

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Επιβλέπων: Χρήστος Δρόσος

Αντώνιος Λεβέντης

A.M.: 43235

Δημήτριος Σωτηριάδης

A.M.: 42983

ΑΘΗΝΑ

ΜΑΙΟΣ 2019

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Λεβέντης Αντώνιος.....του Θεμελίη....., φοιτητής του Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της.

Ο Δηλών



Ημερομηνία

29/05/19

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

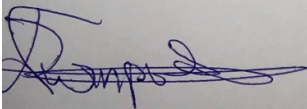
Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Σωτηρία Αθήνα, του Σταύρου, φοιτητής του Τμήματος ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της.

Ο Δηλών



Ημερομηνία

29/05/2019

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	10
ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	10
1.1. Γενικά για τους αισθητήρες.....	10
1.2. Ταξινόμηση των σφαλμάτων μέτρησης	15
1.2.1. Αποκλίσεις αισθητήρων	15
1.2.2. Ανάλυση	17
1.3. Ενδεικτικοί τύποι αισθητήρων	18
1.3.1. Αισθητήρας θέσης πεντάλ γκαζιού.....	19
1.3.2. Αισθητήρες οξυγόνου καυσαερίων	20
1.3.3. Χημικοί αισθητήρες.....	21
1.3.4. Βιοαισθητήρες	23
1.3.5. Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	27
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΝΕΡΟΥ	27
2.1. Η ανάλυση του νερού.....	27
2.1.1. Παραδείγματα κλάδων και διεργασιών, που συχνά απαιτούν αναλύσεις νερού 28	
2.1.2. Που γίνονται οι αναλύσεις νερού	29
2.1.3. Η χημική ανάλυση του νερού	30
2.2. Αισθητήρες ανάλυσης νερού	31
2.2.1. Αισθητήρας θερμοκρασίας νερού	32
2.2.2. Αισθητήρας pH νερού	32
2.2.3. Αισθητήρας αγωγιμότητας νερού.....	33
2.2.4. Αισθητήρας διαλυμένου οξυγόνου νερού	34
2.2.5. Αισθητήρας οξειδοαναγωγής	36
2.3. Γιατί είναι απαραίτητη η χρήση αισθητήρων για την ανάλυση του νερού στις υδροπονικές καλλιέργειες	37
2.4. Αισθητήρες ανάλυσης νερού προς χρήση σε υδροπονικές καλλιέργειες.....	38
2.4.1. Αισθητήρες μέτρησης διαλυμένου οξυγόνου για υδροπονικές καλλιέργειες..	39
2.4.2. Αισθητήρες μέτρησης διοξειδίου του άνθρακα σε υδροπονικές καλλιέργειες	42

2.4.3. Αισθητήρες για την μέτρηση της στάθμης του νερού σε υδροπονική καλλιέργεια.....	43
2.4.4. Αισθητήρες ιοντοεκλεκτικού ηλεκτροδίου για τον εντοπισμό των θρεπτικών συστατικών στις υδροπονικές καλλιέργειες	47
2.4.5. Λόγοι για την επιλογή ιοντοεπιλεκτικών αισθητήρων σε υδροπονική καλλιέργεια.....	50
2.4.6. Οι αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας στις υδροπονικές καλλιέργειες	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	58
ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ LABVIEW	58
3.1. Εισαγωγή.....	58
3.2. Δομή του περιβάλλοντος προγραμματισμού.....	61
3.3. Εφαρμογές.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	70
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΜΕΣΩ LABVIEW	70
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	92

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<i>Εικόνα 1. Διάφοροι τύποι αισθητήρων</i>	11
<i>Εικόνα 2. Διάφορες τυπολογίες αισθητήρων</i>	14
<i>Εικόνα 3. Αισθητήρας θέσης πεντάλ γκαζιού</i>	19
<i>Εικόνα 4. Αισθητήρας οξυγόνου καυσαερίων</i>	21
<i>Εικόνα 5. Τρόπος λειτουργίας ενός χημικού αισθητήρα</i>	22
<i>Εικόνα 6. Αρχή λειτουργίας βιοαισθητήρων</i>	23
<i>Εικόνα 7. Βασική διάταξη ηλεκτροχημικού αισθητήρα</i>	25
<i>Εικόνα 8. Τυπικά αποτελέσματα μιας ανάλυσης νερού</i>	27
<i>Εικόνα 9. Τυπική εικόνα αισθητήρα θερμοκρασίας νερού</i>	32
<i>Εικόνα 10. Τυπική εικόνα αισθητήρα pH νερού</i>	33
<i>Εικόνα 11. Τυπική εικόνα αισθητήρα αγωγιμότητας νερού</i>	34
<i>Εικόνα 12. Τυπική εικόνα αισθητήρα διαλυμένου οξυγόνου νερού</i>	36
<i>Εικόνα 13. Τυπική εικόνα αισθητήρα οξειδοαναγωγής νερού</i>	37
<i>Εικόνα 14. Αντιπαραβολή αισθητήρων ηλεκτροδίου - οπτοδίου</i>	39
<i>Εικόνα 15. Σύσταση και διαστάσεις εξαρτημάτων ηλεκτροδίου τύπου Clark</i>	40
<i>Εικόνα 16. Εικόνα τυπικού οπτοδίου οξυγόνου</i>	41
<i>Εικόνα 17. Τρόπος λειτουργίας αισθητήρα NDIR</i>	42
<i>Εικόνα 18. Χημικός αισθητήρας CO₂</i>	43
<i>Εικόνα 19. Σύσταση αισθητήρα στάθμης νερού</i>	44
<i>Εικόνα 20. Εικόνα τυπικού αισθητήρα στάθμης νερού</i>	46
<i>Εικόνα 21. Συνοπτική παρουσίαση λειτουργίας ιοντοεκλεκτικού ηλεκτροδίου</i>	47
<i>Εικόνα 22. Τυπική εικόνα ιοντοεπιλεκτικού αισθητήρα</i>	51
<i>Εικόνα 23. Τυπικός αισθητήρας θερμοκρασίας</i>	53
<i>Εικόνα 24. Εικόνα τυπικού πυρομέτρου</i>	55
<i>Εικόνα 25. Τρόπος λειτουργίας πυρομέτρου</i>	56
<i>Εικόνα 26. Εικονικός μετρητής μαγνητικού πεδίου</i>	59
<i>Εικόνα 27. Μετρητής συχνοτικής απόκρισης</i>	60
<i>Εικόνα 28. Εμπρόσθιο πλαίσιο (front panel) του LabView. Στα αριστερά φαίνεται η παλέτα εργαλείων (Tools) και η παλέτα ελέγχου (Controls)</i>	62
<i>Εικόνα 29. Δομικό διάγραμμα που αντιστοιχεί στο εμπρόσθιο πλαίσιο</i>	62
<i>Εικόνα 30. Παλέτα λειτουργιών και περιεχόμενα της βιβλιοθήκης Numeric και Trigonometric</i>	63
<i>Εικόνα 31. Βασικά μέρη του αναλογικού ενισχυτή στο εμπρόσθιο πλαίσιο και στο διάγραμμα βαθμίδων</i>	64
<i>Εικόνα 32. Συνδέσεις στο δομικό διάγραμμα</i>	65
<i>Εικόνα 33. Εισαγωγή γραφήματος στο εμπρόσθιο πλαίσιο</i>	65
<i>Εικόνα 34. Δομικό διάγραμμα για την παραγωγή ημιτόνου</i>	66
<i>Εικόνα 35. Εμπρόσθιο πλαίσιο για τον εικονικό μετρητή Hall</i>	67
<i>Εικόνα 36. Δημιουργία φασικού διαγράμματος από δύο αρχεία χρονοσειρών</i>	68
<i>Εικόνα 37. Τα δύο πλαίσια της ακολουθίας (sequence) για τη δημιουργία του φασικού διαγράμματος.</i>	69
<i>Εικόνα 38. Μετρητής μαγνητικού πεδίου</i>	71
<i>Εικόνα 39. Μετρητής συχνοτικής απόκρισης</i>	71
<i>Εικόνα 40. Διάγραμμα του κυκλώματος του συστήματος</i>	75
<i>Εικόνα 41. Ο μικροελεγκτής PIC16F877A</i>	76
<i>Εικόνα 42. Bits διαμόρφωσης</i>	76
<i>Εικόνα 43. Καταχωρητής κατάστασης εκπομπής και ελέγχου</i>	80
<i>Εικόνα 44. Καταχωρητής κατάστασης λήψης και ελέγχου</i>	81

Εικόνα 45. Ενδείξεις καταγραφέα «Front panel» _____	84
Εικόνα 46. 1ο πλαίσιο – Σειριακή επικοινωνία _____	85
Εικόνα 47. 2ο πλαίσιο - Σύστημα καταγραφέα _____	86
Εικόνα 48. 3ο πλαίσιο - Αποθήκευση των δεδομένων μέτρησης σε αρχείο txt _____	86
Εικόνα 49. 4ο πλαίσιο – Υπολογισμός συνολικού χρόνου και κλείσιμο της σειριακής επικοινωνίας ____	87
Εικόνα 50. Απεικόνιση της πλακέτας στο Eagle _____	88
Εικόνα 51. Διαδικασία κατασκευής της πλακέτας _____	88
Εικόνα 52. Το κουτί που περιέχει την πλακέτα του μικροελεγκτή _____	89

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αυτοματισμός είναι η διαδικασία της τεχνολογίας για να παρακολουθεί και να ελέγχει την παραγωγή και την παράδοση των προϊόντων και των υπηρεσιών. Στον τομέα της βιομηχανίας, η αυτοματοποίηση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, δεδομένου ότι αυξάνει την παραγωγικότητα, βελτιώνει την ασφάλεια και μειώνει τη δυνατότητα για λάθη που προκύπτουν από χειροκίνητες διαδικασίες. Οι αυτοματοποιημένες λύσεις χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες όπως στα μηχανήματα, στις εγκαταστάσεις κατασκευής, στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στις καλλιέργειες και στις μεταφορές και logistics. Οι βιομηχανικοί αυτοματισμοί σήμερα έχουν δημιουργήσει πολλές από τις τεχνολογικές εξελίξεις, όπως τους αισθητήρες υπερήχων και τους αισθητήρες λέιζερ, διότι όλα αυτά τα είδη των προϊόντων αυτοματισμού δίνουν ευκολία στους ανθρώπους ανάλογα βέβαια και με τον τύπο εργασίας που έχει αναλάβει ο καθένας.

Οι αισθητήρες υπερήχων κερδίζουν τη δημοτικότητα σε μια σειρά από βιομηχανικές εργασίες, καθώς εντοπίζουν με αξιοπιστία τα ιδιαίτερα αντανακλαστικά και διαφανή αντικείμενα. Στους αισθητήρες υπερήχων, τα υπερηχητικά κύματα χρησιμοποιούνται για να επιτρέπουν τη σταθερή ανίχνευση διαφανών αντικειμένων. Αυτοί έχουν αποδεδειγμένη αξιοπιστία για την ακρίβειά τους σε πολλές βιομηχανίες και εφαρμογές, όπως ξυλεία και έπιπλα, κατασκευή υλικών και εξοπλισμού, γεωργικό εξοπλισμό, εφαρμογές ελέγχου, κ.λπ. Αυτοί οι αισθητήρες λειτουργούν καλά για εφαρμογές που απαιτούν ακριβείς μετρήσεις μεταξύ των σταθερών και κινούμενων αντικειμένων. Τα πλεονεκτήματα των αισθητήρων υπερήχων είναι ότι επηρεάζονται λιγότερο από τα υλικά – στόχους και τις επιφάνειες, και δεν επηρεάζονται από το χρώμα.

Οι αισθητήρες λέιζερ είναι λύσεις ακριβείας για τη μεταποιητική βιομηχανία. Οι βιομηχανικές εφαρμογές απαιτούν από τους αισθητήρες λέιζερ τη μέτρηση μιας διάστασης και να μετρήσουν το αντικείμενο ή υλικό σε σχέση με μία επιφάνεια αναφοράς. Οι αισθητήρες λέιζερ χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιομηχανία για την επαλήθευση του μήκους, πλάτους και πάχους. Οι αισθητήρες λέιζερ μπορεί να είναι ιδανικοί για την αποφυγή σύγκρουσης, ανίχνευση προσέγγισης, μέτρηση στάθμης για υγρά και στερεά, την τοποθέτηση και την παρακολούθηση του εξοπλισμού ή ακόμα

και εφαρμογές υψόμετρου. Αυτοί χρησιμοποιούνται όταν πρόκειται να ανιχνευθούν μικρά αντικείμενα ή ακριβείς θέσεις. Έχουν σχεδιαστεί και για αισθητήρες πορείας, φωτοκύτταρα ανάκλασης ή διάχυτη ανάκλαση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε την έννοια των αισθητήρων γενικότερα. Τι τύπου αισθητήρες μπορούμε να συναντήσουμε γενικά στο εμπόριο, ποιος είναι ο ρόλος τους σε γενικές γραμμές, ποια είναι τα πλεονεκτήματα της χρήσης τους και ποια τα μειονεκτήματα. Θα δούμε επίσης τους περισσότερο χρησιμοποιούμενους αισθητήρες και θα καταλήξουμε στα είδη των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στις διάφορων τύπων καλλιέργειες.

1.1. Γενικά για τους αισθητήρες

Οι αισθητήρες είναι εξελιγμένες συσκευές που χρησιμοποιούνται συχνά για να ανιχνεύσουν και να ανταποκριθούν σε ηλεκτρικά ή οπτικά σήματα. Ένας αισθητήρας μετατρέπει τη φυσική παράμετρο (για παράδειγμα: την θερμοκρασία, την αρτηριακή πίεση, την υγρασία, την ταχύτητα, κ.λπ.) σε ένα σήμα που μπορεί να μετρηθεί ηλεκτρικά. Ας εξηγήσουμε το παράδειγμα της θερμοκρασίας. Ο υδράργυρος στο θερμόμετρο γυαλιού, διαστέλλει και συστέλλει το υγρό για να μετατρέψει τη μετρημένη θερμοκρασία που μπορεί να διαβαστεί από ένα άτομο στον βαθμονομημένο γυάλινο σωλήνα.

Υπάρχουν ορισμένα χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν θα επιλέξει κανείς ένα αισθητήρα. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

1. Η Ακρίβεια
2. Η περιβαλλοντική κατάσταση – συνήθως έχει όρια θερμοκρασίας/ υγρασίας
3. Το φάσμα όριο μέτρησης του αισθητήρα

4. Η βαθμονόμηση – Ουσιαστική για τις περισσότερες από τις συσκευές μέτρησης, καθώς ο τρόπος με τον οποίο διαβάζεται κάτι αλλάζει με τον καιρό
5. Ανάλυση – Μικρότερη προσαύξηση ανιχνεύεται από τον αισθητήρα
6. Κόστος
7. Επαναληψιμότητα – Η ανάγνωση, η οποία ποικίλλει, μετράται επανειλημμένως στο ίδιο περιβάλλον.



Εικόνα 1. Διάφοροι τύποι αισθητήρων

Οι αισθητήρες κατατάσσονται στα ακόλουθα κριτήρια:

1. Κύρια ποσότητα εισόδου (μετρητέα)
2. Αρχές μεταγωγής (Χρησιμοποιώντας φυσικές και χημικές επιδράσεις)
3. Υλικό και Τεχνολογία
4. Ιδιότητα
5. Εφαρμογή

Η αρχή μεταγωγής είναι τα βασικά κριτήρια που ακολουθούνται για την αποτελεσματική προσέγγιση. Συνήθως, τα κριτήρια υλικών και τεχνολογίας έχουν επιλεγεί από την ομάδα ανάπτυξης των μηχανικών.

Η κατάταξη με βάση την ιδιότητα γίνεται ως κάτωθι:

1. Θερμοκρασία – θερμίστορες, θερμοστοιχεία και πολλά άλλα.
2. Πίεση – οπτικές ίνες, κενό, μανόμετρα με βάση ελαστικό υγρό, κ.λπ.
3. Ροή – Ηλεκτρομαγνητική, διαφορικής πίεσης, μετατόπισης θέσης, θερμικής μάζας, κ.λπ.
4. Αισθητήρες Επίπεδου – διαφορικής πίεσης, υπερήχων ραδιοσυχνότητας, ραντάρ, θερμικής μετατόπισης, κ.λπ.
5. Εγγύτητα και μετατόπιση – φωτοηλεκτρική, χωρητική, μαγνητική, με υπερήχους.
6. Βιοαισθητήρες – αντηχητικό κάτοπτρο, ηλεκτροχημικός, επιφάνεια συντονισμού Plasma, ποτενσιομετρικός προσπελάσιμος από φως.
7. Εικόνας
8. Φυσικού αερίου και χημικών – ημιαγωγός, υπερύθρων, αγωγιμότητας Ηλεκτροχημικός.
9. Επιτάχυνση – Γυροσκόπιο, επιταχυνσιόμετρο.
10. Άλλα – Υγρασία, αισθητήρας υγρασίας, αισθητήρας ταχύτητας, μάζας, αισθητήρας κλίσης, δύναμης, το ιξώδους.

Η κατάταξη με βάση την εφαρμογή είναι όπως δίνεται παρακάτω:

- Ελέγχου βιομηχανικής διαδικασίας, μέτρησης και αυτοματισμού

- Μη-βιομηχανικής χρήσης σε αεροσκάφη, ιατρικά προϊόντα, αυτοκίνητα, ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, και άλλους τύπους αισθητήρων.

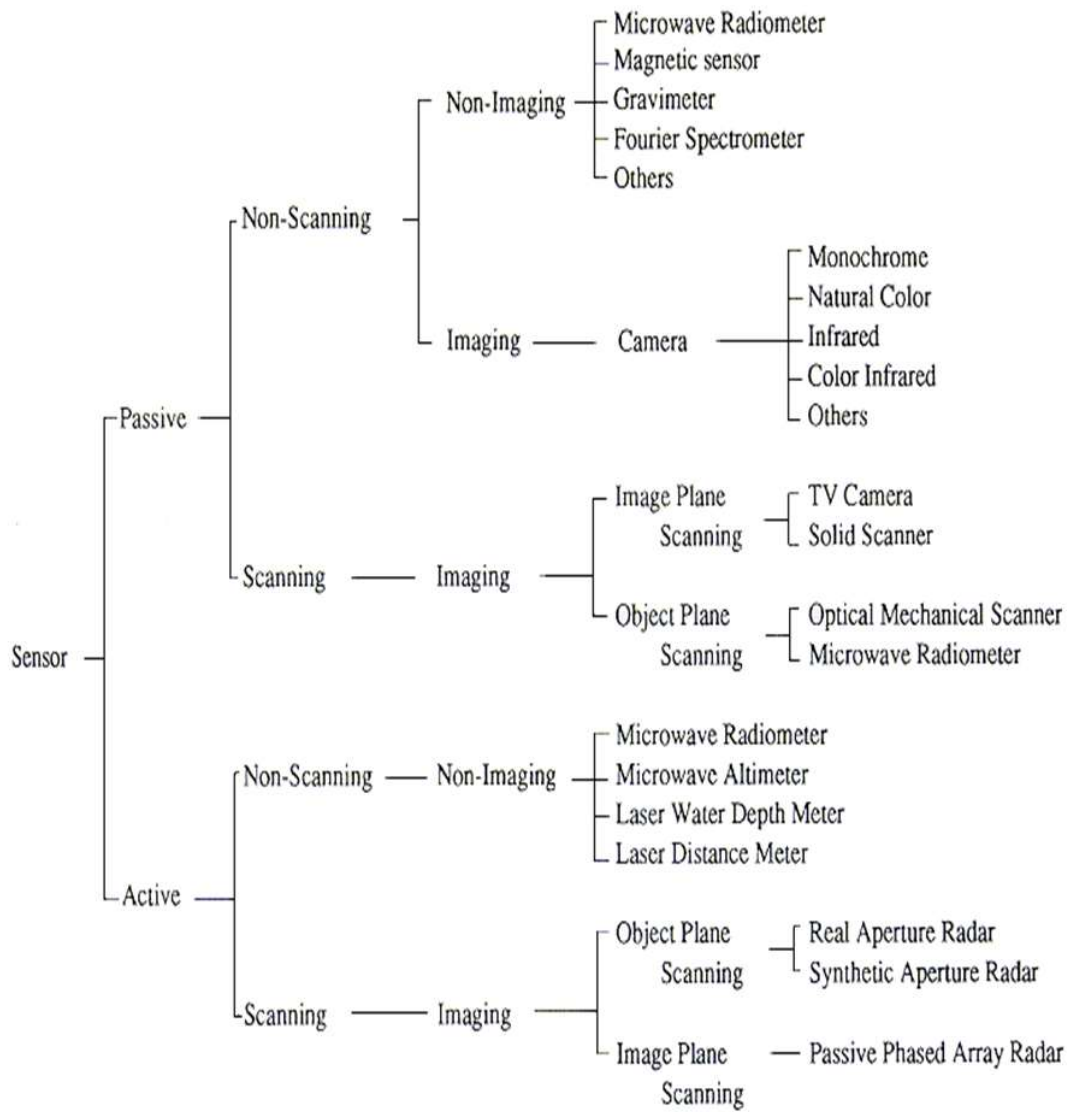
Οι αισθητήρες μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με την ισχύ ή την απαίτηση παροχής ενέργειας των αισθητήρων:

- Ενεργός αισθητήρας: Οι αισθητήρες που απαιτούν τροφοδοσία ρεύματος, ονομάζονται ενεργοί αισθητήρες.
- Παθητικός αισθητήρας: Οι αισθητήρες που δεν απαιτούν παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, ονομάζονται παθητικοί αισθητήρες.

Υπό τις σημερινές και μελλοντικές εφαρμογές, οι αισθητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σε ομάδες ως εξής:

- Επιταχυνσιόμετρα - Αυτά βασίζονται στην τεχνολογία μικροηλεκτρομηχανικού αισθητήρα.
- Βιοαισθητήρες - Αυτοί βασίζονται στην ηλεκτροχημική τεχνολογία.
- Αισθητήρες Εικόνας - Αυτοί βασίζονται στην τεχνολογία CMOS. Χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, τη χρήση βιομετρικών στοιχείων, την κυκλοφορία και την εποπτεία της ασφάλειας και της απεικόνισης του υπολογιστή.
- Ανιχνευτές Κίνησης - Αυτοί βασίζονται στην υπέρυθη ακτινοβολία, στους υπερήχους, και την τεχνολογία μικροκυμάτων/ ραντάρ. Χρησιμοποιούνται σε βιντεοπαιχνίδια και προσομοιώσεις, στην ενεργοποίηση φωτός και στην ανίχνευση ασφαλείας (Vetelino & Reghu, 2010, Webster, 1999, Sinclair, 2000).

Στην επόμενη σελίδα μπορούμε να δούμε μια τυπική διάκριση των αισθητήρων.



Εικόνα 2, Διάφορες τυπολογίες αισθητήρων

1.2. Ταξινόμηση των σφαλμάτων μέτρησης

Ένας καλός αισθητήρας υπακούει στους ακόλουθους κανόνες:

- Είναι ευαίσθητος στην μετρούμενη ιδιότητα και μόνο
- Δεν είναι ευαίσθητος σε κάθε άλλη ιδιότητα που ενδέχεται να συναντήσει κατά την εφαρμογή του
- Δεν επηρεάζει τη μετρούμενη ιδιότητα

Οι ιδανικοί αισθητήρες έχουν σχεδιαστεί για να είναι γραμμικοί ή γραμμικοί ως προς κάποια απλή μαθηματική συνάρτηση μέτρησης, τυπικά λογαριθμική. Η έξοδος ενός τέτοιου αισθητήρα είναι ένα αναλογικό σήμα και γραμμικά ανάλογο με την αξία ή την απλή συνάρτηση της μετρούμενης ιδιοκτησίας (Καλοβρέκτης & Κατέβας, 2012: 78). Η ευαισθησία στη συνέχεια ορίζεται ως ο λόγος μεταξύ του σήματος εξόδου και της μετρούμενης ιδιότητας. Για παράδειγμα, εάν ένας αισθητήρας μετρά την θερμοκρασία και έχει έξοδο τάσης, η ευαισθησία είναι μία σταθερά με μονάδα V/K. Ο αισθητήρας αυτός είναι γραμμικός, επειδή η αναλογία είναι σταθερή σε όλα τα σημεία μέτρησης.

Για να τεθεί σε επεξεργασία ή χρήση σε ψηφιακό εξοπλισμό, ένας αισθητήρας αναλογικού σήματος, αυτό θα πρέπει να μετατραπεί σε ένα ψηφιακό σήμα, με τη χρήση ενός μετατροπέα αναλογικού προς ψηφιακό.

1.2.1. Αποκλίσεις αισθητήρων

Εάν ο αισθητήρας δεν είναι ιδανικός, μπορούν να παρατηρηθούν διάφοροι τύποι αποκλίσεων όπως:

- Η ευαισθησία μπορεί να διαφέρει στην πράξη από την καθορισμένη τιμή. Αυτό ονομάζεται σφάλμα ευαισθησίας, αλλά ο αισθητήρας είναι ακόμη γραμμικός.
- Δεδομένου ότι το φάσμα του σήματος εξόδου είναι πάντα περιορισμένο, το σήμα εξόδου θα φτάσει τελικά στο ελάχιστο ή στο μέγιστο όταν η μετρούμενη ιδιότητα υπερβαίνει τα όρια. Το εύρος πλήρους κλίμακας καθορίζει τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές της μετρούμενης ιδιότητας.
- Εάν το σήμα εξόδου δεν είναι μηδέν, όταν η μετρούμενη ιδιότητα είναι μηδέν, ο αισθητήρας έχει ένα αντιστάθμισμα. Αυτό ορίζεται ως η έξοδος του αισθητήρα σε μηδενική είσοδο.
- Εάν η ευαισθησία δεν είναι σταθερή σε όλο το εύρος του αισθητήρα, αυτό ονομάζεται μη γραμμικότητα. Συνήθως αυτό ορίζεται από το ποσό η έξοδος διαφέρει από την ιδανική συμπεριφορά σε όλο το εύρος του αισθητήρα, που συχνά σημειώνεται ως ποσοστό του πλήρους φάσματος.
- Εάν η απόκλιση προκαλείται από μια ταχεία μεταβολή της μετρούμενης ιδιότητας με την πάροδο του χρόνου, υπάρχει ένα δυναμικό σφάλμα. Συχνά, αυτή η συμπεριφορά περιγράφεται με ένα προσχέδιο που παρουσιάζει το σφάλμα της ευαισθησίας και την μετατόπιση φάσης ως συνάρτηση της συχνότητας ενός περιοδικού σήματος εισόδου.
- Εάν το σήμα εξόδου αλλάζει αργά ανεξάρτητα από την μετρούμενη ιδιότητα, αυτό ορίζεται ως εκτροπή.
- Η μακροπρόθεσμη μεταβολή συνήθως δείχνει μια αργή υποβάθμιση των ιδιοτήτων του αισθητήρα πάνω σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Ο θόρυβος είναι μια τυχαία απόκλιση του σήματος που μεταβάλλεται στο χρόνο.

- Η υστέρηση είναι ένα σφάλμα που προκαλείται όταν η μετρούμενη ιδιότητα αντιστρέφει την κατεύθυνση, αλλά υπάρχει κάποια πεπερασμένη υστέρηση στο χρόνο για τον αισθητήρα ώστε να ανταποκριθεί, δημιουργώντας μια διαφορετική αντιστάθμιση σφάλματος σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση από ό,τι στην άλλη.
- Αν ο αισθητήρας έχει ψηφιακή έξοδο, η έξοδος είναι ουσιαστικά μια προσέγγιση της μετρούμενης ιδιότητας. Το σφάλμα προσέγγισης επίσης ονομάζεται σφάλμα ψηφιοποίησης.
- Εάν το σήμα παρακολουθείται ψηφιακά, ο περιορισμός της συχνότητας δειγματοληψίας μπορεί επίσης να προκαλέσει δυναμικό λάθος, ή εάν η μεταβλητή ή ο προστιθέμενος θόρυβος αλλάξει περιοδικά σε μία συχνότητα κοντά σε ένα πολλαπλάσιο του ρυθμού δειγματοληψίας μπορεί να προκαλέσει σφάλματα παραποίησης.
- Ο αισθητήρας μπορεί σε κάποιο βαθμό να είναι ευαίσθητος σε ιδιότητες, εκτός από την ιδιότητα που μετράται. Για παράδειγμα, οι περισσότεροι αισθητήρες επηρεάζονται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος τους.

Όλες αυτές οι αποκλίσεις μπορούν να ταξινομηθούν ως συστηματικά ή τυχαία σφάλματα. Τα συστηματικά σφάλματα μπορούν μερικές φορές να αντισταθμιστούν με τη βοήθεια κάποιου είδους στρατηγικής βαθμονόμησης. Ο θόρυβος είναι ένα τυχαίο σφάλμα που μπορεί να μειωθεί με επεξεργασία του σήματος, όπως το φιλτράρισμα, συνήθως σε βάρος της δυναμικής συμπεριφοράς του αισθητήρα (Yamasaki, 1996, Λουτρίδης, 2008).

1.2.2. Ανάλυση

Η ανάλυση του αισθητήρα είναι η μικρότερη αλλαγή που μπορεί να ανιχνεύσει στην ποσότητα που μετρά. Συχνά σε μια ψηφιακή οθόνη, το λιγότερο σημαντικό ψηφίο θα παρουσιάσει διακυμάνσεις, που δείχνουν ότι οι αλλαγές αυτού του μεγέθους έχουν

μόλις αναλυθεί. Η ανάλυση σχετίζεται με την ακρίβεια με την οποία γίνεται η μέτρηση. Για παράδειγμα, ένας ανιχνευτής σάρωσης σήραγγας (μια λεπτή άκρη κοντά σε μια επιφάνεια συλλέγει ένα ρεύμα ηλεκτρονίων σηράγγων) μπορεί να αναλύσει τα άτομα και τα μόρια (Λουτρίδης, 2008: 92).

1.3. Ενδεικτικοί τύποι αισθητήρων

Στην φάση αυτή μπορούμε να αναφέρουμε τις βασικές κατηγορίες αισθητήρων και στην συνέχεια μπορούμε να αναφερθούμε σε ορισμένους ενδεικτικούς τύπους.

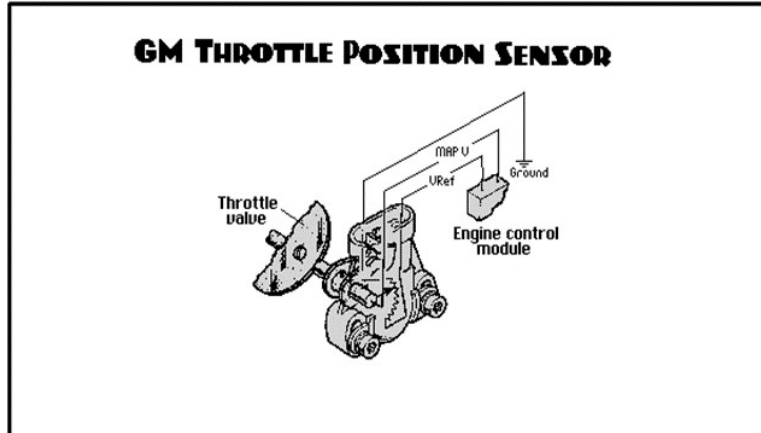
Οι βασικές κατηγορίες είναι:

- Επιτάχυνσης/ Δόνησης
- Ακουστικοί/ Υπερήχων
- Χημικοί/ Αερίου
- Ηλεκτρικοί/ Μαγνητικοί
- Ροής
- Δύναμης/ Φορτίου/ Ροπής/ Καταπόνησης
- Υγρασίας
- Διαρροής/ Επίπεδου
- Τεχνητής Όρασης
- Οπτικοί
- Κίνησης/ Ταχύτητας/ Κυβισμού

- Θέσης/ Παρουσίας/ Εγγύτητας
- Πίεσης
- Θερμοκρασίας

1.3.1. Αισθητήρας θέσης πεντάλ γκαζιού

Οι αισθητήρες θέσης πεντάλ γκαζιού γνωστοποιούν στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου κάθε φορά πόσο «ανοιχτό» είναι το γκάζι και κατά πόσο σκληρά ο χρήστης το πιέζει. Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου χρησιμοποιεί τις γνώσεις της για την θέση του πεντάλ γκαζιού, για τον έλεγχο της τροφοδοσίας καυσίμου και του χρονισμού ανάφλεξης. Για παράδειγμα, κάτω από ένα βαρύ γκάζι, η χρονική στιγμή σπινθήρα συνήθως θα προχωρήσει πέρα από ότι το κάτω ελαφρύ γκάζι.



Εικόνα 3. Αισθητήρας θέσης πεντάλ γκαζιού

Δύο κοινές τεχνολογίες θέσης πεντάλ γκαζιού είναι η ποτενσιομετρική και η φαινομένου Hall. Η ποτενσιομετρική χρησιμοποιεί ένα ποτενσιόμετρο, που είναι μια μεταβλητή αντίσταση. Ακριβώς όπως ο διακόπτης του ήχου σε ένα ραδιόφωνο, η αντίσταση του ποτενσιόμετρου αλλάζει καθώς ο κεντρικά τοποθετημένος άξονας περιστρέφεται. Όταν ρεύμα περνάει διαμέσου του ποτενσιομετρικού αισθητήρα, αυτή η μεταβολή στην αντίσταση μετατρέπεται σε μια μεταβολή στην τάση η οποία είναι

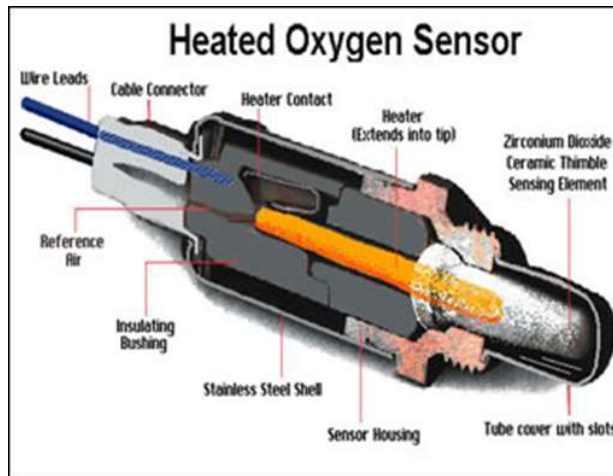
ανάλογη με τη θέση του πεντάλ γκαζιού. Αυτή είναι αναλογική τάση (Gardner, 2000: 59).

Ένας αισθητήρας θέσης γκαζιού θέσης φαινομένου Hall, μερικές φορές αποκαλείται ανέπαφος αισθητήρας θέσης περιστροφής, επειδή, σε αντίθεση με τον ποτενσιομετρικό αισθητήρα, δεν χρησιμοποιεί σκληρές επαφές. Αυτή η συσκευή χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα γραμμικά ολοκληρωμένα κυκλώματα φαινομένου Hall (IC) για να ανιχνεύει την περιστροφή των πολλαπλών μαγνητών. Στην απλούστερη μορφή της, δύο μαγνήτες αντίθετης πολικότητας μπορούν να τοποθετηθούν στις απέναντι πλευρές ενός περιστρεφόμενου μαγνητικού περιβλήματος, με το γραμμικό ολοκληρωμένο κύκλωμα φαινομένου Hall στη μέση. Όταν οι μαγνήτες περιστρέφονται γύρω από τον αισθητήρα, το πεδίο που βλέπει ο αισθητήρας είναι μια ημιτονοειδής συνάρτηση της γωνίας περιστροφής, και ο αισθητήρας παρέχει μια λογομετρική έξοδο τάσης ως συνάρτηση αυτής της γωνίας (Gardner, 2000: 61).

Επειδή ένας αισθητήρας θέσης γκαζιού φαινομένου Hall δεν έχει σκληρές επαφές για να φθαρεί, συνήθως παρουσιάζει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από ότι ένας ποτενσιομετρικός αισθητήρας θέσης γκαζιού. Σε πολλές περιπτώσεις, η διάρκεια ζωής ενός αισθητήρα θέσης γκαζιού φαινομένου Hall μπορεί να μετρηθεί σε πάρα πολλές ενέργειες.

1.3.2. Αισθητήρες οξυγόνου καυσαερίων

Οι αισθητήρες οξυγόνου καυσαερίων τοποθετούνται μέσα στο σύστημα εξάτμισης του κινητήρα. Η ποσότητα του οξυγόνου στο καυσαέριο δείχνει εάν ή όχι η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου κατεύθυνε το σύστημα παροχής καυσίμου για να παρέχει τη σωστή αναλογία αέρα προς καύσιμο. Εάν η σχετική ποσότητα του αέρα είναι υπερβολικά υψηλή ή υπερβολικά χαμηλή, η ισχύς του κινητήρα, η ομαλότητα, η αποδοτικότητα των καυσίμων και των εκπομπών, θα αντιμετωπίσουν προβλήματα.



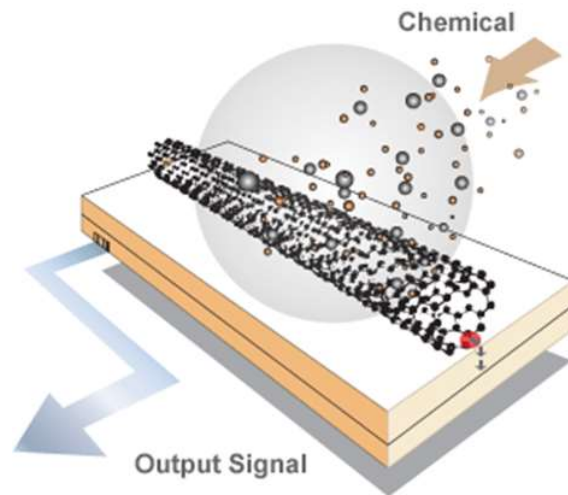
Εικόνα 4. Αισθητήρας οξυγόνου καυσαερίων

Ο πιο κοινός τύπος του αισθητήρα οξυγόνου καυσαερίων είναι «τύπου φυσιγγίου». Εδώ, ένα εσωτερικό ηλεκτρόδιο περιβάλλεται από ατμοσφαιρικό αέρα, με ένα εξωτερικό ηλεκτρόδιο που περιβάλλεται από το αέριο της εξάτμισης. Το εξωτερικό ηλεκτρόδιο κατασκευάζεται από ζirkόνια ή τιτάνια και θερμαίνεται από ένα κεραμικό θερμαντήρα. Αυτό το είδος του αισθητήρα δημιουργεί μία τάση η οποία είναι ανάλογη προς τη διαφορά στη συγκέντρωση του οξυγόνου μεταξύ του καυσαερίου και του ατμοσφαιρικού αέρα. Η ποσότητα του οξυγόνου στο καυσαέριο μπορεί επομένως να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας αυτή την αναλογική τάση (Καλαϊτζάκης, Κουτρούλης, 2010: 105).

1.3.3. Χημικοί αισθητήρες

Ένας χημικός αισθητήρας είναι μια αυτοτελής συσκευή ανάλυσης που μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη χημική σύνθεση του περιβάλλοντός της, δηλαδή, μια υγρή ή μια αέρια φάση. Οι πληροφορίες παρέχονται υπό τη μορφή ενός μετρήσιμου φυσικού σήματος που συσχετίζεται με τη συγκέντρωση ορισμένων χημικών ειδών (και συχνά ονομάζεται ως αναλύτης). Δύο κύρια στάδια εμπλέκονται στη λειτουργία ενός χημικού αισθητήρα, δηλαδή, η αναγνώριση και η μεταγωγή. Στο στάδιο αναγνώρισης, ο αναλύτης μορίων αλληλεπιδρά εκλεκτικά με μόρια υποδοχέα

ή περιοχές που περιλαμβάνονται στη δομή του στοιχείου αναγνώρισης του αισθητήρα.

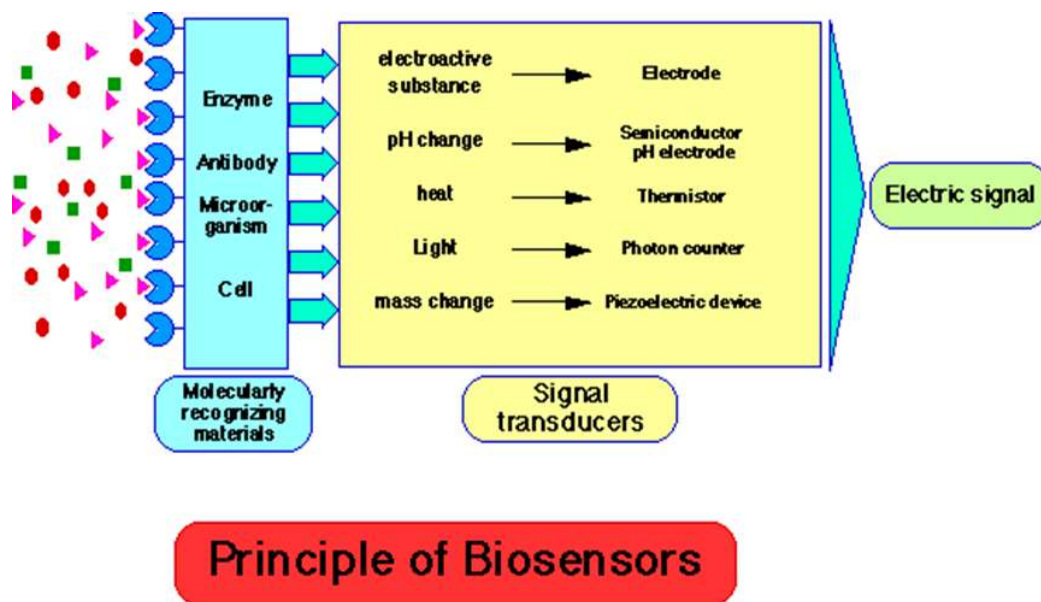


Εικόνα 5. Τρόπος λειτουργίας ενός χημικού αισθητήρα

Κατά συνέπεια, μια χαρακτηριστική φυσική παράμετρος ποικίλει και αυτή η παραλλαγή αναφέρεται μέσω ενός ολοκληρωμένου μετατροπέα που παράγει το σήμα εξόδου. Ένας χημικός αισθητήρας που βασίζεται στο υλικό αναγνώρισης της βιολογικής φύσης είναι ένας βιοαισθητήρας. Ωστόσο, δεδομένου ότι τα συνθετικά βιομιμητικά υλικά πρόκειται να αντικαταστήσουν, ως ένα σημείο, τα βιοϋλικά αναγνώρισης, μια σαφής διάκριση μεταξύ ενός βιοαισθητήρα και ενός πρότυπου χημικού αισθητήρα είναι περιττή. Τα τυπικά βιομιμητικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη των αισθητήρων είναι τα μοριακά αποτυπωμένα πολυμερή και απταμερή (Eggins, 2008: 73).

1.3.4. Βιοαισθητήρες

Στη βιοϊατρική και τη βιοτεχνολογία, οι αισθητήρες που ανιχνεύουν αναλύτες χάρη σε ένα βιολογικό συστατικό, όπως κύτταρα, πρωτεΐνες, νουκλεϊκό οξύ ή βιομιμητικά πολυμερή, ονομάζονται βιοαισθητήρες. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ένας μη-βιολογικός αισθητήρας, ακόμη και οργανικός, για τους βιολογικούς αναλύτες αναφέρεται ως αισθητήρας ή νανοαισθητήρας. Αυτή η ορολογία εφαρμόζεται τόσο για *in vitro* όσο και για *in vivo* εφαρμογές. Η ενθυλάκωση του βιολογικού συστατικού σε βιοαισθητήρες παρουσιάζει ένα ελαφρώς διαφορετικό πρόβλημα από εκείνα στους συνήθεις αισθητήρες. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με τη βοήθεια ενός ημιπερατού φράγματος, όπως μία μεμβράνη διαπίδυσης ή υδρογέλης, ή μια 3D μήτρα πολυμερούς, που είτε φυσικά περιορίζουν το μακρομόριο αίσθησης ή χημικώς περιορίζει το μακρομόριο συνδέοντάς το με το κρίωμα.



Εικόνα 6. Αρχή λειτουργίας βιοαισθητήρων

Κάθε βιοαισθητήρας περιλαμβάνει:

- Ένα βιολογικό συστατικό που δρα ως αισθητήρας
- Ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα που ανιχνεύει και μεταδίδει το σήμα

Τα σπουδαιότερα στοιχεία του βιοαισθητήρα.

Μία ποικιλία ουσιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιοστοιχεία σε έναν βιοαισθητήρα. Παραδείγματα αυτών περιλαμβάνουν :

- Νουκλεϊκά οξέα
- Πρωτεΐνες συμπεριλαμβανομένων ενζύμων και αντισωμάτων. Τα αντισώματα που βασίζονται οι βιοαισθητήρες ονομάζεται επίσης ανοσοαισθητήρες.
- Οι φυτικές πρωτεΐνες ή λεκτίνες
- Σύνθετα υλικά, όπως φέτες ιστού, μικροοργανισμοί και οργανίδια.

Το σήμα που παράγεται όταν ο αισθητήρας αλληλεπιδρά με τον αναλύτη μπορεί να είναι ηλεκτρικό, οπτικό ή θερμικό. Στη συνέχεια μετατρέπεται με τη βοήθεια ενός κατάλληλου μορφοτροπέα σε μια μετρήσιμη ηλεκτρική παράμετρο – συνήθως ένα ρεύμα ή η τάση.

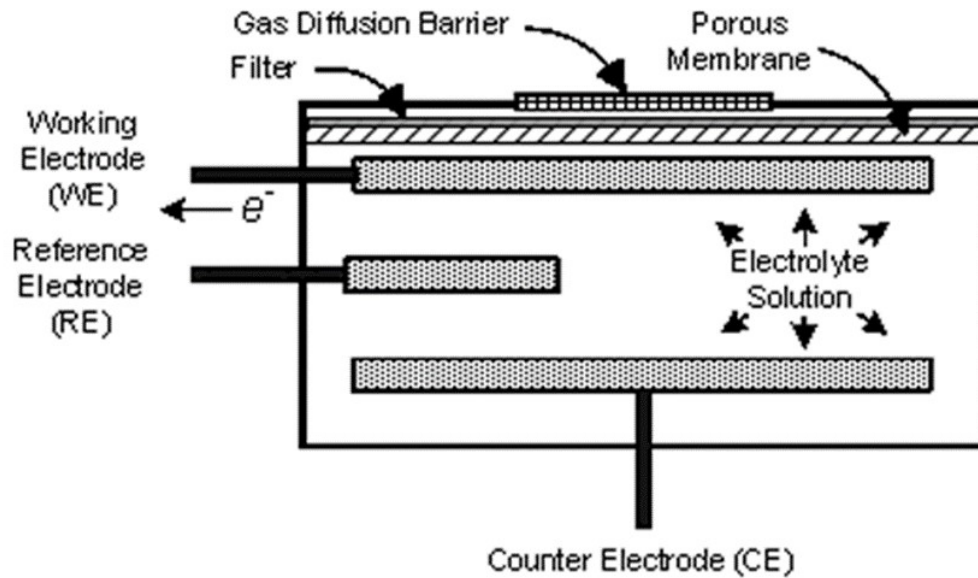
Εφαρμογές

Οι ανιχνευτές βιοαισθητήρα γίνονται όλο και πιο πολύπλοκοι, κυρίως λόγω του συνδυασμού δυο τεχνολογικών τομέων τομέων: της μικροηλεκτρονικής και της βιοτεχνολογίας. Οι βιοαισθητήρες είναι εξαιρετικά πολύτιμες συσκευές για τη μέτρηση ενός ευρέως φάσματος αναλυτών συμπεριλαμβανομένων οργανικών ενώσεων, αερίων, ιόντων και τα βακτηρίων (Eggins, 2008: 132).

1.3.5. Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες

Ο σκοπός ενός χημικού αισθητήρα είναι να παρέχει σε πραγματικό χρόνο αξιόπιστες πληροφορίες σχετικά με τη χημική σύνθεση του περιβάλλοντός του. Ιδανικά, μία τέτοια συσκευή είναι ικανή να ανταποκρίνεται συνεχώς και αντιστρεπτά και δεν

διαταράσσει το δείγμα. Τέτοιες συσκευές αποτελούνται από ένα στοιχείο μορφοτροπής που καλύπτεται με ένα βιολογικό ή χημικό στρώμα αναγνώρισης. Στην περίπτωση των ηλεκτροχημικών αισθητήρων, η αναλυτική πληροφορία λαμβάνεται από το ηλεκτρικό σήμα που προκύπτει από την αλληλεπίδραση του αναλύτη στόχου και του στρώματος αναγνώρισης.



Εικόνα 7. Βασική διάταξη ηλεκτροχημικού αισθητήρα

Διαφορετικές ηλεκτροχημικές συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το έργο της παρακολούθησης του περιβάλλοντος (ανάλογα με τη φύση του αναλύτη, το χαρακτήρα του υλικού του δείγματος, και τις απαιτήσεις ευαισθησίας ή της επιλεκτικότητας). Οι περισσότερες από αυτές τις συσκευές εμπίπτουν σε δύο μεγάλες κατηγορίες (σύμφωνα με τη φύση του ηλεκτρικού σήματος): τους αμπερομετρικούς αισθητήρες και τους ποτενσιομετρικούς αισθητήρες.

Ο αμπερομετρικός αισθητήρας βασίζεται στην ανίχνευση ηλεκτροδραστικών ειδών που εμπλέκονται στη διαδικασία χημικής ή βιολογικής αναγνώρισης. Η διαδικασία μεταγωγής σήματος επιτυγχάνεται με τον έλεγχο του δυναμικού του ηλεκτροδίου εργασίας σε μία σταθερή τιμή (σε σχέση με ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς) και στην

παρακολούθηση του ρεύματος ως μία συνάρτηση του χρόνου. Το εφαρμοζόμενο δυναμικό χρησιμεύει ως κινητήρια δύναμη για την αντίδραση μεταφοράς ηλεκτρονίων των ηλεκτροενεργών ειδών. Το προκύπτον ρεύμα είναι ένα άμεσο μέτρο του ρυθμού της αντίδρασης μεταφοράς ηλεκτρονίων. Αντανακλά έτσι το ρυθμό αναγνώρισης, και είναι ανάλογο προς τη συγκέντρωση του αναλύτη-στόχου.

Στον ποτενσιομετρικό αισθητήρα, η αναλυτική πληροφορία λαμβάνεται από τη μετατροπή της διαδικασίας αναγνώρισης σε ένα δυναμικό σήμα, το οποίο είναι ανάλογο (με λογαριθμικό τρόπο) προς τη συγκέντρωση (δραστικότητα) των ειδών που παράγονται ή καταναλώνονται σε περίπτωση αναγνώρισης. Τέτοιες συσκευές βασίζονται στη χρήση των εκλεκτικών ηλεκτροδίων ιόντων για την παραγωγή δυναμικού σήματος. Μια επιλεκτικής διαπερατότητας αγωγίμου ιόντος (τοποθετείται στο άκρο του ηλεκτροδίου) έχει σχεδιαστεί για να δώσει ένα δυναμικό σήμα που οφείλεται κατά κύριο λόγο στα ιόντα στόχους. Τέτοια απόκριση μετράται υπό συνθήκες ουσιαστικά μηδενικού ρεύματος. Οι ποτενσιομετρικοί αισθητήρες είναι πολύ ελκυστικοί για τις εργασίες πεδίου λόγω της υψηλής επιλεκτικότητας τους, της απλότητας και του χαμηλού κόστους. Είναι, ωστόσο, λιγότερο ευαίσθητοι και συχνά πιο αργοί από τους αμπερομετρικούς. Στο παρελθόν, οι ποτενσιομετρικές συσκευές έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτερα, αλλά και η αυξανόμενη ποσότητα της έρευνας σχετικά με τους αμπερομετρικούς ανιχνευτές θα πρέπει να αλλάξει σταδιακά την ισορροπία αυτή (Janata, 2010, Regtien, 2012, Fraden, 2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΝΕΡΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό θα επικεντρωθούμε στο ουσιαστικό περιεχόμενο της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, δηλαδή στους αισθητήρες ανάλυσης νερού στις υδροπονικές καλλιέργειες. Θα δούμε ποια είναι η χρησιμότητα τους, ποια η λειτουργία τους, την εσωτερική τους διάταξη και όλα τα υπόλοιπα δεδομένα που τους καθιστούν τόσο σημαντικούς.

2.1. Η ανάλυση του νερού

Ένας αριθμός παραμέτρων μπορεί να προσδιοριστεί στο χώρο με συμβατικά μέτρα. Παραδείγματα τέτοιων παραμέτρων είναι η οξύτητα (pH), η αγωγιμότητα, η θερμοκρασία (βαθμοί Κελσίου), το δυναμικό οξειδοαναγωγής, οι συγκεντρώσεις οξυγόνου και ροής (m³/h).

PARAMETER	UNITS	RESULTS
Conductivity	uS/cm	442
PH	-	7.5
Nitrate	mg N03/L	17
Sulphate	mg S04/L	<5
Chloride	mg Cl/L	14
Sodium	mg Na/L	7
Potassium	mg K/L	0.3
Calcium	mg Ca/L	92
Iron	mg Fe/L	<0.02
Copper	mg Cu/L	<0.01
Zinc	mg Zn/L	<0.01

Εικόνα 8. Τυπικά αποτελέσματα μιας ανάλυσης νερού

Ωστόσο, οι επιλεκτικές μετρήσεις των ειδικών ιόντων, των μετάλλων και των αλάτων, δεν μπορούν να εκτελεστούν επί τόπου. Προκειμένου να είναι κανείς σε θέση να μετρήσει αυτές τις παραμέτρους, τα δείγματα θα πρέπει να λαμβάνονται στο εργαστήριο, που πρόκειται να αναλυθούν. Για τις παραμέτρους που πρέπει να καθοριστούν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας λυμάτων, όπως το BOD (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο), το COD (χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο), το Nkj (άζωτο Kjeldahl), τα αιωρούμενα στερεά, ή τα βαρέα μέταλλα, τα δείγματα πρέπει επίσης να αναλυθούν. Για μικροβιακές διεργασίες που μπορούν να προκαλέσουν μόλυνση, ο αριθμός των μονάδων σχηματισμού αποικιών (CFU) πρέπει να προσδιοριστεί. Σε τακτά χρονικά διαστήματα πρέπει κανείς να μετράει και να καταγράφει την μικροβιακή δραστηριότητα. Οι μύκητες, τα βακτήρια και οι ιοί πρέπει να μετρώνται χωριστά, αν και ο συνολικός αριθμός CFU δεν αρκεί. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου προσδιορισμού είναι οι αναλύσεις της λεγιονέλλας (Nollet & De Gelder, 2007: 55).

2.1.1. Παραδείγματα κλάδων και διεργασιών, που συχνά απαιτούν αναλύσεις νερού

Οι κατηγορίες αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

- Λυμάτων – ώστε να καθοριστεί και να επαληθευτεί η τιμή εναπόθεσης και οι εισφορές εναπόθεσης και για τον έλεγχο της εναπόθεσης των επικίνδυνων ουσιών.
- Υδροδότησης λέβητα – για τον προσδιορισμό της καθαρότητας, των συγκεντρώσεων οξυγόνου και διοξειδίου του πυριτίου του νερού τροφοδοσίας.
- Υδάτων τροφοδοσίας γεωργικών καλλιεργειών – προσδιορισμός των θρεπτικών ουσιών και της μικροβιακής δραστηριότητας. Επαναχρησιμοποίηση και έλεγχος αποτελεσματικότητας των οξονιστηρών και

των μονάδες απολύμανσης υπεριώδους. Προσδιορισμός των υπολοίπων ιόντων.

- Νερού ψύξης – προσδιορισμός της σκληρότητας, για να είναι σε θέση να καθορίσει αν πρέπει να εφαρμοστεί κλιμάκωση της πρόληψης. Προσδιορισμός της λεγιονέλλας.
- Εμφιαλωμένου νερού – προσδιορισμός της σύνθεσης των μετάλλων και του αριθμού των CFU μετά την εμφιάλωση του νερού που έχει υποστεί επεξεργασία με όζον.
- Νερού πισίνας – προσδιορισμός του ελεύθερου, δεσμευμένου και δοσονεμημένου χλωρίου και χλωραμινών, και της αποτελεσματικότητας των εφαρμοζόμενων μονάδων υπεριώδους απολύμανσης και οξονιστηρών (Nollet & De Gelder, 2007: 64).

2.1.2. Που γίνονται οι αναλύσεις νερού

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι των εργαστηρίων: τα εσωτερικά και τα εμπορικά εργαστήρια. Ας τα δούμε παρακάτω.

Τα εσωτερικά εργαστήρια

Στο εσωτερικά εργαστήρια βρίσκονται συνήθως σε δημοτικές εγκαταστάσεις ύδρευσης και αποχέτευσης, ζυθοποιεία και εργοστάσια παραγωγής φαρμάκων. Αντιπροσωπεύουν περίπου το ήμισυ του συνόλου των δοκιμών που πραγματοποιούνται κάθε χρόνο.

Τα εμπορικά εργαστήρια

Τα περισσότερα από τα εμπορικά εργαστήρια είναι επιχειρήσεις που παρέχουν υπηρεσίες σε ιδρύματα μιας και μόνο γεωγραφικής. Ο αριθμός των εργαζομένων για

κάθε εργαστήριο είναι συνήθως λιγότερα από πέντε άτομα. Τα εργαστήρια αυτά αντιπροσωπεύουν το ένα τέταρτο του συνόλου των δοκιμών (Nollet & De Gelder, 2007: 28).

2.1.3. Η χημική ανάλυση του νερού

Η χημική ανάλυση του νερού διεξάγεται για να προσδιορίσει και να ποσοτικοποιήσει τα χημικά συστατικά και τις ιδιότητες ενός συγκεκριμένου νερού. Αυτό περιλαμβάνει το pH, τα μεγάλα κατιόντα και ανιόντα, τα ιχνοστοιχεία και τα ισότοπα. Η χημική ανάλυση του νερού χρησιμοποιείται ευρέως για να καθοριστεί η πιθανή χρήση που μπορεί να έχει το νερό ή να μελετήσει την αλληλεπίδραση που έχει με το περιβάλλον του. Η χημική ανάλυση του νερού αποτελεί συχνά τα θεμέλια των μελετών της ποιότητας των υδάτων, της ρύπανσης, της υδρολογίας και των γεωθερμικών νερών.

Τα συστατικά που συνήθως αναλύονται είναι το pH, τα κατιόντα Na, K, Ca, Mg, Ba, τα ανιόντα Cl, F, SO₄, NO₃, τα μέταλλα και τα μεταλλοειδή ιχνοστοιχεία Rb, Ti, Fe, Mn, κλπ., τα ασταθή πτητικά (διαλυμένα αέρια) όπως CO₂, H₂S και O₂, αναλογίες ισotόπων ¹⁸O και ²H, τα οργανικά υλικά και τα θρεπτικά συστατικά.

Ανάλογα με τα συστατικά, διαφορετικές μέθοδοι εφαρμόζονται για τον προσδιορισμό των ποσοτήτων ή των αναλογιών των συστατικών. Ενώ ορισμένες μέθοδοι μπορούν να πραγματοποιηθούν με τον συνήθη εργαστηριακό εξοπλισμό, άλλες απαιτούν προηγμένες συσκευές, όπως επαγωγικά συζευγμένη φασματομετρία μάζας πλάσματος (ICP-MS).

- Οξυγόνο και H₂S μετρώνται πιο συχνά με τιτλοδότηση.
- Η ιοντική χρωματογραφία είναι μια ευαίσθητη και σταθερή τεχνική που μπορεί να μετρήσει τις ποσότητες Li, NH₄, Na, K, Ca και Mg, μεταξύ άλλων συστατικών.

- Για τα δείγματα ατμού, η χρωματογραφία αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα, το οξυγόνο και οι ποσότητες αζώτου.
- Ένας προσδιορισμός των μπλε δραστικών ουσιών μεθυλενίου υποδεικνύει ανιονικές επιφανειοδραστικές ουσίες στο νερό με μια αντίδραση κυανισμού.
- Η φασματοφωτομετρία χρησιμοποιείται πιο συχνά για να μετρήσει το περιεχόμενο σιδήρου και νιτρικού σε δείγματα νερού.
- Το κορεσμένο ηλεκτρόδιο καλομέλανα και το ηλεκτρόδιο υάλου χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό για τον προσδιορισμό του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού (Nollet & De Gelder, 2007: 134).

2.2. Αισθητήρες ανάλυσης νερού

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων ανάλυσης νερού που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Σε γενικές γραμμές βέβαια, μπορούμε να πούμε ότι στο σύνολό τους, οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του νερού είναι ισχυροί βιομηχανικοί αισθητήρες ποιότητας σχεδιασμένοι για την άμεση βύθιση ή την εισαγωγή σε ρεύματα νερού. Οι περισσότεροι αισθητήρες ποιότητας του νερού που τροφοδοτείται από 10-36 VDC και όλοι οι αισθητήρες της ανάλυσης του νερού έχουν μια γραμμική έξοδο 4-20mA. Το τυπικό μήκος του καλωδίου είναι περίπου στα 7,5 μέτρα ενώ υπάρχει και η δυνατότητα για καλώδια έως και 154 μέτρα.

Ας δούμε όμως τις κατηγορίες με τα χαρακτηριστικά τους μια μια.

2.2.1. Αισθητήρας θερμοκρασίας νερού

Έξοδος: 4-20 mA

Εύρος: -50 °C έως +50 °C

Ακρίβεια: ± 0.2 °F ή $\pm 0,1$ °C

Μέγιστη πίεση: 40 PSI

Τάση λειτουργίας: 10-36 VDC

Κατανάλωση ρεύματος: Ίδια με την έξοδο του αισθητήρα

Χρόνος προθέρμανσης: 5 δευτερόλεπτα τουλάχιστον

Θερμοκρασία λειτουργίας: -50 °C έως +100 °C



Εικόνα 9. Τυπική εικόνα αισθητήρα θερμοκρασίας νερού

2.2.2. Αισθητήρας pH νερού

Έξοδος: 4-20 mA

Εύρος: 0-14 pH

Ακρίβεια: 2% της πλήρους κλίμακας

Μέγιστη πίεση: 40 PSI

Τάση λειτουργίας: 10-30 VDC

Κατανάλωση ρεύματος: 5,5 mA συν της εξόδου του αισθητήρα

Χρόνος προθέρμανσης: 3 δευτερόλεπτα τουλάχιστον

Θερμοκρασία λειτουργίας: -5 °C έως +55 °C



Εικόνα 10. Τυπική εικόνα αισθητήρα pH νερού

2.2.3. Αισθητήρας αγωγιμότητας νερού

Έξοδος: Διπλή 4-20 mA (αγωγιμότητας και θερμοκρασίας)

Εύρος αγωγιμότητας: 0-200 uS/ cm, 200-2000 uS/ cm, 2-20 uS/ cm, 20-200 uS/ cm,
και 200-2000 mS/ cm

Ακρίβεια αγωγιμότητας: +0,5% της ένδειξης

Αντιστάθμιση θερμοκρασίας: αυτόματη (2%/ °C κανονικοποιημένη έως 25 °C)

Μέγιστη πίεση: 35 psi (82 ft (25m))

Τάση λειτουργίας: 10-36 VDC

Κατανάλωση ρεύματος: 20 mA συν το άθροισμα των δύο εξόδων των αισθητήρων

Χρόνος προθέρμανσης: 3 δευτερόλεπτα τουλάχιστον

Θερμοκρασία λειτουργίας: -5 έως 70 ° C



Εικόνα 11. Τυπική εικόνα αισθητήρα αγωγιμότητας νερού

2.2.4. Αισθητήρας διαλυμένου οξυγόνου νερού

Έξοδος: 4-20 mA

Εύρος: 0-100% κορεσμού, 0-8 ppm, αντιστάθμιση θερμοκρασίας στους 25 °C

Ακρίβεια: $\pm 0,5\%$ της πλήρους κλίμακας

Μέγιστη πίεση: 40 PSI

Τάση λειτουργίας: 10-36 VDC

Κατανάλωση ρεύματος: 15,5 mA συν του αισθητήρα εξόδου

Χρόνος προθέρμανσης: 10 δευτερόλεπτα τουλάχιστον

Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 °C έως +55 °C

Μεμβράνη: 0.001 FEP Teflon

Συνδυασμένο Σφάλμα: 2% FS

Στην περίπτωση αυτή ας αναφέρουμε ότι έχουμε και την περίπτωση του οπτικού αισθητήρα εντοπισμού διαλυμένου οξυγόνου. Αυτός έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

Έξοδος: Διπλή 4-20 mA (μερικής πίεσης και θερμοκρασίας)

Μερικό εύρος πίεσης: 0-400 mbar

Ακρίβεια: $\pm 0,5\%$ της τιμής

Μέγιστη πίεση: 35 PSI (βάθος 25m στο νερό)

Τάση λειτουργίας: 10-30 VDC

Κατανάλωση ρεύματος: 24 mA συν αυτή των δύο εξόδων του αισθητήρα

Χρόνος προθέρμανσης: 6 δευτερόλεπτα τουλάχιστον ενώ τα 8 συνιστώνται

Θερμοκρασία λειτουργίας: 0 έως +50 °C

Συνήθης κατασκευή αισθητήρα: Ακετυλίου, από ανοξείδωτο χάλυβα, χυτό εποξειδικό.



Εικόνα 12. Τυπική εικόνα αισθητήρα διαλυμένου οξυγόνου νερού

2.2.5. Αισθητήρας οξειδοαναγωγής

Έξοδος: 4-20 mA

Εύρος: -500 - 500 mV

Ακρίβεια: 2% της πλήρους κλίμακας

Μέγιστη πίεση: 40 PSI

Τάση λειτουργίας: 10-36VDC

Κατανάλωση ρεύματος: 0,2 mA συν του αισθητήρα εξόδου

Χρόνος προθέρμανσης: 3 δευτερόλεπτα τουλάχιστον

Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 °C έως +55 °C

(Homola, 2006, Webster, 1999, Eggins, 2008, Fraden, 2010).



Εικόνα 13. Τυπική εικόνα αισθητήρα οξειδοαναγωγής νερού

2.3. Γιατί είναι απαραίτητη η χρήση αισθητήρων για την ανάλυση του νερού στις υδροπονικές καλλιέργειες

Όπως είδαμε και στο πρώτο κεφάλαιο, οι υδροπονικές καλλιέργειες, λόγω του ότι δεν χρησιμοποιούν χόμα προκειμένου να αναπτυχθούν τα φυτά, δεν έχουν μεγάλες δυνατότητες στο να παρέχουν θρεπτικά συστατικά σε αυτά και έτσι για την δημιουργία τέτοιου τύπου καλλιέργειών απαιτείται η κατασκευή ολοκληρωμένων συστημάτων στα οποία προστίθενται διαλύματα με θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των φυτών.

Ενώ σε γενικές γραμμές στις υδροπονικές καλλιέργειες απαιτούνται ποικίλων τύπων αισθητήρες προκειμένου να μπορεί να ελεγχθεί η λειτουργία τους αλλά να είναι και περισσότερο επιτυχημένη, όπως ο έλεγχος της στάθμης του νερού ειδικά σε αεροπονικές καλλιέργειες, μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στην σπουδαιότητα και στην αναγκαιότητα του ελέγχου της ποιότητας του νερού και κατά πόσο παρέχονται θρεπτικά συστατικά στα φυτά σε τακτά χρονικά διαστήματα προκειμένου να αναπτύσσονται με σωστούς ρυθμούς.

Επίσης σημαντική είναι η αναγνώριση των επιπέδων του οξυγόνου στο διάλυμα, δεδομένου ότι τα φυτά για την ανάπτυξη τους απαιτούν μεγάλα επίπεδα οξυγόνου.

Στην περίπτωση αυτή άμεσα απαιτητός είναι ένας αισθητήρας εντοπισμού διαλυμένου οξυγόνου στο νερό που παρέχεται για την υδροπονική καλλιέργεια.

Σε άμεση σύνδεση με την προηγούμενη απαίτηση, είναι η ανάγκη που δημιουργείται για εντοπισμό των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα, καθώς είναι δεδομένο ότι σε χώρους που υπάρχουν πολλά φυτά, είναι ιδιαίτερα υψηλό, σε επίπεδο να κατακλύζει την ατμόσφαιρα, και το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα. Φυσικά, υπάρχουν δεδομένες αναλογίες οξυγόνου προς διοξείδιο του άνθρακα και είναι απαραίτητο να υπάρχει έλεγχος στις υδροπονικές καλλιέργειες προκειμένου να εντοπίζεται το ποσό αυτού του λόγου και να διατηρείται σταθερό και πάντα στα πλαίσια του αποδεκτού για αυτού του τύπου τις καλλιέργειες.

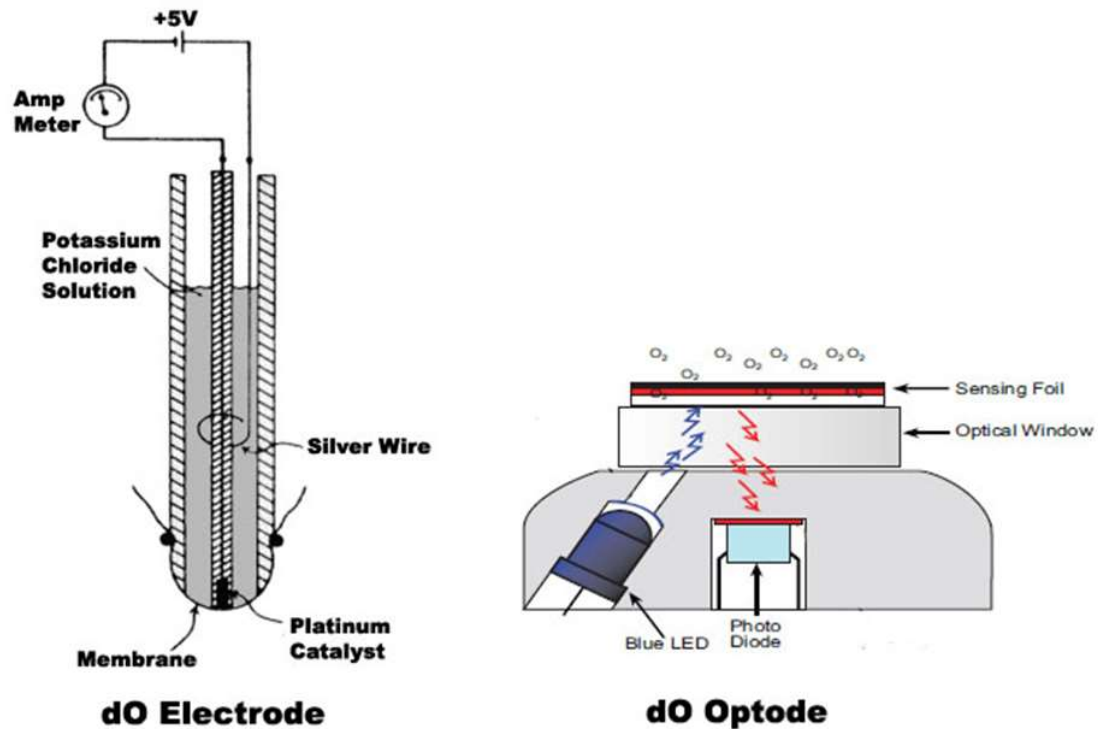
Εξίσου σημαντική, τέλος, είναι και η μέτρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της καλλιέργειας, καθώς οι υπερβολικές συνθήκες θερμοκρασίας, επηρεάζουν σημαντικά τις καλλιέργειες και είναι πολύ πιθανό να δημιουργήσουν σοβαρές βλάβες στα φυτά με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και η παραγωγικότητα της καλλιέργειας. Λόγω των καταστροφών που μπορεί να προκαλέσει η θερμοκρασία εκτός των επιτρεπτών ορίων, δημιουργείται ζημία και για τον καλλιεργητή και επομένως η χρήση αισθητήρων για αυτή την περίπτωση καθίσταται ως επιτακτικής ανάγκης.

2.4. Αισθητήρες ανάλυσης νερού προς χρήση σε υδροπονικές καλλιέργειες

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε αναλυτικά στους αισθητήρες που αναφέραμε συνοπτικά παραπάνω, για τον έλεγχο και τον υπολογισμό των απαραίτητων συστατικών για τη σωστή λειτουργία των υδροπονικών καλλιεργειών.

2.4.1. Αισθητήρες μέτρησης διαλυμένου οξυγόνου για υδροπονικές καλλιέργειες

Οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να εμφανιστούν σε δύο τυπολογίες. Η πρώτη είναι οι αισθητήρες ηλεκτροδίου και η δεύτερη οι αισθητήρες οπτοδίου.

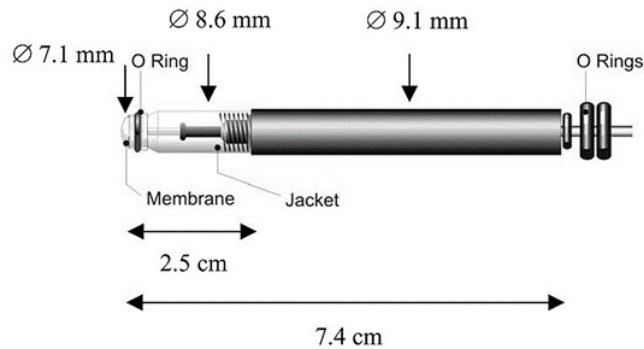


Εικόνα 14. Αντιπαράβολή αισθητήρων ηλεκτροδίου - οπτοδίου

Αισθητήρες ηλεκτροδίων

Το ηλεκτρόδιο τύπου Clark είναι ο πλέον χρησιμοποιούμενος αισθητήρας οξυγόνου για τη μέτρηση του οξυγόνου που είναι διαλυμένο σε ένα υγρό. Η βασική αρχή είναι ότι υπάρχει μία κάθοδος και μία άνοδος που βυθίζονται σε έναν ηλεκτρολύτη. Το οξυγόνο εισέρχεται στον αισθητήρα μέσω μιας διαπερατής μεμβράνης με διάχυση, και ανάγεται στην κάθοδο, δημιουργώντας ένα μετρήσιμο ηλεκτρικό ρεύμα.

Υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του οξυγόνου και του ηλεκτρικού ρεύματος. Με μια βαθμονόμηση δύο σημείων (0% και 100% κορεσμού αέρα), είναι δυνατόν να μετρηθεί το οξυγόνο στο δείγμα.



Εικόνα 15. Σύσταση και διαστάσεις εξαρτημάτων ηλεκτροδίου τύπου Clark

Ένα μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι το οξυγόνο καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της μέτρησης, με ρυθμό ίσο με τη διάχυση στον αισθητήρα. Αυτό σημαίνει ότι ο αισθητήρας θα πρέπει να αναδύεται προκειμένου να πάρει τη σωστή μέτρηση και την αποφυγή στάσιμων υδάτων. Με την αύξηση του μεγέθους του αισθητήρα, αυξάνεται και η κατανάλωση οξυγόνου και το ίδιο συμβαίνει και με την ευαισθησία. Σε μεγάλους αισθητήρες τείνει επίσης να υπάρχει εκτροπή στο σήμα με την πάροδο του χρόνου λόγω της κατανάλωσης του ηλεκτρολύτη. Ωστόσο, οι αισθητήρες τύπου Clark μπορούν να είναι πολύ μικρού μεγέθους με το ένα άκρο να είναι στα 10 μm . Η κατανάλωση οξυγόνου ενός τέτοιου μικροαισθητήρα είναι τόσο μικρή ώστε να είναι πρακτικά μη ευαίσθητος σε ανάδευση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε στάσιμα μέσα, όπως τα ιζήματα ή στο εσωτερικό του ιστού του φυτού (Λουτριδής, 2008: 99).

Αισθητήρες οπτοδίων

Ένα οπτόδιο οξυγόνου, είναι ένας αισθητήρας που βασίζεται σε οπτική μέτρηση της συγκέντρωσης οξυγόνου. Μια χημική μεμβράνη είναι κολλημένη στην άκρη ενός οπτικού καλωδίου και οι ιδιότητες φθορισμού αυτής της μεμβράνης εξαρτώνται από τη συγκέντρωση του οξυγόνου. Ο φθορισμός είναι στο μέγιστο, όταν δεν υπάρχει οξυγόνο. Όταν ένα μόριο O_2 εμφανίζεται συγκρούεται με την μεμβράνη και αυτό καταστέλλει την φωτοφωταύγεια. Σε μια δεδομένη συγκέντρωση οξυγόνου θα

υπάρχει ένας συγκεκριμένος αριθμός μορίων O_2 που συγκρούονται με την μεμβράνη σε κάθε δεδομένη στιγμή, και οι ιδιότητες φθορισμού θα είναι σταθερές.

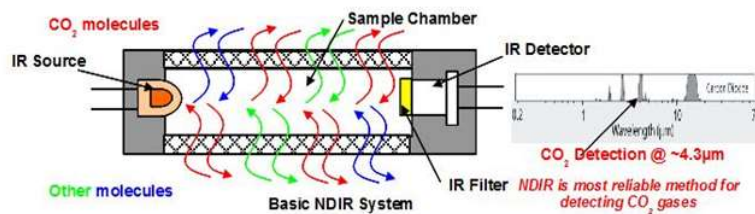


Εικόνα 16. Εικόνα τυπικού οπτοδίου οξυγόνου

Η αναλογία σήματος (φθορισμός) και οξυγόνου δεν είναι γραμμική, και ένα οπτόδιο είναι πιο ευαίσθητο σε χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου. Δηλαδή, η ευαισθησία μειώνεται καθώς αυξάνει η συγκέντρωση του οξυγόνου σύμφωνα με την σχέση Stern – Volmer. Οι αισθητήρες οπτοδίου μπορούν, ωστόσο, να λειτουργούν σε ολόκληρη την περιοχή κορεσμού οξυγόνου στο νερό από 0% έως 100%, και η βαθμονόμηση γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως με τον αισθητήρα τύπου Clark. Δεν καταναλώνεται οξυγόνο και ως εκ τούτου ο αισθητήρας είναι δεν ευαίσθητος σε ανάδευση, αλλά το σήμα θα σταθεροποιηθεί πιο γρήγορα αν ο αισθητήρας αναδεύεται αφού τοποθετηθεί στο δείγμα. Το εν λόγω είδος των αισθητήρων ηλεκτροδίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επί τόπου και σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση της παραγωγής οξυγόνου στις αντιδράσεις διάσπασης του νερού. Τα ηλεκτρόδια λευκόχρυσου μπορούν να ολοκληρώσουν την παρακολούθηση, σε πραγματικό χρόνο της παραγωγής υδρογόνου σε συσκευή διάσπασης του νερού (Sinclair, 2000: 89).

2.4.2. Αισθητήρες μέτρησης διοξειδίου του άνθρακα σε υδροπονικές καλλιέργειες

Ένας αισθητήρας διοξειδίου του άνθρακα είναι ένα μέσο για τη μέτρηση του αερίου διοξειδίου του άνθρακα. Οι πιο κοινές αρχές για τους αισθητήρες CO₂ είναι οι υπέρυθροι αισθητήρες αερίου (NDIR) και οι χημικοί αισθητήρες αερίου. Η μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα είναι σημαντική για την παρακολούθηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα.



Εικόνα 17. Τρόπος λειτουργίας αισθητήρα NDIR

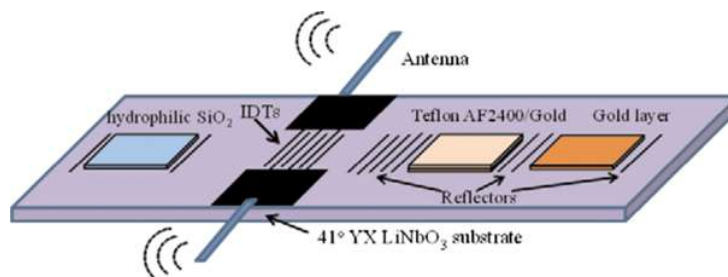
Υπέρυθροι αισθητήρες CO₂ χωρίς διασπορά

Οι αισθητήρες NDIR είναι φασματοσκοπικοί αισθητήρες για την ανίχνευση του CO₂ σε ένα αέριο περιβάλλον με χαρακτηριστική απορρόφηση του. Τα βασικά στοιχεία είναι μια υπέρυθη πηγή, ένας σωλήνας φωτός, ένα φίλτρο παρεμβολής (μήκος κύματος), και ένας υπέρυθρος ανιχνευτής. Το αέριο αντλείται ή διαχέεται στο σωλήνα φωτός, και τα ηλεκτρονικά μέσα μετρούν την απορρόφηση του χαρακτηριστικού μήκους κύματος του φωτός. Οι αισθητήρες NDIR πιο συχνά χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα. Οι καλύτερο από αυτούς έχουν ευαισθησία 20-50 PPM. Οι νέες εξελίξεις στην τεχνολογία περιλαμβάνουν τη χρήση μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων για να μειωθεί το κόστος αυτού του αισθητήρα και να δημιουργηθούν μικρότερες συσκευές. Οι NDIR αισθητήρες CO₂ που χρησιμοποιείται επίσης για το διαλυμένο CO₂ που μπορεί να εντοπιστεί στο νερό σε μια υδροπονική καλλιέργεια. Σε αυτή την περίπτωση συνδυάζεται με έναν οπτικό αισθητήρα ATR (αποσβενύμενης ολικής ανακλάσεως) και μετρά την ποσότητα του αερίου επί τόπου. Μια άλλη μέθοδος, είναι η μέτρηση με

την χρήση του νόμου του Henry για τη μέτρηση της ποσότητας του διαλυμένου CO₂ στο νερό, εάν η ποσότητα των ξένων αερίων είναι ασήμαντη.

Χημικοί αισθητήρες CO₂

Οι χημικοί αισθητήρες CO₂ με ευαίσθητα στρώματα και με βάση πολυμερή ή ετεροπολυσιλοξάνιο έχουν το κύριο πλεονέκτημα της πολύ χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και μπορούν να μειωθούν σε μέγεθος ώστε να χωρούν σε μικροηλεκτρονικά βασιζόμενα συστήματα. Από την άλλη, οι βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις μετατοπίσεων, καθώς και ένα μάλλον χαμηλό «προσδόκιμο ζωής» αποτελούν σημαντικά εμπόδια σε σχέση με την αρχή της μέτρησης NDIR.



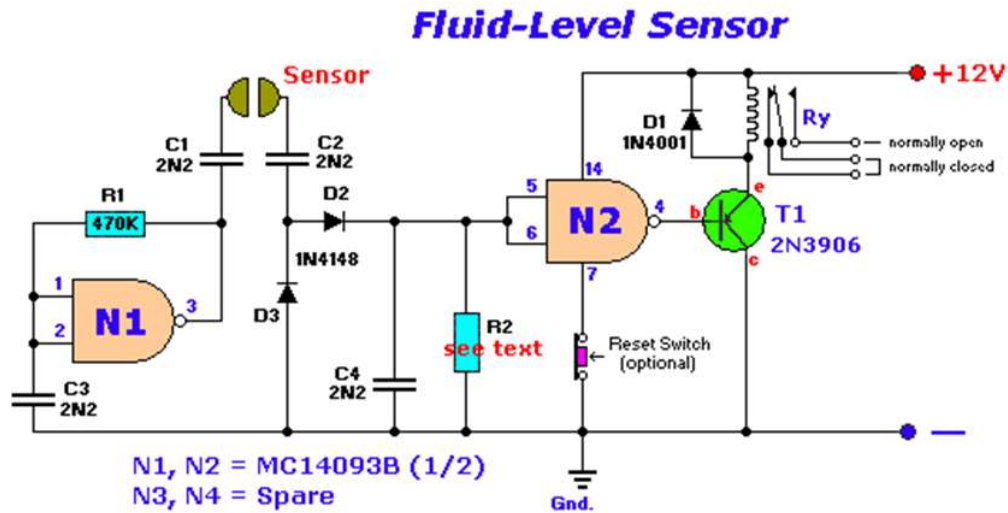
Εικόνα 18. Χημικός αισθητήρας CO₂

2.4.3. Αισθητήρες για την μέτρηση της στάθμης του νερού σε υδροπονική καλλιέργεια

Ας αναφέρουμε καταρχάς ότι η μέτρηση της στάθμης του νερού γίνεται με βάση την πίεση που δέχεται κάθε φορά ο αισθητήρας.

Οι υποβρύχιοι αισθητήρες πίεσης έχουν ένα δυναμικό σύστημα αντιστάθμισης της θερμοκρασίας, που επιτρέπει τις μετρήσεις υψηλής ακρίβειας σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασίας. Ο αισθητήρας στάθμης του νερού προσαρμόζεται εύκολα σε όλους τους εξοπλισμούς καταγραφικών, τηλεμετρίας και παρακολούθησης.

Καθένας από τους αισθητήρες στάθμης του νερού αποτελείται από ένα στερεάς κατάστασης υποβρύχιο μορφοτροπέα πίεσεως εγκιβωτισμένο σε μια μονάδα από ανοξείδωτο χάλυβα. Ο αισθητήρας στάθμης του νερού έχει ένα χυτευμένο αδιάβροχο καλώδιο και δύο σύρματα υψηλού επιπέδου εξόδου 4-20 mA για τη σύνδεση με μια συσκευή παρακολούθησης.



Εικόνα 19. Σύσταση αισθητήρα στάθμης νερού

Ο υποβρύχιος μετατροπέας πίεσης του αισθητήρα στάθμης νερού είναι πλήρως έγκλειστος με εποξειδική βαθμίδα νερού ώστε η υγρασία να μην μπορεί να διαρρεύσει ή να φτάσει στον σωλήνα εξαερισμού και να προκαλέσει αποκλίσεις ή αστοχία επιπέδων του αισθητήρα (όπως συμβαίνει με άλλους αισθητήρες πίεσης). Ο αισθητήρας στάθμης νερού χρησιμοποιεί ένα μοναδικό, εξαιρετικά εύκαμπτο διάφραγμα πυριτίου για τη διεπαφή μεταξύ του νερού και του στοιχείου ανίχνευσης. Το διάφραγμα σιλικόνης προστατεύει τα ηλεκτρονικά του αισθητήρα στάθμης νερού από την υγρασία και παρέχει σε κάθε αισθητήρα εξαιρετική γραμμικότητα και πολύ χαμηλή υστέρηση. Ο σχεδιασμός των υποβρύχιων μετατροπέων πίεσης εξαλείφει τα ζητήματα που συνδέονται με τα διαφράγματα των μεταλλικών ελασμάτων, που έχουν την τάση να τσαλακώνουν και να απλώνουν με την πάροδο του χρόνου και προκαλούν προβλήματα αποκλίσεων, γραμμικότητας και υστέρησης. Ο αισθητήρας στάθμης νερού, επίσης, έχει αυτόματα βαρομετρική αποτίμηση λόγω του συνημμένου

καλωδίου εξαερισμού και προστατεύεται από καπάκι μικρο - οθόνης από ανοξείδωτο χάλυβα, η οποία καθιστά την εγκατάσταση λάσπης ή ιλύος σχεδόν αδύνατη.

Σε γενικές γραμμές υπάρχουν πολλές σειρές αισθητήρων πίεσης σε επίπεδα 0-3, 0-15, 0-30, 0-60, 0-120, 0-250, 0-500 πόδια. Ο τύπος 0-3 ft χαμηλού επιπέδου είναι ιδανικός για τη μέτρηση ρηχών ροών ή μικρών μεταβολών της στάθμης του νερού, όπως για παράδειγμα και στην δική μας περίπτωση αν και θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε και μεγαλύτερων επιπέδων τυπολογίες ανάλογα με την κατάσταση. Αυτός ο αισθητήρας παρακολούθησης μετρά με ακρίβεια μικρές αλλαγές στο νερό, ακόμα και όταν το βάθος του νερού είναι μόνο μερικές ίντσες βαθύ. Άλλοι αισθητήρες στάθμης νερού τύπου ελάσματος, έχουν συνήθως σοβαρά προβλήματα σε περιοχές με χαμηλό επίπεδο, λόγω σμίκρυνσης, τεντώματος, και μετατοπίσεων του αισθητήρα.

Κάθε υποβρύχιος μετατροπέας πίεσης έχει σήμα εξόδου δύο καλωδίων 4-20 mA που είναι γραμμικό με το βάθος του νερού. Συνολικά απαιτούνται 10 – 36 VDC για τη λειτουργία του αισθητήρα στάθμης του νερού, έτσι ώστε οι αισθητήρες στάθμης να μπορούν να λειτουργούν από κοινού από τα 12 συστήματα μπαταριών VDC. Το σήμα 4-20 mA μπορεί να τρέξει μέχρι 3.000 πόδια από τον υποβρύχιο μετατροπέα πίεσης στη συσκευή καταγραφής. Ένα κοινό συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίου ή ηλεκτρικό καλώδιο επέκτασης μπορεί να ματιστεί στο εξαεριζόμενο καλώδιο μόλις το καλώδιο είναι έξω από το νερό. Το σήμα 4-20 mA μπορεί να μετατραπεί σε 0,5 έως 2,5 VDC με την πτώση του σήματος ρεύματος σε μια αντιστάτη 125 ohm.

Τα κύρια στοιχεία του συγκεκριμένου αισθητήρα είναι:

Στοιχείο Αισθητήρα: Διάφραγμα σιλικόνης, Αισθητήρας υγρού/υγρού

Εύρος πίεσης: 0-3, 0-15, 0-30, 0-60, 0-120, 0-250, 0-500 ft

Γραμμικότητα και υστέρηση: $\pm 0.1\%$ FS

Ακρίβεια: $\pm 0,1\%$ της πλήρους κλίμακας σε σταθερή θερμοκρασία, $\pm 0,2\%$ πάνω από $1,37\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Υπερπίεση: να μην υπερβαίνει τα 2 x φάσμα της πλήρους κλίμακας

Ανάλυση: Πειροστική (αναλογική)

Έξοδοι: 4-20 mA ή 0,5 έως 2,5 VDC στα 125 ohms

Τάση τροφοδοσίας: 8 - 36 VDC

Κατανάλωση ρεύματος: Ίδια με την έξοδο του αισθητήρα

Χρόνος προθέρμανσης: 3 δευτερόλεπτα τουλάχιστον

Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 ° C έως +85 ° C

Αποτίμηση: Χρησιμοποιεί δυναμική αντιστάθμιση θερμοκρασίας -1,1 έως 21,1 ° C.

Αυτόματη αντιστάθμιση της βαρομετρικής πίεσης



Εικόνα 20. Εικόνα τυπικού αισθητήρα στάθμης νερού

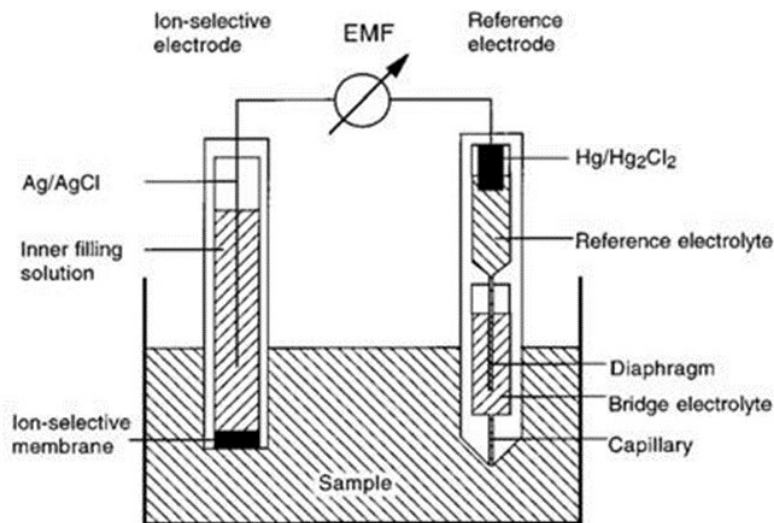
Επίσης όσον αφορά το κιβώτιο για στερεάς κατάστασης υποβρύχιο μορφοτροπέα πίεσεως έχει την εξής σύνθεση:

Υλικό: 304L ανοξείδωτο χάλυβα, μικρο-οθόνη SS (εκατοντάδες τρύπες για την πρόληψη της βρωμίας), τα ηλεκτρονικά είναι πλήρως έγκλειστα με την εγγύηση να μην διαρρεύσουν.

Μέγεθος: 2 εκατοστά διάμετρος x 14 εκατοστά αρκετά μικρό για μια 1 τρύπα διαμέτρου 2,54 cm. Η επιλογή τιτανίου έχει διάμετρο 2,54 cm (Sinclair, 2000: 123)

2.4.4. Αισθητήρες ιοντοεκλεκτικού ηλεκτροδίου για τον εντοπισμό των θρεπτικών συστατικών στις υδροπονικές καλλιέργειες

Ένα ιοντοεπιλεκτικό ηλεκτρόδιο (ISE), που είναι επίσης γνωστό ως συγκεκριμένο ηλεκτρόδιο ιόντων (SIE), είναι ένας αισθητήρας που μετατρέπει την δραστηριότητα ενός συγκεκριμένου ιόντος που διαλύεται σε ένα διάλυμα σε ένα ηλεκτρικό δυναμικό, το οποίο μπορεί να μετρηθεί με ένα βολτόμετρο ή πεχάμετρο.



Εικόνα 21. Συνοπτική παρουσίαση λειτουργίας ιοντοεκλεκτικού ηλεκτροδίου

Η τάση θεωρητικά εξαρτάται από το λογάριθμο της ιοντικής δραστηριότητας, σύμφωνα με την εξίσωση Nernst. Το αισθητήριο τμήμα του ηλεκτροδίου γίνεται

συνήθως ως μεμβράνη ιόντων ειδικά, μαζί με ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς. Τα ιοντοεπιλεκτικά ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται σε βιοχημικές και βιοφυσικές έρευνες, όπου απαιτούνται μετρήσεις ιοντικής συγκέντρωσης σε ένα υδατικό διάλυμα, συνήθως σε βάση πραγματικού χρόνου.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι ιοντοεπιλεκτικής μεμβράνης που χρησιμοποιείται στα ιοντοεπιλεκτικά ηλεκτρόδια (ISEs): γυαλιού, στερεάς κατάστασης, υγρής βάσης, και σύνθετου ηλεκτροδίου.

Γυάλινες μεμβράνες

Οι γυάλινες μεμβράνες κατασκευάζονται από ένα είδος ανταλλαγής ιόντων από γυαλί (πυριτικό άλας ή χαλκογενίδιο). Αυτό το είδος ιοντοεπιλεκτικού ηλεκτροδίου έχει καλή εκλεκτικότητα, αλλά μόνο για ορισμένα μεμονωμένα φορτισμένα κατιόντα, κυρίως τα H^+ , Na^+ και Ag^+ . Ο υαλός χαλκογενιδίου έχει επίσης εκλεκτικότητα για ιόντα διπλά φορτισμένου μετάλλου, όπως τα Pb^{2+} , και Cd^{2+} . Η μεμβράνη γυαλιού έχει εξαιρετική χημική αντοχή και μπορεί να λειτουργήσει σε πολύ επιθετικά μέσα. Ένα πολύ κοινό παράδειγμα αυτού του τύπου του ηλεκτροδίου είναι το ηλεκτρόδιο υάλου pH.

Κρυσταλλικές μεμβράνες

Οι κρυσταλλικές μεμβράνες είναι κατασκευασμένες από μονο ή πολυκρυσταλλίτες μίας ουσίας. Έχουν καλή επιλεκτικότητα, επειδή μόνο ιόντα τα οποία μπορούν να εισαχθούν στην κρυσταλλική δομή μπορούν και να επηρεάσουν την απόκριση του ηλεκτροδίου. Η επιλεκτικότητα των κρυσταλλικών μεμβρανών μπορεί να είναι τόσο για κατιόντα όσο και για ανιόντα της ουσίας σχηματισμού μεμβράνης. Ένα παράδειγμα είναι το φθοριούχα εκλεκτικό ηλεκτρόδια που βασίζεται στους κρυστάλλους LaF_3 .

Ιοντοανταλλακτικές μεμβράνες ρητίνης

Οι ρητίνες ανταλλαγής ιόντων βασίζονται σε ειδικές οργανικές μεμβράνες πολυμερών που περιέχουν μια συγκεκριμένη ουσία ανταλλαγής ρητίνης. Αυτό είναι

το πιο διαδεδομένο είδος ιόντος συγκεκριμένου ηλεκτροδίου. Η χρήση ειδικών ρητινών επιτρέπει την παρασκευή εκλεκτικών ηλεκτροδίων για δεκάδες διαφορετικά ιόντα, τόσο μονοατομικών όσο και πολυατομικών. Επίσης, είναι τα πιο διαδεδομένα ηλεκτρόδια με ανιονική επιλεκτικότητα. Ωστόσο, τέτοια ηλεκτρόδια έχουν χαμηλή χημική και φυσική αντοχή, καθώς και «χρόνο επιβίωσης». Ένα παράδειγμα είναι το επιλεκτικό ηλεκτρόδιο καλίου, με βάση την βαλινομυκίνη ως παράγοντα ιοντοανταλλαγής.

Ενζυμικά ηλεκτρόδια

Τα ηλεκτρόδια ενζύμων σίγουρα δεν είναι πραγματικά ιοντοεπιλεκτικά ηλεκτρόδια αλλά συνήθως θεωρούνται εντός του θέματος των ιοντοσχετικών ηλεκτροδίων. Ένα τέτοιο ηλεκτρόδιο έχει μηχανισμό «διπλή αντίδραση» μηχανισμός: ένα ένζυμο που αντιδρά με μια συγκεκριμένη ουσία, και το προϊόν αυτής της αντίδρασης (συνήθως H^+ ή OH^-) ανιχνεύεται από ένα αληθινό ιοντοεπιλεκτικό ηλεκτρόδιο, όπως pH-εκλεκτικά ηλεκτρόδια. Όλες αυτές οι αντιδράσεις συμβαίνουν μέσα σε μια ειδική μεμβράνη που καλύπτει το πραγματικό ιοντοεπιλεκτικό ηλεκτρόδιο, το οποίο είναι ο λόγος που τα ηλεκτρόδια ενζύμου ενίοτε θεωρούνται ως ιοντοεπιλεκτικά. Ένα παράδειγμα είναι τα εκλεκτικά ηλεκτρόδια γλυκόζης.

Το πιο σοβαρό πρόβλημα που περιορίζει τη χρήση των ιοντοεπιλεκτικών ηλεκτροδίων είναι οι παρεμβολές από άλλα, ανεπιθύμητα, ιόντα. Κανένα από τα ιοντοεπιλεκτικά ηλεκτρόδια ιόντων δεν είναι εντελώς ιοντοειδικά. Όλα είναι ευαίσθητα σε άλλα ιόντα που έχουν παρόμοιες φυσικές ιδιότητες, σε βαθμό που εξαρτάται από το βαθμό ομοιότητας. Οι περισσότερες από αυτές τις παρεμποδίσεις είναι αρκετά αδύναμες για να αγνοηθούν, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις, το ηλεκτρόδιο μπορεί στην πραγματικότητα να είναι πολύ πιο ευαίσθητο σε σχέση με το παρεμβαλλόμενο ιόν παρά με το επιθυμητό ιόν, προϋποθέτοντας ότι το παρεμβαλλόμενο ιόν είναι παρόν μόνο σε σχετικά πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, ή απουσιάζει εντελώς. Στην πράξη, οι σχετικές ευαισθησίες του κάθε τύπου ιόντων συγκεκριμένου ηλεκτροδίου σε διάφορα ιόντα παρεμβολής είναι γενικά γνωστή και θα πρέπει να ελεγχθεί για κάθε περίπτωση. Ωστόσο, ο ακριβής βαθμός παρεμβολής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, εμποδίζοντας την ακριβή διόρθωση των αναγνώσεων. Αντ' αυτού, ο υπολογισμός του σχετικού βαθμού της παρεμβολής από

τη συγκέντρωση των ιόντων παρεμβολής μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ως οδηγός για να καθοριστεί αν η προσέγγιση έκτασης της παρεμβολής θα επιτρέψει αξιόπιστες μετρήσεις, ή αν το πείραμα θα πρέπει να επανασχεδιαστεί έτσι ώστε να μειωθεί η επίδραση της παρεμβολής ιόντων. Το ηλεκτρόδιο νιτρικών έχει διάφορες ιονικές παρεμβολές, δηλαδή υπερχλωρική, ιωδιούχα, χλωριούχα και θειική. Αυτές οι παρεμβολές διαφέρουν σημαντικά ως προς τον βαθμό στον οποίο επηρεάζουν. Έτσι, η υπερχλωρική δίνει μια απόκριση η οποία είναι περίπου 50.000 φορές μεγαλύτερη από ότι από μια ίση ποσότητα νιτρικής (Eggins, 2008: 111).

2.4.5. Λόγοι για την επιλογή ιοντοεπιλεκτικών αισθητήρων σε υδροπονική καλλιέργεια

Η αξιόπιστη, on-line παρακολούθηση της καλλιέργειας με ιοντοεπιλεκτικό αισθητήρα θα μπορούσε να παρέχει στους καλλιεργητές υδροπονικής καλλιέργειας τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Αυξημένες αποδόσεις ανάπτυξης των καλλιεργειών
- Βελτιωμένη ποιότητα των καλλιεργειών
- Βελτιωμένη αξιοπιστία της ανάπτυξης των καλλιεργειών
- Μειωμένη χρήση λιπασμάτων
- Μείωση της χρήσης νερού
- Μείωση του νερού και των θρεπτικών συστατικών (περιβαλλοντική συμμόρφωση)
- Αξιοπιστία του συστήματος ελέγχου
- Βελτιωμένα θρεπτικά συστατικά

- Μειωμένη ευαισθησία στη διακύμανση της πηγής του νερού
- Μέθοδος για τον έλεγχο των μέσων της ανάπτυξης των φυτών
- Μειωμένες ανάγκες σε εργατικό δυναμικό
- Ενισχυμένη επιστημονική γνώση της βιολογίας των φυτών και του περιβάλλοντος



Εικόνα 22. Τυπική εικόνα ιοντοεπιλεκτικού αισθητήρα

Αυτά τα οφέλη μπορούν να διαχωριστούν σε συγκεκριμένες καλλιέργειες και τα οφέλη σε επίπεδο συστήματος για τον καλλιεργητή και περιγράφονται ενταύθα.

Οι ιοντοεπιλεκτικοί αισθητήρες μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της χρήσης των θρεπτικών ουσιών μέσα σε ένα σύστημα ανάπτυξης φυτών. Μία πληρέστερη κατανόηση της δυναμικής του θρεπτικού διαλύματος διασφαλίζει ότι οι θρεπτικές ουσίες αναπληρώνονται σε ένα ρυθμό με πιο στενό εντοπισμό της πρόσληψης από το φυτό. Σε παραδοσιακά συστήματα ανιχνεύσεως, όπου δεν είναι

διαθέσιμο το ιοντοεπιλεκτικό σύστημα ανιχνεύσεως, μια χαμηλή μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τυπικά θα έχει ως αποτέλεσμα την προσθήκη μιας σειράς θρεπτικών ουσιών, όπου στην πραγματικότητα μια μόνο θρεπτική δραστηριότητα μπορεί να είναι κάτω της ονομαστικής. Επομένως, αυτή η προσθήκη λιπασμάτων θα οδηγήσει σε ορισμένα θρεπτικά συστατικά που προστίθενται χωρίς να απαιτούνται και έτσι πάνε χαμένα. Καθώς τα οξέα και οι βάσεις που συνήθως χρησιμοποιούνται από τους καλλιεργητές για να διατηρηθεί το pH εντός των επιθυμητών ορίων είναι άλατα που περιλαμβάνουν ιόντα θρεπτικών ουσιών (π.χ. HCl, HNO₃, NaOH), για την προσαρμογή των αποτελεσμάτων του pH στη δραστηριότητα του άλλου θρεπτικού ιόντος αυξάνεται, τα οποία, αν δεν γίνουν αντιληπτά μπορούν να επηρεάσουν το συνολικό σύστημα.

Ο ιοντοεπιλεκτικός αισθητήρας θα εξασφαλίσει επίσης την αποτελεσματική χρήση του νερού και πιο αυστηρούς ελέγχους εφαρμογής του για την ανάπτυξη των φυτών και θα βελτιωθεί περισσότερο η ικανότητα για το θρεπτικό διάλυμα να ανακυκλοφορήσει για μεγαλύτερες περιόδους.

Επί του παρόντος, πολλοί καλλιεργητές πετούν το θρεπτικό διάλυμα, όταν δεν έχουν πλήρη εμπιστοσύνη στην ποιότητα του, που συνήθως βασίζεται σε ένα προκαθορισμένο κριτήριο απαλλαγής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η βελτίωση της πρόσβασης σε δεδομένα διατροφικής κατάστασης, θα μειώσει την ανάγκη για την έκπλυση των λυμάτων και θα μειώσει έτσι τα αποτελέσματα των θρεπτικών συστατικών και υγρών αποβλήτων. Οι μελέτες που συγκρίνουν άμεσα τα ανοικτά με τα κλειστά συστήματα για διάφορους τύπους καλλιεργειών έχουν δείξει εξοικονόμηση στο νερό και στα θρεπτικά συστατικά για ισοδύναμες αποδόσεις των φυτών σε κλειστά συστήματα.

Πρόσθετες μελέτες έχουν δείξει ότι οι κλειστά Ολλανδικά θερμοκήπια έχουν εξοικονομήσει μέχρι 30% νερό και 40% λιπάσματα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά ανοικτά συστήματα (Καλοβρέκτης & Κατέβας, 2012).

2.4.6. Οι αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας στις υδροπονικές καλλιέργειες

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας είναι ζωτικής σημασίας σε μια ποικιλία προϊόντων καθημερινής χρήσης. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας έχει επίσης εφαρμογές στη χημική μηχανική. Παραδείγματα αυτού περιλαμβάνουν η διατήρηση της θερμοκρασίας ενός χημικού αντιδραστήρα στο ιδανικό σύνολο σημείων, η παρακολούθηση της θερμοκρασίας μιας πιθανής διαφεύγουσας αντίδρασης για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των εργαζομένων, και η διατήρηση της θερμοκρασίας των ρευμάτων που ελευθερώνονται στο περιβάλλον για την ελαχιστοποίηση των επιβλαβών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.



Εικόνα 23. Τυπικός αισθητήρας θερμοκρασίας

Από τη σκοπιά της θερμοδυναμικής, η θερμοκρασία μεταβάλλεται ως συνάρτηση της μέσης ενέργειας της μοριακής κίνησης. Καθώς η θερμότητα προστίθεται σε ένα σύστημα, αυξάνει η μοριακή κίνηση και το σύστημα βιώνει μια αύξηση της θερμοκρασίας. Είναι δύσκολο, εντούτοις, να μετρηθεί άμεσα η ενέργεια της μοριακής κίνησης, έτσι οι αισθητήρες θερμοκρασίας γενικά είναι σχεδιασμένοι για να μετρούν μια ιδιότητα η οποία αλλάζει σε απόκριση στη θερμοκρασία. Οι συσκευές στη συνέχεια βαθμονομούνται με τις παραδοσιακές κλίμακες θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο.

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός μέσου. Υπάρχουν δύο είδη αισθητήρων θερμοκρασίας: οι αισθητήρες επαφής και οι ανέπαφοι αισθητήρες. Ωστόσο, οι 3 βασικοί τύποι είναι θερμόμετρα, ανιχνευτές θερμοκρασίας αντίστασης και θερμοζεύγη. Και οι τρεις από αυτούς τους αισθητήρες μετρούν μια φυσική ιδιότητα (δηλ. όγκος ενός υγρού, ρεύμα μέσω ενός καλωδίου), η οποία αλλάζει ως συνάρτηση της θερμοκρασίας. Εκτός από τους 3 κύριους τύπους αισθητήρων θερμοκρασίας, υπάρχουν πολλοί άλλοι αισθητήρες θερμοκρασίας διαθέσιμοι για χρήση.

Αισθητήρες επαφής

Αισθητήρες επαφής θερμοκρασίας μετρούν την θερμοκρασία του αντικειμένου με το οποίο ο αισθητήρας είναι σε επαφή με την παραδοχή ή να γνωρίζει ότι και τα δύο (αισθητήρας και αντικείμενο) είναι σε θερμική ισορροπία, με άλλα λόγια, δεν υπάρχει καμία ροή θερμότητας μεταξύ τους.

Παραδείγματα των αισθητήρων αυτών είναι

- Θερμοστοιχεία
- Ανιχνευτές θερμοκρασίας αντίστασης (RTD)
- Πλήρες σύστημα θερμόμετρων
- Διμεταλλικά θερμόμετρα

Ανέπαφοι αισθητήρες

Οι περισσότεροι εμπορικοί και επιστημονικοί ανέπαφοι αισθητήρες θερμοκρασίας μετρούν τη θερμική ενέργεια ακτινοβολίας της υπέρυθρης ή οπτικής ακτινοβολίας που παραλαμβάνεται από γνωστή ή υπολογιζόμενη περιοχή στην επιφάνεια ή τον όγκο του μέσα σε αυτό.

Στην περίπτωση της υδροπονικής καλλιέργειας θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε ανέπαφους αισθητήρες καθώς μας ενδιαφέρει να μετρήσουμε την θερμότητα που

ακτινοβολείται και που υπάρχει γενικά στην ατμόσφαιρα και όχι τόσο την θερμότητα που παράγεται ως αποτέλεσμα, με την επαφή του αισθητήρα με κάποιο αντικείμενο.



Εικόνα 24. Εικόνα τυπικού πυρομέτρου

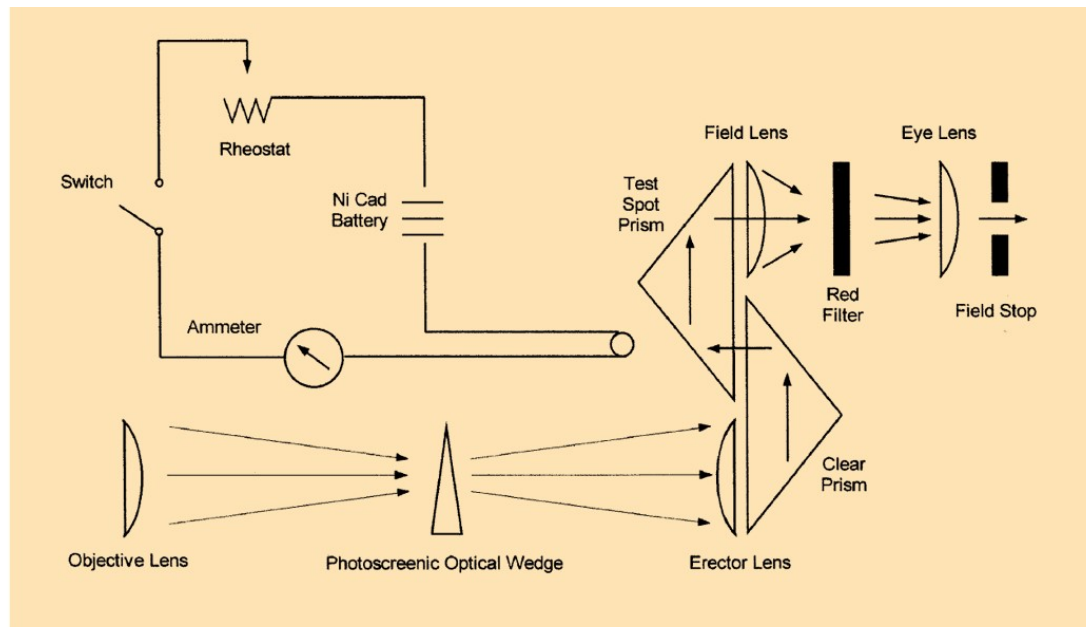
Ιδανικό για την περίπτωσή μας είναι το πυρόμετρο. Σε αντίθεση με το θερμομέτρο, και το θερμοστοιχείο, τα πυρόμετρα (αισθητήρες θερμοκρασίας χωρίς επαφή) μετρά την ποσότητα της θερμότητας που εκπέμπεται, και όχι την ποσότητα της θερμότητας που επάγονται και μεταφέρονται ως ρεύμα στον αισθητήρα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι πυρομέτρων, όπως τα ολικής ακτινοβολίας και τα φωτοηλεκτρικά πυρόμετρα.

Τα πυρόμετρα γενικά διαφέρουν ως προς το είδος της ακτινοβολίας που μετρούν. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα της ακτινοβολούμενης θερμότητας που ανιχνεύεται, και έτσι υπάρχουν πολλές υποθέσεις που πρέπει να γίνουν σχετικά με την ικανότητα ακτινοβολίας, ή το μέτρο του τρόπου με τον οποίο ακτινοβολείται η θερμότητα του αντικειμένου. Αυτές οι υποθέσεις βασίζονται στον τρόπο με τον οποίο ακτινοβολείται η θερμότητα, καθώς και στη γεωμετρία του αντικειμένου. Επειδή η θερμοκρασία εξαρτάται από την ικανότητα εκπομπής ενός σώματος, αυτές οι υποθέσεις σχετικά με την εκπομπή εισάγουν αβεβαιότητες και ανακρίβειες στις μετρήσεις της θερμοκρασίας. Ως εκ τούτου, λόγω του σφάλματος που σχετίζεται με αυτά, τα πυρόμετρα δεν χρησιμοποιούνται συχνά στη βιομηχανία, αλλά σε καλλιέργειες που έχουν σαφώς μικρότερες απαιτήσεις από την βιομηχανία, είναι ιδανικά.

Υπάρχουν λοιπόν τα οπτικά πυρόμετρα και τα πυρόμετρα ακτινοβολίας.

Πώς λειτουργούν τα οπτικά πυρόμετρα:

- Συγκρίνουν το χρώμα του ορατού φωτός που εκπέμπεται από το αντικείμενο με εκείνο ενός ηλεκτρικά θερμαινόμενου σύρματος
- Το σύρμα μπορεί να προκαθορίζεται σε μια ορισμένη θερμοκρασία
- Το καλώδιο μπορεί να ρυθμιστεί με το χέρι ώστε να συγκριθούν τα δύο αντικείμενα



Εικόνα 25. Τρόπος λειτουργίας πυρόμετρου

Πώς λειτουργούν τα πυρόμετρα ακτινοβολίας:

- Ο αισθητήρας λειτουργεί με τη μέτρηση της ακτινοβολίας (υπέρυθρο ή ορατό φως) που εκλύει ένα αντικείμενο

- Η ακτινοβολία θερμαίνει ένα θερμοστοιχείο στο πυρόμετρο το οποίο με τη σειρά του επάγει ρεύμα
- Όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα που επάγεται, τόσο υψηλότερη είναι και η θερμοκρασία

Τα πυρόμετρα συνήθως χρησιμοποιούνται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ψυχρότερες θερμοκρασίες (Fraden, 2010: 129).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ LABVIEW

3.1. Εισαγωγή

Το LabView είναι η πιο κομψή και δυνατή γλώσσα προγραμματισμού για τη συλλογή δεδομένων, την ανάλυση δεδομένων, την προσομοίωση και τον έλεγχο οργάνων και μετρήσεων μέσω υπολογιστή. Στηρίζεται στον γραφικό προγραμματισμό μέσω αντικειμένων και αποτελεί ένα καλό παράδειγμα του «αντικειμενοστραφή προγραμματισμού» (object oriented programming). Αυτός ο όρος χρησιμοποιείται στην πληροφορική σε αντιδιαστολή με τον λεγόμενο «προγραμματισμό διαδικασιών», όπου ο προγραμματιστής γράφει κώδικα εντολών που εκτελούνται με γραμμική διαδοχή. Στο γραφικό περιβάλλον του LabView ο προγραμματιστής δεν χειρίζεται κώδικα, αλλά γραφικά αντικείμενα, όπως κουμπιά, ενδείκτες, οθόνες ή τετραγωνίδια που παριστάνουν συναρτήσεις ή εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες με τη μορφή υπορουτινών. Αυτά τα εικονίδια έχουν εισόδους και εξόδους και επιδέχονται προγραμματισμό των ιδιοτήτων τους.

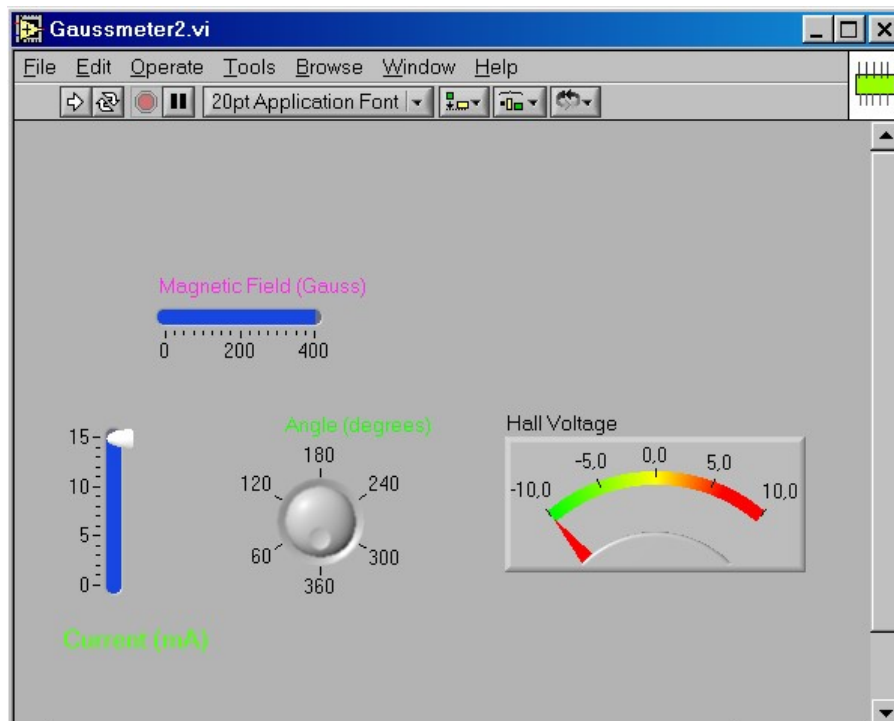
Το όνομα LabView είναι το ακρωνύμιο των λέξεων «Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench» (Σχεδιαστήριο για την Κατασκευή Εργαστηριακών Εικονικών Οργάνων) και αναπτύχθηκε κατά το τέλος της δεκαετίας του 80 από την εταιρία National Instruments (βλέπε www.ni.com). Η εταιρία αυτή ειδικεύεται σε συστήματα συλλογής δεδομένων, σε αισθητήρες, αυτοματισμούς και λογισμικό μετρήσεων και ελέγχου.

Προγραμματίζοντας με τα αντικείμενα που μας δίνει το περιβάλλον του LabView δημιουργούμε τα λεγόμενα «εικονικά όργανα» (Virtual Instruments ή απλώς VIs). Η γραφική γλώσσα που χρησιμοποιεί το LabView για τον προγραμματισμό και τη δημιουργία εικονικών οργάνων ονομάζεται γλώσσα G. Είναι πάντως δυνατό να χρησιμοποιήσει κανείς το LabView σε απλό επίπεδο, χρησιμοποιώντας έτοιμα εικονικά όργανα, χωρίς να μπαίνει σε λεπτομέρειες με τη γλώσσα G.

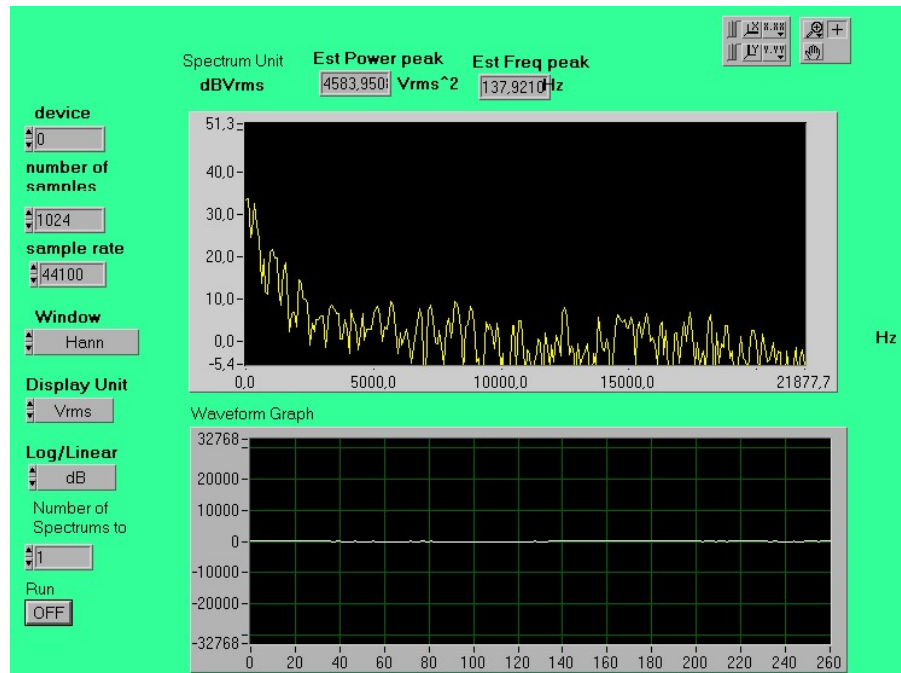
Στα σχήματα της επόμενης σελίδας παρουσιάζονται δύο απλά εικονικά όργανα που κατασκευάστηκαν με το γραφικό περιβάλλον LabView. Βλέπουμε ότι περιλαμβάνουν διάφορους μεταβολείς, ενδείκτες, οθόνες καταγραφής, κουμπιά επιλογής τιμών κλπ.

Ένα εικονικό όργανο μπορεί να προσομοιώνει απλώς μια λειτουργία και να την παρουσιάζει στην οθόνη του υπολογιστή, για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Όμως, είναι δυνατό να συνδέεται με τις θύρες εισόδου/εξόδου του υπολογιστή ή με επιπρόσθετες κάρτες επέκτασης, προκειμένου να κάνει πραγματική εισαγωγή ή εξαγωγή δεδομένων. Στην περίπτωση αυτή ο υπολογιστής με τη βοήθεια των εισόδων και των εξόδων μετατρέπεται σε ένα ισχυρό εργαλείο μετρήσεων, με πολλές δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων.

Το LabView διαθέτει έναν αριθμό από έτοιμα VIs και ορισμένα εικονίδια συναρτήσεων που επιτρέπουν την επικοινωνία με όλα τα γνωστά πρωτόκολλα μετάδοσης δεδομένων. Έτσι, υπάρχουν έτοιμες λειτουργίες που επιτρέπουν τη συλλογή και μετάδοση δεδομένων μέσω της σειριακής θύρας του υπολογιστή, καθώς και μέσω της παράλληλης θύρας.



Εικόνα 26. Εικονικός μετρητής μαγνητικού πεδίου



Εικόνα 27. Μετρητής συχνοτικής απόκρισης

Επίσης, υπάρχουν λειτουργίες για την ανταλλαγή δεδομένων με την κάρτα ήχου, καθώς και με κάρτες επέκτασης που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο GPIB ή IEEE 488. Εξάλλου, όλες οι κάρτες συλλογής δεδομένων της εταιρίας National Instruments είναι συμβατές με το LabView με τη βοήθεια ειδικών οδηγών που ενσωματώνονται στο λογισμικό. Το ίδιο συμβαίνει και με σημαντικό αριθμό άλλων οργάνων, για τα οποία κυκλοφορούν οδηγοί συμβατοί με το LabView.

Έτσι, μέσω των πρωτοκόλλων επικοινωνίας (RS232, Centronics, IEEE488 ή TCP/IP) η πληροφορία που δημιουργείται στην οθόνη του υπολογιστή συνδέεται με πραγματικά όργανα, μέσω του λογισμικού. Όταν πατούμε ένα εικονικό κουμπί στην οθόνη, ενεργοποιείται ένας πραγματικός διακόπτης σε ένα εργαστηριακό όργανο. Σ' αυτήν ακριβώς τη δυνατότητα, που επεκτείνει την απλή προσομοίωση ώστε να γίνεται εφικτός ο έλεγχος αληθινών οργάνων, βρίσκεται και η δύναμη του LabView ως λογισμικό μετρήσεων και ελέγχου.

3.2. Δομή του περιβάλλοντος προγραμματισμού

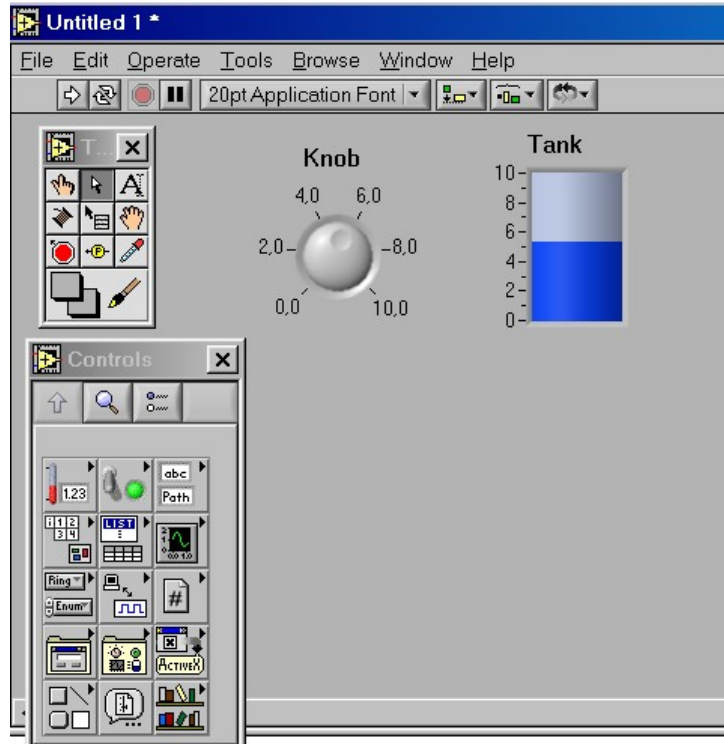
Το LabView έχει τα εξής τρία βασικά μέρη: Το εμπρόσθιο πλαίσιο (front panel), το δομικό διάγραμμα, και τις παλέτες εργαλείων και ελέγχου/λειτουργιών.

Το εμπρόσθιο πλαίσιο μοιάζει με το μπροστινό μέρος ενός οργάνου. Μπορεί να περιέχει κουμπιά, διακόπτες, οθόνες γραφικών κ.ά. Τα στοιχεία του εμπρόσθιου πλαισίου παίρνουν τιμές με τη βοήθεια του ποντικιού ή του πληκτρολογίου. Για παράδειγμα, με το ποντίκι μπορούμε να πατήσουμε έναν διακόπτη και με το πληκτρολόγιο να ορίσουμε τιμή για μια τάση ή για μια θερμοκρασία. Το εμπρόσθιο πλαίσιο είναι αυτό που κυρίως χειρίζεται ο χρήστης. Το παρακάτω σχήμα, όπως και τα παραπάνω είναι παραδείγματα εμπρόσθιου πλαισίου εικονικών οργάνων. Στο παρακάτω σχήμα έχουμε τοποθετήσει στο εμπρόσθιο πλαίσιο ένα περιστροφικό επιλογή και μια κάθετη μπάρα απεικόνισης.

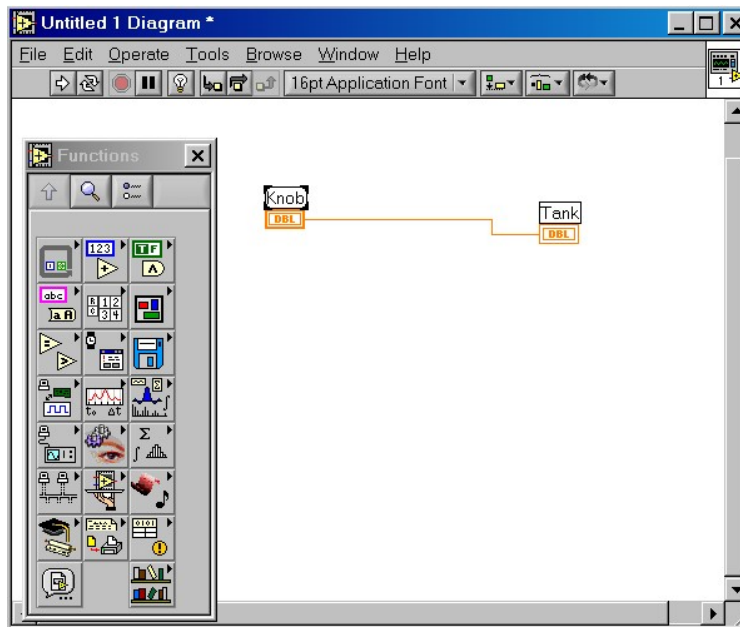
Παρατηρούμε ότι στα αριστερά του εμπρόσθιου πλαισίου στο παρακάτω σχήμα υπάρχουν οι παλέτες Εργαλείων και Ελέγχου. Ανάμεσα στα εργαλεία έχουμε τον δείκτη για τη μετακίνηση και την αλλαγή μεγέθους αντικειμένων, το εργαλείο λειτουργίας για την εισαγωγή δεδομένων και τη μεταβολή των τιμών των μεταβλητών (operate value), το εργαλείο για την εισαγωγή κειμένου και το εργαλείο για τη σύνδεση των στοιχείων του δομικού διαγράμματος (connect wire).

Η παλέτα Ελέγχου περιέχει τα εικονίδια που χρησιμοποιούμε στο εμπρόσθιο πλαίσιο. Εκεί μπορούμε να βρούμε οθόνες απεικόνισης, περιστροφείς, κουμπιά, ενδεικτικές λυχνίες, διακόπτες, οθόνες γραφικών κ. ά.

Το δομικό διάγραμμα υπάρχει πάντα μαζί με το εμπρόσθιο πλαίσιο και ισοδυναμεί με τον κώδικα προγράμματος στη γραφική γλώσσα G. Κάθε στοιχείο του δομικού διαγράμματος παριστάνεται από ένα εικονίδιο. Ένα κουμπί μπορεί να είναι μια μεταβλητή που να παίρνει τιμές True/False ή μια μεταβλητή διπλής ακρίβειας για εισαγωγή δεδομένων, οπότε φαίνεται στο δομικό διάγραμμα με το αντίστοιχο εικονίδιο που συμβολίζει τη μεταβλητή. Μια συνάρτηση έχει το δικό της εικονίδιο, το ίδιο και κάθε ολοκληρωμένη λειτουργία. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται το δομικό διάγραμμα που αντιστοιχεί στο εμπρόσθιο πλαίσιο του παρακάτω σχήμα.

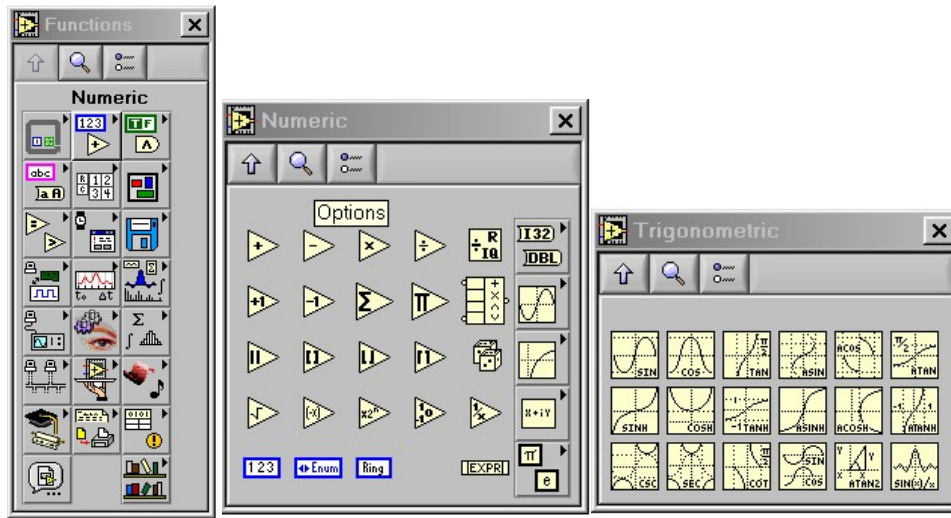


Εικόνα 28. Εμπρόσθιο πλαίσιο (front panel) του LabView. Στα αριστερά φαίνεται η παλέτα εργαλείων (Tools) και η παλέτα ελέγχου (Controls)



Εικόνα 29. Δομικό διάγραμμα που αντιστοιχεί στο εμπρόσθιο πλαίσιο

Όταν μεταβαίνουμε από το παράθυρο του εμπρόσθιου πλαισίου στο παράθυρο του δομικού διαγράμματος, η παλέτα ελέγχου (controls) μετατρέπεται αυτόματα στην παλέτα Λειτουργιών (Functions). Εκεί μπορούμε να βρούμε εικονίδια για απλές αριθμητικές λειτουργίες, όπως πρόσθεση αφαίρεση κλπ., εικονίδια μεταβλητών, πινάκων, συγκρίσεων, μετατροπών, εικονίδια για τη δημιουργία αρχείων, εικονίδια συναρτήσεων (ημίτονο, μετασχηματισμούς Fourier κλπ.) εικονίδια προγραμματιστικών δομών, όπως FOR Loop, While Loop, Sequence κλπ. Και τέλος υπάρχουν εικονίδια για χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας ή συγκεκριμένων έτοιμων οργάνων. Πρόκειται για τη βιβλιοθήκη προγραμματισμού της γλώσσας G.



Εικόνα 30. Παλέτα λειτουργιών και περιεχόμενα της βιβλιοθήκης Numeric και Trigonometric

Σαν παράδειγμα δείχνουμε στο παραπάνω σχήμα το περιεχόμενο των λειτουργιών Numeric, όπου ανάμεσα σε απλές μαθηματικές λειτουργίες περιλαμβάνονται τριγωνομετρικές συναρτήσεις.

3.3. Εφαρμογές

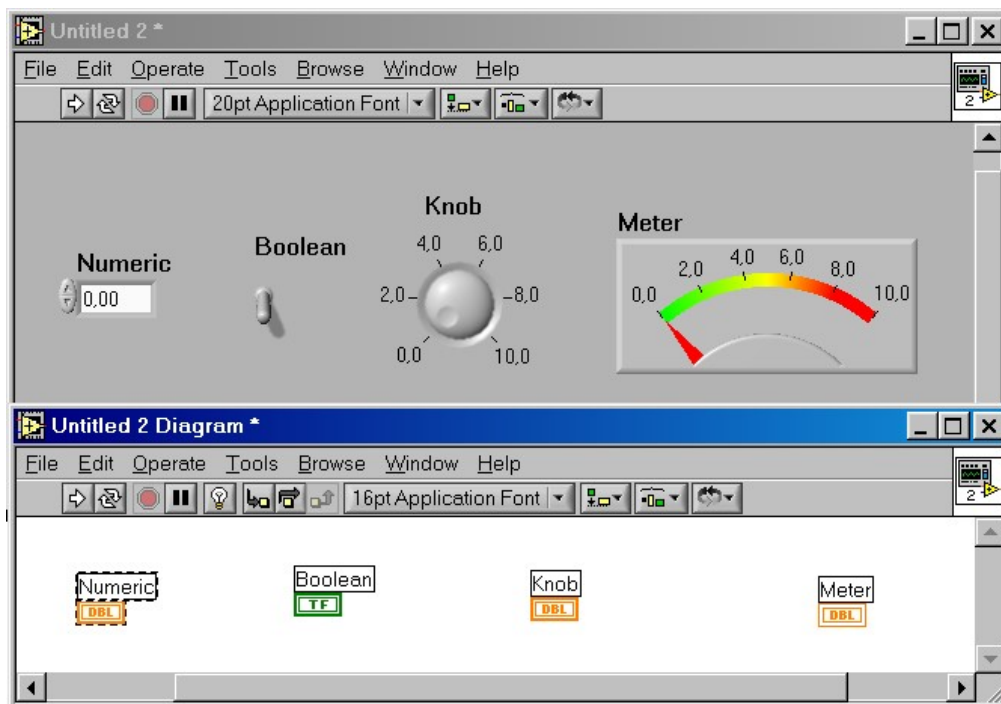
Στα παρακάτω δίνονται ορισμένα τυπικά παραδείγματα απλής χρήσης του λογισμικού LabView για τον σχεδιασμό εικονικών οργάνων, που επιτελούν στοιχειώδη

μαθηματική επεξεργασία. Ο αναγνώστης μπορεί να ακολουθήσει τις οδηγίες που δίνονται με τη μορφή σύντομων φύλλων έργου.

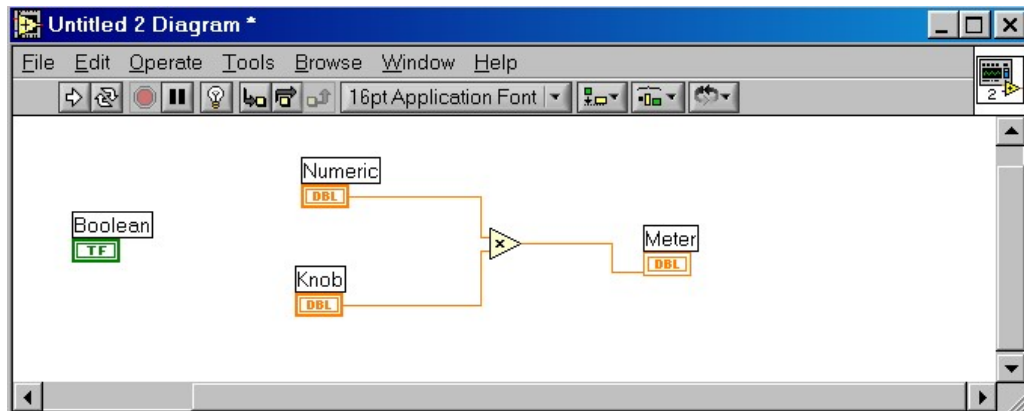
α. Εικονικός αναλογικός ενισχυτής

Κατασκευάζεται μια προσομοίωση ενός απλού αναλογικού ενισχυτή. Μια στάθμη εισόδου θα ενισχύεται με ένα κέρδος από μηδέν μέχρι 10 και η στάθμη της εξόδου θα εμφανίζεται σε έναν μετρητή.

Κάθε λειτουργία εισόδου ή εξόδου δεδομένων έχει μια γραφική αναπαράσταση. Ένας διακόπτης κυλιόμενων ενδείξεων χρησιμεύει για την ρύθμιση της στάθμης εισόδου, ένα ποτενσιόμετρο ρυθμίζει την ενίσχυση και ένας αναλογικός μετρητής εμφανίζει το αποτέλεσμα. Τέλος, ένας διακόπτης ON/OFF ανοίγει και κλείνει τον ενισχυτή.



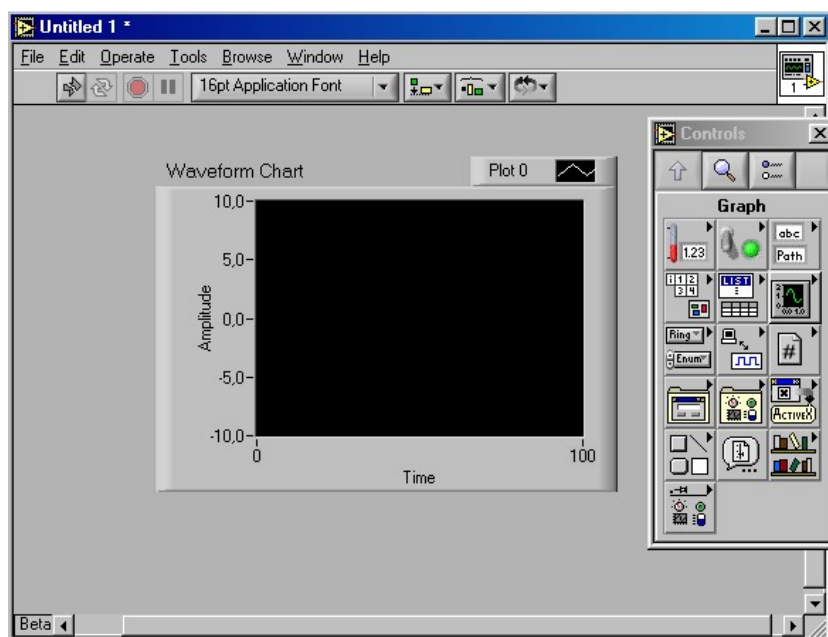
Εικόνα 31. Βασικά μέρη του αναλογικού ενισχυτή στο εμπρόσθιο πλαίσιο και στο διάγραμμα βαθμίδων



Εικόνα 32. Συνδέσεις στο δομικό διάγραμμα

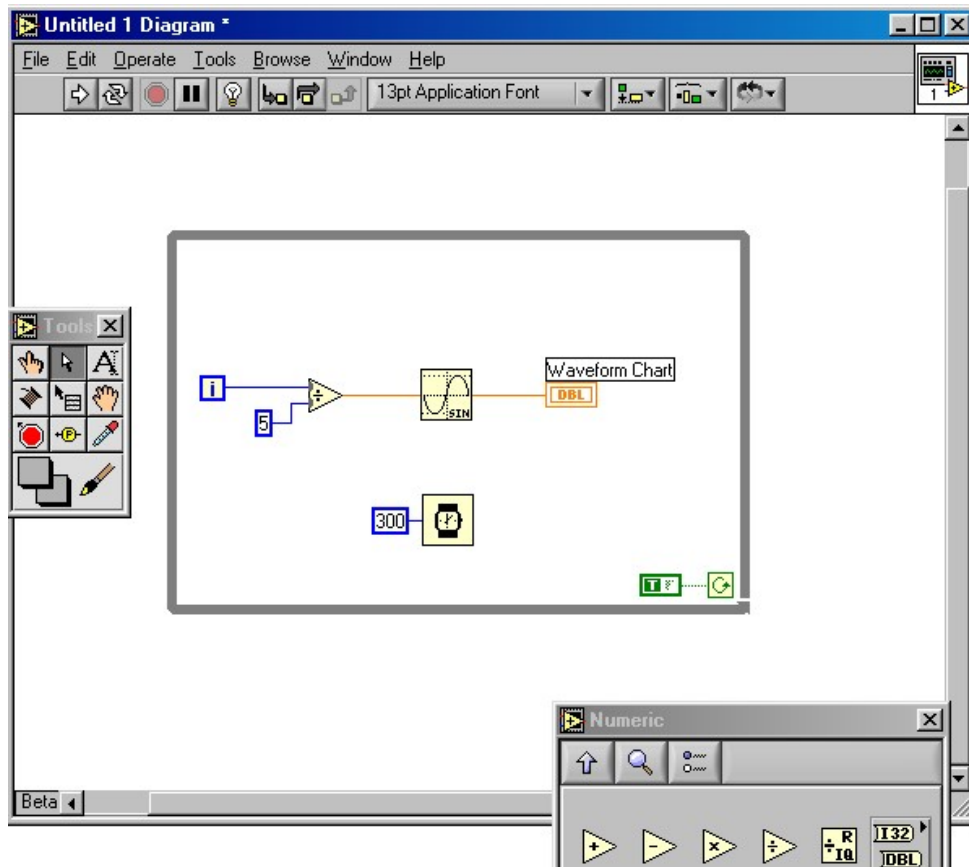
β. Παραγωγή ημιτόνου

Στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιούμε μια βασική δομή προγραμματισμού που διαθέτει το πρόγραμμα LabView, τη δομή WHILE LOOP. Πρόκειται για ένα βρόχο επανάληψης, ο οποίος επαναλαμβάνει διαρκώς το πρόγραμμα που είναι γραμμένο στο εσωτερικό του, όσο είναι αληθής η συνθήκη που ελέγχει το βρόγχο. Κάθε φορά που επαναλαμβάνεται ο βρόγχος, ο δείκτης επανάληψης i αυξάνει κατά 1.



Εικόνα 33. Εισαγωγή γραφήματος στο εμπρόσθιο πλαίσιο

Με τη βοήθεια του WHILE LOOP και των τριγωνομετρικών συναρτήσεων θα δημιουργήσουμε ένα εικονικό όργανο που παράγει μια ημιτονική κυματομορφή και την καταγράφει σε διάγραμμα.



Εικόνα 34. Δομικό διάγραμμα για την παραγωγή ημιτόνου

γ. Εικονικός μετρητής Hall

Οι αισθητήρες Hall (Χωλ) χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τη μέτρηση μαγνητικών πεδίων. Στηρίζονται στο λεγόμενο φαινόμενο Hall: Ένα ορθογώνιο δείγμα μετάλλου ή ημιαγωγού που διαρρέεται από ρεύμα I , αν βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο εμφανίζει στις πλευρές του μια τάση V_H που ονομάζεται τάση Hall. Η τάση αυτή οφείλεται στο φαινόμενο Lorentz, κατά το οποίο οι φορείς αποκλίνουν από την ευθεία, όταν κινούνται μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Η τάση Hall είναι ανάλογη του ρεύματος που περνά από το δείγμα, ανάλογη προς την ένταση του μαγνητικού πεδίου

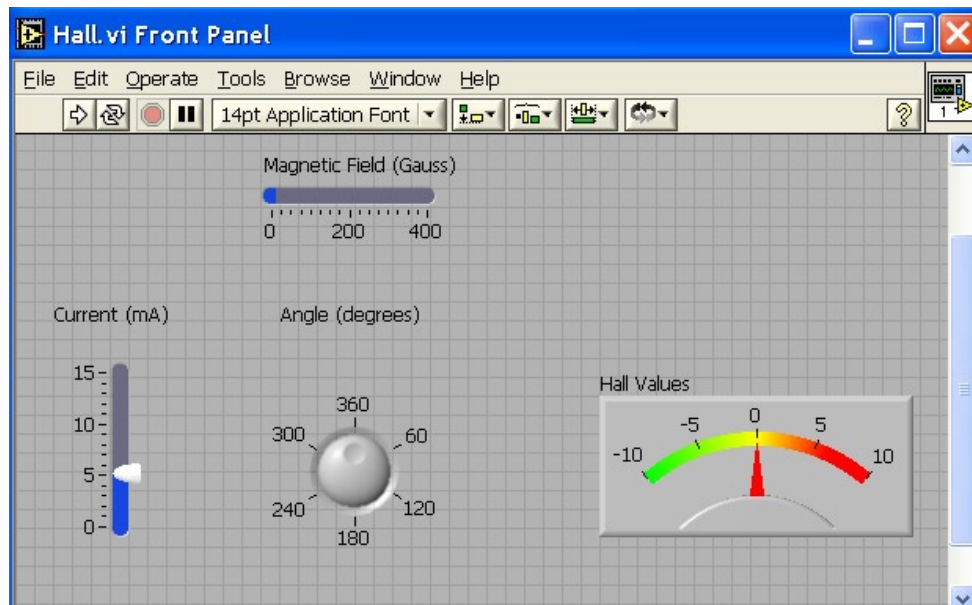
και εξαρτάται από τη γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση του ρεύματος με τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου.

Η σχέση που μας δίνει την τάση Hall είναι:

$$V_H = \gamma IB \sin\theta,$$

όπου I το ρεύμα, B η ένταση του μαγνητικού πεδίου, θ η γωνία και γ ένας συντελεστής που εξαρτάται από το υλικό.

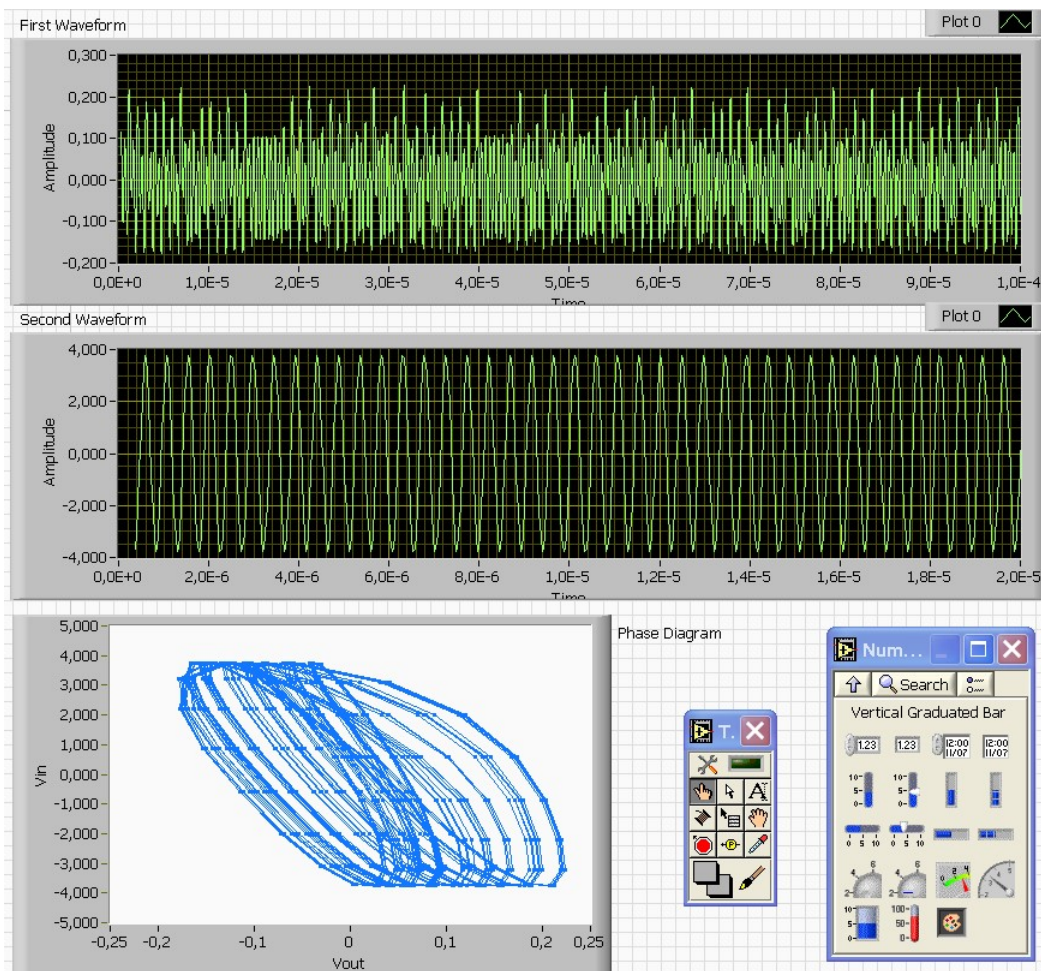
Ο αναγνώστης μπορεί να προσομοιώσει έναν μετρητή μαγνητικού πεδίου, ο οποίος θα δέχεται σαν είσοδο τις παραμέτρους I , B , θ και θα παράγει σε μια αναλογική απεικόνιση την τάση Hall. Μπορεί να χρησιμοποιήσει ενδεικτικά το παραπάνω πλαίσιο και το δομικό διάγραμμα.



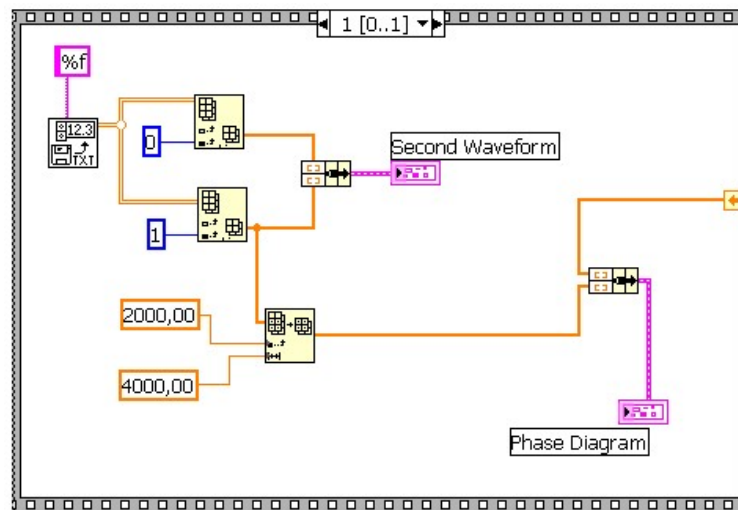
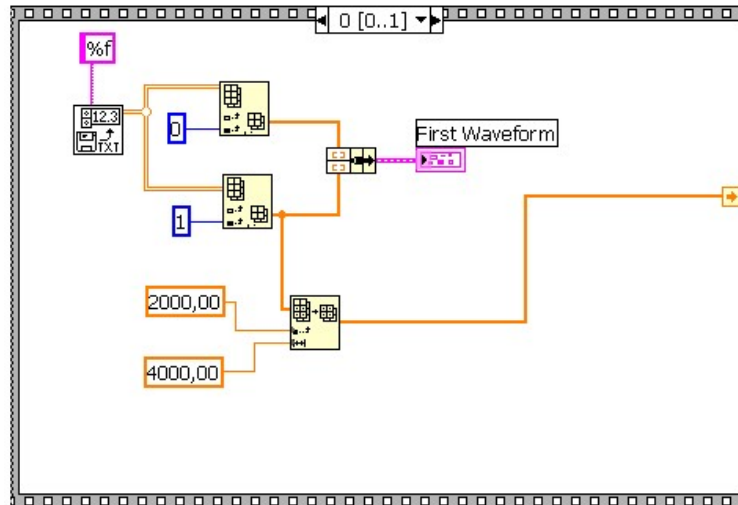
Εικόνα 35. Εμπρόσθιο πλαίσιο για τον εικονικό μετρητή Hall

δ. Χρήση αρχείων και πινάκων

Η εφαρμογή αυτή είναι ένα ολοκληρωμένο παράδειγμα που μας εισάγει σε μερικές ακόμη δυνατότητες προγραμματισμού με τη βοήθεια του λογισμικού LabView. Έστω, λοιπόν, ότι έχουμε δύο αρχεία μετρήσεων σε μορφή .txt, που το καθένα περιέχει ζεύγη τιμών χρόνου και τάσης για διάφορες τιμές του χρόνου t . Αλλιώς, έχουμε δύο αρχεία $(t, V1)$ και $(t, V2)$. Η μία χρονοσειρά έστω ότι παριστάνει την εξέλιξη της τάσης εισόδου με τον χρόνο, ενώ η άλλη παριστάνει την εξέλιξη της τάσης εξόδου ενός κυκλώματος. Ο σκοπός μας είναι να παράγουμε με τη βοήθεια των δύο αυτών χρονοσειρών τάσης ένα διάγραμμα που στον οριζόντιο άξονα έχει τις τιμές $V1$ και στον κατακόρυφο έχει τις τιμές $V2$. Πρόκειται για μια ασθενή εκδοχή ενός φασικού διαγράμματος.



Εικόνα 36. Δημιουργία φασικού διαγράμματος από δύο αρχεία χρονοσειρών



Εικόνα 37. Τα δύο πλαίσια της ακολουθίας (sequence) για τη δημιουργία του φασικού διαγράμματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

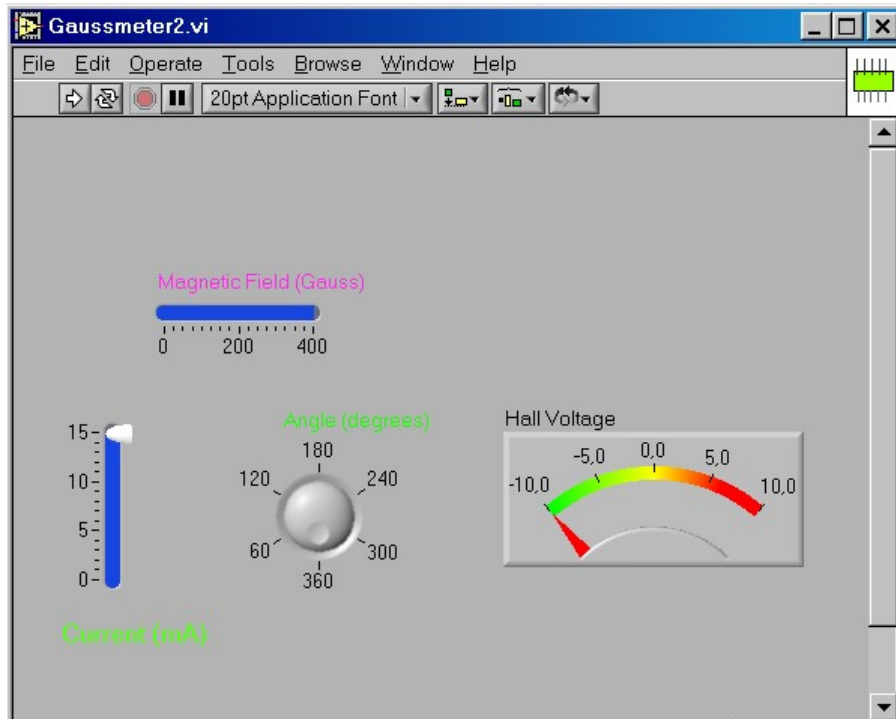
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΜΕΣΩ LABVIEW

Προγραμματίζοντας με τα αντικείμενα που μας δίνει το περιβάλλον του LabView δημιουργούμε τα λεγόμενα «εικονικά όργανα» (Virtual Instruments ή απλώς VIs). Η γραφική γλώσσα που χρησιμοποιεί το LabView για τον προγραμματισμό και τη δημιουργία εικονικών οργάνων ονομάζεται γλώσσα G. Είναι πάντως δυνατό να χρησιμοποιήσει κανείς το LabView σε απλό επίπεδο, χρησιμοποιώντας έτοιμα εικονικά όργανα, χωρίς να μπαίνει σε λεπτομέρειες με τη γλώσσα G.

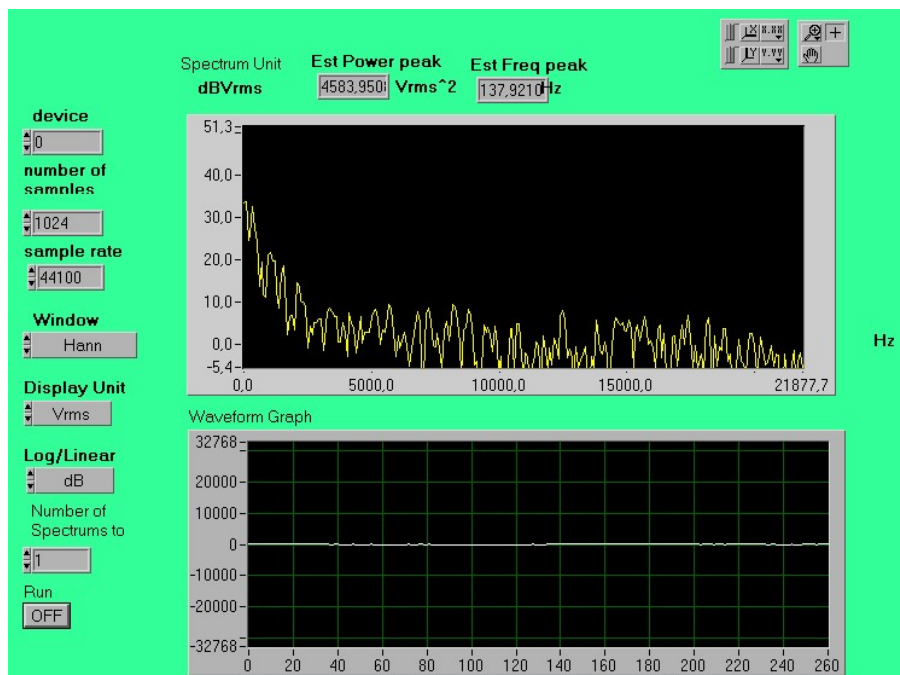
Στα σχήματα της επόμενης σελίδας παρουσιάζονται δύο απλά εικονικά όργανα που κατασκευάστηκαν με το γραφικό περιβάλλον LabView. Βλέπουμε ότι περιλαμβάνουν διάφορους μεταβολείς, ενδείκτες, οθόνες καταγραφής, κουμπιά επιλογής τιμών κλπ.

Ένα εικονικό όργανο μπορεί να προσομοιώνει απλώς μια λειτουργία και να την παρουσιάζει στην οθόνη του υπολογιστή, για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Όμως, είναι δυνατό να συνδέεται με τις θύρες εισόδου/εξόδου του υπολογιστή ή με επιπρόσθετες κάρτες επέκτασης, προκειμένου να κάνει πραγματική εισαγωγή ή εξαγωγή δεδομένων. Στην περίπτωση αυτή ο υπολογιστής με τη βοήθεια των εισόδων και των εξόδων μετατρέπεται σε ένα ισχυρό εργαλείο μετρήσεων, με πολλές δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων.

Το LabView διαθέτει έναν αριθμό από έτοιμα VIs και ορισμένα εικονίδια συναρτήσεων που επιτρέπουν την επικοινωνία με όλα τα γνωστά πρωτόκολλα μετάδοσης δεδομένων. Έτσι, υπάρχουν έτοιμες λειτουργίες που επιτρέπουν τη συλλογή και μετάδοση δεδομένων μέσω της σειριακής θύρας του υπολογιστή, καθώς και μέσω της παράλληλης θύρας.



Εικόνα 38. Μετρητής μαγνητικού πεδίου



Εικόνα 39. Μετρητής συχνοτικής απόκρισης

Επίσης, υπάρχουν λειτουργίες για την ανταλλαγή δεδομένων με την κάρτα ήχου, καθώς και με κάρτες επέκτασης που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο GPIB ή IEEE

488. Εξάλλου, όλες οι κάρτες συλλογής δεδομένων της εταιρίας National Instruments είναι συμβατές με το LabView με τη βοήθεια ειδικών οδηγών που ενσωματώνονται στο λογισμικό. Το ίδιο συμβαίνει και με σημαντικό αριθμό άλλων οργάνων, για τα οποία κυκλοφορούν οδηγοί συμβατοί με το LabView.

Έτσι, μέσω των πρωτοκόλλων επικοινωνίας (RS232, Centronics, IEEE488 ή TCP/IP) η πληροφορία που δημιουργείται στην οθόνη του υπολογιστή συνδέεται με πραγματικά όργανα, μέσω του λογισμικού. Όταν πατούμε ένα εικονικό κουμπί στην οθόνη, ενεργοποιείται ένας πραγματικός διακόπτης σε ένα εργαστηριακό όργανο. Σ' αυτήν ακριβώς τη δυνατότητα, που επεκτείνει την απλή προσομοίωση ώστε να γίνεται εφικτός ο έλεγχος αληθινών οργάνων, βρίσκεται και η δύναμη του LabView ως λογισμικού μετρήσεων και ελέγχου.

«**Data acquisition**» (DAQ) ονομάζεται η διαδικασία δειγματοληψίας σημάτων τα οποία μετράνε τις φυσικές συνθήκες του πραγματικού κόσμου και μετατρέπουν το δειγματικό αποτέλεσμα σε ψηφιακές τιμές τις οποίες μπορεί να χειριστεί ένας Η/Υ. Τα συστήματα DAQ τυπικά μετατρέπουν αναλογικές κυματομορφές σε ψηφιακές τιμές για περαιτέρω επεξεργασία. Τα εξαρτήματα των συστημάτων DAQ περιλαμβάνουν:

1. Αισθητήρες που μετατρέπουν φυσικές παραμέτρους σε ηλεκτρικά σήματα.
2. Κυκλωματικές συνθήκες σήματος για να μετατραπεί το σήμα των αισθητήρων σε μία μορφή η οποία μπορεί να ψηφιοποιηθεί.
3. «Analog to Digital Converters» (ADC), οι οποίοι μετατρέπουν τα ειδικά διαμορφωμένα σήματα των αισθητήρων σε ψηφιακές τιμές.

Οι εφαρμογές DAQ ελέγχονται από ανεπτυγμένα προγράμματα που χρησιμοποιούν διάφορες γενικής χρήσης γλώσσες προγραμματισμού όπως είναι το Labview, BASIC, C, Fortran, Java, Lisp, Pascal. Από μόνα τους τα συστήματα DAQ συχνά αποκαλούνται και «data loggers» (καταγραφείς δεδομένων).

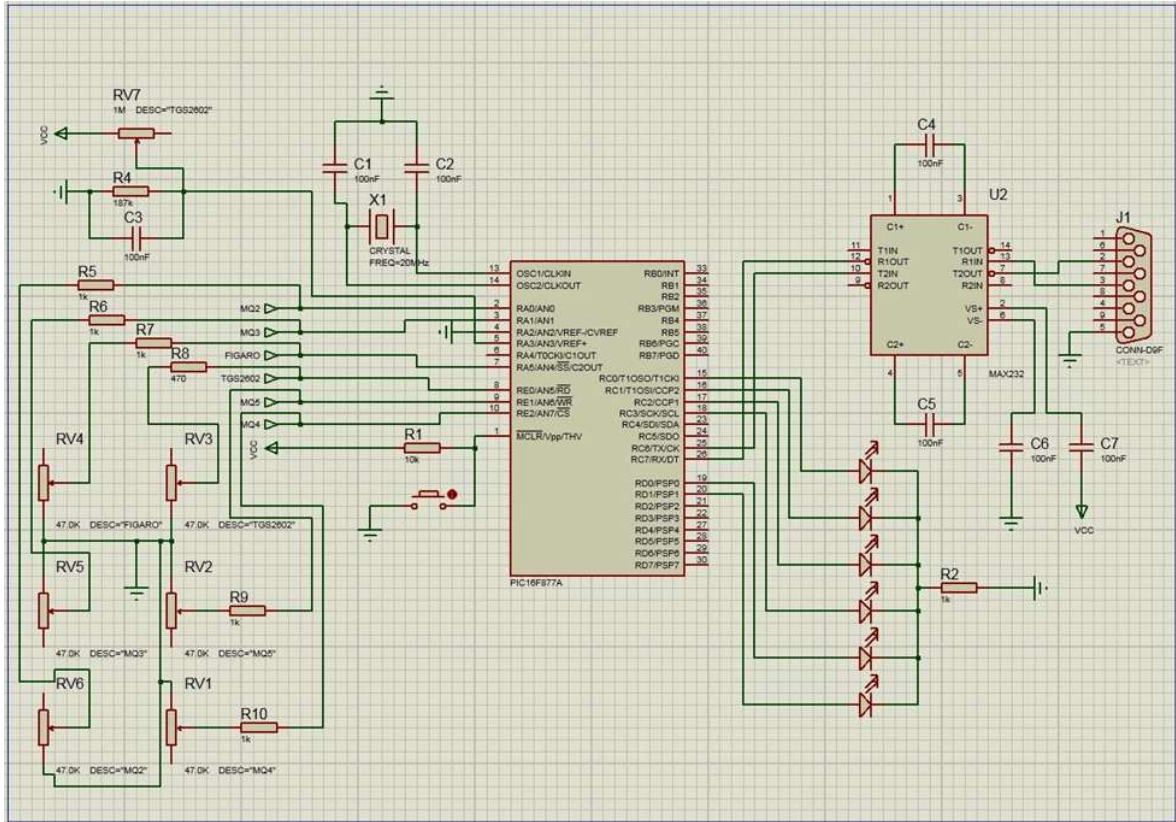
Όσον αφορά στο πρώτο, χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες ηλεκτρονικής μύτης που ανιχνεύουν κυρίως οργανικές ενώσεις σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις στον αέρα. Όλοι οι αισθητήρες που έλαβαν μέρος στην παρούσα μελέτη αναφέρονται αναλυτικά στο 3^ο κεφάλαιο. Όσον αφορά στο δεύτερο και στο τρίτο χρησιμοποιήθηκαν οι δυνατότητες του μικροελεγκτή PIC16F877A σε συνδυασμό με εξωτερικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Η εφαρμογή DAQ ελέγχεται από ένα πρόγραμμα που δημιουργήθηκε και δουλεύει στο περιβάλλον του Labview. Επίσης από την στιγμή που το σύστημά μας αποθηκεύει τα δεδομένα των μετρήσεων μπορεί να θεωρηθεί και ένας καταγραφέας δεδομένων (data logger).

Το κύκλωμα έχει ως κέντρο το μικροελεγκτή PIC16F877A. Σε αυτόν εισάγονται τα δεδομένα και αυτός τα εξάγει. Χρησιμοποιεί έναν κρύσταλλο με συχνότητα στα 20MHz που παίζει το ρόλο του εξωτερικού ταλαντωτή και συνδέεται στα pins 13 και 14. Στο pin 1 συνδέεται η τάση τροφοδοσίας μέσα από μία αντίσταση των 10KΩ και η γείωση μέσω ενός bush-button (κουμπιού) που όταν πατιέται επανεκκινεί(reset) τον μικροελεγκτή. Στα pins 11 και 32 συνδέεται η τροφοδοσία του στα 5V και στα pins 12 και 31 συνδέεται η γείωση. Για το μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακού ADC, χρησιμοποιούνται τα pins 2,3,4,5,7,8,9 και 10. Πιο αναλυτικά:

- Στο pin 2 συνδέεται ο αισθητήρας MQ2 και μία αντίσταση 1KΩ μαζί με ένα ποτενσιόμετρο 47KΩ συνδεδεμένα σε σειρά όπου στην συνέχεια συνδέονται με την γείωση.
- Στο pin 3 συνδέεται ο αισθητήρας MQ3 και μία αντίσταση 1KΩ μαζί με ένα ποτενσιόμετρο 47KΩ συνδεδεμένα σε σειρά όπου στην συνέχεια συνδέονται με την γείωση.
- Στο pin 4 συνδέεται το VREF- όπου είναι η γείωση αναφοράς για την λειτουργία του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακού ADC.
- Στο pin 5 συνδέεται το VREF+ όπου είναι η τάση αναφοράς για την λειτουργία του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακού ADC. Αυτή διαμορφώνεται με την βοήθεια ενός ποτενσιόμετρου 1MΩ προς το Vc και παράλληλα μία αντίσταση 187KΩ με έναν πυκνωτή 100nF προς τη γείωση.
- Στο pin 7 συνδέεται ο αισθητήρας FIGARO TGS822 και μία αντίσταση 1KΩ μαζί με ένα ποτενσιόμετρο 47KΩ συνδεδεμένα σε σειρά όπου στην συνέχεια συνδέονται με τη γείωση.

- Στο pin 8 συνδέεται ο αισθητήρας FIGARO TGS2602 και μία αντίσταση 1KΩ μαζί με ένα ποτενσιόμετρο 47KΩ συνδεδεμένα σε σειρά όπου στην συνέχεια συνδέονται με τη γείωση.
- Στο pin 9 συνδέεται ο αισθητήρας MQ5 και μία αντίσταση 1KΩ μαζί με ένα ποτενσιόμετρο 47KΩ συνδεδεμένα σε σειρά όπου στην συνέχεια συνδέονται με τη γείωση.
- Στο pin 10 συνδέεται ο αισθητήρας MQ4 και μία αντίσταση 1KΩ μαζί με ένα ποτενσιόμετρο 47KΩ συνδεδεμένα σε σειρά όπου στην συνέχεια συνδέονται με τη γείωση.
- Στα pins από 15 μέχρι 20 έχουν συνδεθεί τα 6 Leds, όπου χρησιμοποιούνται στα 3 πρώτα δευτερόλεπτα κατά την εκκίνηση του συστήματος για την απεικόνιση ενός test pattern. Στη συνέχεια συνδέονται με τη γείωση μέσω μίας αντίστασης 1KΩ.
- Το pin 25 συνδέεται με το ολοκληρωμένο MAX232 στο pin 10 και χρησιμοποιείται για τη σειριακή αποστολή δεδομένων.
- Το pin 26 συνδέεται με το ολοκληρωμένο MAX232 στο pin 12 και χρησιμοποιείται για τη σειριακή λήψη δεδομένων.
- Το MAX232 χρησιμοποιεί 4 πυκνωτές 100nF για τη μετατροπή στάθμης της τάσης. Αυτοί εφαρμόζονται στα pin 1 και 3, 4 και 5, 2 και Vc, 6 και γείωση. Από τα 4 κανάλια επικοινωνίας του MAX232 χρησιμοποιούμε τα 2. Το κανάλι T2 για τη σειριακή αποστολή δεδομένων που βρίσκεται στα pins 10 και 7. Το κανάλι R1 για τη σειριακή λήψη δεδομένων που βρίσκεται στα pins 13 και 12.
- Τα pins 13 και 7 συνδέονται αντίστοιχα στα pins 2 και 3 της σειριακής θύρας.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται αναλυτικά το διάγραμμα του κυκλώματος.



Εικόνα 40. Διάγραμμα του κυκλώματος του συστήματος

Ο **μικροελεγκτής (microcontroller)** είναι ένας τύπος επεξεργαστή. Ουσιαστικά είναι μια παραλλαγή μικροεπεξεργαστή, ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα, λόγω των πολλών ενσωματωμένων υποσυστημάτων που διαθέτει. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε όλα τα ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems) ελέγχου χαμηλού και μεσαίου κόστους, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε αυτοματισμούς, ηλεκτρονικά καταναλωτικά προϊόντα (από ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές έως παιχνίδια), ηλεκτρικές συσκευές και κάθε είδους αυτοκινούμενα τροχοφόρα οχήματα. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής PIC16F877A.



Εικόνα 41. Ο μικροελεγκτής PIC16F877A

Τα bits διαμόρφωσης (Configuration bits) είναι αυτά που ορίζουν τις βασικές λειτουργίες του μικροελεγκτή.

Configuration Bits			
<input type="checkbox"/> Configuration Bits set in code.			
Address	Value	Category	Setting
2007	3F7A	Oscillator	HS
		Watchdog Timer	Off
		Power Up Timer	Off
		Brown Out Detect	On
		Low Voltage Program	Disabled
		Data EE Read Protect	Off
		Flash Program Write	Write Protection Off
		Code Protect	Off

Εικόνα 42. Bits διαμόρφωσης

1. Ο «**oscillator configuration register**» (καταχωρητής διαμόρφωσης ταλάντωσης ή FOSC) χρησιμοποιείται για να ρυθμίζει το ρολόι του μικροελεγκτή. Το ρολόι(clock) του μικροελεγκτή έχει άμεση επιρροή πάνω στην ταχύτητα εκτέλεσης των εντολών. Επομένως, είναι σημαντικό να επιλεγεί σωστά. Επίσης σημαντικό είναι να επιλεγεί η επιθυμητή πηγή ταλάντωσης (oscillator source). Η πηγή μπορεί να είναι ένας από τους εσωτερικούς ταλαντωτές (RC, LP, XT και HS). Στην περίπτωση αυτή έχει επιλεγεί ο ταλαντωτής HS (High Speed Crystal). Το εύρος συχνοτήτων του HS κυμαίνεται από 10MHz έως 25MHz. Η συχνότητα που παράγει ο κρύσταλλος που

χρησιμοποιήθηκε είναι στα 20MHz. Αυτός είναι και ο λόγος που επιλέχτηκε ο συγκεκριμένος ταλαντωτής ώστε το εύρος συχνοτήτων του να καλύπτει τη συχνότητα που χρησιμοποιήθηκε.

2. Ο Καταχωρητής διαμόρφωσης «**Watchdog Timer**» (FWDT) χρησιμεύει στο να ανοίγει και να κλείνει το χρονιστή επιτήρησης και στο να προσαρμόζει τη λειτουργία του. Η προκαθορισμένη τιμή του χρονιστή επιτήρησης είναι ένας αριθμός που διαιρεί τον εσωτερικό ταλαντωτή RC έτσι ώστε να χρονίζει το ρολόι του χρονιστή επιτήρησης. Ο χρονιστής επιτήρησης είναι ανεξάρτητος από το εσωτερικό ρολόι το οποίο διέπει την εκτέλεση των εντολών. Με αυτόν τον τρόπο ένα λειτουργικό χρονόμετρο λειτουργεί ακόμα και αν το εσωτερικό ρολόι αποτύχει. Είναι προφανές ότι ο χρονιστής επιτήρησης είναι ενεργοποιημένος (on) μόνο στην περίπτωση που ο «oscillator configuration register» έχει επιλεγεί ως ο εσωτερικός ταλαντωτής RC. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο ταλαντωτής HS με αποτέλεσμα ο καταχωρητής διαμόρφωσης να είναι σε κατάσταση ανενεργή (off).

3. Ο «**Power-up Timer**» (PWRT) παρέχει μία υποτυπώδη καθυστέρηση των 72 millisecond μετά από ένα «Power On Reset» (POR), «Brown Out Reset» (BOR) ή μετά από ένα «MCLR pin reset» που γίνεται. Ο PWRT λειτουργεί με τον ειδικό εσωτερικό ταλαντωτή RC. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε ο ταλαντωτής HS και όχι ο RC με αποτέλεσμα να έχουμε τον PWRT ανενεργό(off).

4. Το «**Brown Out Detect**» (BOD) ή «Brown Out Reset» (BOR) είναι ένα σύστημα ασφαλείας του μικροελεγκτή όπου σε περίπτωση που η τάση V_{dd} πέσει κάτω από το «brown out» όριο τάσης θα κρατήσει τον μικροελεγκτή σε κατάσταση reset. Σε αυτή την περίπτωση βρίσκεται σε κατάσταση ενεργή(on).

5. Το «**Low-Voltage Programming**» (LVP) επιτρέπει στην MCUs των μικροελεγκτών PIC16F1xxx να προγραμματίζεται μόνο με το V_{dd}. Η χρήση του LVP εξαλείφει την ανάγκη για την παροχή μεγαλύτερης τάσης από αυτήν της V_{dd} στο pin MCLR/V_{pp}. Σε αυτή την περίπτωση είναι ανενεργό(off) επειδή ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε (PIC16F877a) δεν το υποστηρίζει.

6. Το «**Data EE Read Protect**» (CPD) όταν είναι ενεργοποιημένο προστατεύει την μνήμη EEPROM από εξωτερική ανάγνωση. Όμως το περιεχόμενο της μνήμης EEPROM είναι αναγνώσιμο από εσωτερικές πηγές. Στην παρούσα μελέτη το CPD είναι απενεργοποιημένο(off) έτσι ώστε να μπορούμε να διαβάσουμε το περιεχόμενο της μνήμης EEPROM μέσω του προγραμματιστή από τον υπολογιστή.

7. Το «**Flash Program Write**» (WRT) καθορίζει το εύρος διευθύνσεων στο οποίο η μνήμη προγράμματος είναι διαθέσιμη για εγγραφή από το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται. Έχει τις 4 εξής επιλογές: «Write Protection Off», «0h to FFh write Protected», «0h to 7FFh write Protected» και «0h to FFFh write Protected». Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η επιλογή «Write Protection Off» με σκοπό να μπορεί να επέμβει το πρόγραμμα εγγραφής του υπολογιστή σε όλο το εύρος διευθύνσεων της μνήμης του μικροελεγκτή.

8. Το «**Code Protect**» (CP) στην περίπτωση που είναι ενεργοποιημένο μπορεί να προστατέψει ολόκληρο τον χώρο της μνήμης προγράμματος από εξωτερικές αναγνώσεις. Ο εξωτερικός προγραμματιστής θα δει όλα τα bits '0' σε προσπάθεια ανάγνωσης της προστατευμένης μνήμης. Παρόλα αυτά το περιεχόμενο της μνήμης προγράμματος είναι αναγνώσιμο από εσωτερικές πηγές. Στην περίπτωση αυτή είναι απενεργοποιημένο έτσι ώστε η μνήμη προγράμματος να είναι προσβάσιμη για ανάγνωση από τον υπολογιστή.

Ο μικροελεγκτής PIC16F877a διαθέτει τριαντατρείς ακροδέκτες εισόδου / εξόδου (Input / output), μοιρασμένους σε πέντε θύρες, που ονομάζονται PORT A (6 ακροδέκτες) και PORT B (8 ακροδέκτες), PORT C (8 ακροδέκτες), PORT D (8 ακροδέκτες) και PORT E (3 ακροδέκτες), αντίστοιχα. Η PORT A βρίσκεται στα pins 2-7 και χρησιμοποιείται συνήθως μαζί με τα 3 pins της PORT E που είναι τα pins 8-10 για τις αναλογικές εισόδους σημάτων. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα pins 2,3,7-10 ως αναλογικές εισόδους σημάτων, έξι κανάλια στο σύνολο. Επίσης τα pins 4 και 5 χρησιμοποιούνται για τάση αναφοράς (VREF- και VREF+ αντίστοιχα). Η PORT B εκτείνεται στα pins 33-40 και συνήθως χρησιμοποιείται ως έξοδος, για να μπορούμε να δούμε ένα αποτέλεσμα σε 8 Leds. Στην περίπτωση αυτή η PORT B δεν χρησιμοποιείται. Η PORT C βρίσκεται στα pins 15-18 και 23-26. Από αυτά χρησιμοποιήθηκαν τα pins 15-18 για να προβληθεί ένα test pattern σε Leds κατά την

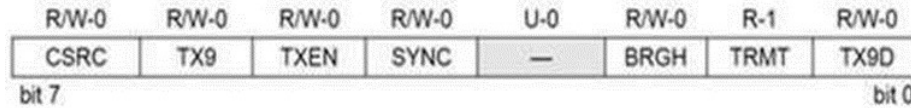
εκκίνηση του μικροελεγκτή και τα pins 25 και 26 για την σειριακή επικοινωνία με τον υπολογιστή. Η PORT D βρίσκεται στα pins 19-22 και 27-30. Από αυτά χρησιμοποιήθηκαν τα pins 19 και 20 για να προβληθεί και εδώ ένα test pattern σε Leds κατά την εκκίνηση του μικροελεγκτή. Τα «PORT» μπορούν να οριστούν εξαρχής μέσα από τους καταχωρητές TRISA, TRISB, TRISC και TRISD αν θα είναι εισοδοι ή έξοδοι αντίστοιχα. Για παράδειγμα εάν η τιμή του καταχωρητή TRISC είναι '0' τότε η PORT C είναι είσοδος ενώ εάν ο TRISC έχει την τιμή 'FF' τότε η PORT C είναι έξοδος. Επίσης μπορεί να οριστεί και το κάθε pin του «PORT» ξεχωριστά για το αν θα είναι είσοδος ή έξοδος με τον εξής τρόπο: εάν ο TRISC πάρει την τιμή '80'(10000000 δυαδικό) τότε τα 7 πρώτα pins είναι εισοδοι ενώ το τελευταίο pin χρησιμοποιείται ως έξοδος.

Για να επιτευχτεί η επικοινωνία με εξωτερικά εξαρτήματα, όπως ένας υπολογιστής ή ένας μικροελεγκτής, ο **PIC16F877A** χρησιμοποιεί ένα εξάρτημα που λέγεται **USART** (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter). Αυτό το εξάρτημα μπορεί να διαμορφωθεί ως:

1. Ένα σύστημα αμφίδρομο (Full-Duplex) και ασύγχρονο που μπορεί να επικοινωνεί με περιφερειακές συσκευές, όπως με έναν υπολογιστή.
2. Ένα σύστημα μονόδρομης (Half-Duplex) σύγχρονης επικοινωνίας όπου μπορεί να επικοινωνεί με περιφερειακές συσκευές, όπως μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, ολοκληρωμένα κυκλώματα και σειριακές EEPROMs.

Για να ενεργοποιηθεί η σειριακή επικοινωνία με τον PIC16F877A πρέπει να οριστούν οι τιμές διαφόρων παραμέτρων μέσα στους 2 καταχωρητές, τον **TXSTA** και τον **RCSTA**.

1. Ο **TXSTA**(Transmit Status and Control Register) απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 43. Καταχωρητής κατάστασης εκπομπής και ελέγχου

Το μέγεθος αυτού του καταχωρητή είναι ένα byte (8bits). Κάθε bit έχει ένα σημαντικό ρόλο στον ορισμό της σειριακής θύρας. Αναλυτικά ο ρόλος του κάθε bit είναι:

CSRC: Clock Source Select bit- Αυτό το bit έχει σημασία μόνο στη σύγχρονη μονόδρομη (Half-Duplex) επικοινωνία. Καθορίζει αν ο μικροελεγκτής θα είναι ο αποστολέας με 1 ή ο παραλήπτης με 0.

TX9: 9 bit Transmit Enable bit – Αυτό το bit επιλέγει το μέγεθος του μεταδιδόμενου πακέτου σε 8 bit με 0 ή 9 bit με 1.

TXEN: Transmit Enable bit – Με 1 ενεργοποιείται η αποστολή ενώ με 0 απενεργοποιείται.

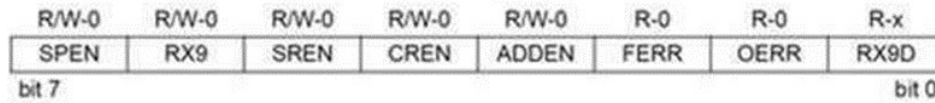
SYNC: USART Mode Select bit - Με 1 η επικοινωνία είναι σύγχρονη ενώ με 0 είναι ασύγχρονη.

BRGH: High Baud Rate Select bit – Καθορίζει την ταχύτητα αποστολής δεδομένων σε Υψηλή με 1 ή Χαμηλή με 0. Αυτό το bit έχει σημασία μόνο στην ασύγχρονη επικοινωνία και δεν χρησιμοποιείται για την σύγχρονη επικοινωνία.

TRMT: Transmit Shift Register Status bit (TSR) – Με 1 ο TSR είναι άδειος (empty) ενώ με 0 είναι γεμάτος (full).

TX9D - Αυτό το bit έχει σημασία μόνο στην περίπτωση που το μέγεθος του πακέτου είναι 9 bits. Τοποθετεί το 9^ο bit σε περίπτωση που έχει την τιμή 1.

2. Ο RCSTA (Receive Status and Control Register) απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 44. Καταχωρητής κατάστασης λήψης και ελέγχου

Το μέγεθος αυτού του καταχωρητή είναι ένα byte(8 bits). Αναλυτικά ο ρόλος του κάθε bit:

SPEN: Serial Port Enable bit – Με 1 ενεργοποιείται η σειριακή θύρα (διαμορφώνει τα pins RC7/RX/DT ώστε να λαμβάνουν πληροφορίες στον pic, και τα pins RC6/TX/CK για αποστολή δεδομένων από τον pic). Με 0 η σειριακή θύρα απενεργοποιείται.

RX9: 9th-bit Receive Enable bit - Με 1 ενεργοποιείται η παραλαβή 9 bits, ενώ με το 0 απενεργοποιείται.

SREN: Single Receive Enable bit – Αυτό το bit ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τη μεταφορά πακέτων. Στην ασύγχρονη επικοινωνία αυτό δεν είναι σημαντικό. Η χρησιμότητα αυτού του bit είναι στη σύγχρονη επικοινωνία (Half-Duplex) και μόνο όταν ο PIC είναι ο αποστολέας.

CREN: Continuous Receive Enable bit – Στην ασύγχρονη επικοινωνία με 1 ενεργοποιείται η συνεχής λήψη ενώ με 0 απενεργοποιείται.

ADDEN: Address Detect Enable bit – Αυτό το bit ενεργοποιεί διακοπή μόνο όταν το μέγεθος του πακέτου είναι 9 bits. Δεν έχει κάποια σημασία όταν το μέγεθος του πακέτου είναι 8 bits.

FERR: Framing Error bit – Το λογικό επίπεδο 1, σημαίνει ότι το STOP bit δεν έχει ληφθεί. Στη σειριακή επικοινωνία χρησιμοποιείται START bit και STOP bit όταν μεταφέρονται πληροφορίες. Με 1 υπάρχει σφάλμα πακέτου ενώ με 0 δεν υπάρχει σφάλμα.

OERR: Overrun Error bit – Το λογικό επίπεδο 1, σημαίνει ότι το τελευταίο πακέτο λήφθηκε, όσο υπάρχουν ακόμα προηγούμενα δεδομένα που δεν τα έλαβε ο PIC. Σε αυτήν την περίπτωση, όποια πληροφορία λαμβάνεται μετά το σφάλμα χάνεται.

Η λειτουργία του «**Analog to Digital Converter**» (ADC) περιγράφεται ως εξής: Ένας αριθμός ακροδεκτών εισόδου προορίζεται να λάβει είσοδο αναλογικού σήματος. Για να λειτουργήσουν αυτοί οι ακροδέκτες ως αναλογικές εισοδοί θα πρέπει να γίνει η κατάλληλη επιλογή, μέσω ενός καταχωρητή που ρυθμίζει τη λειτουργία του ADC. Στην είσοδο υπάρχει το κύκλωμα πολυπλεξίας που επιλέγει ένα αναλογικό σήμα εισόδου. Η επιλογή του καναλιού εισόδου που μετατρέπεται κάθε φορά, γίνεται πάλι με τη βοήθεια ειδικού καταχωρητή (input select bits). Η τάση αναφοράς τίθεται αυτόματα στα 5V που είναι η τάση τροφοδοσίας, αλλά μπορεί και να ρυθμιστεί. Ο μετατροπέας του ADC του PIC16F877 έχει ανάλυση 10 bit. Αυτό σημαίνει ότι υποστηρίζει 1024 κβαντικές στάθμες. Όταν ολοκληρώνεται μια μετατροπή, το αποτέλεσμα τοποθετείται σε δύο καταχωρητές, τους ADRESH και ADRESL. Το αποτέλεσμα μπορεί να τοποθετηθεί με δεξιά ή αριστερή στοίχιση, ανάλογα με τις ρυθμίσεις που θα γίνουν στον καταχωρητή ADCON1. Στην περίπτωση αυτή, μέσα από τους καταχωρητές ADCON1 και ADCON0 ορίστηκαν τα εξής:

1. Αριστερή στοίχιση και χρήση του ADRESH για λήψη των ψηφιακών τιμών με ανάλυση 8 bits. Αυτό γίνεται μέσα από το ADFM που είναι το bit 7 του ADCON1 και σε αυτήν την περίπτωση έχει την τιμή 0 για αριστερή στοίχιση, ενώ την τιμή 1 για δεξιά.
2. 6 αναλογικά κανάλια εισόδου, δηλαδή όσοι είναι και οι αισθητήρες και 2 κανάλια για ρύθμιση της τάσης αναφοράς. Αυτό γίνεται με τη χρήση των 4 πρώτων bits (0 έως 3) του ADCON1 που είναι τα PCFG3-PCFG0 και στην προκειμένη περίπτωση έχουν την τιμή 1000.

3. Η συχνότητα ρολογιού ADC σε $F_{osc}/32$ ($F_{osc}=20\text{MHz}$) . Αυτό γίνεται με τη χρήση των ADCS1 και ADCS0 που είναι τα bits 7 και 6 αντίστοιχα στον ADCON0. Στην περίπτωση αυτή έχουν την τιμή 10.

4. Αρχικά το πρώτο κανάλι (ch0) και ενεργοποιείται ο ADC. Το πρώτο γίνεται με τα CHS2, CHS1 και CHS0 όπου είναι το 5ο, 4ο και 3ο bit αντίστοιχα και ανάλογα με την τιμή που πάρουν μπορούν να επιλέξουν ανάμεσα σε 8 κανάλια (AN0-AN7), τους δίνεται η τιμή 000. Το δεύτερο γίνεται με την χρήση του ADON όπου είναι το bit 0 στον ADCON0 και του δίνεται η τιμή 1 ώστε να ενεργοποιηθεί ο ADC.

Προγραμματιστικό περιβάλλον

Για τη συγγραφή της εφαρμογής σε γλώσσα προγραμματισμού C χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον προγραμματισμού και αποσφαλμάτωσης MPLAB, στην έκδοση v8.10. Το MPLAB υποστηρίζει όλες τις οικογένειες των μικροελεγκτών της Microchip ενώ επίσης συνεργάζεται με πληθώρα προγραμματιστών για μικροελεγκτές PIC ακόμα και από άλλους κατασκευαστές. Το περιβάλλον αυτό διαθέτει ενσωματωμένο κειμενογράφο (editor), μεταγλωττιστή (assembler) καθώς και προσομοιωτή (simulator) για την αποσφαλμάτωση των προγραμμάτων. Επιπλέον στο MPLAB εγκαταστάθηκε ο XC8 C compiler V1.33 ο οποίος μεταφράζει τον κώδικα από γλώσσα C, σε «assembly».

Εφαρμογή της γλώσσας προγραμματισμού στον μικροελεγκτή

Στην αρχή θέτουμε τις τιμές των καταχωρητών ώστε να δουλεύουν σωστά οι θύρες που χρησιμοποιούμε, ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και η σειριακή επικοινωνία. Χρησιμοποιούμε ένα <test pattern> για τα τρία πρώτα δευτερόλεπτα από την εκκίνηση του μικροελεγκτή που στην ουσία αναβοσβήνει τα Leds που έχουμε τοποθετήσει στις θύρες D και C ώστε να βεβαιωθούμε ότι ξεκίνησε κανονικά η λειτουργία του μικροελεγκτή. Μετά ακολουθεί ο ατέρμονος βρόγχος επανάληψης (while). Σε κάθε επανάληψη στέλνει πρώτα δύο bytes με τιμές 42 και 67 ώστε να επιβεβαιωθούν από το πρόγραμμα του Labview στον υπολογιστή και να αρχίσει να λαμβάνει το πρόγραμμα δεδομένα. Μετά δουλεύει ο μετατροπέας αναλογικού

σήματος σε ψηφιακό για κάθε ένα από τα 6 κανάλια και στέλνει το ψηφιακό σήμα από κάθε κανάλι ξεχωριστά μέσω της σειριακής επικοινωνίας στον υπολογιστή.

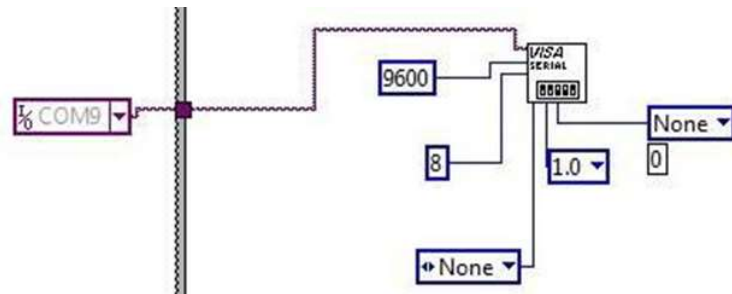
Η εφαρμογή στο Labview αποτελείται από δύο τμήματα. Το ένα είναι το «front panel»(ενδείξεις καταγραφέα) που φαίνεται στο χρήστη και το άλλο είναι το «block diagram»(σύστημα καταγραφέα) στο οποίο γίνεται ο προγραμματισμός. Παρακάτω αναλύεται η λειτουργία των δύο τμημάτων.

Το front panel αποτελείται από ένα γράφημα με 6 μεταβλητές, 12 πεδία που απεικονίζουν αριθμούς, ένα επεξηγηματικό πεδίο που αντιστοιχεί το κάθε χρώμα στον αντίστοιχο αισθητήρα και ένα κουμπί on/off. Αυτό πρέπει να είναι on για να ξεκινήσει το πρόγραμμα και να γίνει off για τον τερματισμό του προγράμματος. Στο γράφημα απεικονίζονται οι τιμές του κάθε αισθητήρα σε συνάρτηση με το χρόνο. Ξεκινώντας από τα αριστερά στα δύο πρώτα πεδία αριθμών απεικονίζονται οι μετρητές των bytes που λήφθηκαν. Στα επόμενα δύο πεδία αριθμών υπό φυσιολογικές συνθήκες εμφανίζεται το 42 και το 67 που στάλθηκαν από το μικροελεγκτή για τον έλεγχο της σειριακής επικοινωνίας στην περίπτωση που χαθούν δεδομένα. Τα επόμενα 6 πεδία αριθμών απεικονίζουν τις τιμές του κάθε αισθητήρα ξεχωριστά για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Το τελευταίο πεδίο αριθμού «Time(sec)» εμφανίζει το συνολικό χρόνο από την στιγμή που ξεκίνησε να τρέχει το πρόγραμμα μέχρι την στιγμή που πατήσαμε το κουμπί On/Off.



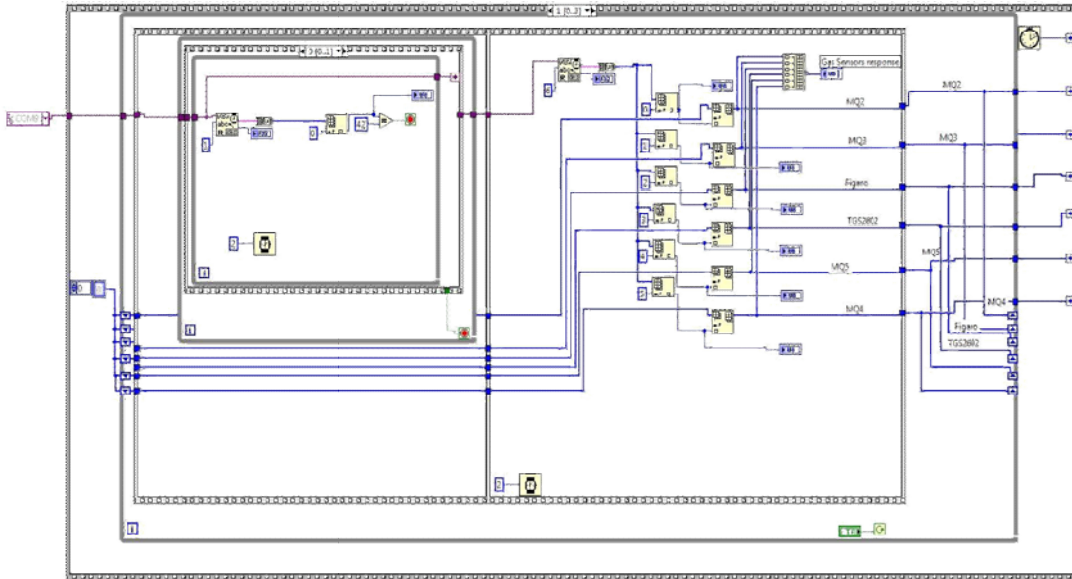
Εικόνα 45. Ενδείξεις καταγραφέα «Front panel»

Το block diagram αποτελείται από μία κεντρική δομή ακολουθίας με τέσσερα πλαίσια. Κάθε ένα από αυτά τα πλαίσια παίζει το δικό του σημαντικό ρόλο και σκοπό, συμβάλλοντας στη λειτουργία του συνολικού προγράμματος. Το κάθε πλαίσιο τρέχει με σειρά προτεραιότητας, δηλαδή πρώτα θα τρέξει το πρώτο πλαίσιο, μετά το δεύτερο, μετά το τρίτο και το τέταρτο. Στο πρώτο πλαίσιο γίνεται η αρχικοποίηση της σειριακής επικοινωνίας. Επιλέγουμε τη σειριακή θύρα(π.χ. COM9) στην οποία συνδέσαμε το αντίστοιχο καλώδιο, την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων στα 9600bps, 8 bits (1 byte) ανά δεδομένο, parity bit = none, stop bits 1.0 και flow control = none.



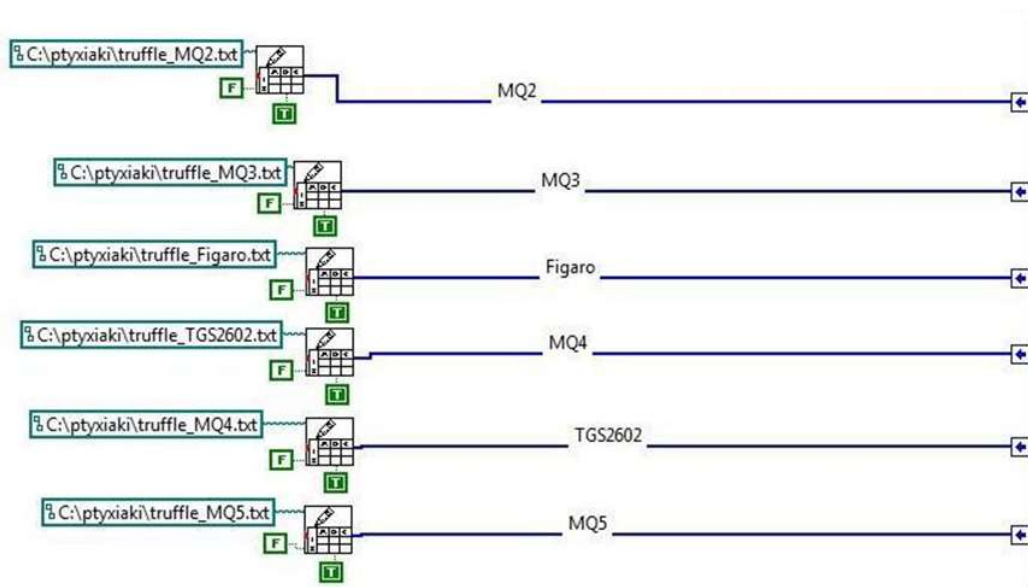
Εικόνα 46. 1ο πλαίσιο – Σειριακή επικοινωνία

Στο δεύτερο πλαίσιο που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα υπάρχει ένας εξωτερικός βρόγχος που τερματίζει το πρόγραμμα όταν πατήσουμε το κουμπί On/off από το front panel. Εσωτερικά υπάρχει ένα διπλό πλαίσιο στο αριστερό τμήμα του οποίου γίνεται ο έλεγχος των δύο bytes. Εάν δηλαδή το πρώτο byte έχει την τιμή 42 και το δεύτερο έχει την τιμή 67. Στο δεξί τμήμα γίνεται η λήψη των 6 bytes από την σειριακή θύρα, ο διαχωρισμός τους και η εμφάνισή τους στο γράφημα του «front panel».

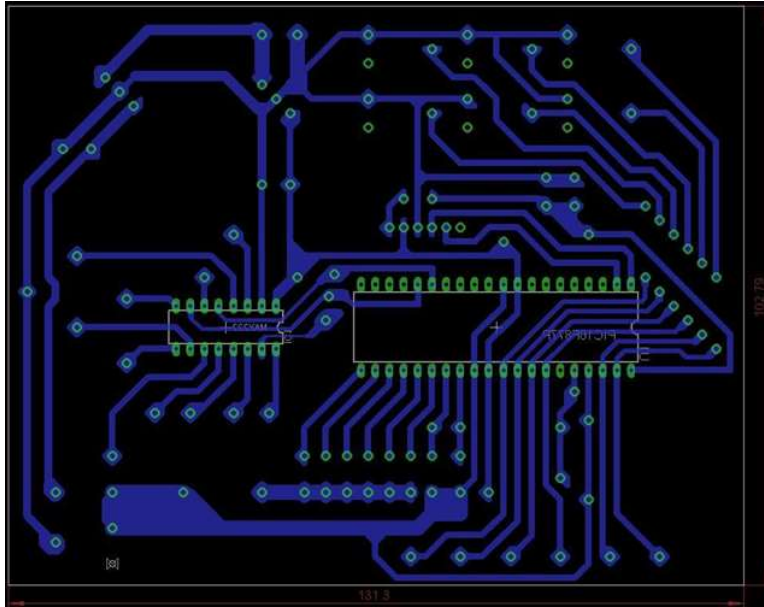


Εικόνα 47. 2ο πλαίσιο - Σύστημα καταγραφέα

Στο τρίτο πλαίσιο, γίνεται η αποθήκευση των τιμών του κάθε αισθητήρα σε ένα αρχείο (.txt). Αυτό το πλαίσιο λειτουργεί όταν το κουμπί On/Off του δευτέρου πλαισίου τεθεί σε κατάσταση Off. Παίρνει τότε συσσωρευμένα τις τιμές από το δεύτερο πλαίσιο και τις αποθηκεύει.

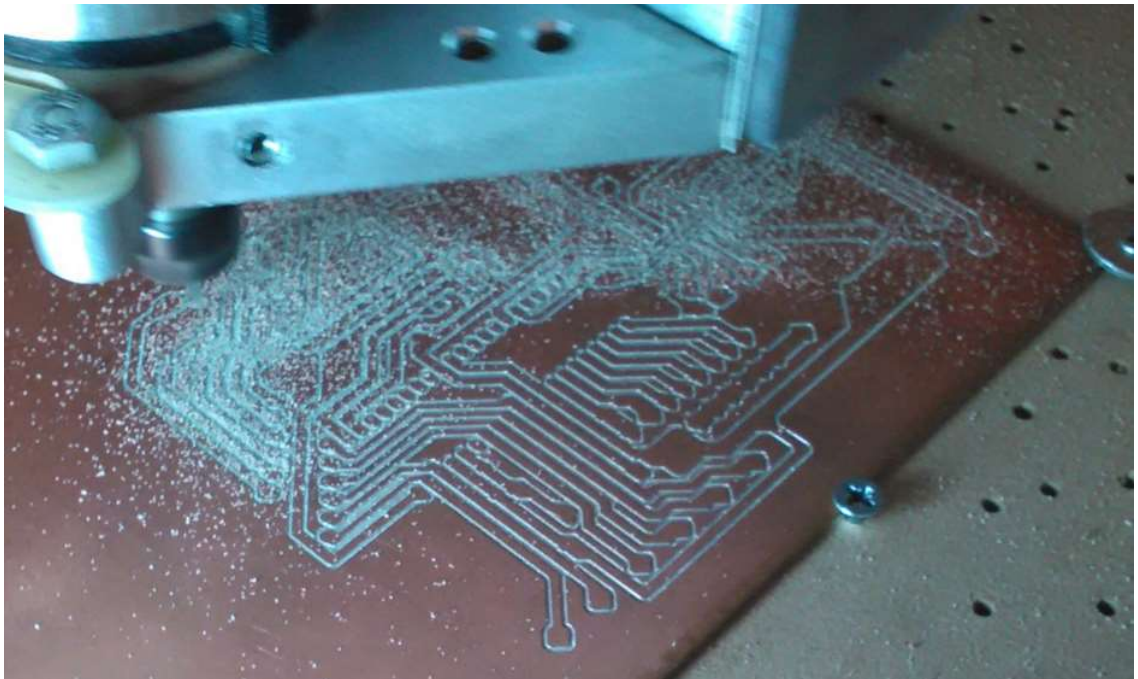


Εικόνα 48. 3ο πλαίσιο - Αποθήκευση των δεδομένων μέτρησης σε αρχείο txt



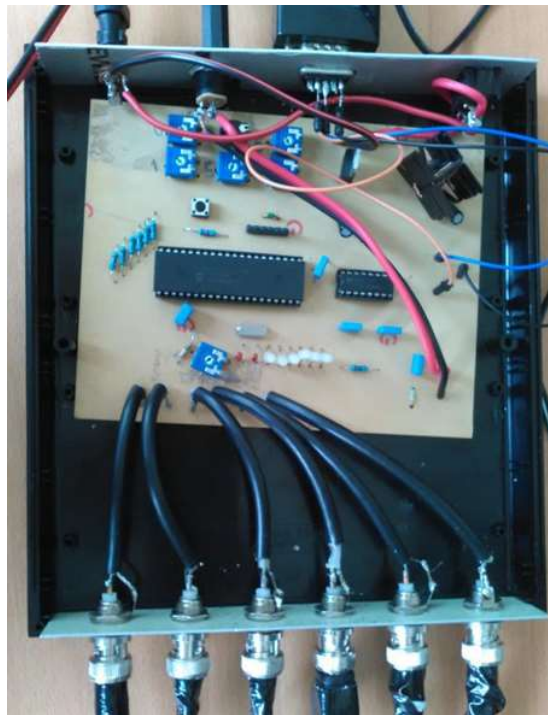
Εικόνα 50. Απεικόνιση της πλακέτας στο Eagle

Για την κατασκευή της πλακέτας χρησιμοποιήθηκε μηχάνημα CNC. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα στιγμιότυπο από τη διαδικασία κατασκευής της πλακέτας.



Εικόνα 51. Διαδικασία κατασκευής της πλακέτας

Ο χώρος που χρησιμοποιήσαμε για να τοποθετηθεί μέσα η πλακέτα αποτελείται από 2 πλαστικά τμήματα, 2 μεταλλικά τμήματα και 2 βίδες που ενώνουν τα δύο πλαστικά τμήματα. Στα μεταλλικά τμήματα στερεώθηκαν τα βύσματα των καλωδίων. Στην εικόνα φαίνεται ο τρόπος συνδεσμολογίας της πλακέτας με τους αισθητήρες, την τροφοδοσία και τη σειριακή θύρα. Στο πάνω μεταλλικό τμήμα υπάρχουν τα βύσματα για τη γενική τροφοδοσία του όλου συστήματος, την τροφοδοσία εξόδου για τους αισθητήρες, τη σειριακή επικοινωνία και το διακόπτη της γενικής τροφοδοσίας όλου του συστήματος. Στο κάτω μεταλλικό τμήμα βρίσκονται τα βύσματα των 6 καλωδίων BNC που μεταφέρουν το σήμα των αισθητήρων στο μικροελεγκτή.



Εικόνα 52. Το κουτί που περιέχει την πλακέτα του μικροελεγκτή

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι αισθητήρες ως ανιχνευτές συλλογής πληροφορίας παρέχουν πληροφορία με στόχο να είναι διαρκώς γνωστή και κατανοητή η τρέχουσα κατάσταση των παραμέτρων ενός συστήματος (π.χ. ανιχνευτής – ταχύμετρο αυτοκινήτου). Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καταγράφουν και να παρέχουν μία εικόνα της εξέλιξης των παραμέτρων του συστήματος.

Οι αισθητήρες συστημάτων ελέγχου είναι της ίδιας μορφής, αλλά συνήθως τροφοδοτούν ελεγκτή ο οποίος παράγει μία νέα έξοδο που ρυθμίζει την τιμή της μετρούμενης παραμέτρου. Σήμερα χρησιμοποιούνται υπερσύγχρονοι επεξεργαστές με χαμηλό κόστος ως ελεγκτές, των οποίων όμως η αξιοποίηση θα ήταν πολύ δύσκολη εάν δεν τροφοδοτούνταν από τις κατάλληλες πληροφορίες που συλλέγονται από αποδοτικούς και αξιόπιστους αισθητήρες.

Οι αισθητήρες και τα συστήματα μέτρησης και ελέγχου μπορεί να είναι μηχανικές, ηλεκτρικές ή μικτές κατασκευές. Πολλοί αισθητήρες παράγουν ηλεκτρικές εξόδους με αποτέλεσμα μία φυσική ποσότητα να μετριέται μέσω της τιμής μίας αντίστασης, τάσης, ρεύματος ή συχνότητας. Το θερμίστορ και ο ανιχνευτής μηχανικής τάσης παράγουν ως έξοδο την αλλαγή μιας ηλεκτρικής αντίστασης. Το ελατήριο παράγει ως έξοδο την αλλαγή θέσης και έτσι μία βελόνα μπορεί να μετατοπίζεται κατά μήκος μίας κλίμακας, ανάλογα με το βάρος που έχει αναρτηθεί στο ελατήριο. Ο σωλήνας Venturi μετράει τη διαφορά δύο πιέσεων και μπορεί έτσι να μετρηθεί ο ρυθμός ροής ενός υγρού.

Σε περίπλοκα συστήματα μέτρησης είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός των λειτουργικών στοιχείων, όπου ο αισθητήρας μετατρέπει τη φυσική ποσότητα σε σήμα, το οποίο με κατάλληλη τροποποίηση από τη μονάδα ρύθμισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τη μονάδα απεικόνισης ή καταγραφής. Για παράδειγμα εάν το σήμα είναι μία ηλεκτρική τάση πιθανώς χρειάζεται ενίσχυσή της από τη μονάδα ρύθμισης για να μπορεί να απεικονιστεί κατάλληλα. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές ρύθμισης (ενίσχυση τάσης, μετατροπή παλμών φωτός σε ηλεκτρικούς κλπ.) και τεχνικές απεικόνισης ή καταγραφής (αριθμητική έξοδος, μετακίνηση βελόνας σε κλίμακα, προβολή ή εκτύπωση γραφικής παράστασης κλπ.).

Τα συστήματα ελέγχου έχουν σκοπό τη διατήρηση μιας παραμέτρου σε μία προκαθορισμένη τιμή. Περιλαμβάνουν συστήματα μέτρησης, αλλά σε αντίθεση με τα συστήματα μέτρησης, η έξοδός τους ρυθμίζει κάποια παράμετρο, η τιμή της οποίας δεν εμφανίζεται απαραίτητως στο χρήστη. Η βάση της λειτουργίας ενός συστήματος ελέγχου ανοικτού βρόχου είναι ότι ελέγχεται από ένα σήμα προκαθορισμένης τιμής. Η προκαθορισμένη τιμή δεν αλλάζει ακόμη και αν άλλοι παράγοντες αλλάξουν και καταστήσουν την έξοδο του συστήματος ανακριβή.

Για την ακριβέστερη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος απαιτείται συχνή επέμβαση από εξωτερικό χειριστή που να ρυθμίζει τον χρονομετρητή ανάλογα με την εποχή (δηλ. να διαφοροποιεί το προκαθορισμένο σήμα). Ο σχεδιασμός των συστημάτων ελέγχου ανοικτού βρόχου είναι απλός, αλλά τα συστήματα αυτά είναι μη αποδοτικά και απαιτούν συχνή επέμβαση εξωτερικού χειριστή. Οι προκαθορισμένες τιμές είναι γενικά ανεπαρκείς, αφού εάν η παράμετρος που ελέγχουν αλλάξει θα πρέπει να επαναρυθμιστούν. Στις περιπτώσεις, όπου οι συνέπειες από ανακριβή έλεγχο της παραμέτρου που ελέγχεται είναι σημαντικές (π.χ. στάθμη τοξικού υγρού σε δεξαμενή), τα συστήματα ανοικτού βρόχου πρέπει να αποφεύγονται.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Καλοβρέκτης, Κ., Κατέβας, Ν., (2012), Αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου, Εκδόσεις: Τζιόλα

Καλαϊτζάκης, Κ., Κουτρούλης, Ε., (2010), Ηλεκτρικές μετρήσεις και αισθητήρες: Αρχές λειτουργίας και σχεδιασμός των Ηλεκτρονικών Συστημάτων Μέτρησης, Εκδόσεις: Κλειδάριθμος

Λουτρίδης, Σ., (2008), Τεχνολογία μετρήσεων και αισθητήρων, Εκδόσεις: Ίων

Gardner, J., (2000), Μικροαισθητήρες: Αρχές και εφαρμογές, Εκδόσεις: Τζιόλα

Vetelino, J., Reghu, A., (2010), Introduction to Sensors, Εκδόσεις: CRC Press

Fraden, J., (2010), Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications, Εκδόσεις: Springer

Sinclair, I., (2000), Sensors and Transducers, Εκδόσεις: Newnes

Regtien, P., (2012), Sensors for Mechatronics, Εκδόσεις: Elsevier

Eggins, B., (2008), Chemical Sensors and Biosensors, Εκδόσεις: John Wiley & Sons

Janata, J., (2010), Principles of Chemical Sensors, Εκδόσεις: Springer

Homola, J., (2006), Surface Plasmon Resonance Based Sensors, Εκδόσεις: Springer

Webster, J., (1999), The Measurement, Instrumentation, and Sensors, Εκδόσεις: Springer

Yamasaki, H., (1996), Intelligent Sensors, Εκδόσεις: Elsevier

Nollet, L., De Gelder, L., (2007), Handbook of Water Analysis, Εκδόσεις: CRC Press