρονικά στοιχεία συμβάλλουν θετικά στο χειρισμό της ενώ η μετατροπή σήματος και ο χειρισμός των ενεργοποιητών είναι να δυνατόν να πραγματοποιούνται με την ίδια μορφή ενέργειας και πολλές φορές με το ίδιο δυναμικό τάσης. Σύμφωνα με τα παραπάνω πλεονεκτήματα η ηλεκτρική ενέργεια προτιμάται των άλλων μορφών με την εξαίρεση της σε συστήματα όπου απαιτούνται αρκετά υψηλές επενεργούντων δυνάμεων, σε περιβάλλοντα με αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, είτε για λόγους ασφαλείας.



- Την υδραυλική ισχύ, όπου για την παραγωγή της χρειάζεται μία επιπρόσθετη παροχή ενέργειας. Οι πιέσεις λειτουργίας μπορεί να είναι αρκετά υψηλές και παρουσιάζει πλεονεκτήματα που αφορούν την υψηλή ακρίβεια θέσης και την απόδοση ισχυρών δυνάμεων με έναν υψηλό λόγο ισχύος απόδοσης και βάρους.
- Την πνευματική ισχύ βάσει της οποίας τα συστήματα μπορεί να εκμεταλλεύονται τη δημιουργία κενού και κατ' επέκταση τη δημιουργία υποπίεσεων, είτε τη δημιουργία υπερπίεσεων σε σχέση πάντα με την ατμοσφαιρική πίεση. Τα συστήματα αυτά εργάζονται σε χαμηλότερες πιέσεις από τα υδραυλικά, χρειάζονται μεγάλο όγκο αποθηκευτικούς χώρους, ενώ η προσεκτική διαχείριση του αέρα είναι απαραίτητη. Τα πνευματικά συστήματα παρουσιάζουν τα πλεονεκτήματα της γρήγορης απόκρισης και ταχύτητας, μπορούν να κατασκευαστούν σε μικρές διαστάσεις, όπως και να χρησιμοποιηθούν σε ιδιαίτερα θερμά και εκρηκτικά περιβάλλοντα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω και συναρτήσει των βοηθητικών ισχύων που χρησιμοποιούν, οι ενεργοποιητές ταξινομούνται ως εξής:

- Ηλεκτρομηχανικοί ενεργοποιητές (Ηλεκτρικοί κινητήρες, ηλεκτρομαγνήτες κ.α.)
- Ενεργοποιητές που χρησιμοποιούν τη δυναμική των ρευστών και συγκεκριμένα στους πνευματικούς και στους υδραυλικούς ενεργοποιητές.
- Μη συμβατικούς πρωτότυπους ενεργοποιητές οι οποίοι αναφέρονται ενεργοποιητές που χρησιμοποιούν πιεζοηλεκτρικά στοιχεία, μαγνητοσυστολικούς ενεργοποιητές, ηλεκτροχημικούς ενεργοποιητές κ.α.



Για την επιλογή των ενεργοποιητών για κάθε διαφορετική εργασία και αναμενόμενη απόδοση χρειάζεται να εξεταστούν τα εξής χαρακτηριστικά (Καλοβρέκτης, Κ., Κατέβας, Ν., 2014):

- Τη δυναμική ικανότητα και απόκριση του ενεργοποιητή όταν αυτός δέχεται στατικά και δυναμικά φορτία, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να εξετάζονται και οι ανοχές του στη τάση εφελκυσμού και την ειδική επιμήκυνση.
- Ο χρόνος απόκρισης του ενεργοποιητή και ο λόγος της ταχύτητας προς το φορτίο.
- Ο λόγος της μάζας του προς τον όγκο του.
- Η απόδοση του που αφορά τον λόγο του μηχανικής ισχύος που αποδίδει προς την ενέργεια που καταναλώνει σε έναν πλήρη κύκλο λειτουργίας.
- Η ανάλυση που αφορά τη διακριτική ικανότητα της εξόδου του, η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα.



### 3.3 Μικροεπεξεργαστές

Η επεξεργασία της πληροφορίας στα σύγχρονα μηχανικά συστήματα πραγματοποιείται με τη συνδρομή των μικροεπεξεργαστών. Οι μικροεπεξεργαστές διαθέτουν κατάλληλες διεπαφές για την εισαγωγή σημάτων προς επεξεργασία όπως αντίστοιχα και για την εξαγωγή των σημάτων που προκύπτουν από την ήδη επεξεργασμένη σε πραγματικό χρόνο πληροφορία.

Τα κρίσιμα σημεία για την ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής και κατά συνέπεια των μικροεπεξεργαστών ήταν η ανάπτυξη των πρώτων transistors, η ολοκλήρωση των κυκλωμάτων και η ανάπτυξη της τεχνολογίας των ημιαγωγίμων στοιχείων. Οι πρώτοι μικροεπεξεργαστές εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1970 με τη κατασκευή του Intel 4004 (Intel®, 4004) ο οποίος χρησιμοποιήθηκε σε ηλεκτρονικές αριθμομηχανές ενώ η ενσωμάτωσή τους σε άλλες συσκευές ακολούθησε σχετικά γρήγορα. Η τεχνολογική πρόοδος των μικροεπεξεργαστών χαρακτηρίζεται από τον αριθμό των στοιχείων που ολοκληρώνονται σε κύκλωμα (chip) και την υπολογιστική ισχύς η οποία μετράται σε εκατομμύρια εκτελέσεις ανά δευτερόλεπτο (Million instructions per second).

Η αρχιτεκτονική που ακολουθεί ένας σύγχρονος μικροεπεξεργαστής συνίσταται από τις ακόλουθες μονάδες. Την αριθμητική και λογική μονάδα (Arithmetic and Logical Unit, ALU) όπου εκτελούνται οι αριθμητικές πράξεις σύμφωνα με τις εντολές που λαμβάνει, τους καταχωρητές (Registers) οι οποίοι αποτελούν μικρά κελιά μνήμης και χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων ενόσω αυτά υφίστανται επεξεργασία, τη Μονάδα ελέγχου (Control Unit) η οποία ελέγχει τη ροή των δεδομένων από και προς την αριθμητική μονάδα, τους καταχωρητές, τη μνήμη και τις περιφερειακές μονάδες εισόδου/ εξόδου, τη μονάδα προσκόμισης (Fetch Unit) η οποία μεταφέρει τις εντολές από τη μνήμη στον επεξεργαστή, τη μονάδα αποκωδικοποίησης (Decoding Unit) η οποία μετατρέπει τα φυσικά δεδομένα υπό τη μορφή την οποία εισάγονται σε γλώσσα κατανοητή από τον μικροεπεξεργαστή και τη μονάδα προστασίας η οποία εξασφαλίζει το αποδεκτό της κάθε διεργασίας που εκτελεί ο επεξεργαστής. Η επικοινωνία του μικροεπεξεργαστή με τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών στοιχείων διεπαφής.



Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται αναλογικές είσοδοι ώστε με τη βοήθεια ειδικών μετατροπέων (DAC) αναλογικά σήματα να μεταφράζονται σε ψηφιακά ικανά να αναγνωριστούν από τη κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Ψηφιακές είσοδοι όπου με τη χρήση ειδικών κυκλωμάτων τα επίπεδα των σημάτων προσαρμόζονται σε επίπεδα κατάλληλα για τη μονάδα επεξεργασίας. Αναλογικές έξοδοι, όπου με τη βοήθεια ειδικών μετατροπέων τα ψηφιακά σήματα που παράγονται από τη κεντρική μονάδα επεξεργασίας μετατρέπονται σε αναλογικά κατάλληλα για την οδήγηση των ενεργοποιητών και τέλος Ψηφιακές έξοδοι όπου με τη χρήση εσωτερικών ή εξωτερικών κυκλωμάτων προσαρμόζονται σε κατάλληλα επίπεδα για τη χρήση τους από ενεργοποιητές. Για την επεξεργασία των σημάτων και την εκτέλεση εντολών χρειάζεται να αναπτυχθεί κατάλληλο λογισμικό το οποίο θα επεξεργάζεται τις πληροφορίες, ενώ άλλα λογισμικά απαιτούνται ώστε να ενσωματωθεί το λογισμικό στη κεντρική μονάδα.

### 3.4 Μικροελεγκτές

Σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά τη κυκλοφορία του πρώτου μικροεπεξεργαστή με τη βοήθεια της εξέλιξης της τεχνολογίας στην ολοκλήρωση των κυκλωμάτων έκανε την εμφάνιση του ένα νέο στοιχείο, ο μικροελεγκτής (TI, History).

Σε αντίθεση με τους μικροεπεξεργαστές οι οποίοι χρειάζονται επιπλέον εξωτερικά κυκλώματα για τη διασύνδεση τους με το εξωτερικό περιβάλλον και τις περιφερειακές συσκευές, ο μικροελεγκτής είναι μία δομή που ενσωματώνει σε ένα chip, έναν μικροεπεξεργαστή, μία ορισμένη ποσότητα μνήμης και έναν αριθμό περιφερειακών διεπαφών, ενώ ακολουθεί διαφορετική αρχιτεκτονική της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας. Διαφορετικά θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένας υπολογιστής ολοκληρωμένος σε ένα chip όπου η κατασκευή τους προορίζεται για εφαρμογές ενσωματωμένων συστημάτων αποτελώντας ευέλικτες και χαμηλού κόστους λύσεις.



Η τεχνολογία των μικροελεγκτών επικεντρώνεται στην ελάττωση των αναγκαίων εξωτερικών κυκλωμάτων και στην ενσωμάτωσή τους σε ένα chip, στην «εξειδίκευση» για κάθε εφαρμογή και στην ελάττωση του κόστους διαθέτοντας χαμηλότερη υπολογιστική ισχύ σε αντιδιαστολή με τους μικροεπεξεργαστές οι οποίοι εξαρτώνται από τη διασύνδεση τους με εξωτερικές συσκευές, διαθέτουν μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ και ευελιξία ανάπτυξης πλήθους εφαρμογών αποτελώντας συσκευές γενικού σκοπού.

Η ολοκλήρωση των μικροελεγκτών σε ένα chip επιφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς χρειάζονται λιγότερα εξωτερικά κυκλώματα εφόσον αυτά είναι ήδη ενσωματωμένα. Η απλότητα του σχεδιασμού τους συντελεί στο χαμηλό κόστος και στο μικρό όγκο τους. Καταναλώνουν χαμηλά επίπεδα ενέργειας. Μειώνονται οι εξωτερικές συνδέσεις καθώς μεγάλο μέρος από αυτές έχουν ήδη ενσωματωθεί στο chip. Μεγάλο μέρος των ακροδεκτών του είναι διαθέσιμοι με τη μορφή εισόδων/ εξόδων καθώς δεν χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση τους με εξωτερικές συσκευές. Μεγάλη αξιοπιστία καθώς χρησιμοποιούνται λιγότερα εξαρτήματα και συνδέσεις (Arnold, K., 2004).

Ένας μικροελεγκτής εκτελεί λογισμικό που αποτελείται από αλγορίθμους κατάλληλους για κάθε διαφορετική εφαρμογή το οποίο αποθηκεύεται στη μνήμη του. Υπό την επίβλεψη του λογισμικού τα δεδομένα που εισάγονται από τις εξωτερικές συσκευές εισόδου μέσω των διεπαφών εισόδων επεξεργάζονται και τα νέα δεδομένα που προκύπτουν, υπό τη μορφή εντολών αποστέλλονται μέσω των διεπαφών εξόδων στις εξωτερικές συσκευές εξόδου ενός συστήματος. Έτσι αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο στο σχεδιασμό μηχανικών συστημάτων καθώς επιτρέπουν την ενσωμάτωση ευφών λογισμικών και τη διασύνδεση τους με τις εισόδους και εξόδους του συστήματος.

Οι μικροελεγκτές ταξινομούνται βάσει του αριθμού των bits που μπορούν να επεξεργαστούν κάθε δεδομένη χρονική στιγμή. Συνηθέστερος και πιο δημοφιλής τύπος, είναι ο 8-bit μικροελεγκτής ο οποίος χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές. Οι 16-bit και 32-bit μικροελεγκτές αποτελούν ισχυρότερες λύσεις και χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερης κλίμακας εφαρμογές.



### 3.4.1 Στοιχεία μικροελεγκτών

Η απλούστερη αρχιτεκτονική σχεδιασμού ενός μικροελεγκτή συνίσταται από τον μικροεπεξεργαστή, την μνήμη και τις εισόδους/ εξόδους. Στη πραγματικότητα δύο είναι οι πιθανοί τρόποι σχεδιασμού ενός μικροεπεξεργαστή (Von Neumann και Harvard) οι οποίοι διαφέρουν στο τρόπο με τον οποίο η κεντρική μονάδα επεξεργασίας αποκτά πρόσβαση στη μνήμη (Mitiescu, M., Susnea, I., 2005· Arnold, K., 2004· Gridling, G., Weiss, B., 2006· Ibrahim, D., 2006· Auslander, M., D., and Kempf J., C.. (1996).

#### 3.4.1.1 Μικροεπεξεργαστής

Ο μικροεπεξεργαστής αποτελείται από την κεντρική επεξεργαστική μονάδα (CPU) η οποία εκτελεί τις λογικές και αριθμητικές πράξεις με τη βοήθεια της αριθμητικής με τη συνδρομή της λογικής μονάδας (ALU). Τη μονάδα ελέγχου (Control Unit) η οποία ελέγχει τους εσωτερικούς χειρισμούς του μικροεπεξεργαστή, αποστέλλοντας σήματα ελέγχου σε άλλα μέρη του μικροεπεξεργαστή ώστε να εκτελεστούν οι απαιτούμενες οδηγίες. Το φάκελο καταχωρητών όπου στη ουσία πρόκειται για ένα μικρό κύκλωμα μνήμης άμεσης πρόσβασης και υψηλής ταχύτητας όπου αποθηκεύονται προσωρινά δεδομένα τα οποία επεξεργάζεται η κεντρική μονάδα.

#### 3.4.1.2 Μνήμη

Η μνήμη αποτελεί ένα σημαντικό μέρος του συστήματος και ταξινομείται σε δύο ομάδες. Τη μνήμη προγράμματος στην οποία αποθηκεύεται το λογισμικό και συνήθως είναι μη πτητική όπου τα δεδομένα δεν χάνονται σε περίπτωση απουσίας ηλεκτρικής ενέργειας και τη μνήμη δεδομένων όπου αποθηκεύονται προσωρινά τα δεδομένα που προκύπτουν από τις αριθμητικές και λογικές πράξεις, οι οποίες συνήθως είναι πτητικές.

Οι Βασικοί τύποι μνήμης.

- Μνήμη RAM (Random Access Memory), η οποία αποτελεί μία πτητική μνήμη γενικού σκοπού στην οποία αποθηκεύονται προσωρινά δεδομένα. Οι περισσότεροι μικροελεγκτές διαθέτουν μία ποσότητα μνήμης RAM.





- Μνήμη ROM (Read only Memory), η οποία αποτελεί μία μη πτητική μνήμη όπου αποθηκεύεται λογισμικό από τον κατασκευαστή, χωρίς να επιτρέπεται στον χρήστη η οποιαδήποτε αλλαγή σε αυτό.



- Μνήμη EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory), η οποία αποτελεί ένα είδος μη πτητικής μνήμης, παρεμφερές της ROM με τη διαφορά ότι αυτή μπορεί να προγραμματιστεί μέσω κατάλληλης συσκευής. Ο συγκεκριμένος τύπος έδωσε για πρώτη φορά τη δυνατότητα της επανεγγραφής λογισμικού σε αυτή, ενώ πλέον έχουν αντικατασταθεί από νεότερης τεχνολογίας μνήμες.
- Μνήμη EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory). Αυτός ο τύπος μη πτητικής μνήμης παρέχει τη δυνατότητα διαγραφής και επανεγγραφής δεδομένων με ηλεκτρικό τρόπο.
- Μνήμη FLASH EEPROM, η οποία αποτελεί μία διαφορετική έκδοση της μνήμης EEPROM και τη δημοφιλέστερη λύση σήμερα στους μικροελεγκτές για την αποθήκευση του λογισμικού. Τα δεδομένα σε αυτή μπορούν να διαγραφούν και επανεγγραφούν με τη χρήση ειδικής προγραμματιστικής συσκευής, ενώ συνήθως είναι αρκετά γρήγορες.
- Μνήμη NVRAM, η οποία συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των πτητικών και μη πτητικών μνημών.

### 3.4.1.3 Είσοδοι/ Έξοδοι (I/O)

Μία επιπλέον διαφορά μεταξύ των μικροεπεξεργαστών και των μικροελεγκτών είναι η διάθεση εισόδων/ εξόδων, ώστε ο μικροελεγκτής να επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και να είναι σε θέση να παρακολουθεί και να ελέγχει απευθείας εξωτερικές συσκευές. Στους περισσότερους μικροελεγκτές οι θύρες αυτές είναι προγραμματιζόμενες ώστε να υπάρχει ευελιξία της χρήσης τους ως εισοδοί είτε ως έξοδοι ανάλογα με την εφαρμογή.

#### Ψηφιακές εισοδοί / έξοδοι

Οι ψηφιακές θύρες συνήθως είναι οργανωμένες σε ομάδες των 8 bits. Οι ψηφιακές θύρες προορίζονται να συμπεριφερθούν και χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά ως εισοδοί ή ως έξοδοι, είτε αμφίδρομα ως εισοδοί είτε έξοδοι αφού προγραμματιστούν ανάλογα. Οι ψηφιακές θύρες παρέχουν τη δυνατότητα απευθείας σύνδεσης με εξωτερικές συσκευές εφόσον τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά βρίσκονται στα όρια του



μικροελεγκτή, ενώ σε διαφορετική περίπτωση εξωτερικές συσκευές χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν.

Η λειτουργία της ψηφιακής εισόδου χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση που το παρακολουθούμενο σήμα πρέπει να ερμηνευθεί ψηφιακά, δηλαδή όταν αλλάζει μεταξύ των δύο καταστάσεων που αντιστοιχούν στη λογική 0 (υψηλό δυναμικό) και στη λογική 1 (χαμηλό δυναμικό). Το δυναμικό ενός ψηφιακού σήματος μπορεί να ερμηνευθεί ως υψηλό ή χαμηλό αναλόγως του επιπέδου τάσης στο οποίο βρίσκεται και πρέπει να συμμορφώνεται με τις προδιαγραφές του ελεγκτή.

Η λειτουργία ψηφιακής εξόδου χρησιμοποιείται ώστε να θέσει τη θύρα σε δεδομένα επίπεδα τάσης. Τα αντίστοιχα επίπεδα χαμηλού είτε υψηλού δυναμικού καθορίζονται και πάλι από τις προδιαγραφές του ελεγκτή και εξαρτώνται από τη τάση λειτουργίας τους.

### **Αναλογικές Είσοδοι/ Έξοδοι**

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου σε αντίθεση με τα διακριτά επίπεδα δυναμικού, η στιγμιαία τιμή τάσης μεταφέρει χρήσιμη πληροφορία η οποία είναι απαραίτητη για το σύστημα μας. Λόγω της ψηφιακής φύσης των μικροελεγκτών για τη μετατροπή της πληροφορίας σε ψηφιακή μορφή χρησιμοποιούνται μετατροπείς αναλογικών/ψηφιακών σημάτων (Analogue to Digital Converter – ADC). Τα κυκλώματα συνήθως είναι ενσωματωμένα στους μικροελεγκτές και παρέχουν διακριτική ικανότητα 8-bits ενώ σε κάποιες περιπτώσεις ενσωματώνονται μετατροπείς μεγαλύτερης διακριτικής ικανότητας 10 ή και 12 bits. Οι μετατροπείς προκαλούν διακοπές (interrupts) μόλις μία μετατροπή ολοκληρωθεί ώστε να πραγματοποιείται σε υψηλή ταχύτητα η επεξεργασία των δεδομένων. Οι συγκεκριμένοι μετατροπείς βρίσκουν συχνά εφαρμογή όπου υπάρχουν αισθητήρες οι οποίοι παράγουν αναλογική έξοδο.

Αντίστοιχα υπάρχουν εφαρμογές όπου είναι απαραίτητη η παραγωγή αναλογικών εξόδων από τον μικροελεγκτή. Οι μικροελεγκτές έχουν ελάχιστες ή μηδαμινές δυνατότητες παραγωγής αναλογικών εξόδων. Από την άλλη οι μικροελεγκτές είναι ικανοί να παράγουν ψηφιακά σήματα στα οποία διαμορφώνουν το εύρος πλάτους τους (PWM).



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ & ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.**

Τμήματα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών & Μηχ. Αυτοματισμού ΤΕ

---





Σε αυτά τα σήματα μπορεί να οριστεί το εύρος της τάσης εξόδου μεταβάλλοντας το κύκλο λειτουργίας τους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αρκετές εφαρμογές, ενώ με τη χρήση εξομαλυντικών χαμηλοπερατών φίλτρων παράγεται μία αναλογική τάση ανάλογη του κύκλου εργασίας του σήματος. Σε περιπτώσεις εφαρμογών όπου η ποιότητα του σήματος εξόδου εεποτελεί κρίσιμο στοιχείο τότε χρησιμοποιούνται εξωτερικές συσκευές ή κυκλώματα μετατροπών.

#### 3.4.1.4 Ρολόι χρονισμού (Clock)

Οι μικροελεγκτές χρειάζονται έναν ταλαντωτή για τη παροχή παλμών χρονισμού, ώστε να λειτουργήσουν ομαλά. Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχουν ενσωματωμένοι ταλαντωτές οι οποίοι αποτελούνται από κυκλώματα πυκνωτών - αντιστάσεων ενώ σε κάποιες άλλες χρησιμοποιούνται εξωτερικοί ταλαντωτές κρυστάλλου ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η ακρίβεια του χρόνου κατέχει σημαντικό ρόλο.

#### 3.4.1.5 Χρονιστές (Timers)

Αποτελούν ένα σημαντικό μέρος των μικροελεγκτών. Στη βασική τους μορφή είναι απαριθμητές οι οποίοι ελέγχονται από ένα ρολόι ακριβείας. Σε αυτούς μπορεί να αποθηκευτούν δεδομένα και να ξεκινήσουν ή να διακόψουν τη λειτουργία τους μέσω του λογισμικού. Οι περισσότεροι χρονιστές ρυθμίζονται έτσι ώστε να προκαλέσουν μία διακοπή όταν φτάσουν σε ένα καθορισμένο επίπεδο μέτρησης. Αντίστοιχα μπορούν να προγραμματιστούν για τη δημιουργία καθυστερήσεων, όπως και τη μέτρηση της διάρκειας ενός γεγονότος και την απαρίθμηση αυτών.

#### 3.4.1.6 Διακοπές (Interrupts)

Αποτελούν μία πολύ σημαντική έννοια των μικροελεγκτών καθώς αναγκάζουν έναν μικροελεγκτή να ανταποκριθεί σε εξωτερικά και εσωτερικά συμβάντα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Όταν μία διακοπή συμβεί, ο μικροεπεξεργαστής διακόπτει την ομαλή ροή εκτέλεσης των διαδικασιών και μεταβαίνει απευθείας στην απαραίτητη ρουτίνα. Η πηγή μίας διακοπής μπορεί να είναι εξωτερική είτε εσωτερική.



Οι εσωτερικές διακοπές συνήθως παράγονται από ενσωματωμένους χρονιστές όταν αυτοί φτάσουν σε μία συγκεκριμένη τιμή. Οι εξωτερικές διακοπές παράγονται από τις εξωτερικές συσκευές οι οποίες είναι συνδεδεμένες με τον μικροεπεξεργαστή και είναι μη προβλέψιμες.

### 3.4.1.7 Διεπαφές επικοινωνίας

Οι μικροελεγκτές γενικά ενσωματώνουν μονάδες διεπαφών διαφορετικών μορφών επικοινωνίας, με σκοπό την επικοινωνία τους με άλλες μονάδες, όπως περιφερειακές συσκευές, άλλους μικροελεγκτές, υπολογιστές κ.α.. Οι διεπαφές αυτές κατηγοριοποιούνται αναλόγως της μορφής επικοινωνίας που επιτρέπουν, σειριακή ή παράλληλη (serial/ parallel), σύγχρονη ή ασύγχρονη (synchronous/ asynchronous), επικοινωνίες μέσω διαύλων ή σημείο - σημειακές (bus/ point to point), αμφίδρομες ή ημιαμφίδρομες (full/ half duplex) και μπορεί να συνιστούν συστήματα master/ slave ή ισότιμων στοιχείων (equal partners)

Στη σειριακή επικοινωνία η διεπαφή επιτρέπει την αποστολή δεδομένων διαδοχικά με τη ποσότητα ενός bit κάθε φορά. Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί μία μόνο γραμμή επικοινωνίας. Αφενός μεν αποτελεί μία αποτελεσματική μέθοδο λόγω της ελαχιστοποίησης των πόρων που χρησιμοποιεί αφετέρου δε η μετάδοση των δεδομένων πραγματοποιείται με χαμηλή ταχύτητα. Από την άλλη πλευρά η παράλληλη επικοινωνία χρησιμοποιεί πολλές γραμμές επικοινωνίας για την αποστολή περισσότερων bits ενώ ο αριθμός τους μπορεί να ποικίλει. Ο συγχρονισμός των επικοινωνιών εξαρτάται από τους χρονισμούς του πομπού και του δέκτη και τη μεταξύ τους διασύνδεση, όπου στη περίπτωση που συγχρονίζονται μεταξύ τους η επικοινωνία αποκτά σύγχρονη μορφή και αντιστρόφως. Η ασύγχρονη επικοινωνία είναι σημαντικά πιο αργή και λιγότερο αποδοτική σε σχέση με τη σύγχρονη. Στις επικοινωνίες που υπόκεινται σε τοπολογίες διαύλων δύο ή περισσότερες συσκευές μπορούν να συνδεθούν σε ένα μέσο. Απαιτείται η απόδοση διευθύνσεων σε κάθε συσκευή. Αντιθέτως στις σημείο – σημειακές επικοινωνίες αναπτύσσονται συνδέσεις μεταξύ δύο συσκευών, ενώ δεν απαιτείται η απόδοση διευθύνσεων καθώς είναι φανερό ποια συσκευή θα είναι ο αποδέκτης ενός μηνύματος.



Στις περισσότερες περιπτώσεις η επικοινωνία μεταξύ ενός μικροελεγκτή και των περιφερειακών συσκευών πραγματοποιείται και από τα δύο μέρη. Στην αμφίδρομη επικοινωνία και τα δύο μέρη μπορούν να αποστείλουν δεδομένα ταυτόχρονα. Σε αυτή τη περίπτωση χρειάζονται δύο αγωγοί. Η τεχνική αυτή είναι χρήσιμη όταν και τα δύο μέρη χρειάζεται να αποστείλουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων ταυτόχρονα.

Στη περίπτωση της ημιαμφίδρομης επικοινωνίας, μόνο ένα από τα δύο μέρη μπορεί να αποστείλει δεδομένα, εξοικονομώντας όμως έναν αγωγό. Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονται σε αυτή τη περίπτωση είναι η μικρότερη απόδοση και η ανάγκη διαπραγμάτευσης της πρόσβασης στο ενιαίο αγωγό. Αποτελεί έναν χρήσιμο τρόπο επικοινωνίας όμως όταν μόνο η μία από τις δύο συσκευές χρειάζεται να αποστείλει μεγάλη ποσότητα δεδομένων ενώ η άλλη συσκευή λειτουργεί επί το πλείστον ως δέκτης των δεδομένων αυτών. Ένα ακόμη ενδιαφέρον χαρακτηριστικό των διεπαφών επικοινωνίας αποτελούν οι περιπτώσεις όπου μία συσκευή μπορεί να ξεκινήσει τη μετάδοση δεδομένων, είτε κάθε συσκευή έχει το δικαίωμα αυτό. Στα Master / Slave συστήματα μόνο η Master η συσκευή κατέχει αυτό το δικαίωμα, ενώ οι Slaves συσκευές χρειάζεται να περιμένουν τη Master συσκευή να τους επιτρέψει τη πρόσβαση στο μέσο επικοινωνίας. Στη περίπτωση όπου όλες οι συσκευές έχουν τα ίδια δικαιώματα κάθε συσκευή δύναται να ξεκινήσει τη μετάδοση όταν το μέσο επικοινωνίας είναι ελεύθερο.

Σε φυσικό επίπεδο είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η μορφή του σχεδιασμού της διεπαφής όσον αφορά το αν είναι μονοτερματική (single-ended) είτε διαφορική (differential). Στη πρώτη περίπτωση τα επίπεδα τάσεων σε όλους τους αγωγούς είναι αναφορικά με τη γείωση του συστήματος. Κατά συνέπεια ο πομπός και ο δέκτης χρειάζεται να έχουν κοινή γείωση μεταξύ τους κάτι που αποτελεί πρόβλημα όταν η μεταξύ τους απόσταση είναι μεγάλη, ενώ επιπλέον ο θόρυβος μπορεί να προκαλέσει προβλήματα. Στη δεύτερη περίπτωση το σήμα μεταδίδεται συναρτήσεως της διαφοράς δυναμικού μεταξύ δύο αγωγών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αναγκαία χρήση δύο αγωγών σε αντιδιαστολή με τη πρώτη περίπτωση. Επιπλέον η πιθανότητα εμφάνισης θορύβου θα επηρεάσει πιθανών και τους δύο αγωγούς με αποτέλεσμα να μην υπάρξουν μεταβολές των δυναμικών τάσης και έτσι επιτρέπουν τη μετάδοση δεδομένων μέσω μεγαλύτερων αποστάσεων γραμμών.



## SCI (UART)

Η διεπαφή σειριακής επικοινωνίας (Serial Communication Interface – SCI), παρέχει μία ασύγχρονη μορφή επικοινωνίας μέσω της μονάδας UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) και χρησιμοποιεί δύο αγωγούς έναν για την εκπομπή (TXD line) και έναν για την λήψη δεδομένων (RXD line) για τη δημιουργία αμφίδρομης είτε ημιαμφίδρομης επικοινωνίας. Μία μονάδα UART μπορεί να ενσωματωθεί σε έναν μικροελεγκτή και παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου πολλών παραμέτρων όσον αφορά τον αριθμό των bits που θα χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία, τα Bits ισοτιμίας (Parity Bit), όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την ύπαρξη ή μη, αυτού όπως και της μορφής του (even ή od), τον αριθμό των stop bits (1 ή 2), και τον ρυθμό μετάδοσης των bits (Baud Rate), ο οποίος εξαρτάται άμεσα από τη συχνότητα λειτουργίας του συστήματος (system clock).

Η μονάδα UART αποτελεί απλά ένα κύκλωμα μέσω του οποίου επιτρέπει η υλοποίηση του ασύγχρονου πρωτοκόλλου σειριακής επικοινωνίας χωρίς όμως να καθορίζει κάποιο φυσικό χαρακτηριστικό της διασύνδεσης όπως για παράδειγμα τα επίπεδα τάσης που χρησιμοποιούνται. Μέσω αυτού μπορούν να εκτελεστούν διαφορετικά πρωτόκολλα.

## Πρωτόκολλο RS-232

Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο το οποίο προορίζεται για μονοτερματική σημειοσημειακή σειριακή επικοινωνία και ορίζει τον τύπο του απαιτούμενου εξοπλισμού, τις προδιαγραφές των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών, τις γραμμές επικοινωνίας και τους απαιτούμενους χρονισμούς. Το πρωτόκολλο παρέχει τη δυνατότητα για 25 γραμμές επικοινωνίας ενώ συνήθως χρησιμοποιούνται 9 από αυτές και η μονάδα UART εκμεταλλεύεται μόνο τις δύο για την αποστολή και λήψη δεδομένων (RXD και TXD), ενώ μία γραμμή χρησιμοποιείται ως κοινή γείωση λόγω της μονοτερματικής σύνδεσης. Οι υπόλοιπες γραμμές δύνανται να χρησιμοποιηθούν με πιο εξειδικευμένα πρωτόκολλα. Το πρότυπο RS-232 καθορίζει τα επίπεδα τάσης των σημάτων μεταξύ  $\pm 3$  έως 15V και τις συσκευές να έχουν τη δυνατότητα χειρισμού τάσης έως  $\pm 25V$ .





Οι γραμμές ελέγχου χρησιμοποιούν θετική λογική ενώ αντιθέτως οι γραμμές δεδομένων αρνητική. Εφόσον οι μικροελεγκτές δεν δύνανται να χειριστούν τόσο υψηλά επίπεδα τάσεις όπως αυτά ορίζονται, απαιτείται η χρήση κυκλωμάτων τα οποία επιτρέπουν τη μετατροπή αυτών σε ανεκτά επίπεδα.

## **Πρωτόκολλο RS-422**

Το πρότυπο RS-422 είναι και αυτό σχεδιασμένο για σημείο-σημειακές μορφές επικοινωνίας χρησιμοποιώντας όμως διαφορετικές γραμμές χρησιμοποιώντας συνεστραμμένους αγωγούς RXD και TXD. Το πρότυπο αυτό προτιμάται σε αντίθεση με το RS-232 όταν χρειάζεται να επεκταθεί το εύρος απόστασης μετάδοσης της μονάδας UART.

## **Μονάδα USART**

Η μονάδα USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), επεκτείνει τις δυνατότητες των μονάδων UART για σύγχρονη μορφή επικοινωνίας. Για την επίτευξη της απαιτείται ένας επιπλέον αγωγός για τη μεταφορά δεδομένων χρόνου. Στη σύγχρονη λειτουργία μία από τις μονάδες που επικοινωνούν παράγει και μεταδίδει τα δεδομένα χρόνου τα οποία χρησιμοποιούνται και από τις άλλες. Η μονάδα USART επιτρέπει την επιλογή μεταξύ σύγχρονης είτε ασύγχρονης λειτουργίας. Κατά τη δεύτερη λειτουργία ο επιπλέον αγωγός είναι ελεύθερος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλους σκοπούς.

## **Διεπαφή SPI**

Η διεπαφή Serial Peripheral Interface (SPI) επιτρέπει τη σύγχρονη αμφίδρομη σημείο – σημειακή επικοινωνία βάση της αρχής (ή λογικής ) Master – Slave). Η διεπαφή συνίσταται από 4 γραμμές μεταφοράς επικοινωνίας. Τη γραμμή MOSI (Master Out, Slave In) μέσω της οποίας η Master συσκευή αποστέλλει δεδομένα στην Slave συσκευή, τη γραμμή MISO (Master In, Slave Out), μέσω της οποίας η Slave συσκευή αποστέλλει δεδομένα στη Master συσκευή, τη γραμμή SCK μέσω της οποίας αποστέλλεται το σήμα χρονισμού από τη συσκευή Master και τέλος τη γραμμή SS (Slave Select) μέσω της οποίας επιλέγεται μία Slave από τη Master συσκευή.



## Δίαυλος IIC (I<sup>2</sup>C)

Ο διάυλος Inter Integrated Circuit - IIC (Philips Semiconductors, 2000), επιτρέπει τη σύγχρονη επικοινωνίας βάσει της λογικής Master- Slave. Χρησιμοποιεί δύο αγωγούς, τον αγωγό SCL (Serial Clock Line) και τον αγωγό SDA (Serial Data Line) για την επίτευξη ημιαμφίδρομης επικοινωνίας. Το Πρωτόκολλο έχει αναπτυχθεί από τη Philips και χρησιμοποιείται ευρέως για την επίτευξη επικοινωνίας μικρών αποστάσεων μεταξύ δύο ή περισσότερων μικροελεγκτών και περιφερειακών συσκευών. Το πρωτόκολλο διακρίνει τρεις δυνατότητες ταχύτητας. Τη τυπική λειτουργία η οποία συμπεριλαμβάνει ταχύτητες έως τα 100kbit/s, τη γρήγορη λειτουργία επεκτείνοντας το εύρος στα 400kbit/s και την υψηλής ταχύτητας λειτουργίας αυξάνοντας το ρυθμό μετάδοσης στα 3.4Mbit/s. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο, συσκευές που λειτουργούν σε γρήγορη και υψηλή ταχύτητα μπορούν να συνεργαστούν με συσκευές χαμηλότερης ταχύτητας. Συνήθως ο μικροελεγκτής αναλαμβάνει το ρόλο της Master συσκευής, ενώ το ρόλο Slave οι περιφερειακές συσκευές. Σε συστήματα με πολλούς μικροελεγκτές είναι αναγκαίο να επιλεγεί η συμπεριφορά καθενός ξεχωριστά, με τη προϋπόθεση τουλάχιστον ένας να οριστεί ως Slave. Το βασικό πλεονέκτημα του διαύλου IIC αποτελεί η επεκτασιμότητα καθώς νέες συσκευές μπορούν απλώς να συνδεθούν στον διάυλο με μόνο περιορισμό στον αριθμό αυτών, η μέγιστη χωρητικότητα του διαύλου να μην υπερβεί τα 400pF. Πρακτικά αυτό σημαίνει τη δυνατότητα σύνδεσης σημαντικού αριθμού στον διάυλο. Απαραίτητη είναι η ύπαρξη IIC διεπαφής από όλες τις συσκευές.

Ο διάυλος IIC υποστηρίζει τη διευθυνσιοδότηση συσκευών με τη χρήση 7 ή 10 bit διευθύνσεων. Ο διάυλος IIC υποστηρίζει μονοτερματική τεχνολογία με αποτέλεσμα τα επίπεδα τάσεων των σημάτων να αναφέρονται προς μία κοινή γείωση. Το χαμηλό επίπεδο τάσης εισόδου το οποίο ανταποκρίνεται στο λογικό 0 βρίσκεται στο εύρος των  $-0.5$  έως  $0.3V_{dd}$  και το υψηλό επίπεδο τάσης εισόδου το οποίο ανταποκρίνεται στο λογικό 1, μεταξύ των  $0.7V_{dd}$  έως  $V_{dd}+0.5V$ .



### 3.4.2 Χαρακτηριστικά και δυνατότητες μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές ακολουθούν διαφορετική αρχιτεκτονική σχεδιασμού και προσφέρουν διαφορετικές δυνατότητες και χαρακτηριστικά ώστε να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες διαφορετικών εφαρμογών (Ibrahim, D., 2002· Mitescu, M., Susnea, I., 2005· Arnold, K., 2004· Gridling, G., Weiss, B., 2006).

#### Τάση τροφοδοσίας

Οι περισσότεροι μικροελεγκτές λειτουργούν συνήθως με τη τυπική τάση τροφοδοσίας των +5V ενώ όσο το ποσοστό ολοκλήρωσης των κυκλωμάτων αυξάνεται και τα μεγέθη μειώνονται οι πιο σύγχρονοι μικροελεγκτές πλέον λειτουργούν στη τάση των +3.3V.

#### Κύκλωμα επιτήρησης λειτουργίας (Watchdog)

Οι περισσότεροι μικροελεγκτές εμπεριέχουν ένα κύκλωμα επιτήρησης της λειτουργίας τους. Πρόκειται για 8-bits χρονιστές οι οποίοι βασίζονται σε ανεξάρτητους ταλαντωτές. Συνήθως ανανεώνονται από το λογισμικό σε τακτά χρονικά διαστήματα και επαναρχικοποιούν το σύστημα αν αυτό παρουσιάσει σημάδια δυσλειτουργίας, ενώ χρησιμοποιούνται σε συστήματα πραγματικού χρόνου.

#### Είσοδος επαναφοράς (Reset input)

Πρόκειται για μία είσοδο η οποία όταν ενεργοποιείται επαναφέρει τον μικροεπεξεργαστή σε μία γνωστή κατάσταση. Η ενεργοποίηση της εισόδου μπορεί να ενεργοποιηθεί είτε εκούσια από τον χειριστή είτε τη στιγμή που εφαρμόζεται τάση στον μικροεπεξεργαστή για την έναρξη της λειτουργίας του (Power – on Reset), ώστε να εκκινήσει από μία γνωστή κατάσταση (αρχικοποίηση). Κάποιοι μικροελεγκτές περιέχουν ενσωματωμένα κυκλώματα αρχικοποίησης ενώ σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται εξωτερικά στοιχεία.

#### Κύκλωμα επιτήρησης τάσης τροφοδοσίας (Brown – out Detector)

Αποτελούν κοινά κυκλώματα στους μικροελεγκτές και αρχικοποιούν τους μικροελεγκτές σε περίπτωση που η τάση τροφοδοσίας πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο. Με αυτή τη λογική αποτρέπεται η απρόβλεπτη λειτουργία τους



σε χαμηλότερα επίπεδα τάσεων του κανονικού, ενώ ταυτόχρονα προστατεύονται οι μνήμες τύπου EEPROM.

### **Υποσύστημα προγραμματισμού (In-circuit programming)**

Επιτρέπει σε έναν μικροελεγκτή να προγραμματιστεί χωρίς να χρειαστεί να μετακινηθεί το ολοκληρωμένο κύκλωμα από το χώρο στον οποίο βρίσκεται

### **Ελεγκτές οθόνης υγρών κρυστάλλων (LCD drivers)**

Επιτρέπουν τον έλεγχο των συγκεκριμένων οθονών και την απευθείας σύνδεση τους με αυτούς.

### **Ρολόι πραγματικού χρόνου (Real time clock)**

Οι μικροελεγκτές που ενσωματώνουν ρολόι πραγματικού χρόνου έχουν τη δυνατότητα της τήρησης ημερομηνίας και ώρα, ενώ για την ακριβή τους απόδοση χρειάζεται εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.

### **Κατάσταση αναστολής λειτουργίας (Sleep mode)**

Κάποιοι μικροελεγκτές παρέχουν αυτή τη δυνατότητα όπου μεταβαίνουν σε μία κατάσταση αρκετά χαμηλής κατανάλωσης ισχύος, ενώ ο ταλαντωτής σταματά τη λειτουργία του, και επανέρχονται είτε με κάποιο εξωτερικό ερέθισμα είτε μέσω του κυκλώματος παρακολούθησης λειτουργίας.

### **Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας**

Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο ιδιαίτερα σε συστήματα όπου η τροφοδοσία του παρέχεται από φορητές πηγές. Οι μικροελεγκτές καταναλώνουν χαμηλότερα ποσά ενέργειας όσο μικρότερη είναι η τάση λειτουργίας τους ενώ μπορεί να μειωθεί περισσότερο ρυθμίζοντας τη λειτουργία του σε ένα χαμηλόσυχο ρυθμό του ρολογιού και χρησιμοποιώντας λογικές πύλες χαμηλής ισχύος.



### **Βύθιση έντασης ρεύματος (Current sink/ source capability)**

Χρειάζεται πάντα να λαμβάνεται υπόψη το ποσό του ρεύματος που πρόκειται να ζητηθεί από τη σύνδεση κάποιας εξωτερικής συσκευής καθώς οι έξοδοι των μικροελεγκτών έχουν τη δυνατότητα παροχής ρεύματος έντασης μόλις κάποιων mA. Κατά συνέπεια σε περιπτώσεις που χρειάζεται να εξυπηρετηθούν μεγαλύτερα φορτία απαιτείται η χρήση εξωτερικών ελεγκτών των φορτίων .

### **3.4.3 Λογισμικό μικροελεγκτών (ή προγραμματισμός)**

Ένας μικροελεγκτής όπως προαναφέρθηκε αποτελείται από ένα σύνολο ολοκληρωμένων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ενσωματωμένα σε μία συσκευή η οποία όμως από μόνη της δεν παρουσιάζει στοιχεία ευφυΐας. Για την ενσωμάτωση ευφυΐας σε ένα σύστημα χρειάζεται να αναπτυχθεί κατάλληλο λογισμικό για την εκάστοτε εφαρμογή το οποίο θα ενσωματωθεί στον μικροελεγκτή αποδίδοντας κατ' αυτό τον τρόπο μία αλληλουχία οδηγιών προς εκτέλεση. Για την επίτευξη των παραπάνω θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα λογισμικό το οποίο θα αποθηκευτεί στη μνήμη του μικροελεγκτή από την οποία η κεντρική μονάδα επεξεργασίας θα ανακτά δεδομένα θα τα επεξεργάζεται και θα εκτελεί τις αντίστοιχες εντολές.

Οι απαιτήσεις όσον αφορά το λογισμικό ενός μικροελεγκτή μπορούν να συνοψιστούν ως εξής (Ibrahim, D., 2006):

- Ικανότητα (ή δυνατότητα) ανάγνωσης δεδομένων από τις θύρες εισόδου του μικροελεγκτή.
- Ικανότητα αποστολής δεδομένων στις θύρες εξόδου.
- Ικανότητα εσωτερικής μεταφοράς δεδομένων και εκτέλεσης μαθηματικών πράξεων.
- Ύπαρξη λειτουργίας διακοπών για τον χρονισμό του αλγορίθμου ελεγκτή.

Ο αλγόριθμος του μικροελεγκτή υλοποιείται ως ένα λογισμικό το οποίο εκτελείται συνεχώς σε έναν βρόχο (loop) ο οποίος εκτελείται στην αρχή κάθε χρόνου δειγματοληψίας.



Κατά την εκτέλεση του βρόχου ελέγχεται η επιθυμητή τιμή αναφοράς και πραγματική τιμή της εξόδου διεργασίας. Κατόπιν υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο τιμών σχηματίζοντας ως αποτέλεσμα το σήμα σφάλματος. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ο αλγόριθμος ελέγχου και υπολογίζεται η έξοδος του ελεγκτή για τη συγκεκριμένη δειματοληψία. Τότε παράγεται ένα σήμα ελέγχου στην έξοδο του μικροελεγκτή το οποίο μπορεί να τροφοδοτήσει είτε άμεσα, είτε μέσω απαραίτητων μετατροπών έναν ενεργοποιητή ο οποίος με τη σειρά του αποδίδει την απαιτούμενη ενέργεια στη διεργασία ώστε το σύστημα να οδηγηθεί στις επιθυμητές τιμές.

Υποθέτοντας ότι τα σήματα εισόδου και εξόδου είναι ψηφιακά, η λειτουργία του αλγορίθμου του ελεγκτή μπορεί να συνοψιστεί ως μία ακολουθία απλών βημάτων.

### **Βρόχος αέναης επανάληψης**

Κατά τη στιγμή της έναρξης δειματοληψίας στιγμιαία

- Ανάγνωση επιθυμητής τιμής
- Ανάγνωση πραγματικής τιμής διεργασίας
- Υπολογισμός σφάλματος
- Υπολογισμός σήματος εξόδου
- Αποστολή σήματος εξόδου στην έξοδο
- Αναμονή μέχρι την επόμενη δειματοληψία

Τέλος



Αντίστοιχα όταν πρόκειται για αναλογικά σήματα,

Κατά τη στιγμή της έναρξης δειγματοληψίας στιγμιαία

- Ανάγνωση επιθυμητής τιμής από τον μετατροπέα αναλογικού/ ψηφιακού σήματος.
- Ανάγνωση πραγματικής τιμής διεργασίας
- Υπολογισμός σφάλματος
- Υπολογισμός σήματος εξόδου
- Αποστολή σήματος εξόδου στον μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικού σήματος.
- Αναμονή μέχρι την επόμενη δειγματοληψία

Τέλος

Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά των παραπάνω αλγορίθμων είναι η συνεχόμενη εκτέλεση τους από τη στιγμή που ξεκινήσουν μέχρι να διακοπούν από κάποιο γεγονός ή από χειροκίνητη διακοπή. Είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί η συνεχόμενη εκτέλεση του βρόχου σε συγκεκριμένους χρόνους. Η λογική αυτή αποκαλείται συγχρονισμός και μπορεί να επιτευχθεί στη πράξη με συγκεκριμένες τεχνικές προγραμματισμού.

### **Τεχνική τακτικής σάρωσης (Polling)**

Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη τεχνική ο ελεγκτής αναμένει μέχρι την δημιουργία κάποιου γεγονότος και μόνο τότε εκτελεί τις απαιτούμενες ενέργειες, ενώ σαρώνει συνεχώς τα σήματα εισόδου. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές άμεσου ψηφιακού ελέγχου (DDC).



### **Τεχνική εξωτερικών διακοπών (External Interrupts for Timing)**

Σύμφωνα με αυτή τη τεχνική ο συγχρονισμός του μικροελεγκτή πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας διακοπές που σκανδαλίζονται από εξωτερικούς παράγοντες. Ο αλγόριθμος αναπτύσσεται ως μία ρουτίνα υπηρεσίας διακοπής (ISR) η οποία σχετίζεται με την εξωτερική διακοπή. Ο σκανδαλισμός της εξωτερική διακοπής τυπικά συμβαίνει από ένα ρολόι χρονισμού με περίοδο λειτουργίας ισότιμη με την δειγματοληψία. Ο μικροελεγκτής εκτελεί την υπηρεσία διακοπής σε κάθε στιγμιαία δειγματοληψία. Με την ολοκλήρωση της ρουτίνας υπηρεσίας διακοπής ο αλγόριθμος επανέρχεται στη βασική ροή του βρόχου και αναμένει την εκτέλεση της επόμενης διακοπής είτε μπορεί να εκτελέσει άλλες λειτουργίες μέχρι την επόμενη διακοπή.

Στην παραπάνω λογική στηρίζεται η τεχνική εσωτερικών διακοπών με τη χρήση χρονιστών οι οποίοι ενσωματώνονται στον μικροελεγκτή και προγραμματίζονται κατάλληλα.

Αντίστοιχη με τη τεχνική εξωτερικών διακοπών είναι η λύση χρήσης εξωτερικού ρολογιού όπου ο αλγόριθμος συγχρονίζεται βάσει των παλμών του.

### **Τεχνική Ballast Coding**

Σύμφωνα με αυτή τη τεχνική ο χρονισμός του βρόχου προγραμματίζεται να είναι ανεξάρτητος από κάθε εξωτερικά ή εσωτερικά σήματα και περιλαμβάνει την εύρεση του χρόνου εκτέλεσης κάθε εντολής μέσα στο βρόχο, προστίθοντας εικονικό κώδικα ώστε ο χρόνος εκτέλεσης να ισοδυναμεί με τη συχνότητα δειγματοληψίας





#### 3.4.4 Γλώσσες προγραμματισμού

Κάθε μικροελεγκτής περιέχει μία ενσωματωμένη λίστα οδηγιών (instruction set) σε κατανοητή μορφή από τη κεντρική μονάδα επεξεργασίας, οι οποίες χρειάζεται να συντεθούν σε κατάλληλη σειρά ώστε να εκτελεστούν από αυτή. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ανάπτυξης κατάλληλου κώδικα από τον προγραμματιστή. Κάθε μικροελεγκτής περιέχει ξεχωριστή δική του λίστα εντολών. Τα παραπάνω συνιστούν ένα δυαδικό κώδικα αποτελούμενο από μία σειρά δυαδικών ψηφίων ο οποίος είναι αναγνωρίσιμος από τον μικροεπεξεργαστή και γνωστός ως κώδικας μηχανής (Machine Code).

Ο προγραμματισμός σε γλώσσα μηχανής αποτελεί μία δύσχρηστη και χρονοβόρα διαδικασία από τον προγραμματιστή. Λόγω των παραπάνω δυσκολιών αναπτύχθηκε η συμβολική γλώσσα προγραμματισμού Assembly η οποία είναι προσανατολισμένη προς τον άνθρωπο. Αποτελεί μία γλώσσα χαμηλού επιπέδου βάσει της οποίας αντικαθίστανται τα δυαδικά ψηφία με σύμβολα περισσότερο προσιτά στον προγραμματιστή. Το λογισμικό το οποίο έχει αναπτυχθεί με συμβολική γλώσσα χρειάζεται να μεταφραστεί σε γλώσσα μηχανής προκειμένου να εκτελεστεί από τον μικροεπεξεργαστή. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω ειδικού λογισμικού το οποίο ονομάζεται συμβολομεταφραστής (assembler). Η ανάπτυξη λογισμικού σε γλώσσα assembly προϋποθέτει την άριστη γνώση της αρχιτεκτονικής κάθε μικροεπεξεργαστή ενώ παράλληλα εξοικονομεί πόρους της μονάδας.

Η συμβολική γλώσσα διευκολύνει την ανάπτυξη προγραμμάτων αλλά οι εντολές της εξακολουθούν να είναι σε άμεση αντιστοιχία με αυτές της γλώσσας μηχανής με αποτέλεσμα ο προγραμματισμός να αποτελεί μία επίπονη διαδικασία η οποία εκτελείται κυρίως από εξειδικευμένους προγραμματιστές, ενώ επίσης δεν παρουσιάζει στοιχεία φορητότητας καθώς κάθε πρόγραμμα σε αυτή τη γλώσσα απευθύνεται αποκλειστικά στον μικροεπεξεργαστή για τον οποίο γράφτηκε.



Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων χρησιμοποιούνται γλώσσες υψηλού επιπέδου οι οποίες χρησιμοποιούν συνδυασμούς απλών αγγλικών λέξεων συνιστώντας μία εύχρηστη λύση για τον προγραμματιστή, ενώ παράλληλα δεν εξαρτώνται από κάποια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική μικροεπεξεργαστή. Για τη μετάφραση ενός κώδικα που έχει αναπτυχθεί σε γλώσσα υψηλού επιπέδου σε γλώσσα χαμηλού επίπεδου, χρησιμοποιείται εξειδικευμένο λογισμικό το οποίο ονομάζεται μεταγλωττιστής (Compiler). Ο μεταγλωττιστής συνήθως παράγει κώδικα ο οποίος είναι σε μορφή Assembly τον οποίο κατόπιν αναλαμβάνει να μεταφράσει ένας συμβολομεταφραστής σε γλώσσα μηχανής. Η περισσότερο διαδεδομένη γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου των μικροελεγκτών αποτελεί η γλώσσα C και C++, όπως και κάποιες παραλλαγές τους.



#### 4. Σχεδιασμός και υλοποίηση συστήματος παρακολούθησης και απομακρυσμένου ελέγχου θερμοκρασίας μέσω ασύρματου δικτύου.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που έχουν αναφερθεί έως τώρα ο σχεδιασμός και η ενσωμάτωση Μηχανικών συστημάτων στη Ναυτική Τεχνολογία παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα και δύναται να επιφέρει σημαντικά κέρδη σε οικονομικό και τεχνολογικό επίπεδο. Στο παρόν κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί η μελέτη, ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός σύγχρονου Μηχανικού συστήματος το οποίο θα παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης και απομακρυσμένου ελέγχου της μεταβλητής της θερμοκρασίας, προσανατολισμένου στη Ναυτική Τεχνολογία.

##### 4.1 Έλεγχος θερμοκρασίας στη Ναυτική Τεχνολογία σήμερα

Όπως προαναφέρθηκε στο πρώτο και δεύτερο κεφάλαιο στη Ναυτική Τεχνολογία για τη παρακολούθηση και έλεγχο των διεργασιών ακολουθείται η αρχιτεκτονική του αποκεντρωμένου και κατανεμημένου ελέγχου. Σύμφωνα με αυτή κατανεμημένοι ψηφιακοί επί το πλείστον ελεγκτές δημιουργούν κλειστούς βρόχους ελέγχου σε συνεργασία με αισθητήρες και ενεργοποιητές, ενώ η παρακολούθηση του συστήματος από τους χειριστές πραγματοποιείται τοπικά ή/και στους κεντρικούς σταθμούς ελέγχου. Η ίδια φιλοσοφία συστημάτων ακολουθείται και για τον έλεγχο και επίβλεψη της θερμοκρασίας.

Τα βασικότερα σημεία στα οποία χρειάζεται ο έλεγχος και η επίβλεψη της θερμοκρασίας σε ένα πλοίο είναι τα εξής (Taylor, A., D., 2003· McGeorge, D., H., 2002· Woodyard, D., 2009) :

- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας κυλίνδρων Κύριας Μηχανής πρόωσης
- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας κυλίνδρων μηχανών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας εμβόλων κύριας μηχανής
- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας εγχυτήρων καυσίμου Κύριας μηχανής
- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας κυκλώματος λίπανσης
- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας του αέρα των υπερσυμπιεστών
- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας του αέρα σάρωσης
- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας του καυσίμου προς κατανάλωση
- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας από τις μηχανές



- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας νερού των χώρων ενδιαίτησης
- Σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας του φορτίου.

Σε γενικές γραμμές σε ένα τυπικό σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας σε ένα πλοίο, ο έλεγχος επιτυγχάνεται μέσω ψηφιακών ελεγκτών τριών όρων (PID). Οι συγκεκριμένοι ελεγκτές λαμβάνουν το σήμα ανάδρασης από αισθητήρες θερμοκρασίας και δίνουν τις απαραίτητες εντολές στους ενεργοποιητές. Οι ενεργοποιητές αφορούν ελεγχόμενες αναλογικές βαλβίδες οι οποίες ελέγχουν τη ροή ενός ρευστού μέσου. Το ρευστό μέσο μπορεί να αφορά νερό (γλυκό ή θαλασσινό) ή έλαιο σε κυκλώματα ψύξης, είτε ατμό σε κυκλώματα θέρμανσης. Στη περίπτωση των κυκλωμάτων ψύξης η ελεγχόμενη αναλογική βαλβίδα ρυθμίζει τη ροή του ρευστού προς τη διεργασία, το οποίο ψύχεται μέσω εναλλακτών θερμότητας στο δευτερεύον κύκλωμα των οποίου ρέει θαλασσινό νερό. Το θαλασσινό νερό έχει πάντα χαμηλότερη θερμοκρασία από το ρευστό το οποίο απορροφά θερμότητα από τη διεργασία. Στη περίπτωση των κυκλωμάτων θέρμανσης, η αναλογική βαλβίδα ρυθμίζει τη ροή του ατμού ο οποίος ρέει στο δευτερεύον κύκλωμα ενός εναλλάκτη, ενώ στο πρωτεύον του κύκλωμα περνά το ρευστό το οποίο και προσδίδει θερμότητα στη διεργασία.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η τεχνολογία των βασικών στοιχείων των συστημάτων όπως αυτά αναφέρθηκαν παραπάνω.

## **Ψηφιακός ελεγκτής τριών όρων (PID)**

Ο ψηφιακός ελεγκτής τριών όρων χρησιμοποιεί τρεις όρους ελέγχου, εκμεταλλευόμενος την αναλογική, την ολοκληρωτική και τη διαφορική δράση. Η αναλογική δράση έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση του χρόνου ανύψωσης και τη μείωση του μόνιμου σφάλματος, όχι όμως την εξάλειψη του. Η ολοκληρωτική δράση εξαλείφει το μόνιμο σφάλμα αποσταθεροποιώντας όμως τη μεταβατική απόκριση την οποία βελτιώνει η διαφορική δράση ενώ παράλληλα μειώνει την υπερύψωση αυξάνοντας έτσι τη σταθερότητα του συστήματος.

Ο Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός έλεγχος χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία λόγω της απλότητας που παρουσιάζει, εφόσον δεν είναι αναγκαία η μοντελοποίηση της διεργασίας παρά μόνο η εγκατάσταση του και η ρύθμιση των τριών όρων για την βέλτιστη απολαβή απόδοσης του συστήματος.



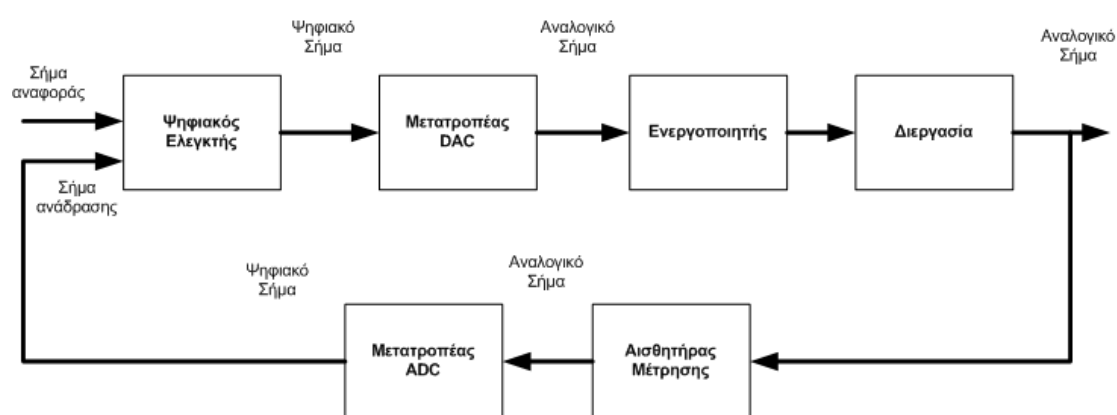
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ & ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.**

Τμήματα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών & Μηχ. Αυτοματισμού ΤΕ

---



Οι περισσότεροι PID ελεγκτές σήμερα συναντώνται σε ψηφιακή μορφή. Ο ψηφιακός PID ελεγκτής επικοινωνεί απ' ευθείας με τη διεργασία και λαμβάνει τα δεδομένα μετρήσεων από τους αισθητήρες μέσω μετατροπέων αναλογικού σε ψηφιακού σήματος. Κατόπιν υπολογίζει τις ελεγχόμενες μεταβλητές και αποστέλλει τις εντολές ελέγχου στην έξοδο του οι οποίες αφού μετατραπούν σε αναλογικά σήματα με τη χρήση μετατροπέων ψηφιακού σε αναλογικού σήματος, στους ενεργοποιητές (Dorf, C., R., Bishop, H., R., 2017).



Σχ. 4.1: Σύστημα κλειστού βρόχου με ψηφιακό ελεγκτή

Η φυσική υπόσταση του ψηφιακού PID ελεγκτή σε ένα πλοίο συναντάται είτε ως διακριτή μονάδα είτε ενσωματωμένος στις κατανεμημένες μονάδες ελέγχου. Στη πρώτη περίπτωση ο ελεγκτής αφορά ένα αυτόνομο στοιχείο ελέγχου όπου ο χειρισμός του και αντίστοιχα η παρακολούθηση του πραγματοποιείται τοπικά ενώ σε κάποιες περιπτώσεις δύναται να διασυνδεθεί ενσύρματα σε κάποιο σύστημα εποπτείας από όπου μπορεί να πραγματοποιείται ο χειρισμός του (set point) ή/και η παρακολούθηση του. Στη δεύτερη περίπτωση ο ελεγκτής αφορά ένα από τα στοιχεία ελέγχου τα οποία είναι ενσωματωμένα σε αυτή και αποτελούν μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος μέσω του οποίου μπορεί να δίνεται ή όχι, η δυνατότητα άσκησης ελέγχου και παρακολούθησης από τους σταθμούς ελέγχου.



## Αισθητήρες θερμοκρασίας

Οι αισθητήρες που συναντώνται στη ναυτική τεχνολογία σήμερα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Τους ανιχνευτές θερμοκρασίας με αντίσταση (RTD) και στα θερμοζεύγη (Thermocouple) (Καλοβρέκτης, Κ., Κατέβας, Ν.. 2014).

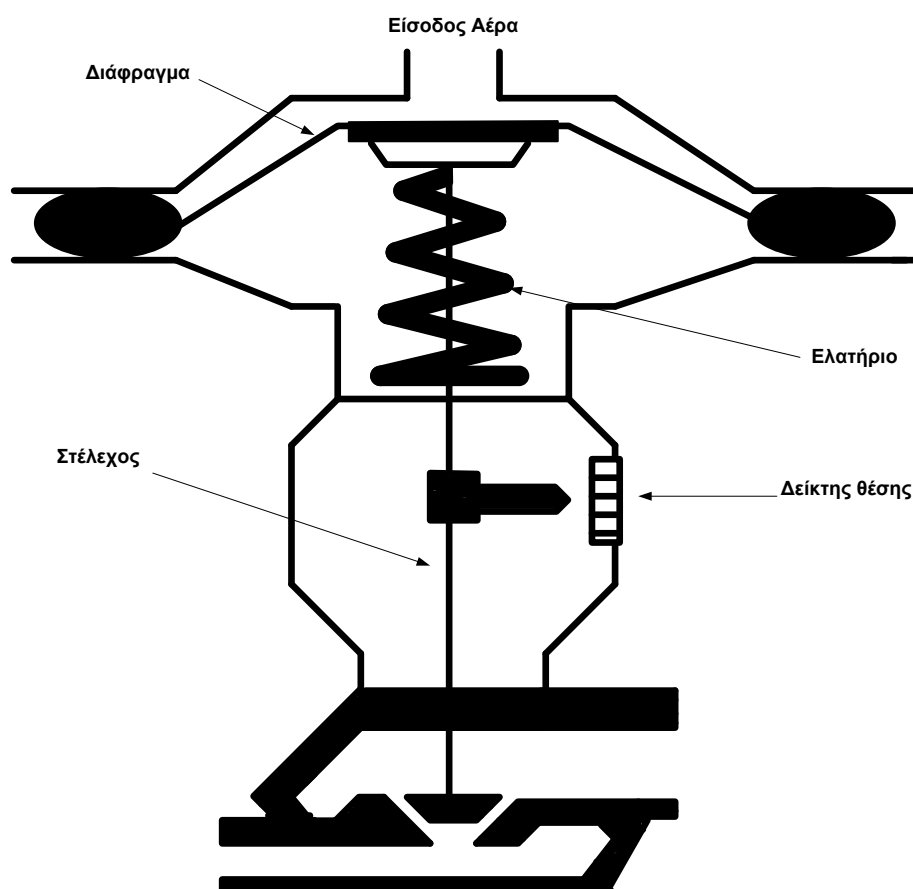
Οι ανιχνευτές θερμοκρασίας με αντίσταση στηρίζονται στο φαινόμενο κατά το οποίο η ηλεκτρική αντίσταση των μετάλλων μεταβάλλεται με γνωστό και προβλέψιμο τρόπο σε αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας τους. Συγκεκριμένα κατά την αύξηση της θερμοκρασίας η αντίσταση του μετάλλου αυξάνεται και αντιστρόφως παρουσιάζοντας καλή γραμμικότητα στην απόκριση τους. Καλύτερη επιλογή μετάλλου αποτελεί η πλατίνα με αποτέλεσμα οι συνηθέστεροι τύποι RTD ανιχνευτών να είναι ο PT100 και ο PT1000, όπου τα δύο πρώτα γράμματα φανερώνουν το υλικό (πλατίνα) του στοιχείου ανίχνευσης και ο αριθμός, την αντίσταση σε Ohm που παρουσιάζουν στους 0<sup>0</sup> C. Για να πραγματοποιηθούν μετρήσεις θερμοκρασίας με τους συγκεκριμένους αισθητήρες χρειάζεται να συνδεθούν σε διάταξη γέφυρας Wheatstone ενώ μεταδότες αναλαμβάνουν τη μετατροπή και αποστολή του σήματος στους ελεγκτές συνήθως βάσει του πρωτοκόλλου 4-20mA.

Τα θερμοζεύγη στηρίζονται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο όταν ένα μέταλλο όπου τα δύο άκρα του βρίσκονται σε διαφορετικά θερμικά περιβάλλοντα, θερμανθεί, τότε αναπτύσσεται μία μικρή διαφορά δυναμικού. Για την αξιοποίηση του φαινομένου, σε ένα άκρο συνδέονται δύο διαφορετικά μέταλλα, όπου λόγω της συσσώρευσης ηλεκτρικών φορτίων διαφορετικής πυκνότητας δημιουργείται μία διαφορά δυναμικού ικανή να μετρηθεί. Για την εφαρμογή μετρήσεων θερμοκρασίας με θερμοζεύγη απαιτείται η ανάπτυξη συγκεκριμένων συνθηκών για τη δημιουργία μίας τιμής αναφοράς θερμοκρασίας η οποία επιτυγχάνεται είτε με φυσικά είτε με ηλεκτρονικά μέσα. Επίσης χρησιμοποιούνται ενισχυτές σήματος και μεταδότες για τη μετατροπή και αποστολής του σήματος στους ελεγκτές.

## Αναλογικές βαλβίδες

Στα πλοία για την απόδοση της απαιτούμενη ενέργειας στο σύστημα όσο αφορά τον έλεγχο θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται κυρίως βάνες. Οι βάνες αποτελούν ένα είδος ενεργοποιητή ο οποίος παρέχει έλεγχο της ροής ρευστών μέσω σε δίκτυα σωλήνων. Αναφορικά με τον τρόπο ενεργοποίησής τους, διακρίνονται σε πνευματικές (Pneumatic valve), ηλεκτροβάνες πηνίου (Solenoid valve), ηλεκτροβάνες (electrical motor valve) και σε υδραυλικές (Hydraulic valve) με τις δύο πρώτες να συναντώνται περισσότερο (Καλοβρέκτης, Κ., Κατέβας, Ν.. 2014· Taylor, A., D., 2003· McGeorge, D., H., 2002).

Μία πνευματική βάνα λειτουργεί σε συνδυασμό με τη πίεση αέρα ο οποίος βρίσκεται στο θάλαμο της και της αντίθετης δύναμης που ασκεί το ελατήριο αυτής. όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.

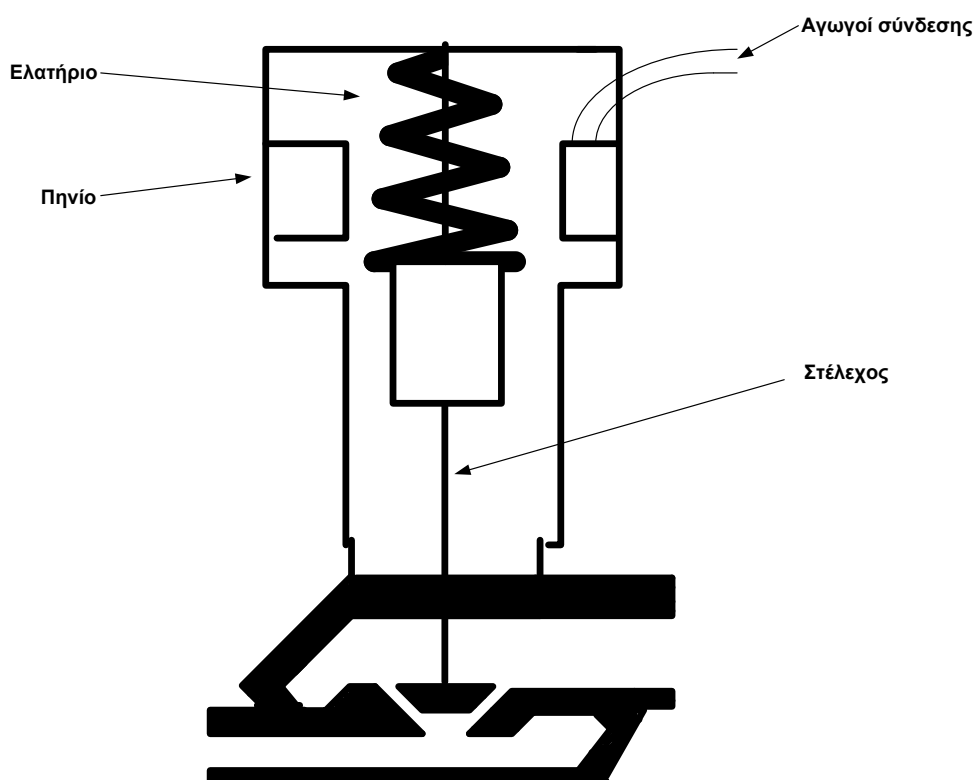


Σχ. 4.2: Αναλογική πνευματική βάνα



Όταν ασκείται πίεση στο άνω μέρος του θαλάμου τότε το διάφραγμα υποχωρεί παρασύροντας μαζί του το στέλεχος και συμπιέζοντας ταυτόχρονα το ελατήριο. Με αυτό τον τρόπο η θέση της βάνας ελέγχεται από τη πίεση του αέρα με αποτέλεσμα, ρυθμίζοντας αναλόγως τη πίεση, η βάνα να βρίσκεται σε συγκριμένη θέση παρέχοντας αναλογική μεταβολή του ανοίγματος της. Οι πνευματικές βάνες αποτελούν αξιόπιστες λύσεις και χρησιμοποιούνται σε συστήματα όπου απαιτείται ακριβής και γρήγορος έλεγχος.

Αντιθέτως μία ηλεκτροβάνα πηνίου παρέχει μόνο δύο καταστάσεις θέσεως (ανοιχτή – κλειστή) και αναλογική μεταβολή αυτής. Ο χειρισμός της πραγματοποιείται μέσω ενός πηνίου του οποίου ο πυρήνας είναι συνδεδεμένο στο στέλεχος της (σχ. 5).



Σχ. 4.3: Ηλεκτροβάνα πηνίου



Κατά τη διέγερση του πηνίου ο πυρήνας του έλκεται μαζί με το στέλεχος με αποτέλεσμα το άνοιγμα της βάνας. Όταν το πηνίο αποδιεγείρεται το ελατήριο στο εσωτερικό της βάνας παρασέρνει προς την αντίθετη κατεύθυνση τα στέλεχος με αποτέλεσμα το κλείσιμο της βάνας.

### Πρωτόκολλο 4-20mA

Στη θεωρία σημάτων και ελέγχου για τον έλεγχο ή παρακολούθηση μίας συσκευής μέσω δύο αγωγών χρησιμοποιείται ένας βρόχος ρεύματος, όπου σε κάθε δεδομένη στιγμή μπορεί να εφαρμοστεί μόνο ένα επίπεδο έντασης. Μία σημαντική εφαρμογή των βρόχων ρεύματος αποτελεί το βιομηχανικό πρότυπο 4-20mA (Καλοβρέκτης, Κ., Κατέβας, Ν., 2014) το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για τη μεταφορά σημάτων είτε στις εισόδους, είτε στις εξόδους του ελεγκτή. Οι δύο τιμές 4 και 20 mA αναπαριστούν το 0-100 του εύρους μέτρησης η ελέγχου. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το συγκεκριμένο πρότυπο είναι τα εξής:

- Η εύκολη μετατροπή της έντασης σε τάση μέσω μίας αντίστασης.
- Η τροφοδότηση συσκευών μέσω του βρόχου, ακόμα και όταν το σήμα αναπαριστά το 0% του εύρους.
- Η μεγάλη ανοχή στον θόρυβο καθώς χρησιμοποιούνται συνεστραμμένα ζεύγη αγωγών.
- Η εύκολη παρακολούθηση σφαλμάτων καθώς μία τιμή έντασης κάτω των 3.8 mA ή άνω των 20.05mA χρησιμοποιούνται για την ένδειξη σφάλματος.
- Η λειτουργία του βρόχου σε μεγάλες αποστάσεις σε σχέση με τα σήματα τάσης.

Για την ανάπτυξη του βρόχου είναι απαραίτητη μία πηγή τροφοδοσίας αυτού ενώ για την ανάγνωση ή παραγωγή του συγκεκριμένου σήματος απαιτούνται οι κατάλληλες διεπαφές και μετατροπείς.

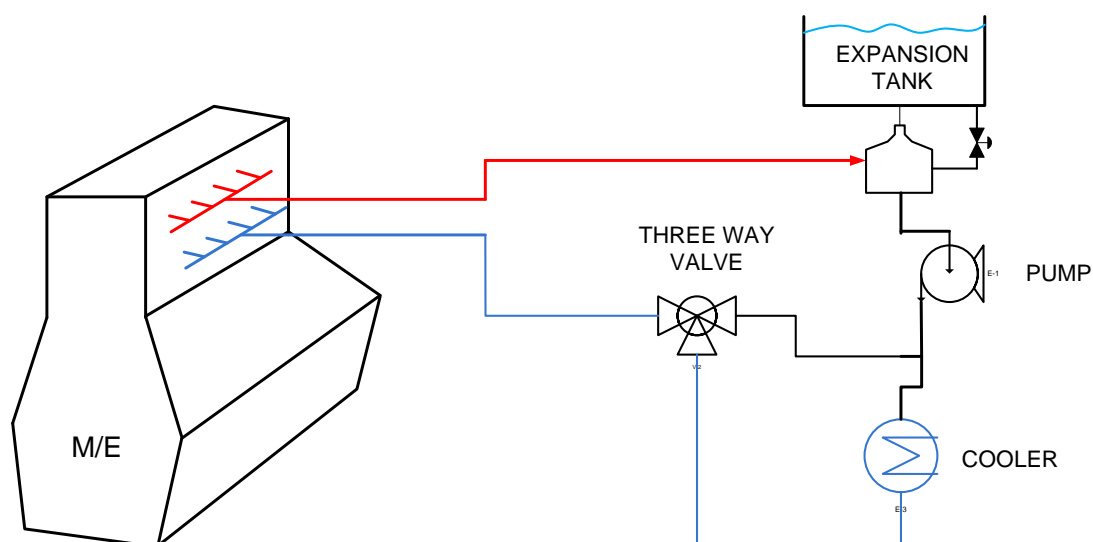
## 4.2 Απαιτήσεις του συστήματος μας

### Αρχικό σχέδιο

Στη παρούσα εργασία θα επιχειρήσουμε να αναπτύξουμε ένα σύστημα το οποίο θα ελέγχει το κύκλωμα ψύξης των κυλίνδρων της κύριας μηχανής πρόωσης. Το συγκεκριμένο σύστημα επιλέχθηκε καθώς παρουσιάζει το μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας λόγω του ότι συνδυάζει τον αναλογικό έλεγχο τρίωδης βαλβίδας με τη χρήση ελεγκτή τριών όρων. Ο ελεγκτής θα πρέπει να αναπτυχθεί σε κώδικα ο οποίος θα εκτελείτε από τον μικροελεγκτή ενώ ταυτόχρονα πρέπει να βρεθεί λύση παραγωγής αναλογικού σήματος εξόδου για την οδήγηση της αναλογικής τρίωδης βάννας. Κατ' επέκταση ο σχεδιασμός συστημάτων οι οποίοι θα ελέγχουν τη διεργασία μέσω ψηφιακών εξόδων και χωρίς της χρήση PID ελεγκτή θα είναι απλούστερος και θα αναπτυχθεί ήδη εν μέρει στη παρούσα εργασία για τον έλεγχο δευτερευόντων στοιχείων.

### Επιθυμητά χαρακτηριστικά

Τα βασικά στοιχεία ενός τυπικού συστήματος ψύξης των κυλίνδρων της κύριας μηχανής πρόωσης (2-χρόνων / χαμηλόστροφη) παρουσιάζεται στο σχήμα 6.



Σχ. 4.4: Σύστημα Ψύξης κυλίνδρων κυρίας μηχανής



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ & ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.**

Τμήματα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών & Μηχ. Αυτοματισμού ΤΕ

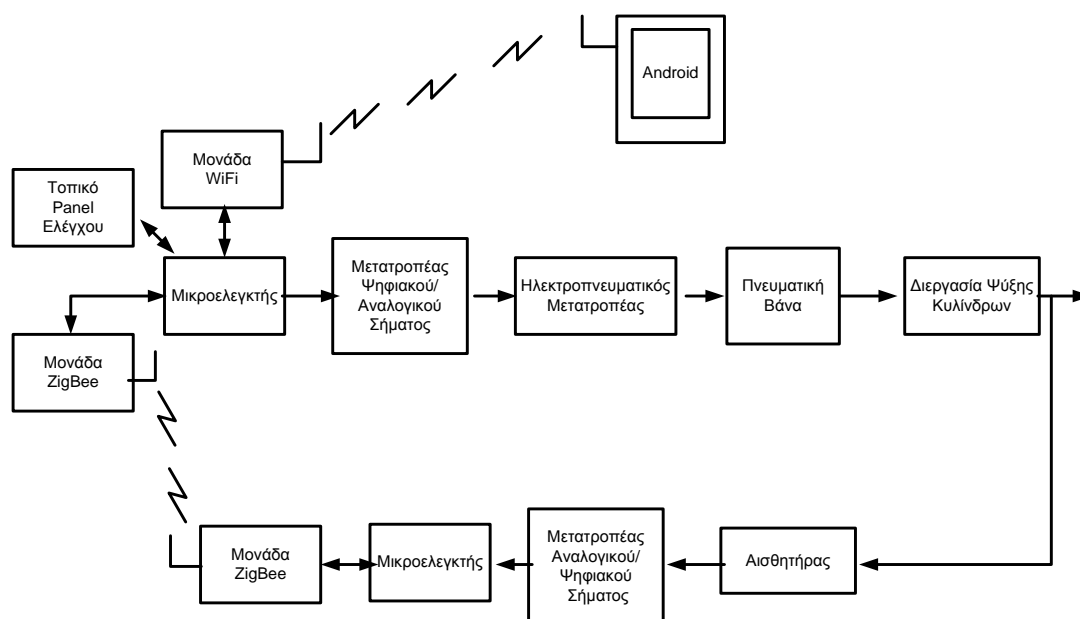
---





Στο σύστημα διακρίνεται η αντλία κυκλοφορίας του ρευστού μέσα από τα χιτώνια των κυλίνδρων από όπου και απάγει θερμότητα από αυτούς. Η θερμοκρασία του ρευστού και κατ' επέκταση των κυλίνδρων ελέγχεται από τη τρίοδη βάννα η οποία επιτρέπει είτε την επανακυκλοφορία του ρευστού εφόσον δεν χρειάζεται ψύξη είτε τη διέλευση μίας ποσότητας ρευστού το οποίο έχει προηγουμένως ψυχθεί από τον εναλλάκτη θερμότητας. Η θερμοκρασία του ρευστού είναι απαραίτητο να παραμένει σταθερή σε μία θερμοκρασία συνήθως στο εύρος των 78-82<sup>0</sup> C καθώς σε περίπτωση που επιτραπεί η είσοδος αρκετά ψυχρού ρευστού τότε θα προκληθούν προβλήματα θερμικού σοκ στα στοιχεία της μηχανής με αποτέλεσμα την αποτυχία λειτουργίας αυτών ενώ ταυτόχρονα θα δημιουργηθούν συμπυκνώματα νερού και οξέων στις οπές των κυλίνδρων προκαλώντας διαβρώσεις και καταστροφή του λιπαντικού φιλμ. Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας βρίσκεται στην έξοδο του κυκλώματος ψύξης από τη μηχανή ο οποίος αποστέλλει τα δεδομένα θερμοκρασίας του ρευστού στον ελεγκτή PID που αναλαμβάνει και τη ρύθμιση θέσης της βάννας.

Βασιζόμενοι στα παραπάνω θα αναπτύξουμε το σύστημα μας (Σχ.7). Συγκεκριμένα στο πυρήνα του συστήματος θα επιλεγθεί ένας μικροελεγκτής ο οποίος θα αναλάβει τη λειτουργία του ελεγκτή PID. Για τη πληροφορία ανάδρασης θα επιλεγθεί ένας αισθητήρας ο οποίος θα μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις του συστήματος ενώ ταυτόχρονα θα δίνει τη δυνατότητα επεκτασιμότητας του συστήματος. Επίσης θα διερευνηθεί η περίπτωση ασύρματης σύνδεσης του με τον μικροελεγκτή μέσω δικτύου τεχνολογίας ZigBee.



**Σχ. 4.5:** Σχεδιασμός επιθυμητού συστήματος

Για την οδήγηση της βάνας χρειάζεται να σχεδιαστεί ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο θα μετατρέπει την έξοδο του μικροελεγκτή σε κατάλληλης μορφής αναλογική ώστε να επιτευχθεί η συνεργασία του με τους συνήθεις εμπορικούς τύπους. Το σύστημα θα πρέπει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται η αυτόματη όπως και η χειροκίνητη λειτουργία. Στην αυτόματη λειτουργία θα επιτρέπεται από τον χειριστή η ρύθμιση του επιθυμητού επιπέδου θερμοκρασίας (set point) μέσω δύο κομβίων όπως και η ρύθμιση του επιπέδου θερμοκρασίας σήμανσης συναγερμού (Alarm set point) συναγερμού μέσω ποτενσιόμετρου ώστε να αποφεύγεται ο ακούσιος χειρισμός του σε περίπτωση που ξεπεραστεί αυτό το επίπεδο. Στη χειροκίνητη λειτουργία θα επιτρέπεται στον χειριστή η ρύθμιση της βάνας σε κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο μέσω δύο κομβίων, ενώ και σε αυτή τη περίπτωση θα υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης σήμανσης. Συναγερμός θα πρέπει να σημαίνει σε κάθε περίπτωση όπου η θερμοκρασία διεργασίας ξεπερνά ένα συγκεκριμένο όριο, ενώ θα πρέπει να έχει τόσο οπτική όσο και ακουστική σήμανση. Σε περίπτωση σήμανσης ο χειριστής θα έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί αναγνώριση του όπου μέσω κομβίου θα διακόπτεται η ηχητική σήμανση.



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ & ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.**

Τμήματα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών & Μηχ. Αυτοματισμού ΤΕ

---





Η παρακολούθηση όπως και ο έλεγχος του συστήματος θα πρέπει να πραγματοποιείται τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και απομακρυσμένα. Συγκεκριμένα θα πρέπει να είναι δυνατό να πραγματοποιούνται οι παραπάνω χειρισμοί όπως και η παρακολούθηση της θερμοκρασίας της διεργασίας, η επιθυμητή θερμοκρασία, το ποσοστό ανοίγματος της βαλβίδας, όπως και πληροφορίες για συμβάντα σφαλμάτων ταυτόχρονα τόσο σε τοπικό πάνελ ενδείξεων και χειρισμών μέσω οθόνης και ενδεικτικών λυχνιών όσο και μέσω κινητής συσκευής με λειτουργικό android. Η ασύρματη επικοινωνία μικροελεγκτή και κινητής συσκευής θα πρέπει να πραγματοποιείται μέσω δικτύου WiFi ώστε να μπορεί να εξυπηρετηθεί από το τοπικό δίκτυο του πλοίου.

Για την επίτευξη των παραπάνω θα πρέπει να αναπτυχθεί λογισμικό για τον μικροελεγκτή μέσω του οποίου θα εκτελείται ο αλγόριθμος του ελέγχου τριών όρων, όπως και οι αλγόριθμοι που αφορούν τους παραπάνω χειρισμούς και πληροφόρηση.

## **Επικοινωνία ZigBee**

Το πρωτόκολλο ZigBee (Eady, F., 2007· Eady, F., 2004· Labiod, H., Afifi, H., Santis, C., 2007), βασίζεται στις απαιτήσεις των προδιαγραφών του τεχνικού προτύπου IEEE 802.15.4. Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα και από τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα το οποίο βρίσκει εφαρμογή στη δημιουργία Ασύρματων Δικτύων Προσωπικού Χώρου (Wireless Personal Area Networks), τα οποία και χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων. Η τεχνολογία ZigBee προσανατολίζεται κυρίως στη δημιουργία δικτύων αισθητήρων, μέσω χαμηλού κόστους και κατανάλωσης ψηφιακών πομποδεκτών. Η μετάδοση σήματος πραγματοποιείται στη ISM (Industrial Scientific and Medical) ζώνη συχνοτήτων με δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων ταχύτητας της τάξεως των 20Kbps έως 250Kbps, ενώ η απόσταση εκπομπής και λήψης μπορεί να φτάνει έως και τα 1500m. Οι συσκευές ZigBee λειτουργούν σε συχνότητας μπάντας 2.4GHz με διαθέσιμα 16 κανάλια, ενώ υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας και σε άλλες συχνότητες. Κάθε κανάλι έχει εύρος 2MHz ενώ διαχωρίζονται φυσικά μεταξύ μέσω μίας κενής ζώνης 5 MHz με αποτέλεσμα να μην αλληλεπικαλύπτονται.





Στο σχεδιασμό δικτύων όπου συνυπάρχουν και άλλα δίκτυα WiFi συνιστάται η χρήση των καναλιών 15 και 16 τα οποία δεν αλληλεπικαλύπτονται από τα κανάλια που χρησιμοποιεί το δίκτυο WiFi ενώ είναι δυνατόν με προσεκτικό σχεδιασμό και των δύο δικτύων να εκμεταλλευτούν περισσότερα κανάλια (Chaloo, A., Oladeinde, A., Yilmazer, N., Ozcelik, S., Chaloo, L., 2012). Σε κάθε δίκτυο ZigBee είναι δυνατή η σύνδεση και συντονισμός εκατοντάδων συσκευών και κατ' επέκταση αισθητήρων. Αποτελεί μία ασφαλή λύση μετάδοσης δεδομένων καθώς τα δεδομένα κωδικοποιούνται βάσει του προτύπου AES (Advanced Encryption Standard), ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζει υψηλή απόδοση και αξιοπιστία λόγω της κάλυψης προδιαγραφών του προτύπου IEEE 802.15.4 όπου παρέχεται εξαιρετική απόδοση σε περιβάλλοντα χαμηλού λόγου σήματος/ θορύβου, ενώ με την ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως οι CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Aced Collision Avoidance), FCS (Frame Checksum) και άλλων που αφορούν την επαλήθευση της ορθής μετάδοσης δεδομένων. Στα δίκτυα ZigBee περιλαμβάνουν τρεις διαφορετικούς κόμβους. Τον κόμβο Συντονιστή (ZigBee Coordinator-ZC) ο οποίος αναλαμβάνει το βασικό ρόλο του συντονισμού του δικτύου, ενώ μπορεί να λειτουργήσει και ως γέφυρα μεταξύ άλλων δικτύων. Ο κόμβος Δρομολόγησης (ZigBee Router-ZR) ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει ως ενδιάμεσο στοιχείο για την επέκταση του δικτύου μεταφέροντας δεδομένα από άλλους κόμβους. Ο Τερματικός κόμβος (ZigBee End Device-ZED) ο οποίος συνδέεται με τους κόμβους δρομολόγησης, είτε το κόμβο συντονιστή για τη μετάδοση και λήψη δεδομένων. Ισχυρό πλεονέκτημα της τεχνολογίας ZigBee αποτελεί η ικανότητα δημιουργίας δικτύων διαφορετικής τοπολογίας οι οποίες επηρεάζουν τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών και της δρομολόγησης τους. Οι τρεις τοπολογίες που μπορούν να σχηματιστούν είναι, η τοπολογία Αστέρα (Star), η δενδροειδής (Tree) και η τοπολογία πλέγματος (Mesh).

Η τοπολογία αστέρα αποτελεί την απλούστερη μορφή δικτύου όπου όλοι οι τερματικοί κόμβοι συνδέονται με έναν κόμβο συντονιστή ο οποίος και συντονίζει την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Στη δενδροειδή τοπολογία το δίκτυο αποτελείται από έναν συντονιστή ο οποίος επικοινωνεί με τον τερματικό κόμβο μέσω ενός δρομολογητή. Αυτή η διάταξη μπορεί να επεκταθεί δημιουργώντας ένα δίκτυο δενδροειδούς μορφής.



Η τοπολογία πλέγματος είναι παρόμοια της δενδροειδούς τοπολογίας διαφέροντας όμως στη διάταξη των συσκευών καθώς ένας δρομολογητής μπορεί να επικοινωνήσει απευθείας με έναν άλλο δρομολογητή είτε τον συντονιστή. Έτσι μπορεί να δημιουργηθεί ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών διαδρομών μεταξύ των συσκευών, με τη πρωτοτυπία όμως της τεχνολογίας ZigBee όπου ακολουθείται η αποδοτικότερη διαδρομή συντελώντας στην ανάπτυξη ενός ευέλικτου δικτύου.

Για την ανάπτυξη δικτύων ZigBee προσφέρεται ένα πλήθος συσκευών οι οποίες διαθέτουν θύρες εισόδου/ εξόδου, μπορούν να λειτουργούν με τη προσθήκη μπαταρίας, ενώ μπορούν να βρίσκονται είτε σε μορφή κατάλληλη για άμεση σύνεση με άλλες συσκευές είτε να χρειάζεται ενσωμάτωση αυτών σε πλακέτες για περαιτέρω ανάπτυξη.

### **Επικοινωνία WiFi**

Σήμερα τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN) βασίζονται στο σύνολο πρότυπων IEEE 802.11 (Labioud, H., Afifi, H., Santis, C., 2007· Eady, F., 2004), συνιστώντας μία πρακτική και ενδιαφέρουσα λύση ανάπτυξης δικτύων τα οποία παρουσιάζουν κινητικότητα, ευελιξία και χαμηλό κόστος. Η τεχνολογία WiFi βασίζεται στο σύνολο προτύπων IEEE 802.11. Οι συμβατές συσκευές με τη τεχνολογία WiFi μπορούν να συνδεθούν στο Internet μέσω ενός WLAN δικτύου και ενός σημείου πρόσβασης (hotspot) το οποίο έχει εμβέλεια 20m σε εσωτερικούς χώρους ενώ αυξάνεται σε εξωτερικούς. Η τεχνολογία WiFi χρησιμοποιεί τη μάντα συχνοτήτων 2.4GHz με τη χρήση 13 ή και 14 καναλιών εκ των οποίων τα δύο ακραία από τα 5 κανάλια δεν επικαλύπτονται όπως και τη μάντα 5.8GHz με τη χρήση 23 μη αλληλεπικαλυπτόμενων καναλιών.

Η τεχνολογία WiFi επιτρέπει τη δημιουργία χαμηλού κόστους δικτύων καθώς οι τιμές των μονάδων φθίνουν συνεχώς. Πλέον με την ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι διαθέσιμες ενσωματωμένες συσκευές WiFi οι οποίες με τη χρήση λειτουργικού πραγματικού χρόνου παρέχουν ένα μέσο ασύρματης δικτύωσης κάθε συσκευής η οποία διαθέτει διεπαφή σειριακής επικοινωνίας. Αντίστοιχα πλέον διατίθενται και μικροελεγκτές με ενσωματωμένη μονάδα WiFi προσφέροντας τη δυνατότητα ανάπτυξης ενσωματωμένων συστημάτων σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα με μειωμένο μέγεθος και κόστος.



### Λογισμικό Android

Το ανοιχτό λογισμικό Android αποτελεί ένα λειτουργικό σύστημα το οποίο έχει αναπτυχθεί από τη Google και απευθύνεται πρωτίστως σε κινητές συσκευές με οθόνη επαφής. Η διεπαφή που προσφέρει βασίζεται στην άμεσο χειρισμό (direct manipulation) των στοιχείων με τη χρήση αγγιγμάτων στην οθόνη επαφής, ενώ παρέχεται και η δυνατότητα χρήσης εικονικού πληκτρολογίου. Η απόκριση του συστήματος προς τις κινήσεις του χρήστη είναι άμεσες, ενώ υπάρχει μία απτική ανάδραση προς αυτόν.

Το λειτουργικό σύστημα android επιτρέπει τη δημιουργία εφαρμογών βάσει των οποίων επεκτείνεται η λειτουργικότητα των συσκευών. Οι εφαρμογές μπορούν να αναπτυχθούν μέσω διαφορετικών περιβαλλόντων ανάπτυξης και μέσω αυτών μπορεί να επιτραπεί η εκμετάλλευση πόρων της συσκευής.

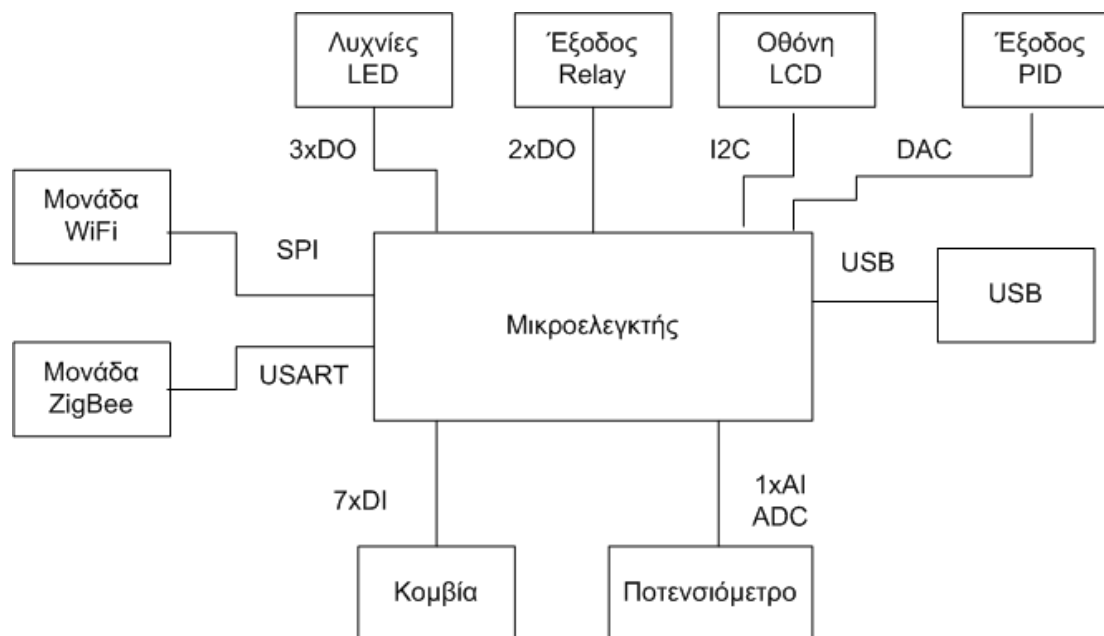
### 4.3 Επιλογή στοιχείων του συστήματος

#### Επιλογή Μικροελεγκτή και πλακέτας ανάπτυξης

Η επιλογή του μικροελεγκτή πραγματοποιήθηκε με γνώμονα τη κάλυψη συγκεκριμένων χαρακτηριστικών τα οποία απαιτούνται για την ανάπτυξη του συστήματος, όπως αυτά αναφέρονται παρακάτω:

- Τεχνολογία μικροελεγκτή
- Αριθμός Bits που μπορούν να επεξεργαστούν σε κάθε δεδομένη στιγμή.
- Τύπος και ποσότητα μνήμης
- Ενσωμάτωση διεπαφών σειριακής επικοινωνίας
- Αριθμός ψηφιακών/ αναλογικών εισόδων/ εξόδων
- Ενσωμάτωση μετατροπέων αναλογικού/ ψηφιακού και ψηφιακού/ αναλογικού σήματος

Αρχικά σχεδιάστηκε ένα block διάγραμμα (Σχ. 4.6) στο οποίο περιγράφονται οι διεπαφές επικοινωνίας με τις εξωτερικές συσκευές.



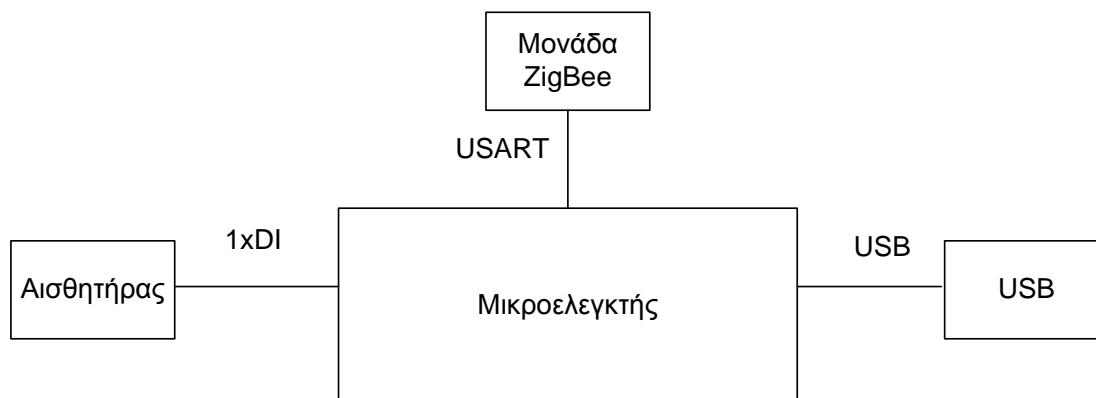
Σχ. 4.6: Διεπαφές επικοινωνίας συστήματος με εξωτερικές συσκευές

Σύμφωνα με το παραπάνω σχέδιο απαιτούνται τα εξής στοιχεία:

- 5 Ψηφιακές έξοδοι για τη σύνδεση τριών ενδεικτικών λυχνιών και δύο ηλεκτρονόμων,
- 7 ψηφιακές εισοδοι για τη σύνδεση κομβίων χειρισμού,
- 7 ψηφιακές εισοδοι για την εκτέλεση των ίδιων χειρισμών μέσω του εξυπηρετητή (Web Server) που θα αναπτυχθεί στο λογισμικό του μικροελεγκτή.
- 1 αναλογική είσοδος και κατ' επέκταση η χρήση ενός A/D μετατροπέα, για τη σύνδεση ποτενσιόμετρου,
- 1 διεπαφή I2C για τη σύνδεση της LCD οθόνης,
- Μία θύρα USB για τη σύνδεση του μικροελεγκτή με τον προσωπικό υπολογιστή,
- Μία διεπαφή σειριακής επικοινωνίας για τη σύνδεση του μικροελεγκτή με τη μονάδα ZigBee,

- Μία διεπαφή σειριακής επικοινωνίας για τη σύνδεση του μικροελεγκτή με τη μονάδα WiFi. Για τη συγκεκριμένη μονάδα εξετάστηκε η λύση της συνύπαρξης των δύο σε ένα Chip.

Αντίστοιχα για τη λειτουργία και διασύνδεση του αισθητήρα με τον επεξεργαστή σχεδιάστηκε το παρακάτω block διάγραμμα (Σχ. 4.7).



Σχ. 4.7: Μονάδα μέτρησης θερμοκρασίας

Σύμφωνα με το παραπάνω σχέδιο απαιτούνται τα εξής στοιχεία:

- 1 ψηφιακή είσοδος για τον αισθητήρα
- Μία θύρα USB για τη σύνδεση του μικροελεγκτή με τον προσωπικό υπολογιστή,
- Μία διεπαφή σειριακής επικοινωνίας για τη σύνδεση του μικροελεγκτή με τη μονάδα ZigBee.

Για την επιλογή του βασικού μικροεπεξεργαστή του συστήματος λήφθηκε υπόψη η δομή και οι απαιτήσεις του λογισμικού που αναπτύχθηκε. Λόγω της πολυπλοκότητας του και των απαιτούμενων υπολογισμών όπως και της πιθανής μελλοντικής επέκτασης ή τροποποίησης του συστήματος κρίθηκε αναγκαία η επιλογή ενός μικροεπεξεργαστή με δυνατότητα διαχείρισης 32 Bits, ενώ μία συχνότητα λειτουργίας του ρολογιού άνω των 16MHz κρίνεται επαρκής. Επίσης κρίθηκε αναγκαία η ύπαρξη μη πτητικής μνήμης μεγέθους άνω των 32Kb, όπως αντίστοιχα και η ύπαρξη πτητικής μνήμης άνω των 2 Kb.



Αντίστοιχα για την επιλογή του μικροεπεξεργαστή ο οποίος αντιστοιχεί στη μονάδα σύνδεσης του αισθητήρα οι απαιτήσεις είναι χαμηλότερου επιπέδου καθώς το λογισμικό θα εκτελεί μία βασική ρουτίνα βάσει της οποίας θα επικοινωνεί με τον αισθητήρα και θα αποστέλλει τα δεδομένα μέσω της μονάδας ZigBee. Κατά συνέπεια ένας μικροεπεξεργαστής με συχνότητα λειτουργίας 16MHz, δυνατότητα διαχείρισης 8 Bit, ποσότητα μη πτητικής μνήμης 32Kb και 2Kb πτητικής, κρίθηκε κατάλληλος για την εφαρμογή.

Για την ανάπτυξη του πρωτότυπου μοντέλου θεωρήθηκε ως καλύτερη λύση η χρήση μητρικής πλακέτας Arduino όπως και του λογισμικού που το συνοδεύει. Η πλακέτες arduino αποτελούν μία ανοικτού κώδικα λύση οι οποίες ενσωματώνουν διαφορετικών τεχνολογιών μικροελεγκτών όπως και περιφερειακών κυκλωμάτων καθιστώντας τη μία εύχρηστη πλακέτα για τη δημιουργία πρωτοτύπων. Η πλακέτα arduino υπερτερεί στη χρήση του πρωτοκόλλου USB για το προγραμματισμό του μικροελεγκτή χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση εξωτερικών συσκευών για αυτό το λόγο. Για το προγραμματισμό του ελεγκτή προσφέρεται ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) το οποίο είναι γραμμένο σε γλώσσα Java και χρησιμοποιείται η γλώσσα Wiring η οποία αποτελεί μία παραλλαγή της υψηλού επιπέδου γλώσσας C ενώ είναι διαθέσιμο ένα σύνολο βιβλιοθηκών. Το περιβάλλον IDE αποτελεί ένα εύχρηστο εργαλείο για την ανάπτυξη κώδικα το οποίο αναλαμβάνει και τη μεταγλώττιση του όπως και την αποθήκευση του στη μνήμη του μικροελεγκτή.

Για την ανάπτυξη του συστήματος μας επιλέχθηκε η πλακέτα arduino MKR1000 η οποία φιλοξενεί και στηρίζεται στο σύστημα ATSAMW25 SoC. Τα συγκεκριμένο σύστημα (Atmel ATSAMW25) συνθέτεται από τρία μέρη. Έναν μικροελεγκτή βασισμένο στη τεχνολογία Atmel SAM D21 ARM Cortex Mo+, τη μονάδα WINC15000 η οποία αποτελεί έναν ελεγκτή ασύρματου δικτύου WiFi βασισμένο στην ομάδα προτύπων IEEE 802.11 και τη μονάδα κρυπτογράφησης ECC508A. Ο μικροελεγκτής της μονάδας (Atmel Sam D21) προσφέρει 256KB ενσωματωμένης μη πτητικής μνήμης Flash και 32KB πτητικής μνήμης SRAM. Αντίστοιχα ανήκει στη κατηγορία των μικροελεγκτών 32bits και η συχνότητα λειτουργίας του βρίσκεται στα 48MHz.



Τα παραπάνω χαρακτηριστικά κρίνονται επαρκή για την αποθήκευση και διαχείριση του λογισμικού που πρόκειται να αναπτυχθεί. Ο ελεγκτής ασύρματου δικτύου (ATWINC 15X0), δύναται να λειτουργήσει σύμφωνα με το πρωτόκολλο 802.11b με ονομαστικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 11Mbps αποδίδοντας ισχύ σήματος  $17 \text{ dBm} \pm 1 \text{ dB}$ , με το πρωτόκολλο 802.11g με ονομαστικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 54Mbps αποδίδοντας ισχύ  $16 \text{ dBm} \pm 1 \text{ dB}$  @EVM-28dB και σύμφωνα με το πρωτόκολλο 802.11n με ονομαστικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 72Mbps αποδίδοντας ισχύ  $14 \text{ dBm} \pm 1 \text{ dB}$  @EVM-30dB. Η μονάδα κρυπτογράφησης και αυθεντικοποίησης (ATECC508A) εξασφαλίζει τη προστασία του συστήματος από προκείμενη παραποίηση ή κλωνοποίηση ενώ μπορεί να εκτελέσει ελέγχους ασφαλείας μεταξύ του συστήματος και όποιας άλλης συσκευής επιχειρήσει να συνδεθεί με αυτό απορρίπτοντας το αν δεν συμμορφώνεται με τα πρότυπα. Σύμφωνα με τα παραπάνω η πλακέτα MKR1000 βάσει των παραπάνω χαρακτηριστικών υπολογιστικής ισχύος και συνδεσιμότητας αποτελεί μία ευέλικτη ισχυρή και αξιόπιστη λύση για εφαρμογές που αφορούν την ασύρματη δικτύωση και το IoT, όπως και τον έλεγχο διεργασιών.

Η πλακέτα (MKR 1000) διαθέτει 22 ακροδέκτες οι οποίοι μπορούν να προγραμματιστούν και να χρησιμοποιηθούν ως ψηφιακές/ αναλογικές είσοδοι/ έξοδοι, ενώ μπορούν να διαχειριστούν εντάσεις ρεύματος έως και 7mA. Συγκεκριμένα 7 ακροδέκτες (A0-A6) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναλογικές είσοδοι με τη χρήση ενός μετατροπέα ADC 12bit, 20 καναλιών και ταχύτητα δειγματοληψίας 350ksps. Ο ένας εκ των 7 ακροδεκτών (A0) μπορεί να λειτουργήσει ως αναλογική έξοδος με τη χρήση ενός DAC 10bit, ενός καναλιού και ταχύτητα δειγματοληψίας 350ksps. 12 ακροδέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι σήματος ευρωπαϊκής διαμόρφωσης PWM (0-8,10,A3). 8 ακροδέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ψηφιακές έξοδοι (0-7).

Για τη δημιουργία σειριακών συνδέσεων με άλλες συσκευές η πλακέτα διαθέτει διεπαφές SPI μέσω των ακροδεκτών MOSI (8), SCK (9) και MISO (10), UART μέσω των ακροδεκτών RX (13) και TX (14) και δίαυλο επικοινωνίας I2C μέσω των ακροδεκτών SCL (12) και SDA (11).



Για τη λειτουργία της πλακέτας απαιτείται πηγή ισχύος συνεχής τάσης 3.3V ενώ μπορεί να δεχτεί και 5V καθώς διαθέτει ενσωματωμένο ρυθμιστή τάσης στους ακροδέκτες 5V, VIN και GND. Επίσης είναι δυνατή η λειτουργία της μέσω μπαταρίας τύπου LiPo καθώς διαθέτει ενσωματωμένο φορτιστή. Τέλος η πλακέτα μπορεί να λειτουργήσει απροβλημάτιστα σε μία θερμοκρασιακή περιοχή που αντιστοιχεί στους  $-40$  έως  $+85^{\circ}\text{C}$ .

### **Αισθητήρας θερμοκρασίας**

Για την μέτρηση του επιπέδου θερμοκρασίας στην έξοδο του συστήματος επιλέχθηκε ο ψηφιακός αισθητήρας DS18B20 (DS18B20 Datasheet) ο οποίος παρέχει μετρήσεις με δυνατότητα ανάλυσης 9 και 12bit. Ο αισθητήρας για την επικοινωνία με τον μικροελεγκτή εκμεταλλεύεται τη τεχνολογία διεπαφής 1-Wire βάσει της οποίας απαιτείται μόνο ένας αγωγός για τη σύνδεση και μεταφορά δεδομένων στον μικροελεγκτή. Κάθε αισθητήρας έχει έναν μοναδικό 64-bit σειριακό αριθμό επιτρέποντας τη σύνδεση πλήθους από αυτούς μέσω του ίδιου αγωγού.

Ο αισθητήρας διαθέτει ένα εύρος μετρήσεων  $-10^{\circ}\text{C}$  έως  $+125^{\circ}\text{C}$  με ακρίβεια μέτρησης  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  μεταξύ των  $-10^{\circ}\text{C}$  έως  $+85^{\circ}\text{C}$ . Η ανάλυση του αισθητήρα μπορεί να προγραμματιστεί είτε στα 9 είτε στα 12 Bits. Ο αισθητήρας παρέχει τη δυνατότητα τροφοδότησης του και μέσω της γραμμής δεδομένων, αποθηκεύοντας ενέργεια σε εσωτερικό πυκνωτή κατά τη διάρκεια που η γραμμή σήματος βρίσκεται σε λογικό 1 την οποία χρησιμοποιεί όταν αυτή μεταβαίνει σε λογικό 0 κοκ με αποτέλεσμα να είναι αναγκαίοι μόνο δύο αγωγοί κατά την εγκατάσταση του. Κατά τη σύνδεση του χρησιμοποιείται ένας αντιστάτης μεταξύ της γραμμής δεδομένων και της γραμμής τροφοδοσίας ώστε η πρώτη να βρίσκεται σε λογικό 1, μέχρι κάποια συσκευή να την οδηγήσει σε λογικό 0 και κατ' αυτό τον τρόπο να πραγματοποιείται μετάδοση δεδομένων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο συγκεκριμένος αισθητήρας επιλέχθηκε καθώς αποτελεί μία ευέλικτη συσκευή η οποία μπορεί να προσφέρει επεκτασιμότητα στο συνολικό σύστημα.





## Μονάδες ZigBee

Για τη δημιουργία δικτύου τοπολογίας MESH μέσω της τεχνολογίας ZigBee επιλέχθηκαν 2 μονάδες XBee XB24-Z7WIT-004 της εταιρείας DIGI (XBee S2C). Οι συγκεκριμένες μονάδες επιτρέπουν τη δημιουργία δικτύων MESH μέσω του ενσωματωμένου υλικολογισμικού KH XBee ZigBee mesh firmware. Για το προγραμματισμό τους διατίθεται δωρεάν το λογισμικό X-CTU από την ίδια εταιρεία μέσω του οποίου είναι δυνατή η διαμόρφωση των μονάδων. Οι συγκεκριμένες μονάδες επιτρέπουν τη μετάδοση δεδομένων με ταχύτητα έως τα 250 kbps, ενώ παρέχουν ισχύ εξόδου 2mW προσφέροντας εμβέλεια έως και 120m. Διαθέτουν 8 ακροδέκτες οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι/ έξοδοι εκ των οποίων οι 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναλογικές είσοδοι μέσω ADC μετατροπέα 10bit ενώ και οι 8 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ψηφιακές είσοδοι/έξοδοι. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα χρήσης των 2 εκ των 8 εισόδων/ εξόδων, ως έξοδοι ευρωπαϊκής διαμόρφωσης. Για τη λειτουργία της συσκευής απαιτούνται 3.3V.

## Οθόνη

Για τη πληροφόρηση του χειριστή σε τοπικό επίπεδο επιλέχθηκε ως λύση η χρήση οθόνης LCD τεσσάρων γραμμών και χωρητικότητας 20 χαρακτήρων σε κάθε γραμμή. Συγκεκριμένα προτιμήθηκε οθόνη με ενσωματωμένο κύκλωμα διεπαφής I2C η οποία επιτρέπει τη σύνδεση της με τον μικροελεγκτή μέσω 2 αγωγών ενώ σε διαφορετική περίπτωση θα απαιτούνταν 6 αγωγοί με αποτέλεσμα τη κατασπατάληση πόρων όσον αφορά τις εισόδους που θα δεσμεύονταν από αυτόν. Για τη τροφοδοσία της είναι απαραίτητη μία τάση 5V .



### Περιφερειακά υλικά

Εκτός των αναπτυξιακών πλακετών arduino χρησιμοποιήθηκαν και ηλεκτρονικά στοιχεία για την ανάπτυξη των απαραίτητων κυκλωμάτων όσον αφορά το τοπικό πάνελ χειρισμού και ελέγχου, τη σύνδεση του αισθητήρα στον μικροεπεξεργαστή και τη τροφοδοσία αυτών με τα κατάλληλα επίπεδα ηλεκτρικής τάσης όπως αυτά φαίνονται στον **πίνακα 1**.

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 1.</b>	
<b>Κατάλογος περιφερειακών υλικών</b>	
Είδος κυκλώματος	Ηλεκτρονικά στοιχεία
Κύκλωμα εισαγωγής επιθυμητού επιπέδου θερμοκρασίας (Set Point)	Διακόπτες πίεσης αυτόματης επαναφοράς ON – OFF
Κύκλωμα χειροκίνητου ελέγχου βάνας	Διακόπτες πίεσης αυτόματης επαναφοράς ON - OFF
Κύκλωμα εισαγωγής επιθυμητού επιπέδου θερμοκρασίας σήμανσης συναγερμού (Alarm Set Point)	Γραμμικό ποτενσιόμετρο 5Kohm
Κύκλωμα ενδείξεων λειτουργίας	LED 5 mm
Κύκλωμα επιλογής χειροκίνητου/ αυτόματου ελέγχου	Διακόπτης τριών θέσεων άμεσης εναλλαγής (ON-ON)
Κύκλωμα τροφοδοσίας	Ρυθμιστής τάσης σταθερής εξόδου 5V (3mA), 3V (3mA)
Κύκλωμα τροφοδοσίας	Τροφοδοτικό βιομηχανικού τύπου 230V AC / 12V DC 5 (mA)



### **Περιβάλλον διαμόρφωσης μονάδων ZigBee**

Για τη διαμόρφωση των μονάδων XBEE διατίθεται από την εταιρεία κατασκευής τους δωρεάν το λογισμικό X-CTU. Μέσω του λογισμικού είναι δυνατή η διαμόρφωση των μονάδων και ο ορισμός τους ως συντονιστές (Coordinator), δρομολογητές (Router) ή τερματικές συσκευές (End device). Αντίστοιχα πραγματοποιείται η διευθυνσιοδότηση των μονάδων, ενώ είναι δυνατή η αλλαγή και εισαγωγή ρυθμίσεων όσο αφορά τη διαμόρφωση του δικτύου.

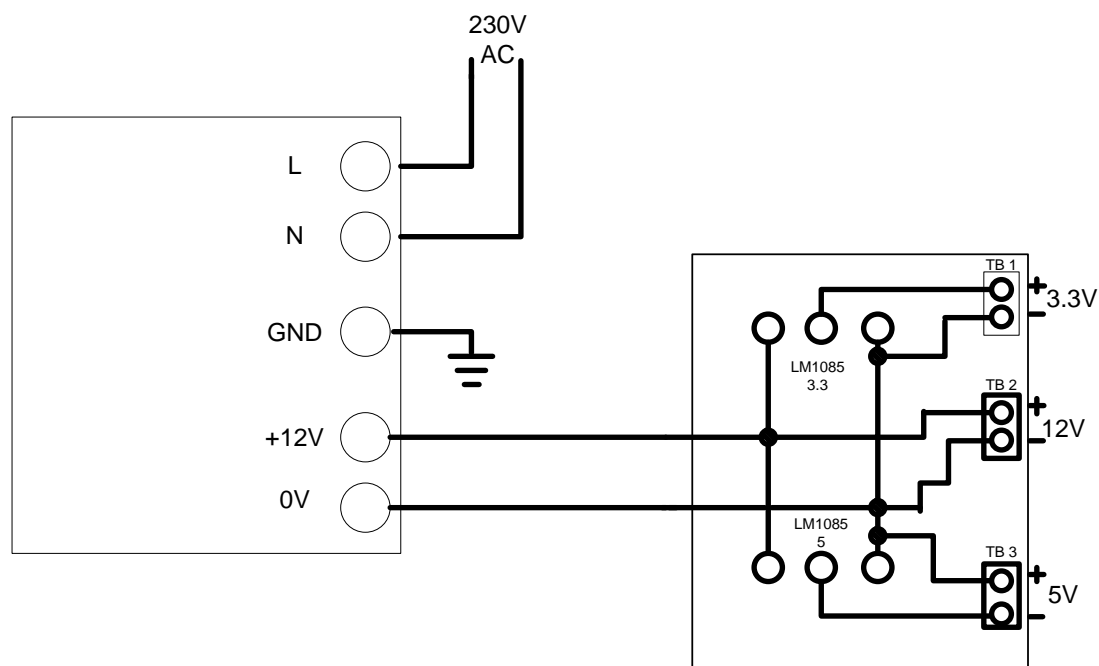
### **Περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού android**

Η εφαρμογή Android για τη κινητή συσκευή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του πλατφόρμας ανάπτυξης εφαρμογών MIT App Inventor. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα αποτελεί ένα εικονικό προγραμματιστικό περιβάλλον το ανοικτού κώδικα το οποίο αρχικά αναπτύχθηκε από τη Google ενώ στη συνέχεια έως και σήμερα συντηρείται από το MIT. Διαθέτει ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον ανάπτυξης μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει μία εφαρμογή τοποθετώντας λειτουργικά blocks σε συγκεκριμένες σειρές με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ρουτίνες εκτέλεσης οδηγιών. Ταυτόχρονα έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης των εφαρμογών μέσω εικονικής ή φυσικής κινητής συσκευής.

## 4.4 Σχεδιασμός και ανάπτυξη συστήματος

### Σχεδιασμός συστήματος τροφοδοσίας

Για τη κάλυψη τροφοδοσίας των συσκευών σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε σύστημα τροφοδοσίας (Σχ. 10) το οποίο στην είσοδο του δέχεται 230V και διαθέτει 3 εξόδους διαφορετικών επιπέδων τάσης 12V, 5V και 3.3V. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε τροφοδοτικό βιομηχανικού τύπου το οποίο μετασχηματίζει και μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση των 230V σε συνεχή τάση 12V (5A). Κατόπιν χρησιμοποιήθηκαν ρυθμιστές τάσης με δυνατότητα σταθερής εξόδου 5V (3mA) και 3.3V (3mA).



Σχ. 4.8: Σύστημα τροφοδοσίας μονάδων

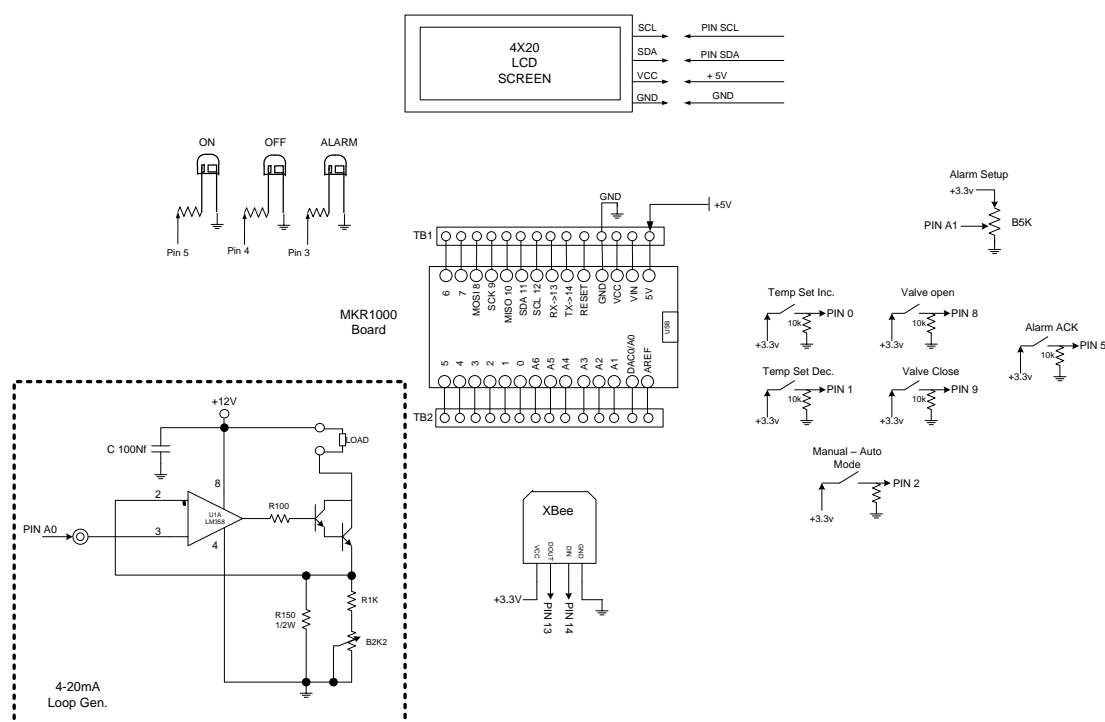


### Σχεδιασμός μονάδας ελέγχου

Για τον έλεγχο του συστήματος σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε μία μονάδα ελέγχου η οποία ενσωματώνει τα απαραίτητα στοιχεία για τη δυνατότητα χειρισμών και πληροφόρησης του χρήστη τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και απομακρυσμένα. Στη συγκεκριμένη μονάδα ενσωματώνονται η πλακέτα MKR1000, η μονάδα XBE, η οθόνη πληροφόρησης του χρήστη και οι ενδεικτικές λυχνίες, οι διακόπτες ελέγχου και τα κυκλώματα εξόδων του συστήματος, όπως αυτά παρουσιάζονται στο **Σχ. 4.9**.

Στη μονάδα ελέγχου ο χειριστής θα έχει τη δυνατότητα πληροφόρησης αλλά και ελέγχου του συστήματος σε τοπικό επίπεδο. Συγκεκριμένα μέσω της οθόνης θα παρέχονται πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο της επιθυμητής θερμοκρασίας την οποία θα είναι σε θέση να ρυθμίζει με τη χρήση δύο διακοπών όπου με κάθε στιγμιαία πίεση στο αντίστοιχο κομβίο θα αυξάνεται ή θα μειώνεται κατά μία μονάδα. Με αντίστοιχο τρόπο θα πληροφορείται και θα ελέγχει το επίπεδο ανοίγματος της βάνας. Επίσης μέσω της οθόνης θα πληροφορείται για το επίπεδο θερμοκρασίας όπου θα σημαίνει συναγερμός το οποίο θα μπορεί να ρυθμίσει μέσω ποτενσιόμετρου, ενώ σε περίπτωση σήμανσης θα παρουσιάζεται αντίστοιχο μήνυμα στην οθόνη. Εκτός του μηνύματος στην οθόνη έχει προβλεφτεί και φωτεινή ένδειξη μέσω φωτοδιόδου όπως και ηχητικής σήμανσης σειρήνας, την οποία θα μπορεί να απενεργοποιήσει με τη χρήση διακόπτη.

Στον μικροελεγκτή συνδέεται επίσης η μονάδα XBee η οποία είναι υπεύθυνη για την ασύρματη επικοινωνία με τη μονάδα του αισθητήρα, ενώ για την επίτευξη ασύρματης επικοινωνίας με τον χειριστή υπεύθυνη είναι η ενσωματωμένη μονάδα WINC15000.



Σχ. 4.9: Σύστημα μονάδας ελέγχου

Η μονάδα MKR 1000 τροφοδοτείται μέσω του συστήματος τροφοδοσίας με τάση 3.3V, ενώ μπορεί να προγραμματιστεί μέσω της θύρας USB που διαθέτει. Η οθόνη LCD τροφοδοτείται με τάση 5V και συνδέεται στη μονάδα MKR1000 μέσω του διαύλου σειριακής επικοινωνίας I2C και των ακροδεκτών SDA και SCL. Μονάδα XBee, τροφοδοτείται με τάση 3.3V και συνδέεται με τη πλακέτα arduino μέσω των ακροδεκτών Rx και Tx για την μεταξύ τους σειριακή επικοινωνία. Για τη εισαγωγή εντολών όσο αφορά τη ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας, το χειρισμό της βάνας και την αναγνώριση του συναγερμού έχουν τοποθετηθεί διακόπτες δύο θέσεων (On – Off) με αυτόματη επαναφορά. Στο ένα άκρο τους τροφοδοτούνται με τάση 3.3V ενώ στο άλλο έχει συνδεθεί αντιστάτης 10KOhm, ενώ ταυτόχρονα από το ίδιο άκρο συνδέονται στους αντίστοιχους ακροδέκτες της πλακέτας ώστε ο μικροελεγκτής να αναγνωρίζει τη κατάσταση της εισόδου του όταν βρίσκεται σε λογικό 0 μέσω της αντίσταση η οποία γειώνει την είσοδο και σε λογικό 1 όταν αυτή τροφοδοτείται με τάση 3.3V. Αντίστοιχα χειροκίνητος διακόπτης δύο θέσεων έχει τοποθετηθεί για την

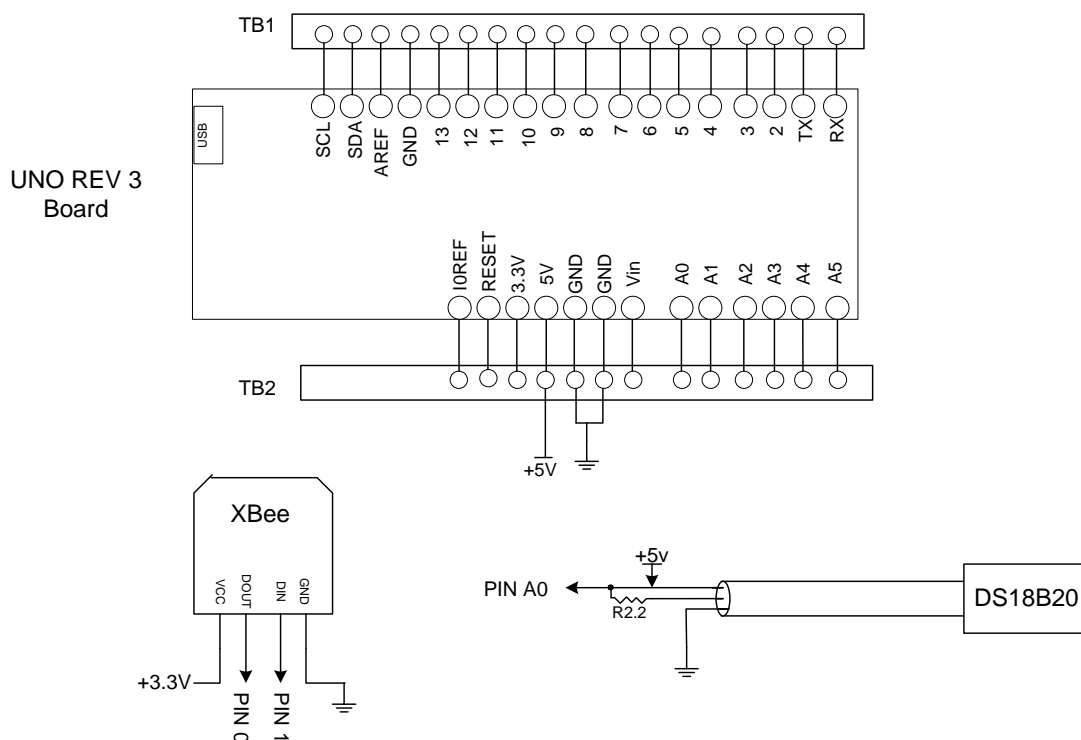


αναγνώριση της κατάστασης λειτουργίας σε αυτόματη όταν η είσοδος του βρίσκεται σε λογικό 0 ή χειροκίνητη όταν η είσοδος βρίσκεται σε λογικό 1.

Για τη ρύθμιση του επιθυμητού επιπέδου θερμοκρασίας σήμανσης συναγερμού έχει τοποθετηθεί ένα ποτενσιόμετρο ρυθμιζόμενης αντίστασης 0-5KOhm του οποίου τα δύο άκρα τροφοδοτούνται με τάση 3.3V, ενώ η μεσαία λήψη συνδέεται με τα αναλογική είσοδο μέσω της οποίας ο μικροελεγκτής μεταφράζει το επίπεδο τάσης που δέχεται και αντιστοίχως τροποποιεί τη τιμή. Για τον οπτικό έλεγχο της λειτουργίας της μονάδας όπως και της σήμανσης συναγερμού έχουν τοποθετηθεί τρεις φωτοдиодοι (LED) τα οποία τροφοδοτούνται μέσω αντίστασης 220Ohm με τάση 3.3V από τις εξόδους της πλακέτας. Τέλος για την οδήγηση του ηλεκτροπνευματικού μετατροπέα έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο εργάζεται ως μετατροπέας τάσης σε πηγή ρεύματος για το σχηματισμό βρόχου σύμφωνα με το πρωτόκολλο 420mA. Το κύκλωμα αποτελείται από τελεστικό ενισχυτή ο οποίος αναλόγως της τάσης εισόδου από τον μικροελεγκτή παράγει μία αντίστοιχη ενισχυμένη τάση εξόδου η οποία οδηγεί μία ενισχυτική διάταξη με transistor για τη μετατροπή του χαμηλού επιπέδου τάσης σε υψηλότερης ενώ με τη χρήση αντιστάσεων σχηματίζεται ένας βρόχος.

### **Σχεδιασμός μονάδας αισθητήρα**

Για την ανίχνευση της θερμοκρασίας του συστήματος όσο και για την αποστολή των δεδομένων στον μικροελεγκτή σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε μία μονάδα η οποία ενσωματώνει τη πλακέτα UNO R3, τη μονάδα XBEE και τα κυκλώματα εισόδου του αδιάβροχου αισθητήρα DS18B20, όπως παρουσιάζονται στο **ΣΧ. 4.10**.



**Σχ. 4.10:** Σύστημα μέτρησης θερμοκρασίας

Σε αυτό το σύστημα η πλακέτα UNO Rev3 τροφοδοτείται μέσω του συστήματος τροφοδοσίας με τάση 5V. Ο αισθητήρας διαθέτει τρία άκρα όπου το ένα αφορά τη γραμμή τροφοδοσίας, το άλλο τη γραμμή μετάδοσης δεδομένων και το τρίτο τη γραμμή γείωσης. Ο αισθητήρας τροφοδοτείται μέσω της γραμμής δεδομένων συνδέοντας μέσω αντίστασης 4.7KOhm τους αγωγούς τροφοδοσίας και δεδομένων μεταξύ τους. Ο κόμβος που προκύπτει συνδέεται με τη πλακέτα UNO σε μία ψηφιακή είσοδο και ο τρίτος αγωγός του αισθητήρα με τη γείωση.

Η μονάδα XBee συνδέεται με τους ακροδέκτες Rx και Tx της πλακέτας για την ανάπτυξη σειριακής επικοινωνίας με αυτή.





#### 4.5 Ανάπτυξη λογισμικού μικροελεγκτή

Για την εκτέλεση των απαραίτητων ενεργειών από τον μικροελεγκτή ώστε να είναι εφικτός ο έλεγχος του συστήματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις όπως αυτές έχουν τεθεί, αναπτύχθηκε κατάλληλος κώδικας με τη χρήση του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ανάπτυξης λογισμικού IDE το οποίο διατίθεται δωρεάν από την ιστοσελίδα της πλατφόρμας Arduino.

Ο κώδικας βασίζεται σε αλγόριθμο, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την υποστήριξη ενός Web διακομιστή, ο οποίος εξυπηρετεί την ασύρματη επικοινωνία ελεγκτή – χρήστη, την υποστήριξη σειριακής επικοινωνίας και σύμφωνα με τα δεδομένα που λαμβάνει την εκτέλεση υπολογισμών για τη πραγματοποίηση ελέγχου τριών όρων PID και την αντίστοιχη σήμανση, την αναγνώριση των εντολών από τον χειριστή (τοπικά ή ασύρματα) και την απόδοση των αντίστοιχων ενεργειών στο σύστημα, όπως και την οδήγηση της LCD οθόνης για τη τοπική πληροφόρηση του χειριστή.

Ο κώδικας παρουσιάζεται τμηματικά παρακάτω:

##### **Εισαγωγή Βιβλιοθηκών**

Το περιβάλλον του Arduino μπορεί να επεκταθεί με τη χρήση βιβλιοθηκών, όπως οι περισσότερες πλατφόρμες ανάπτυξης. Οι βιβλιοθήκες επεκτείνουν τη λειτουργικότητα και μπορούν να διαχειριστούν δεδομένα ή/και να συνεργαστούν με υλικό. Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης IDE παρέχει ενσωματωμένες κάποιες βιβλιοθήκες ενώ είναι δυνατή η λήψη ή η δημιουργία νέων.

Στην ανάπτυξη του κώδικα χρησιμοποιήθηκαν οι εξής 5 βιβλιοθήκες:

- Βιβλιοθήκη Wire.h. Επιτρέπει την επικοινωνία συσκευών μέσω του διαύλου I2C.
- Βιβλιοθήκη LiquidCrystal\_I2C.h Επιτρέπει τη λειτουργία οθόνης LCD μέσω επικοινωνίας I2C.
- Βιβλιοθήκη SPI.h. Επιτρέπει την επικοινωνία με συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν τον διάλο SPI.



- Βιβλιοθήκη WiFi101.h. Υλοποιεί ένα πρόγραμμα οδήγησης δικτύου για συσκευές οι οποίες βασίζονται στη μονάδα WINC1500.
- Βιβλιοθήκη PID\_v1.h. Επιτρέπει την εκτέλεση υπολογισμών για την επίτευξη ελέγχου τριών όρων PID μέσω του μικροελεγκτή.

---

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <WiFi101.h>
```

```
#include <PID_v1.h>
```

---

### Δήλωση διεύθυνσης οθόνης LCD

Ο ενσωματωμένος ελεγκτής διαύλου I2C στην οθόνη LCD προκειμένου να αποκτήσει ταυτότητα στον διάυλο έχει ενσωματωμένη μία διεύθυνση η οποία χρειάζεται να δηλωθεί στον κώδικα.

---

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
```

---

### Δήλωση μεταβλητών

Σε αυτό το σημείο δηλώνονται τα ονόματα και το είδος των μεταβλητών.

Δήλωση μεταβλητής που αφορά τα δεδομένα των μονάδων XBee.

---

```
byte incomingByte;
```

---



Δήλωση μεταβλητών που αφορούν την επιθυμητό επίπεδο, την είσοδο και την έξοδο του PID αλγορίθμου, όπως και τη δήλωση των τιμών που αφορούν τους συντελεστές  $K_p$ ,  $K_i$  και  $K_d$  του ίδιου.

---

```
double Setpoint, Input, Output;
```

```
double Kp=90, Ki=0.1, Kd=1;
```

```
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
```

---

Δήλωση στοιχείων δρομολογητή και τοπικού δικτύου.

---

```
char ssid[] = "*****";
```

```
char pass[] = "*****";
```

```
int keyIndex = 0;
```

```
int status = WL_IDLE_STATUS;
```

```
WiFiServer server(80);
```

---

Δήλωση μεταβλητών που αφορούν τη κατάσταση των φυσικών διακοπών για τη ρύθμιση του επιθυμητού επιπέδου θερμοκρασίας.

---

```
int Tcounter = 23;
```

```
int TstateUP = 0;
```

```
int TstateDOWN = 0
```

```
int TlastState = 0;
```

---



Δήλωση μεταβλητών που αφορούν τη κατάσταση των WEB διακοπών για τη ρύθμιση του επιθυμητού επιπέδου θερμοκρασίας.

---

```
const int buttonPinup = 0;

const int buttonPindown = 1;

int buttonStateup = 0;

int buttonStatedown = 0;

int lastButtonState = 0;
```

---

Δήλωση μεταβλητών που αφορούν τη κατάσταση του διακόπτη αναγνώρισης συναγερμού και ενδεικτικής λυχνίας αυτού.

---

```
const int acqbuttonpin=5;

int acqbuttonstate=0;

int stage_led = 0;    //

int LEDALARM = 3;
```

---

Δήλωση μεταβλητών που αφορούν τη κατάσταση του WEB διακόπτη αναγνώρισης συναγερμού.

---

```
int acqbuttonstateweb = 0;

int stage_ledweb = 0;
```

---



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ & ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.**

Τμήματα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών & Μηχ. Αυτοματισμού ΤΕ

---





Δήλωση μεταβλητής που αφορά τη κατάσταση λειτουργίας (αυτόματη – Χειροκίνητη).

---

```
const int modebuttonpin = 2;
```

---

Δήλωση μεταβλητών που αφορούν τη κατάσταση των φυσικών και WEB διακοπών ελέγχου της βάνας όπως και της ίδιας.

---

```
const int valveupbuttonpin = 8;
```

```
const int valvedownbuttonpin = 9;
```

```
int modebuttonstate = 0;
```

```
int valvebuttonstateup = 0;
```

```
int valvebuttonstatedown = 0;
```

```
int lastvalvebuttonstate = 0;
```

```
int valvecounter = 126;
```

```
int outputValue = 0;
```

```
int VstateUP=0;
```

```
int VstateDOWN=0;
```

---



Δήλωση μεταβλητών που αφορούν τη κατάσταση του ποτενσιόμετρου για τη ρύθμιση του επιπέδου θερμοκρασίας σήμανσης συναγερμού.

---

```
int setalarmpot;
```

```
int alarmset;
```

```
int alarmsetpoint;
```

---

### Συνάρτηση SetUp ( )

Σε αυτό το σημείο δηλώνονται εντολές οι οποίες θα εκτελεστούν μόνο μία φορά κατά την ενεργοποίηση της μονάδας και περιέχουν δεδομένα αρχικοποίησης μεταβλητών όπως και ο χαρακτηρισμός των εισόδων/ εξόδων.

Έναρξη σειριακής επικοινωνίας

---

```
Serial.begin(9600);
```

```
Serial1.begin(9600);
```

---



Αρχιλοποίηση και έναρξη λειτουργίας ελεγκτή δικτύου.

---

```
if (WiFi.status() == WL_NO_SHIELD) {  
  
  Serial.println("WiFi shield not present");  
  
  while (true);  
  
  }  
  
  while ( status != WL_CONNECTED) {  
  
    Serial.print("Attempting to connect to Network named: ");  
  
    Serial.println(ssid);  
  
    status = WiFi.begin(ssid, pass);  
  
    delay(5000);  
  
    }  
  
  server.begin();  
  
  printWiFiStatus();
```

---

Αρχιλοποίηση και έναρξη λειτουργίας οθόνης LCD.

---

```
lcd.begin(20,4);
```

---





Αρχικοποίηση και έναρξη λειτουργίας PID ελεγκτή.

---

```
myPID.SetMode(AUTOMATIC);
```

```
incomingByte = Serial1.read();
```

```
Setpoint = Tcounter;
```

---

Χαρακτηρισμός εισόδων/ εξόδων.

---

```
pinMode(buttonPinup, INPUT);
```

```
pinMode(buttonPindown, INPUT);
```

```
pinMode(acqbuttonpin, INPUT);
```

```
pinMode(LEDALARM, OUTPUT);
```

```
pinMode(6, OUTPUT);
```

```
pinMode(7, OUTPUT);
```

```
pinMode(modebuttonpin, INPUT);
```

```
pinMode(valveupbuttonpin, INPUT);
```

```
pinMode(valvedownbuttonpin, INPUT);
```

---



### Συνάρτηση void loop ( )

Σε αυτό το σημείο γράφεται το κυρίως πρόγραμμα. Οι εντολές οι οποίες θα δηλωθούν θα τρέχουν σε έναν αέναο βρόχο, για όσο διάστημα θα λειτουργεί ο μικροελεγκτής.

Εισαγωγή εντολών υποστήριξης και λειτουργίας WEB διακομιστή και δημιουργίας WEB διακοπτών για τη ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας και του επιπέδου ανοίγματος της βάνας, όπως και της δημιουργίας μηνυμάτων σχετικά με τα παραπάνω και τη σήμανση συναγερμού.

---

```
if (Serial1.available()) {
  incomingByte = Serial1.read();
}
else{
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("NO SIGNAL");
}
setalarmpot= analogRead (A1);
alarmset = map (setalarmpot, 0, 1023, 0, 120);
WiFiClient client = server.available();
if (client) {
  Serial.println("new client");
  String currentLine = "";
  while (client.connected()) {
    if (client.available()) {
      char c = client.read();
      Serial.write(c);
      if (c == '\n') {
        if (currentLine.length() == 0) {
          client.println("HTTP/1.1 200 OK");
          client.println("Content-type:text/html");
          client.println("Refresh: 5");
          client.println();
        }
      }
    }
  }
}
```

---



---

```
client.print("Click <a href=\"/UP\">here</a> to INCREASE Temperature <br>");
client.print("Click <a href=\"/DOWN\">here</a> to DICREASE
Temperature<br>");
client.print("Click <a href=\"/ACQ\">here</a> to ACQ ALARM<br>");
client.print("Click <a href=\"/VALVEUP\">here</a> to INCREASE Valve opening
<br>");

client.print("Click <a href=\"/VALVEDOWN\">here</a> to DICREASE Valve
opening<br>");
if (modebuttonstate==HIGH){
client.print("MANUAL MODE ");
client.print("<br />");
}
client.print("Tsp= ");
client.println(Tcounter);
client.print("<br />");
client.print("Tpv= ");
client.println(Input);
client.print("<br />");
client.print("output= ");
client.println(Output);
client.print("<br />");
client.print("Alarm Setpoint= ");
client.println(alarmset);
client.print("<br />");
client.print("Manual Output= ");
client.println(outputValue);
client.print("<br />");
if ( Input>=alarmset){
client.print("WARNING OVERHEATING"); }
client.print("<br />");
client.println();
```

---



---

```
break;
    }
else {
currentLine = "";
    }
}
else if (c != '\r') {
currentLine += c;
    }
if (currentLine.endsWith("GET /UP")) {
digitalWrite(6, HIGH);
TstateUP = digitalRead(6);
if (TstateUP == HIGH )
    {
Tcounter++;
if(Tcounter>90)
{Tcounter=90;}
    }
delay(100);
digitalWrite(6,LOW);
    }
if (currentLine.endsWith("GET /DOWN")) {
digitalWrite(7, HIGH);
TstateDOWN = digitalRead(7);

    if (TstateDOWN == HIGH )
    {
Tcounter--;
if(Tcounter<18)
{Tcounter=18;}
    }
delay(100);
```

---



---

```
digitalWrite(7,LOW);
    }
if (currentLine.endsWith("GET /ACQ")) {
digitalWrite(4, HIGH);
acqbuttonstateweb=digitalRead(4);
if (acqbuttonstateweb==HIGH && stage_ledweb == 0){
digitalWrite(3, LOW);
stage_ledweb=1;
delay (200);
    }
delay(100);
digitalWrite(4,LOW);
    }
if (currentLine.endsWith("GET /VALVEUP")) {
digitalWrite(A3, HIGH);
VstateUP = digitalRead(A3);
if (VstateUP == HIGH )
    {
valvecounter+=5;
if(valvecounter>254)
{valvecounter=255;}
    }
delay(100);
digitalWrite(A3,LOW);
    }
if (currentLine.endsWith("GET /VALVEDOWN")) {
digitalWrite(A4, HIGH);
VstateDOWN = digitalRead(A4);
if (VstateDOWN == HIGH )
    {
valvecounter-=5;
if(valvecounter<1)
```

---



---

```
{valvecounter=0;}  
  }  
delay(100);  
digitalWrite(A4,LOW);  
  }  
  }  
  }  
client.stop();  
Serial.println("client disconnected");  
}
```

---

Εισαγωγή εντολών για τον έλεγχο κατάστασης των φυσικών διακοπών ρύθμισης επιθυμητής θερμοκρασίας, επιπέδου ανοίγματος βάνας, αναγνώρισης συναγερμού, ρύθμισης επιπέδου θερμοκρασίας σήμανσης συναγερμού, κατάστασης αυτόματης ή χειροκίνητης λειτουργίας, όπως και ηχητικών και οπτικών μέσω της οθόνης και των φωτοδιόδων μηνυμάτων.

---

```
buttonStateup = digitalRead(buttonPinup);  
if (buttonStateup != lastButtonState) {  
  if (buttonStateup == HIGH) {  
    delay (200);  
    Tcounter++;  
  }  
}  
lastButtonState = buttonStateup;  
buttonStatedown = digitalRead(buttonPindown);  
if (buttonStatedown != lastButtonState) {  
  if (buttonStatedown == HIGH) {  
    delay (200);
```

---



---

```
Tcounter--;
    }
}
lastButtonState = buttonStatedown;
if(Tcounter > 100){
    Tcounter = 98;
    }
    delay (50);
    if(Tcounter < 18) {
    Tcounter = 18;
    }
    delay (50);
    Serial.println (Tcounter);
    delay(100);
    Setpoint = (int) Tcounter;
    Input = (byte)incomingByte;
    Serial.println (Input);
    delay(100);
    modebuttonstate = digitalRead(modebuttonpin);
    if (modebuttonstate == LOW) {
    myPID.Compute();
    analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);
    Serial.print ("output= ");
    Serial.println (Output);
    if (Input>=alarmset){
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("WARNING OVERHEATING");
    client.print("WARNING OVERHEATING");
    }
    else {
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("                ");
```

---



---

```
client.print("          ");
}
if ( Input>=alarmset && stage_led!=1 && stage_ledweb!=1) {
digitalWrite(LEDALARM, HIGH);
}
else {
digitalWrite(LEDALARM, LOW);
}
acqbuttonstate=digitalRead(acqbuttonpin);
if (acqbuttonstate==HIGH && stage_led == 0 ){
stage_led=1;
digitalWrite(LEDALARM, LOW);
delay (200);
}
if ( Input<alarmset){
stage_led=0;
stage_ledweb=0;
}
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Tsp= ");
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print(Tcounter);
lcd.setCursor(7,0);
lcd.print("  ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Tpv= ");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(Input);
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print("Asp= ");
lcd.setCursor(14,1);
lcd.print(alarmset);
```

---





---

```
if (alarmset<100){
  lcd.setCursor(16,1);
  lcd.print(" ");
  }
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("output=");
  lcd.setCursor(7,2);
  lcd.print(Output);
}
else {

  if (Input>=alarmset){
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("WARNING OVERHEATING");
    client.print("WARNING OVERHEATING");
  }

  else {
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("          ");
    client.print("          ");

  }
  if ( Input>=alarmset && stage_led!=1 && stage_ledweb!=1) {
  digitalWrite(LEDALARM, HIGH);
  }
  else {
  digitalWrite(LEDALARM, LOW);
  }
  acqbuttonstate=digitalRead(acqbuttonpin);
  if (acqbuttonstate==HIGH && stage_led == 0 ){
```

---



---

```
digitalWrite(LEDALARM, LOW);
delay (200);
stage_led=1;
    }
if ( Input<alarmset){
stage_led=0;
stage_ledweb=0;
    }
valvebuttonstateup=digitalRead(valveupbuttonpin);
if (valvebuttonstateup!=lastvalvebuttonstate){
if(valvebuttonstateup==HIGH){
delay(200);
valvecounter+=5;
    }
}
if (valvecounter > 254){
valvecounter=255;
    }
lastvalvebuttonstate=valvebuttonstateup;
valvebuttonstatedown=digitalRead(valvedownbuttonpin);
if (valvebuttonstatedown!=lastvalvebuttonstate){
if (valvebuttonstatedown==HIGH){
delay(200);
valvecounter-=5;
    }
}
lastvalvebuttonstate = valvebuttonstatedown;
if (valvecounter < 1){
valvecounter=0;
    }

```

---



---

```
outputValue = valvecounter;
analogWrite(PIN_OUTPUT, outputValue);
Serial.println(outputValue);
delay (200);
```

```
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("MANUAL MODE ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Tpv= ");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(Input);
```

```
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print("Asp= ");
lcd.setCursor(14,1);
lcd.print(alarmset);
if (alarmset<100){
lcd.setCursor(16,1);
lcd.print(" ");
}
```

```
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("output=");
lcd.setCursor(7,2);
lcd.print(outputValue);
lcd.setCursor(10,2);
lcd.print(" ");
}
}
```

---



---

```
void printWiFiStatus() {  
  Serial.print("SSID: ");  
  Serial.println(WiFi.SSID());  
  IPAddress ip = WiFi.localIP();  
  Serial.print("IP Address: ");  
  Serial.println(ip);  
  long rssi = WiFi.RSSI();  
  Serial.print("signal strength (RSSI):");  
  Serial.print(rssi);  
  Serial.println(" dBm");  
  Serial.print("To see this page in action, open a browser to http://");  
  Serial.println(ip);  
}
```

---

Αντίστοιχα για τη διασύνδεση του αισθητήρα με τη πλακέτα UNO REV 3<sup>®</sup>, όπως και την αποστολή των δεδομένων μέτρησης στη κεντρική μονάδα MKR<sup>®</sup> 1000 μέσω του δικτύου ZigBee, αναπτύχθηκε ο παρακάτω κώδικας.

### Εισαγωγή Βιβλιοθηκών

---

```
#include <OneWire.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

---

### Δήλωση ακροδέκτη επικοινωνίας 1-Wire

---

```
#define ONE_WIRE_BUS 2
```

---



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ & ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.**

Τμήματα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών & Μηχ. Αυτοματισμού ΤΕ

---





### Δήλωση λειτουργίας διαύλου 1-Wire και σύνδεσης αισθητήρα

---

```
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
```

```
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

---

### Συνάρτηση SetUp ( )

---

```
{  
  
  pinMode(LED, OUTPUT);  
  
  Serial.begin(9600);  
  
  sensors.begin();  
  
}
```

---

### Συνάρτηση void loop ( )

---

```
{  
  
  sensors.requestTemperatures();  
  
  byte val1=sensors.getTempCByIndex(0);  
  
  Serial.write(val1);  
  
  delay(100);  
  
}
```

---

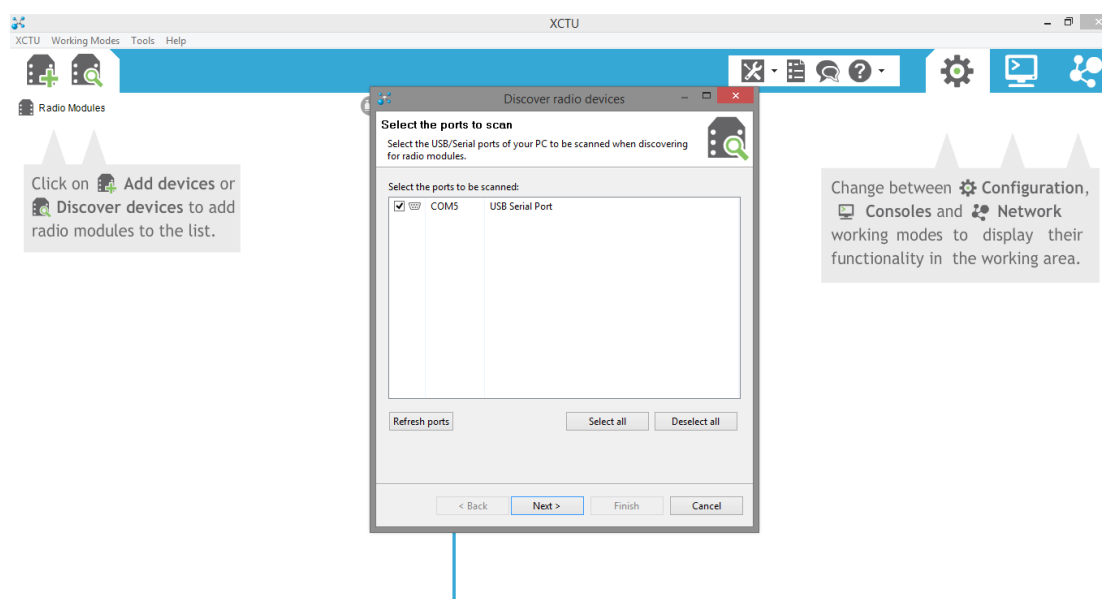
#### 4.6 Διαμόρφωση μονάδων XBEE

Για την ανάπτυξη ενός δικτύου επικοινωνίας μεταξύ του αισθητήρα και του μικροελεγκτή, οι μονάδες XBee διαμορφώθηκαν κατάλληλα με το περιβάλλον διαμόρφωσης XCTU

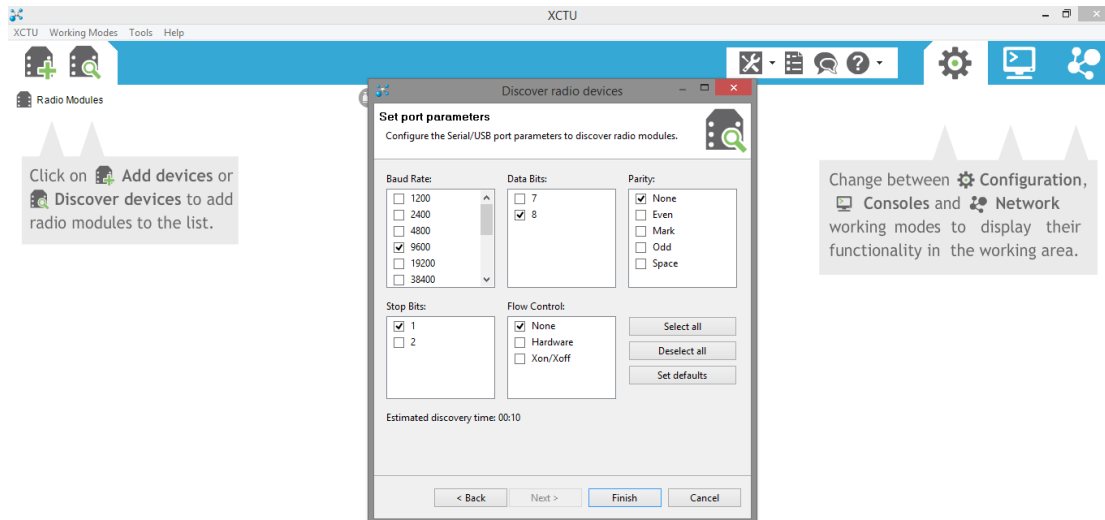
Αρχικά πραγματοποιήθηκε η διαμόρφωση της μονάδας η οποία θα λειτουργεί ως συντονιστής (Coordinator).

Για τη διαμόρφωση της η μονάδα συνδέθηκε στον ειδικό προσαρμογέα μέσω του οποίου επιτρέπεται η επικοινωνία της με τον προσωπικό υπολογιστή.

Κατόπιν στον περιβάλλον ανάπτυξης XCTU επιλέχθηκε η θύρα επικοινωνίας και τα χαρακτηριστικά αυτής ώστε να αναγνωριστεί η συσκευή από το σύστημα.

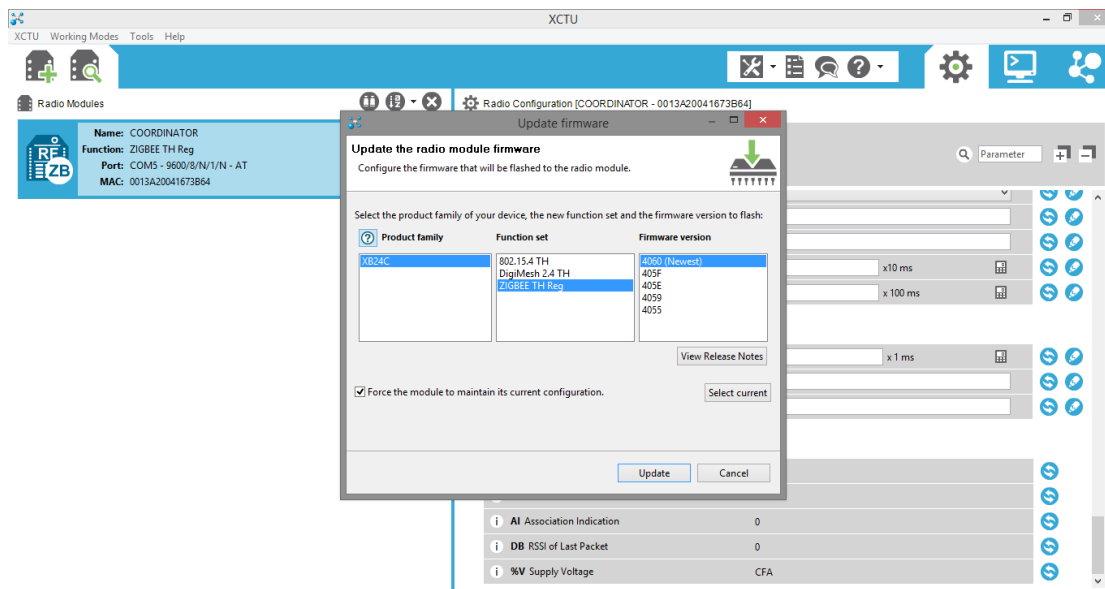


Εικόνα 4.1: Επιλογή θύρας επικοινωνίας (XCTU)



Εικόνα 4.2: Επιλογή χαρακτηριστικών επικοινωνίας (XCTU)

Μετά την αναγνώριση της από αυτό επιλέχθηκε το κατάλληλο υλικολογισμικό για τη μονάδα.

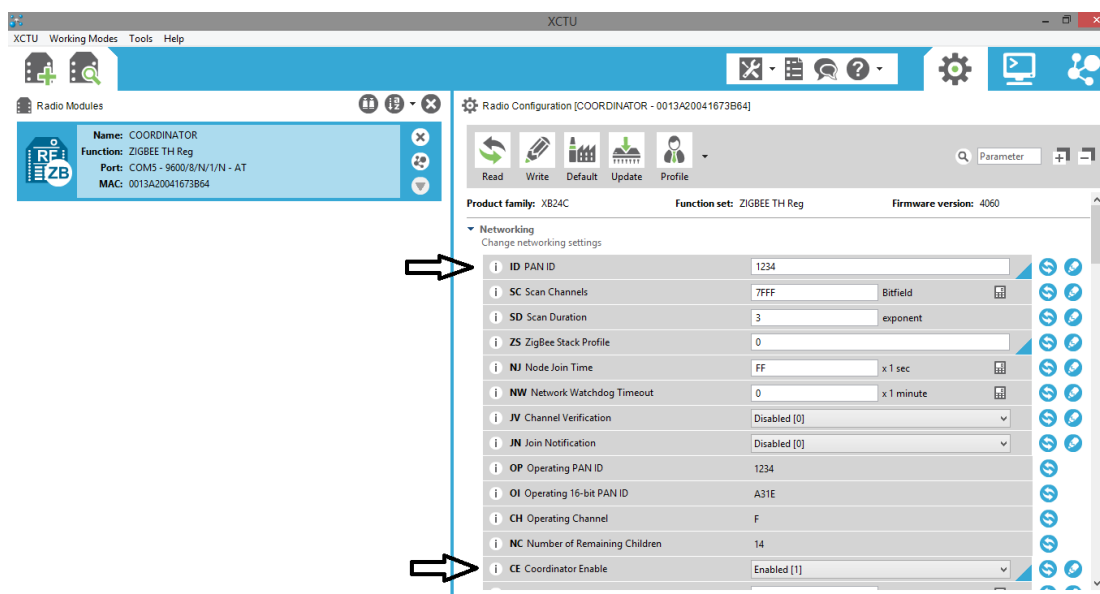


Εικόνα 4.3: Επιλογή υλικολογισμικού (XCTU)

Η πρώτη ρύθμιση για τη διαμόρφωση του δικτύου αφορά την εισαγωγή ονόματος του το οποίο πρέπει να είναι κοινό και για τις δύο μονάδες και μπορεί να λάβει τιμές στο

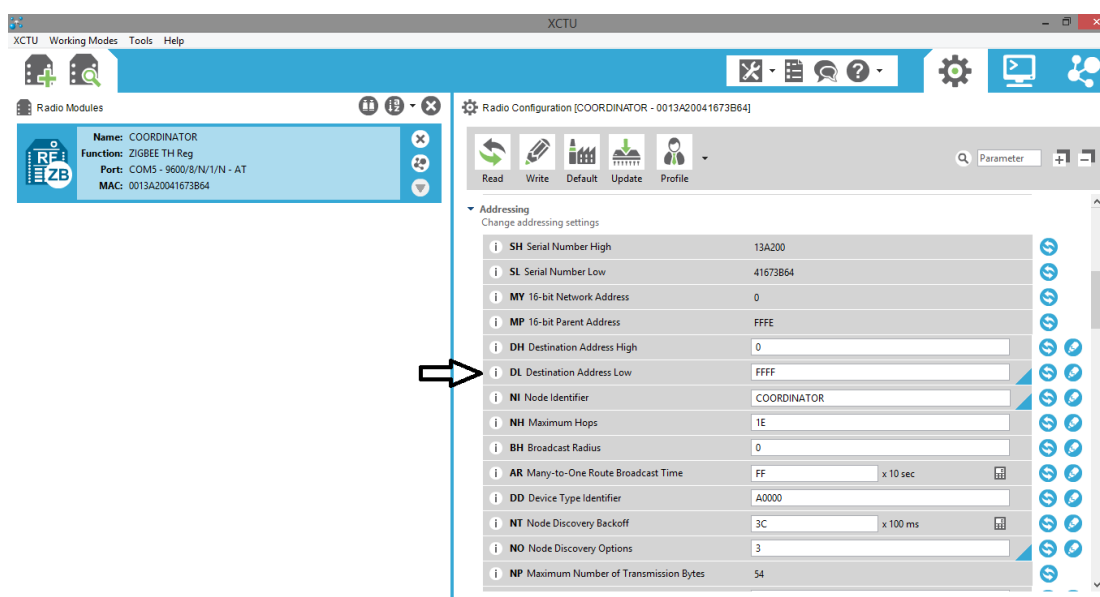


δεκαεξαδικό σύστημα από 0 έως FFFF. Στη περίπτωση μας έλαβε τη τιμή 1234. Για τη λειτουργία της μονάδας ως συντονιστής επιλέχθηκε η αντίστοιχη τιμή.



Εικόνα 4.4: Διαμόρφωση μονάδων XBee (XCTU)

Για τη δυνατότητα επικοινωνίας της μονάδας με όλες τις υπόλοιπες συσκευές εισήχθη η κατάλληλη τιμή η οποία αφορά τις διευθύνσεις των συσκευών που μπορεί να επικοινωνήσει η μονάδα.



Εικόνα 4.5: Διαμόρφωση μονάδων XBee (XCTU)



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ & ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.**

Τμήματα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών & Μηχ. Αυτοματισμού ΤΕ

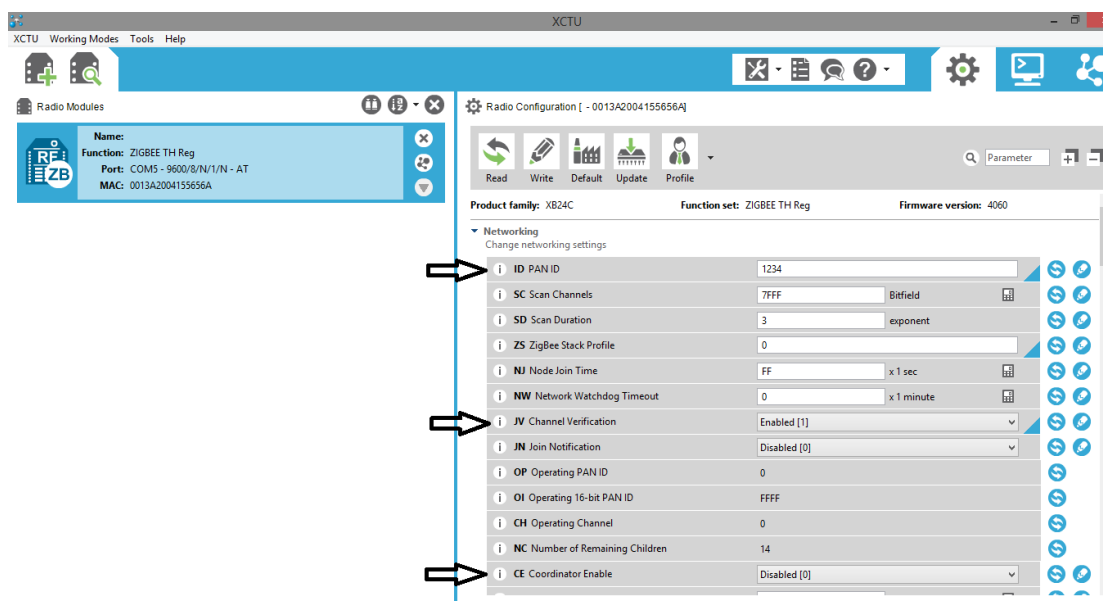
---





Μετά την ολοκλήρωση της διαμόρφωσης της μονάδας που θα λειτουργήσει ως συντονιστής ακολούθησε η διαμόρφωση της δεύτερης μονάδα η οποία θα λειτουργήσει ως δρομολογητής και στη περίπτωση μας και ως τερματική μονάδα.

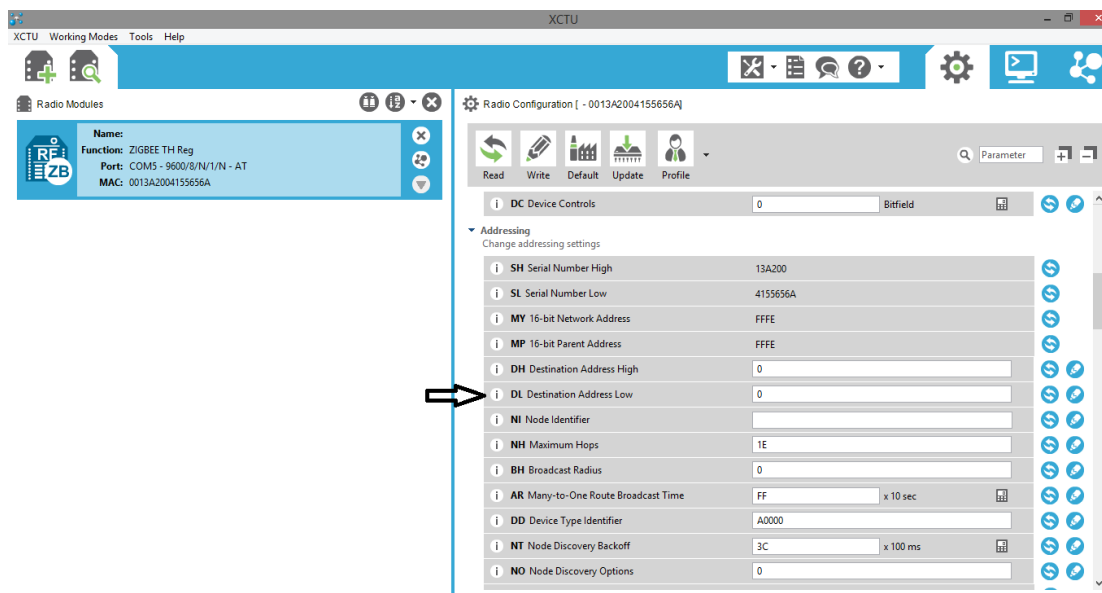
Αρχικά εισήχθη η ίδια τιμή όσο αφορά το όνομα του δικτύου, ενώ επιλέχθηκαν οι τιμές όσο αφορά τη λειτουργία της συσκευής ως δρομολογητή και την αναγνώριση του συντονιστή από αυτή.



Εικόνα 4.6: Διαμόρφωση μονάδων XBee (XCTU)



Αντίστοιχα για τη δυνατότητα αναγνώρισης και επικοινωνίας με τον συντονιστή, εισήχθη η κατάλληλη τιμή όσο αφορά την ανάγνωση διεύθυνσης του.



Εικόνα 4.7: Διαμόρφωση μονάδων XBee (XCTU)

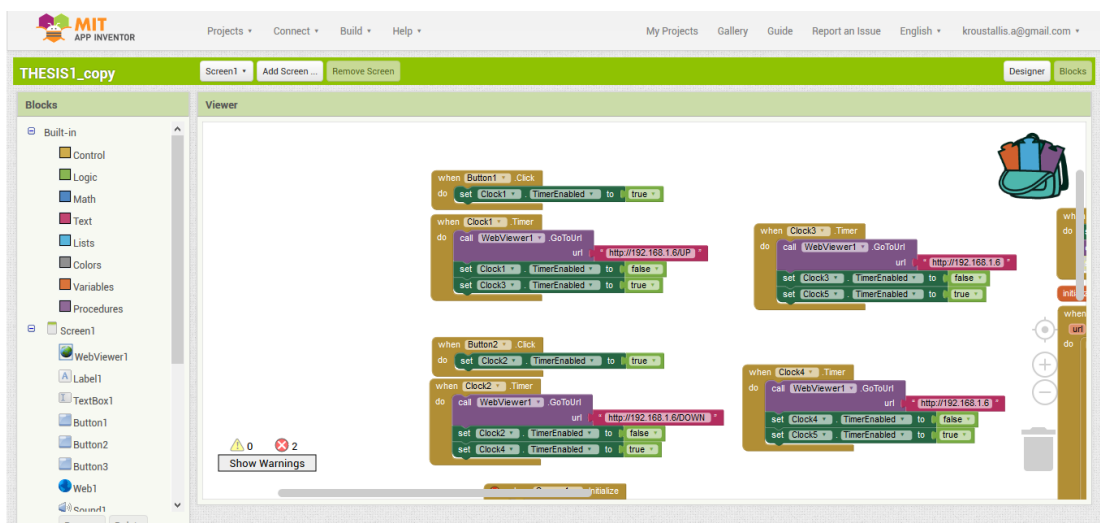


#### 4.7 Ανάπτυξη λογισμικού Android

Για την επίτευξη της απομακρυσμένης επικοινωνίας μεταξύ του χειριστή και του μικροελεγκτή αναπτύχθηκε εφαρμογή κατάλληλη για λογισμικό android με τη χρήση του περιβάλλοντος ανάπτυξης εφαρμογών MIT App Inventor.

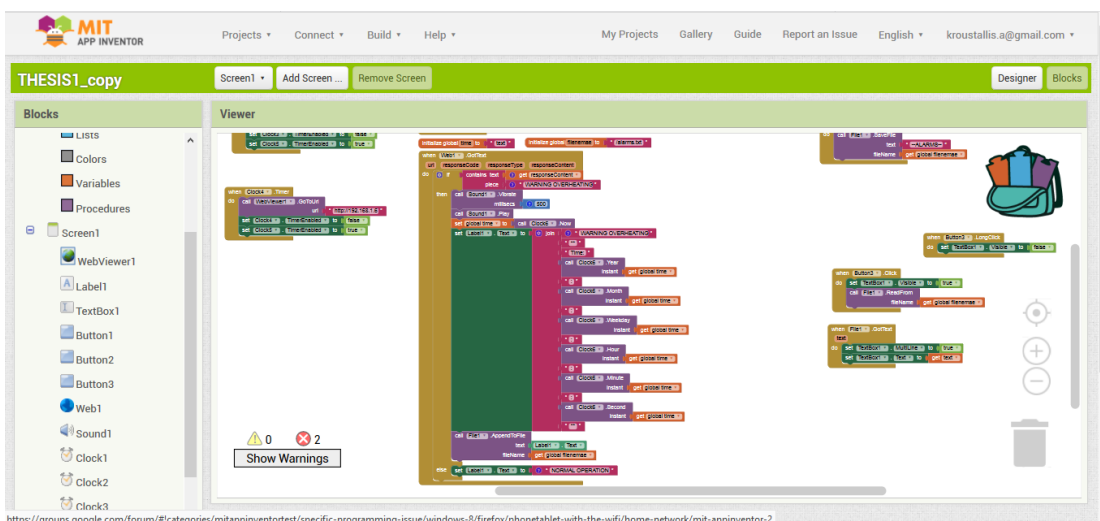
Για την ανάπτυξη του περιβάλλοντος χρήστη τοποθετήθηκαν 6 εικονικοί διακόπτες. Συγκεκριμένα για τη ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται 2 εικονικοί διακόπτες INC και DEC μέσω των οποίων αυξάνεται και μειώνεται αντίστοιχα το επίπεδο αυτής. Για τον έλεγχο της βάνας χρησιμοποιήθηκαν 2 εικονικοί διακόπτες OPEN και CLOSE, μέσω των οποίων η βάνα ανοίγει και κλείνει αντίστοιχα. Δύο ακόμη εικονικοί διακόπτες χρησιμοποιήθηκαν για την αναγνώριση του συναγερμού ACK και την εμφάνιση συμβάντων HISTORY. Για τη πληροφόρηση του χρήστη και την ένδειξη των απαραίτητων τιμών αντίστοιχα εισήχθη ένα παράθυρο περιηγητή ο οποίος επικοινωνεί με τον WEB διακομιστή του μικροελεγκτή, με μία συχνότητα ανανέωσης 5 sec. Αντίστοιχα τοποθετήθηκε ένα παράθυρο ανάγνωσης κειμένου για την εμφάνιση των συμβάντων.

Για την εκτέλεση μίας εντολής από τον μικροελεγκτή μέσω ενός εικονικού διακόπτη, εισήχθησαν οι απαραίτητες εντολές ώστε με κάθε πάτημα αυτού από τον χρήστη η εφαρμογή να αποστέλλει το αντίστοιχο αίτημα στον διακομιστή με την ενεργοποίηση συγκεκριμένου URL, ενώ με τη βοήθεια χρονιστών επαναφέρει το σύστημα με την ενεργοποίηση του αρχικού URL ώστε να μην εκτελούνται εντολές ακούσια λόγω της αυτόματης ανανέωσης της αρχικής σελίδας που φιλοξενεί ο διακομιστής.



Εικόνα 4.8: Ανάπτυξη εφαρμογής android

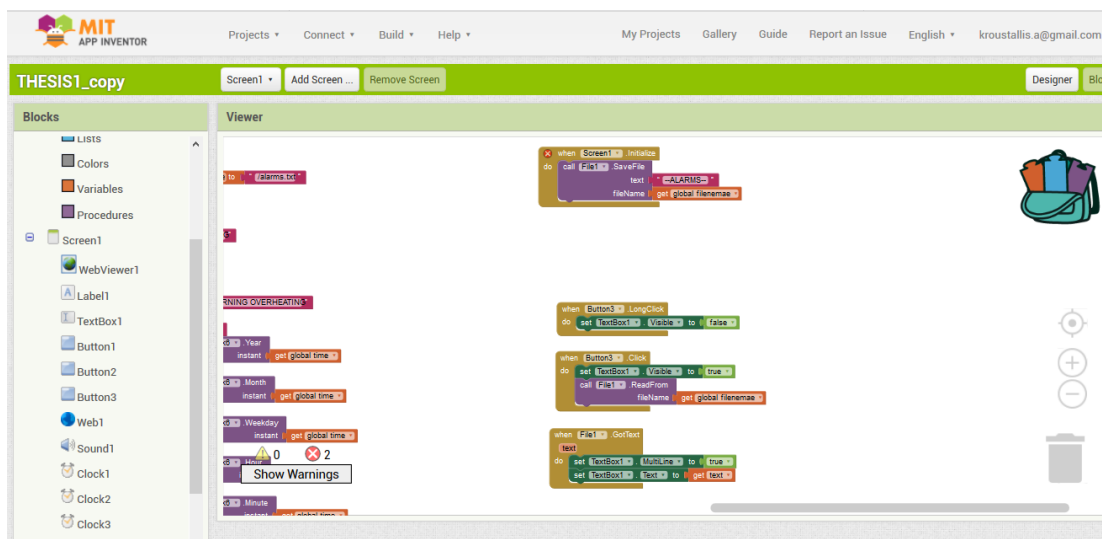
Για την ενεργοποίηση ηχητικού μηνύματος από τη συσκευή σε περίπτωση συμβάντος, όπως και τη καταγραφή αυτού σε αρχείο με τη δυνατότητα ανάγνωση του, σχηματίστηκε ένας βρόχος με το στοιχείο Web μέσω του οποίου παρακολουθείται η εμφάνιση ή όχι συγκεκριμένου μηνύματος από τον διακομιστή. Με την εμφάνιση του μηνύματος τότε το στοιχείο καλεί τη συνάρτηση η οποία ενεργοποιεί την ηχητική σήμανση στη συσκευή ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει στοιχεία πραγματικού χρόνου τα οποία αποθηκεύει μαζί με το μήνυμα σε αρχείο.



Εικόνα 4.9: Ανάπτυξη εφαρμογής android



Για την ανάγνωση του αρχείου έχει αναπτυχθεί ένας βρόχος όπου με την ενεργοποίηση του αντίστοιχου εικονικού διακόπτη το παράθυρο ανάγνωσης κειμένου καλεί τον φάκελο αρχείου και είναι δυνατή η ανάγνωση του.



Εικόνα 4.10: Ανάπτυξη εφαρμογής android



## 5. Συζήτηση – Συμπεράσματα

Ο έλεγχος της μεταβλητής της θερμοκρασίας όπως έχει προαναφερθεί αποτελεί ένα μείζον θέμα στη ναυτική τεχνολογία. Η μελέτη αυτή έρχεται να καλύψει ένα κενό όσον αφορά τα υφιστάμενα συστήματα, τόσο από τη πλευρά του κόστους όσο και από τη πλευρά της λειτουργικότητας του.

Το σύστημα το οποίο σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στη παρούσα εργασία μπορεί να προσδώσει πλήθος οφελών στην υφιστάμενη ναυτική τεχνολογία. Συγκεκριμένα η υλοποίηση του πρότυπου συστήματος πραγματοποιήθηκε από υλικά ήδη χαμηλού κόστους με τη μορφή έτοιμων πλακετών ανάπτυξης ανοιχτού υλικού. Αυτό το στοιχείο δίνει το περιθώριο ανάπτυξης του συστήματος με τη χρήση των ίδιων ή και αντίστοιχων μεμονωμένων στοιχείων των πλακετών όπου σε συνδυασμό με το στοιχείο της μαζικής παραγωγής θα ήταν δυνατό να επιφέρει περεταίρω μείωση του κόστους σε σημαντικό βαθμό, κάτι που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα στην υφιστάμενη οικονομική κατάσταση της ναυτιλίας.

Το πρότυπο μοντέλο όπως σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε προσφέρει πλήθος λειτουργικών πλεονεκτημάτων. Η ασύρματη μεταφορά δεδομένων σημαίνει τη μείωση μεγάλου όγκου καλωδίων τα οποία χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα. Αυτό μπορεί να επιφέρει μία πρόσθετη μείωση του κόστους εγκατάστασης το συστήματος ενώ αντίστοιχα μειώνεται σε μεγάλο ποσοστό και ο χρόνος εγκατάστασης του σε ένα πλοίο. Τα δύο παραπάνω στοιχεία καθιστούν το σύστημα κατάλληλο για εγκατάσταση στο πλοίο σε μεταγενέστερο χρόνο από τη ναυπήγηση του είτε ως λύση ανακατασκευής (retrofit) των υφιστάμενων συστημάτων είτε ως πρόσθετο στοιχείο σε αυτά ή και σε νέα συστήματα. Αντίστοιχα λόγω της επεκτασιμότητας που προσφέρει το συγκεκριμένο σύστημα είναι δυνατή η συνεργασία του με στοιχεία και τεχνολογίες που πιθανώς να βρίσκονται ήδη σε ένα πλοίο.

Η δυνατότητα επικοινωνίας και κατ' επέκταση παρακολούθησης και ελέγχου του συστήματος από τον χειριστή προσφέρει πλεονεκτήματα όσον αφορά την ασφάλεια και τη εργασιακή καθημερινότητα των πληρωμάτων και των εγκαταστάσεων. Μέσω του απομακρυσμένου ελέγχου ο χειριστής θα είναι σε θέση να έχει την εποπτεία και τον έλεγχο του συστήματος σε πραγματικό χρόνο σε οποιοδήποτε σημείο του πλοίου





υπάρχει κάλυψη δικτύου. Αυτή η συνθήκη βοηθά στην υλοποίηση μη επανδρωμένων μηχανοστασίων ενώ το σημαντικό πλεονέκτημα είναι η άμεση αντίδραση του χειριστή σε περίπτωση δυσλειτουργίας καθώς εκτός της παρακολούθησης και της ενημέρωσης του συμβάντος θα έχει τη δυνατότητα να επέμβει δραστικά στο σύστημα έως ότου πλησιάσει στο αντίστοιχο σημείο. Αντίστοιχα σε περιπτώσεις ελέγχου ή /και συντήρησης του συστήματος και του εξοπλισμού οι χειριστές θα μπορούν να παρακολουθούν τις μεταβλητές όπως και να εκτελούν τις απαραίτητες ενέργειες σε σημεία που επιθυμούν χωρίς να χρειάζεται η μεταφορά τους σε άλλα .

Ακόμη ένα σημαντικό πλεονέκτημα που παρουσιάζει το σύστημα αφορά την επεκτασιμότητα του και την ευελιξία του καθώς είναι δυνατό να προσαρμοστεί σε κάθε ενδεχόμενη εγκατάσταση, ενώ αντίστοιχα μπορούν εύκολα να προστεθούν, τροποποιηθούν ή και επεκταθούν οι λειτουργίες του σε κάθε περίπτωση. Ιδιαίτερα η ο χειρισμός και η εποπτεία του μικροελεγκτή μέσω τοπικού δικτύου μπορεί να επεκταθεί και να πραγματοποιείται μέσω του διαδικτύου με τα ήδη υπάρχοντα δορυφορικά κανάλια επικοινωνίας που διαθέτει ένα πλοίο. Αυτό το στοιχείο μπορεί να βοηθήσει στην εισαγωγή των πλοίων στη 4<sup>η</sup> βιομηχανική επανάσταση και την ανάπτυξη αυτόνομων ή μη μονάδων με απομακρυσμένο έλεγχο.

Εκτός των προαναφερθέντων μία ακόμη σημαντική περίπτωση όπου θα μπορούσε να βρει εφαρμογή το σύστημα αποτελεί ο χώρος των εμπορευματοκιβωτίων. Για τη μεταφορά ευπαθών υλικών στις περιβαλλοντικές συνθήκες χρησιμοποιούνται εμπορευματοκιβώτια τα οποία διαθέτουν σύστημα κλιματισμού το οποίο προγραμματίζεται καταλλήλως για όλη τη διάρκεια μεταφοράς του εμπορεύματος με αυτό. Με το σύστημα που προτείνουμε θα είναι δυνατή η εισαγωγή των απαιτούμενων επιθυμητών τιμών βάσει των οποίων το σύστημα θα ελέγχει τη θερμοκρασία με τη δυνατότητα επέκτασης και ελέγχου άλλων στοιχείων, ενώ παράλληλα θα δίνει το πλεονέκτημα της παρακολούθησης και ελέγχου του συστήματος σε πραγματικό χρόνο τόσο στους χειριστές οι οποίοι βρίσκονται στο πλοίο, όσο και σε υπεύθυνους εκτός αυτού.

Στη παρούσα φάση στον κώδικα που αναπτύχθηκε όσον αφορά τον έλεγχο τριών όρων PID, δίνεται η δυνατότητα μέσω αυτού, της ρύθμισης των συντελεστών τους. Για την εύρεση των κατάλληλων τιμών και το συντονισμό του ελεγκτή θα πρέπει κατά την



εφαρμογή του συστήματος να υπολογιστούν με μία από τους γνωστές μεθόδους σύμφωνα με τους Ziegler – Nichols είτε τους Cohen – Coon. Η βιβλιοθήκη που χρησιμοποιήθηκε για τη λειτουργία του ελεγκτή δίνει τη δυνατότητα του αυτόματου συντονισμού του ελεγκτή αναλόγως των συνθηκών κάτι το οποίο θα δοκιμαστεί σε επόμενη έρευνα.

Η ανάπτυξη λογισμικού του μικροελεγκτή πραγματοποιήθηκε βάσει της τεχνικής rolling, όπου ο ελεγκτής λαμβάνει συνεχώς δεδομένα κατά τη διάρκεια του χρόνου και αντιδρά αναλόγως. Σε περαιτέρω έρευνα προτείνεται να μελετηθούν και άλλοι τρόποι προγραμματισμού με την διεξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την απόδοση του σε σχέση με αυτούς.

Τα περισσότερα εμπορικά πλοία σήμερα διαθέτουν τοπικό δίκτυο το οποίο μπορεί να είναι είτε ασύρματο WiFi είτε ενσύρματο Ethernet είτε και ο συνδυασμός των δύο. Στις περιπτώσεις που υπάρχει ασύρματο δίκτυο η εμβέλεια του οριοθετείται στην υπερκατασκευή του πλοίου (Ακομοδέσιο) που προορίζεται για τη διαμονή του πληρώματος. Στο χώρο του μηχανοστασίου η μόνη σύνδεση με το δίκτυο περιορίζεται ενσύρματα στο χώρο ελέγχου της κύριας μηχανής (M/E Control Room). Σύμφωνα με αυτές τις συνθήκες θα πρέπει να τοποθετηθούν δρομολογητές ασύρματου δικτύου σε στρατηγικά σημεία ανάλογα με την εγκατάσταση, ενώ αντίστοιχα σε στρατηγικά σημεία θα πρέπει να τοποθετηθούν οι μονάδες του συστήματος μας ώστε να επιτευχθεί η ασύρματη ζεύξη στο δύσκολο αυτό περιβάλλον. Σύμφωνα με τα παραπάνω θα πρέπει να προηγηθεί μελέτη πριν την εγκατάσταση των συστημάτων σε πραγματικό περιβάλλον μηχανής πλοίου ώστε να διεξαχθούν συμπεράσματα. Παρ' όλα αυτά όμως με την εξέλιξη της τεχνολογίας και της ολοκλήρωσης των κυκλωμάτων μπορούν να υπάρξουν οικονομικές λύσεις για τη σχεδίαση και ανάπτυξη δρομολογητών χαμηλού κόστους. Επίσης στην ίδια μελέτη θα πρέπει να εξεταστούν και να ρυθμιστούν αντιστοίχως τα κανάλια που χρησιμοποιούνται από το δίκτυο WiFi, όπως και τα κανάλια που χρησιμοποιούνται από το δίκτυο ZigBee ώστε να μην υπάρξει αλληλοεπικάλυψη αυτών.

Τέλος σε επόμενη μελέτη θα πρέπει να πραγματοποιηθεί έλεγχος και σύγκριση των κανονισμών που αφορούν τα όργανα μετρήσεων και ελέγχου των πλοίων με τα



χαρακτηριστικά που προσφέρει το σύστημα μας ώστε να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες πιθανές τροποποιήσεις και να εναρμονιστεί με αυτούς.

## 6. Βιβλιογραφία

Alciatore, G., D., Hstand, B.. D.. (1998) *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*, McGraw Hill, 1998.

Arciszewski, H., De greef, T., Van Delft, J.. (2009). *Adaptive Automation in Naval Combat Management System*. In *Journal of IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, 39, pp. 1188 – 1199.

Arnold, K.. (2004). *Embedded Controller Hardware Design*. USA: Elsevier Science.

Ashley, S.. (1997). *Getting a hold on mechatronics*, *Journal of Mechanical Engineering*, 119(5).

ATECC508A Microchip Datasheet. ATECC 508A CryptoAuthentication Device Complete Data Sheet.

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005927A.pdf> (20/01/2018)

Atmel Sam D21 Datasheet. Smart ARM-Based Microcontroller. [https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2772/atmel-42181-sam-d21\\_datasheet.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2772/atmel-42181-sam-d21_datasheet.pdf)

(20/01/2018)

ATWINC 15X0 Microchip Datasheet. ATWINC 15X0 –MR210xB IEEE® 802.11 b/g/n SmartConnect IoT Module.

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70005304B.pdf> (20/01/2018)

Auslander, D. & Kempf, C. (1996). *Mechatronics: Mechanical System Interfacing*. New Jersey: Prentice Hall.

Barrett, S., Pack, D.. (2006). *Microcontrollers Fundamentals for Engineers and Scientists*. USA: Morgan & Claypool.

Bennet, S. (2008). *A History of Control Engineering 1800-1930*. United Kingdom: The Institute of Engineering and Technology.



Bennet, S. (1984). *Nicolas Minorsky and the automatic Steering of Ships*. Journal of IEEE Control Systems Magazine, 4, 10-15.

Bishop, H., R.. (2006). *Mechatronics – An Introduction*. Texas: CRC Press.

Bolton, W.. (1995). *Mechatronics. Electronic Control Systems in Mechanical Engineering*. Longman.

Bradley, D.. (2004). *What is mechatronics and why teach it?* International Journal of Electrical Engineering Education, 41, pp. 275-291.

Bradley, D., Russel, D., Ferguson, I., Isaacs, J., MacLeod, A. & White, R.. (2001). *The Internet of Things – The future or the end of mechatronics*. Journal of Mechatronics 27, 57-74, (2015).

Chaloo, A., Oladeinde, A., Yilmazer, N., Ozcelik, S., Chaloo, L.. (2012). *An Overview and Assessment of Wireless Technologies and Co-existence of ZigBee, Bluetooth and Wi-Fi Devices*. Journal of Procedia Computer Science, 12, pp. 386-391.

Crisp, J.. (2004). *Introduction to Microprocessors and Microcontrollers*. 2<sup>nd</sup> Ed.. Burlington: Elsevier

Dorf, C., R., Bishop, H., R., (2017). *Σύγχρονα Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου*. 13<sup>η</sup> Έκδ., Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.

DS18B20 Datasheet. Programmable Resolution 1- Wire Digital Thermometer. Maxim Integrated.

Eady, F.. (2007). *Hands-on ZigBee: Implementing 802.15.4 with Microcontrollers*. Oxford: Elsevier Inc.

Eady, F.. (2004). *Networking and Internetworking with Microcontrollers*. Oxford: Elsevier Inc.



Frankowiak, M., Grosvenor, R., Prickett, Paul.. (2005), *A review of the evolution of microcontroller – based machine and process monitoring*. Journal of Machine Tools & Manufacture, 45, 573-582.

Framme, J.. (1994). *Automation. The use of Automated Ship Control Systems Technology to Reduce the Cost of Ships and Submarines*. Proceedings of ASNE Intelligent Ship Symposium, Ships Systems Automation Technology.

Gislason, D.. (2008). *ZigBee Wireless Networking*. 1<sup>st</sup> Ed. Oxford: Elsevier.

Gridling, G., Weiss, B.. (2006). *Introduction to Microcontrollers*. Vienna: Institute of Computing Engineering.

Hackl, M., C.. (2017). *Non – identifier Based Adaptive Control in Mechatronics. Theory and Application*. Garching: Springer International Publishing.

Harshama, F., Tomizuka, M., & Fukuda, T.. (1996). *Mechatronics – “What is it, Why and How?” An editorial*. Journal of IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 1 pp. 1-4.

Huber, J., Fleck, A., Ashby, M.. (1997). *The selection of mechanical actuators based on performance indices*. In the Proceedings of the royal society a mathematical, physical and engineering sciences, 453, pp. 2185- 2205.

Ibrahim, D.. (2006). *Microcontroller Based Applied Digital Control*. England: John Wiley & Sons Ltd.

Ibrahim, D.. (2002). *Microcontroller Based Temperature Monitoring and Control*. Elsevier Science & Technology Books.

Intel®, 4004. Intel’s first Microprocessor.

<https://www.intel.co.uk/content/www/uk/en/history/museum-story-of-intel-4004.html>

Isermann, R.. (2007) *Mechatronics systems – Innovative products with embedded control*. Journal of Control Engineering Practice, 16, pp. 14-29.



Isermann, R.. (2005). *Mechatronics Systems – Fundamentals*. London: Springer – Verlag London Limited.

Καλοβρέκτης, Κ., Κατέβας, Ν.. (2014). *Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου*. Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.

Kobylnski, L.. (2016). Marine Transport and the Fourth Industrial Revolution. In *Journal of Transport*, 111, pp. 270-278.

Kongsberg K-Chief 500. Alarm and Monitoring System with Process Control and Power Management. Operator Manual.

Kotylevskiy, V. (2016), *How new technologies transform the shipping industry*. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο:  
<https://www.imarest.org/themarineprofessional/item/2954-how-new-technologies-transform-the-shipping-industry> (17/01/2018).

Kyura, N., Oho, H.(1996). *Mechatronics, an industrial perspective*. IEEE/ASME Trans. Mechatron. 1, 10–15.

Labiod, H., Afifi, H., Santis, C.. (2007). *Wi-Fi™, Bluetooth™, ZigBee™ and WiMax™*. Netherlands: Springer.

Lai, K-H., Lun, V., Wong, C. & Cheng, T.. (2011). *Green shipping practices in the shipping industry: Conceptualization, adoption, and implications*. *Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 55, 631-638.

Levander, O. (2017), *Forget Autonomous Cars—Autonomous Ships Are Almost Here*. Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:  
<https://spectrum.ieee.org/transportation/marine/forget-autonomous-cars-autonomous-ships-are-almost-here> (17/01/2018).

McGeorge, D., H.. (2002). *Marine Auxiliary Machinery*. 7<sup>th</sup> Ed. Oxford: Elsevier Science Ltd.

MESA - Maritime Europe Strategy Action Web Site.

<https://www.waterborne.eu/vision/> (17/01/2018)



- Mitescu, M., Susnea, I. (2005). *Microcontrollers in Practice*. Berlin: Springer.
- MKR 1000, Genuino Board Technical Specifications and Documentation.  
<https://store.arduino.cc/arduino-mkr1000> (20/01/2018)
- Morecki, A., Bianchi, G., Rzymkowski, C.. (2000). *Theory and practice of robots and manipulators*. Proceedings of the thirteenth CISM-IFTOMM Symposium, 422. New York: Springer – Verlag Wien.
- Νικητάκος, Ν., Παπαχρήστος, Δ. & Χατζόπουλος (2016). *Η εισαγωγή της Μηχατρονικής στη Ναυτιλία (Shipping Mechatronics)*. Ετήσια συνάντηση ναυτικής τεχνολογίας, Νοέμβριος 2016.
- Yamashita, L. (1967). *Application of Technical Innovations and Automation to Ships built in Japan*. In C. J. Borwick (ed.), *Automation on Shipboard*. New York: Macmillan.
- Philips Semiconductors (2000). *The I2C Bus Specification*. Διαθέσιμο στην Ιστοσελίδα: <http://i2c2p.twibright.com/spec/i2c.pdf> (20/01/2018)
- Psaraftis, H.. (1995). *Impact of Ship Automation Technologies on Merchant Fleet Competitiveness*. Invited paper in XIV Pan – American Congress of Naval Engineering, Maritime Transportation and Port Engineering, Lima-Peru.
- Samsung SSAS PRO. Alarm monitoring, Integrated Control and Monitoring and Power Management System. Operator Manual.
- Scofield, T.. (2006). *Manning and Automation Model for Naval Ship Analysis and Optimization* (MSc Thesis). Retrieved from  
<https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/32003> (20/12/2017).
- Shetty, D. and Kolk, R. (1997). *Mechatronics System Design*, PWS Pub. Co.
- Taylor, A., D.. (2003). *Introduction to Marine Engineering*. Burlington: Elsevier Ltd.
- TI. Texas Instrument, Company History.  
<https://web.archive.org/web/20060118040459/http://www.ti.com:80/corp/docs/company/history/1970s.shtml>



Τζιφάκις, Α. (1976). Τηλεκίνησις και Αυτοματισμός Σύγχρονων Πλοίων. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου.

Tomizuka, M. (2001). *Mechatronics: from the 20<sup>th</sup> to 21<sup>st</sup> Century*. Journal of Control Engineering Practice, 10, 877-886.

UNCTAD, 2017. *Review of Maritime Transport 2017, UNCTAD/RMT/2017*. New York: United Nations.

UNCTAD, 2016. *Review of Maritime Transport 2016, UNCTAD/RMT/2016*. New York: United Nations.

UNO Rev3, Arduino Board Technical Specifications and Documentation.

<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> (20/01/2018)

Venuvinod, Patri K. and Narasimha Reddy, P., (2002). *Trends in Mechatronic Engineering and Education*, Seminar on Mechatronic System Engineering, M.J. College of Engineering, Hyderabad, India, February 20.

Woodyard, D.. (2009). *Marine Diesel Engines and Gas Turbines*. 9<sup>th</sup> Ed. Oxford: Elsevier Ltd.

XBee<sup>®</sup> /XBee – Pro S2C Zigbee<sup>®</sup> RF Module Datasheet.

<https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90002002.pdf>  
(20/01/2018)