




TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE



Μελέτη και κατασκευή συσκευής
για τη μέτρηση του pH και της
αγωγιμότητας στο έδαφος

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μάριος Ράδης

Επιβλέπων Καθηγητής: Χατζάκης Ιωάννης

NOEMBΡΙΟΣ 2015



Περίληψη

Ο στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η κατασκευή συσκευής η οποία θα παίρνει τις τιμές της αγωγιμότητας και του pH κατευθείαν από το έδαφος. Μέχρι σήμερα ο κύριος τρόπος μέτρησης αυτών των τιμών είναι η δημιουργία πάστας κορεσμού από δείγματα χώματος του εδάφους που θέλουμε να μετρήσουμε. Για την υλοποίηση χρειάστηκε να γίνει η κατασκευή ενός probe το οποίο έρχεται σε άμεση επαφή με το χώμα και φέρει πάνω του κατάλληλους ακροδέκτες για την εφαρμογή και την μέτρηση τάσεων και ρευμάτων. Η μελέτη και η κατασκευή αυτού έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Σχεδιομελέτης και Κατεργασιών του τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Για την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν σχεδιαστικά προγράμματα 3D-2D και για την κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν εργαλειομηχανές του εργαστηρίου. Το probe αυτό φέρει πάνω του ακροδέκτες οι οποίοι συνδέονται σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα που η δουλειά του είναι να διαβάζει τιμές ηλεκτρικής τάσης και με την χρήση εξισώσεων να μετατρέπει αυτές τις τιμές σε τιμές pH και αγωγιμότητας.

Περιεχόμενα

1.Εισαγωγή.....	3
Η μέτρηση και η χρησιμότητα του pH	5
2.1 Η σημασία του Ph για την καλλιέργεια του εδάφους.....	5
2.2 Ο ορισμός του pH.....	6
2.3 Μέτρηση του pH εδάφους με χρήση υδατοδιαλύματος.....	6
2.4 Το ηλεκτρόδιο υάλου για την μέτρηση του pH.....	6
2.5 Το ηλεκτρόδιο αντιμονίου για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και σύγκριση αυτού με το ηλεκτρόδιο υάλου	10
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	14
3.1 Η σημασία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για την καλλιέργεια του εδάφους	15
3.2 Τρόποι μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.....	16
3.2.1 Η μέθοδος WENNER.....	16
3.2.2 Αισθητήρας μη άμεσης επαφής με το έδαφος.....	19
Μελέτη και σχεδιασμός probe άμεσης επαφής με το έδαφος	23
4.1Μελέτη και σχεδιασμός του probe.....	23
4.2 Τα κομμάτια που αποτελούν την κατασκευή και η κατεργασία τους.....	26
Η ηλεκτρονική κατασκευή.....	29
5.1 Γενική περιγραφή της ηλεκτρονικής κατασκευής	29
5.2 Διάταξη 1: Κύκλωμα τροφοδοσίας	30
5.3 Διάταξη 2: Ο μικροελεγκτής επεξεργασίας δεδομένων-Το κύκλωμα μέτρησης της υγρασίας.....	32
5.4 Διάταξη 3: Μέτρηση της τάσης για το pH μέσω Buffer	34
5.5 Διάταξη 4: Μέτρηση τιμών τάσης και ρεύματος για τον υπολογισμό της αγωγιμότητας.	35
5.6 Διάταξη 5: Μικροελεγκτής αποθήκευσης/εμφάνισης δεδομένων	37
Βιβλιογραφία	39

1

Εισαγωγή

Από το δεύτερο μισό του 19ου αιώνα έως σήμερα η εξέλιξη της τεχνολογίας σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας ήταν ραγδαία, ιδιαίτερα δε στον τομέα της γεωργίας που είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την ευημερία των πληθυσμών. Το ζητούμενο στις αρχές του 20ου ήταν να διασφαλιστεί ικανή παραγωγή τόσο σε ποσότητα όσο και σε ποιότητα, καθώς ο πληθυσμός του πλανήτη και οι ανάγκες του αυξανόταν με γεωμετρική πρόοδο. Στην εκμηχάνιση της γεωργίας και την επίτευξη της μαζικής παραγωγής έπαιξαν σημαντικό ρόλο τόσο η ανακάλυψη

του ασφάλινου αλετριού(τρακτέρ) από τον Deere, της θεριστικής μηχανής από τον Mc Cormick, της βενζινομηχανής από τον Otto καθώς επίσης και η χρήση συνθετικών λιπασμάτων. Παρά την πρόοδο όμως της τεχνολογίας σε τόσο μεγάλο βαθμό, η αγροτική παραγωγή είναι μια διαδικασία που απαιτεί μεγάλο μόχθο και σκληρή δουλειά εκ μέρους των αγροτών . Για το λόγο αυτό υπάρχουν ακόμη πάρα πολλά πράγματα που θα μπορούσαν να γίνουν ώστε να διευκολύνουν την αγροτική εργασία.

Έχοντας και ο ίδιος μεγαλώσει σε αγροτική οικογένεια έχω παρατηρήσει από πολύ κοντά την καθημερινότητα του αγρότη , ποιες είναι οι ανάγκες του και ποια στοιχεία της παραγωγικής διαδικασίας επιδέχονται βελτίωσης, ώστε να γίνει γρηγορότερη και κυρίως ευκολότερη η εργασία του στην καλλιέργεια του εδάφους.

Αυτός είναι άλλωστε και ο στόχος της παρούσας εργασίας καθώς το έδαφος στη γεωργική παραγωγή αποτελεί το υπόστρωμα πάνω στο οποίο στηρίζεται και η σύστασή του καθώς και το σύνολο των ιδιοτήτων του επηρεάζουν το παραγωγικό αποτέλεσμα. Πιο συγκεκριμένα σε αυτήν την εργασία γίνεται η μελέτη και η κατασκευή ενός οργάνου μέτρησης με σκοπό να αξιολογηθεί η λειτουργία του, και να αποτελέσει τη βάση της έρευνας που θα αποδώσει ένα εργαλείο στα χέρια του αγρότη το οποίο θα τον βοηθήσει γνωρίζοντας την τιμή pH, την αγωγιμότητα και την υγρασία στο έδαφος στο οποίο καλλιεργεί, να το αξιοποιήσει στο μέγιστο δυνατό βαθμό ώστε να έχει και τη μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα στην παραγωγή.

Το κείμενο απαρτίζεται από πέντε κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο είναι εισαγωγικό. Το δεύτερο κεφάλαιο περιέχει μια γενικότερη περιγραφή της μέτρησης του pH καθώς και παρουσίαση του ηλεκτροδίου αντιμονίου και του ηλεκτροδίου υάλου. Στο τρίτο κεφάλαιο θα αναδειχθεί η σημασία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας καθώς και

τρόποι μέτρησης της. Στο τέταρτο και πέμπτο κεφάλαιο χρησιμοποιώντας την θεωρία που αναπτύσσεται στο δεύτερο και τρίτο κεφάλαιο, περιγράφεται η διαδικασία κατασκευής του probe.

2

Η μέτρηση και η χρησιμότητα του pH

2.1 Η σημασία του pH για την καλλιέργεια του εδάφους

Το έδαφος καλύπτει το ένα τρίτο της επιφάνειας του πλανήτη μας, το βλέπουμε το πατάμε αλλά σπάνια κανείς αναρωτιέται και ακόμα σπανιότερα γνωρίζει ποια είναι τα συστατικά στοιχεία του. Αυτό θα αναλύσουμε κατωτέρω. Συγκεκριμένα το έδαφος περιέχει ένα μείγμα ανόργανων συστατικών που χαρακτηρίζονται από το μέγεθος των μορίων τους: λάσπη (<0.002 mm), πηλός ($0.002-0.05$ mm) και άμμος ($0.05-2.00$ mm). Οι σχετικές ποσότητες αυτών των συστατικών μας δίνουν την "αίσθηση" και ορίζουν σύσταση του εδάφους. Παραδείγματος χάρη, ένα δείγμα εδάφους με υψηλό ποσοστό άμμου δίνει την αίσθηση του χονδρόκοκκου ενώ αν το δείγμα είναι εύφορο τότε έχει ένα σκοτεινό μαύρο χρώμα που υποδεικνύει ότι περιέχει μεγάλο ποσοστό οργανικής ύλης. Η ικανότητα κατακράτησης νερού είναι μέτρο της μάζας του νερού που ένα ξηρό δείγμα εδάφους μπορεί να συγκρατήσει αφού αποβάλλει λόγω της βαρύτητας την επιπλέον ποσότητα νερού που περιέχει. Σημαντική επίδραση στην ικανότητα κατακράτησης νερού έχει η σύσταση του εδάφους.

Είναι αποδεδειγμένο πλέον ότι υπάρχει άμεση σχέση ανάμεσα στην ανάπτυξη του φυτού και στο έδαφος στο οποίο καλλιεργείται και αναπτύσσεται. Οι περισσότεροι γεωργοί θα συμφωνούσαν ότι η ιδανική αναλογία εδάφους ώστε αυτό να θεωρείται εύφορο περιέχει 40% λάσπη, 40% άμμο και 20% πηλό,. Επίσης βασική διαπίστωση είναι ότι κάποια φυτά αναπτύσσονται καλύτερα σε έδαφος με όξινο pH και άλλα σε έδαφος με αλκαλικό. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι καλλιεργητές πρέπει να ελέγχουν και να τροποποιούν, αν είναι απαραίτητο, την οξύτητα των αγροκτημάτων τους προτού τα καλλιεργήσουν. Για τον ίδιο λόγο οι επιλογές μας στα είδη φυτών που θα βάλουμε στο κήπο μας ή στην καλλιέργεια μας απαιτούν διάφορες βαθμίδες

εδαφολογικής οξύτητας. Με άλλα λόγια το χώμα που θα χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να έχει την κατάλληλη οξύτητα, ή όπως συνηθίζουμε να λέμε, τη σωστή τιμή pH, ώστε να βοηθήσουμε τα διάφορα φυτά που θα καλλιεργηθούν να αναπτυχθούν χωρίς προβλήματα. Οι κηπευτικές εγκαταστάσεις γενικά είναι πολύ ευαίσθητες στα εδαφολογικά επίπεδα του pH. Σε μερικές εγκαταστάσεις κήπων θα προτιμήσουμε τα όξινα χώματα ενώ σε άλλες ένα αλκαλικό περιβάλλον. Επίσης το pH είναι η μονάδα μέτρησης που στοιχειοθετεί την ποσότητα Ασβεστίου (Ca) που περιλαμβάνεται στο έδαφος ενώ παράλληλα προσδιορίζει και τον τύπο του εδάφους (όξινο ή αλκαλικό). Το έδαφος στα υγρά κλίματα τείνει να είναι όξινο ενώ στα ξηρά κλίματα αλκαλικό. Με τιμή pH χαμηλότερη από 7.0 είναι όξινο ενώ με τιμή pH υψηλότερη από 7.0 είναι αλκαλικό. Σημειωτέον, ότι πολλές φορές, αντί του όρου 'αλκαλικό', για το χαρακτηρισμό ενός διαλύματος ή του εδάφους χρησιμοποιείται ο όρος «βασικό». Το pH κυμαίνεται συνήθως από 5–8. Το χαμηλό pH του χώματος διαλύει συγκεκριμένα μέταλλα και θρεπτικά συστατικά τα οποία θα μπορέσουν τα φυτά να απορροφήσουν.

2.2 Ο ορισμός του pH

Η έννοια του pH εισήχθηκε για πρώτη φορά το 1909 από το Δανό χημικό Σέρενσεν. Το pH αποτελεί μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητας μιας χημικής ουσίας, άλλως αναφέρεται στην βιβλιογραφία και ως ενεργός οξύτητα. Είναι ένας εύχρηστος τρόπος έκφρασης της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου σε ένα υδατικό διάλυμα. Πιο συγκεκριμένα, με την τιμή "pH" συμβολίζεται ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου $[H^+]$ στο διάλυμα.

Δηλαδή:

$$pH = -\log[H^+]$$

2.3 Μέτρηση του pH εδάφους με χρήση υδατοδιαλύματος

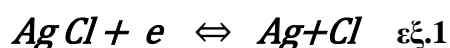
Η πιο συχνή μέθοδος μέτρησης του pH είναι όπως περιγράφεται κατωτέρω με την δημιουργία πάστας κορεσμού¹⁰⁻¹¹. Η αρχή της μεθόδου χρησιμοποιεί διάλυμα χώματος με απιονισμένο νερό σε αναλογία ένα προς ένα και, αφού αναμειχθεί, μέχρι το διάλυμα να γίνει ομοιογενές. Έπειτα φιλτράρεται και τοποθετείται πεχάμετρο υάλου μέσα στο νεοπαγές πλέον μείγμα για να μετρήσει την τιμή του pH.

2.4 Το ηλεκτρόδιο υάλου για την μέτρηση του pH

Το ηλεκτρόδιο υάλου είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση του pH. Το όργανο αυτό όπως απεικονίζεται στην εικ.1 αποτελείται από ένα γυάλινο η πλαστικό σωλήνα ο οποίος καταλήγει στο κάτω τμήμα του σε μία γυάλινη σφαιρική μεμβράνη (πάχους 0.01-0.1mm). Η μεμβράνη αυτή είναι συνήθως από γυαλί

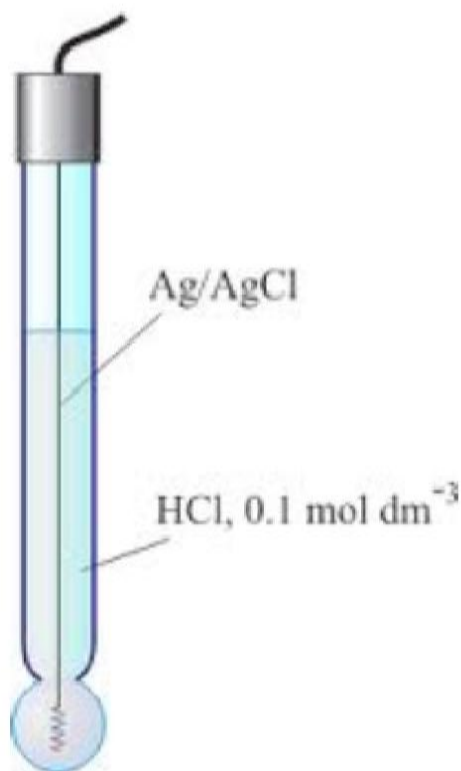
Na⁻Ca(Na₂O⁻CaO⁻SiO₂) και αποτελεί το ευαίσθητο στη μέτρηση του pH τμήμα του ηλεκτροδίου. Στο εσωτερικό της γυάλινης σφαίρας υπάρχει ηλεκτρολυτικό διάλυμα που αποτελείται από 0.1 M CH μέσα στο οποίο περιέχεται το ηλεκτρόδιο Ag|AgCl (ένα σύρμα Ag επικαλυμμένο με AgCl). Επειδή η συγκέντρωση των ιόντων Cl⁻ παραμένει σταθερή το δυναμικό του ηλεκτροδίου Ag|AgCl|Cl⁻(c) παραμένει επίσης σταθερό.

Υπενθυμίζουμε ότι η ηλεκτροχημική αντίδραση στο ηλεκτρόδιο Ag|AgCl|Cl⁻(c) είναι,



Ενώ η εξίσωση δυναμικού είναι:

$$E_{Cl,AgCl,Ag} = E_{Cl^-,AgCl,Ag}^0 - \frac{2,303RT}{F} \log a_{Cl^-} \quad \text{εξ.2}$$



Εικόνα 2.4.1

Ωστόσο για να κλείσει το κύκλωμα για τη μέτρηση του pH, το ηλεκτρόδιο υάλου συνδέεται με ένα εξωτερικό ηλεκτρόδιο αναφοράς όπως για παράδειγμα το κορεσμένο ηλεκτρόδιο καλομέλινα (saturated calomel electrode, SCE). Σε αυτήν την περίπτωση δημιουργείται το γαλβανικό στοιχείο $\text{Ag}|\text{AgCl}(\text{sat})$, 0.1M HCl και το ηλεκτρόδιο ονομάζεται συνδυασμένο ηλεκτρόδιο υάλου. Όταν το ηλεκτρόδιο υάλου τοποθετηθεί σε διάλυμα ορισμένου pH τότε εμφανίζεται διαφορά δυναμικού εξαιτίας της διαφοράς ενεργότητας H_3O^+ στις δύο πλευρές της γυάλινης μεμβράνης (εσωτερικό και εξωτερικό προς μέτρηση διάλυμα).

Για την σύσταση της γυάλινης μεμβράνης που διαχωρίζει το εσωτερικό διάλυμα από το προς μέτρηση διάλυμα με κατάλληλες τιμές $a_{\text{H}_3\text{O}^+}$, το δυναμικό του ηλεκτροδίου υάλου απεικονίζεται ως γραμμική εξάρτηση του pH του διαλύματος, αφού η ενεργότητα των H_3O^+ στο εσωτερικό της μεμβράνης είναι σταθερή (0.1 M HCl), Για τους 25°C ισχύει:

$$E_{\gamma} = E_{\gamma}^0 + \frac{2,303RT}{F} \log a_{\text{H}_3\text{O}^+}$$

$$E_{\gamma} = E_{\gamma}^0 - 0,059pH$$

εξ.4

Επομένως το E_{γ} μεταβάλλεται γραμμικά με το pH, όπως προκύπτει από την εξίσωση 5. Για Na-Ca σύσταση της γυάλινης διαχωριστικής μεμβράνης, η γραμμικότητα στην εξίσωση 3 ισχύει στην περιοχή pH =0-10. Αποκλίσεις από τη γραμμικότητα (οι πειραματικές τιμές είναι μικρότερες από τις προβλεπόμενες από την εξίσωση 5) παρατηρούνται για μεγάλες τιμές pH (pH=10-14) του προς μέτρηση του διαλύματος. Οι διαφορές αυτές στο E_{γ} ονομάζονται σφάλμα αλκάλειας ³. Το ηλεκτρόδιο υάλου συνδέεται με το πεχάμετρο στο οποίο μπορεί να αναγνωστεί το δυναμικό του ηλεκτροδίου υάλου ως προς το εξωτερικό ηλεκτρόδιο αναφοράς καθώς και το pH. Το πεχάμετρο είναι ένα βολτόμετρο ρυθμισμένο σύμφωνα με την εξίσωση 4 ώστε οι ενδείξεις του να διαβάζονται σε τιμές pH (εικόνα 2.4.2)



Εικόνα 2.4.2

Σύμφωνα με το γαλβανικό στοιχείο (εξ.3) που δημιουργείται με το εξωτερικό ηλεκτρόδιο αναφοράς το μετρούμενο δυναμικό είναι:

$$E = E_{CSE} - E_{\gamma} \quad \text{εξ.5}$$

Με την αντικατάσταση του δυναμικού E_{γ} από την εξίσωση 5 προκύπτει ότι το μετρούμενο pH για τους 25⁰C είναι:

$$pH = \frac{E + E_{\gamma}^0 - E_{sce}}{0.059} \quad \text{εξ.6}$$

Για τον προσδιορισμό του E_{γ} χρησιμοποιούνται πρότυπα ρυθμιστικά διαλύματα γνωστού pH. Σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως τα συνδυασμένα ηλεκτρόδια υάλου αναφοράς τα οποία αποτελούν ενιαίο σύστημα (εικόνα 2.4.1) που όμως δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, το ηλεκτρόδιο υάλου και το ηλεκτρόδιο καλομέλανα.

2.5 Το ηλεκτρόδιο αντιμονίου για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και σύγκριση αυτού με το ηλεκτρόδιο υάλου

Προϊόντος του χρόνου όσο η παραγωγικότητα στις καλλιέργειες αυξάνεται, οι παραγωγοί όλο ένα και αναζητούν φθηνότερες και πρακτικότερες λύσεις οι οποίες θα μπορέσουν να υποστηρίξουν το έργο τους. Μια τέτοια πρακτική, γρήγορη και χαμηλού κόστους λύση είναι η χρήση ηλεκτροδίου αντιμονίου για την μέτρηση του pH στο έδαφος. Η μέτρηση του pH όπως αναλύσαμε και παραπάνω επιτυγχάνεται μέσω της μέτρησης της διαφοράς δυναμικού που αναπτύσσεται στα άκρα δύο στοιχείων διαφορετικής σύστασης. Σήμερα, ως γνωστόν τα περισσότερα πεχάμετρα χρησιμοποιούν ηλεκτρόδιο υάλου. Ωστόσο, η κατασκευή του ηλεκτροδίου γυαλιού είναι δαπανηρή όπως επίσης και η διαδικασία μέτρησης του pH στο έδαφος είναι εξίσου δαπανηρή και χρονοβόρα. Επίσης πρέπει να αναφερθούμε στη μικρή διάρκεια ζωής τους καθώς και στο πόσο εύθραυστα είναι. Στην πραγματικότητα έχει αποδειχθεί στις αρχές του περασμένου αιώνα [8] ότι το αντιμόνιο σαν στοιχείο παράγει διαφορά δυναμικού παρουσία H^+ . Με βάση αυτό μπαίνουν οι βάσεις για την κατασκευή ενός νέου μέσου μέτρησης του pH [9]. Πρόσφατα το ηλεκτρόδιο αντιμονίου επανήλθε στο προσκήνιο με την χρήση του στην χειρουργική ιατρική ως χειρουργικό όργανο μέτρησης του pH κυρίως λόγω της ικανότητας του να χρησιμοποιείται σε πολύ μικρούς ακροδέκτες [12].

Μετρήσεις έδειξαν ότι το ηλεκτρόδιο υάλου καθώς και αυτό του αντιμονίου υπακούουν στις εξισώσεις του Nerst[13]

$$V = R + \frac{2.303RT}{nF} \log[H^+] \quad \text{εξ.7}$$

$$V = R - \frac{2,303RT}{nf} \quad \text{εξ.8}$$

Όπου V είναι η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο και σε ένα δεύτερο ηλεκτρόδιο συνήθως από καλομέλανο Ag/AgCl .

Παρακάτω θα εξετάσουμε τη διαδικασία σύγκρισης των δύο διαφορετικών αυτών ακροδεκτών μέσω πειραματικής διαδικασίας[14].

Ο μηχανισμός λειτουργίας του ηλεκτροδίου υάλου έχει μελετηθεί εις βάθος. Από την άλλη μεριά το ηλεκτρόδιο αντιμονίου λόγω των μειονεκτημάτων του δεν υιοθετήθηκε σε ανεπτυγμένες επιστημονικές μελέτες. Δεν έχουμε επισημοποιημένες πληροφορίες στον μηχανισμό εξάρτησης της τάσης μεταξύ της συγκέντρωσης H^+ ιόντων υδρογόνου στα άκρα ηλεκτροδίου αντιμονίου και ηλεκτροδίου αναφοράς. Ωστόσο όσον αφορά εφαρμογές όπως είναι η καλλιέργεια μικρών μονάδων όπου το εύρος τιμών του pH δεν είναι πολύ μεγάλο και δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια, το ηλεκτρόδιο αντιμονίου είναι ένας γρήγορος και αξιόπιστος τρόπος μέτρησης του pH. Από τον πίνακα κανονικού δυναμικού ηλεκτροδίου προκύπτουν τα παρακάτω:

A) Με αναφορά το κανονικό ηλεκτρόδιο υδρογόνου ($E^\ominus = 0,000\text{V}$, πίνακας 1)

E^\ominus value of Sb(III) in alkaline, neutral and acidic media

Medium	Reduction half equation	E^\ominus/V
Alkaline	$\text{SbO}_2^-(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sb}(\text{s}) + 4\text{OH}^-(\text{aq})$	-0.639
Neutral or slightly acidic	$\text{Sb}_2\text{O}_3(\text{s}) + 6\text{H}^+(\text{aq}) + 6\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{Sb}(\text{s}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+0.150
Acidic	$\text{SbO}^+(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sb}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+0.204

Πίνακας 2.5.1

Φαίνεται καθαρά από την εξίσωση του Nerst

$$V = R + \frac{2.303RT}{nF} \log[H^+] \quad \text{εξ.9}$$

$$V = R - \frac{2,303RT}{nf} \quad \text{εξ.10}$$

ότι λόγω του σχηματισμού οξειδίου του αντιμονίου τρίτου βαθμού οξείδωσης, στοιχεία όπως SbO_2^- Sb_2O_3 SbO^+ συμπεριλαμβανομένων H^+ ή $H^+(aq)$ παράγουν δυναμικό το οποίο εξαρτάται από την συγκέντρωση $H^+(aq)$. Στις περισσότερες περιπτώσεις το πιο κοινό ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιείται για εμπειρικούς σκοπούς είναι το ηλεκτρόδιο Ag/Ag^+ (aq) . Στις παρακάτω μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε ένα λιγότερο δαπανηρό Cu/Cu^{2+} (aq) ηλεκτρόδιο αναφοράς.

B) Με αναφορά στο κανονικό δυναμικό ηλεκτροδίου Cu/Cu^{2+} ($E^\phi = +0,340V$, Πίνακας 2)

E^ϕ value of Sb(III) w.r.t. Cu/Cu(II) electrode potential in alkaline, neutral and acidic media

Medium	E^ϕ/V , w.r.t. standard hydrogen electrode	E^ϕ/V , w.r.t. standard Cu/Cu^{2+} standard electrode
Alkaline	-0.639	- (+0.340 + 0.639) = - 0.979
Neutral or slightly acidic	+0.150	- (+0.340 - 0.150) = - 0.190
Acidic	+0.204	- (+0.340 - 0.204) = - 0.136

Πίνακας 2.5.2

Τα θετικά στοιχεία της χρήσης ηλεκτροδίου αντιμονίου είναι ότι πρώτον παρατηρείται μια γραμμική σχέση ανάμεσα στο pH και στην διαφορά δυναμικού, δεύτερον ότι η εσωτερική αντίσταση του συστήματος είναι πολύ μικρή γεγονός το οποίο εξυπηρετεί στην μέτρηση της τάσης και τρίτον ότι οι τιμές τάσης που μετριοούνται είναι σταθερές[14]. Σε αντίθεση για το ηλεκτρόδιο υάλου έχουμε μια γραμμική σχέση ανάμεσα στο pH και την διαφορά δυναμικού για τιμές pH από 0-12 [16]. Επίσης το γυαλί είναι ανθεκτικό στην διάβρωση από τα περισσότερα χημικά.

Ωστόσο τα ηλεκτρόδια υάλου έχουν μεγάλη εσωτερική αντίσταση της τάξης των 10^{10} Ω. Αν και τα σημερινά ηλεκτρονικά ολοκληρωμένα κυκλώματα είναι ικανά να διαχειριστούν πολύ υψηλές σύνθετες αντιστάσεις εισόδου ακόμα αντιμετωπίζουμε προβλήματα σταθερότητας λόγω του ότι το όργανο είναι πολύ ευαίσθητο στο θόρυβο.

ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ ΑΝΤΙΜΟΝΙΟΥ	ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ ΥΑΛΟΥ
Σχεδόν γραμμική σχέση ανάμεσα στο pH και στην διαφορά δυναμικού για μεγέθη pH από 2-12.	Γραμμική σχέση ανάμεσα στο pH και στην διαφορά δυναμικού για μεγέθη pH από 0-12.
Πολύ χαμηλή εσωτερική αντίσταση.	Αρκετά υψηλή εσωτερική αντίσταση ευαίσθητο στον ηλεκτρικό θόρυβο
Αργή απόκριση , λιγότερο ευαίσθητο σε χαμηλά επίπεδα pH.	Γρήγορη απόκριση καθ'όλο το μήκος της γραμμικής περιοχής του pH σε σχέση με την διαφορά δυναμικού.
Σταθερές και αναπαραγώγιμες τιμές.	Τα σημερινά όργανα μέτρησης μας αποδίδουν σταθερές τιμές αλλά οι μετρήσεις είναι ευαίσθητες στον εξωτερικό θόρυβο.
Η θεωρητική αρχή λειτουργίας είναι απλή και διδάσκεται εύκολα .	Η θεωρητική αρχή λειτουργίας είναι ποιο πολύπλοκη.
Στιβαρή κατασκευή.	Εύθραυστη κατασκευή.
Ο χρόνος ζωής εξαρτάται από τη μάζα του ηλεκτροδίου.	Η γυάλινη μεμβράνη έχει περιορισμένο χρόνο ζωής.
Αντοχή στην χημική διάβρωση.	Πολύ υψηλή αντοχή στην χημική διάβρωση.
Εύκολα κατασκευάσιμο.	Υψηλής τεχνολογίας εξοπλισμός χρειάζεται για την κατασκευή του.

Χαμηλού χρηματικού κόστους.

Υψηλού χρηματικού κόστους.

Πίνακας 2.5.3

3

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα

3.1 Η σημασία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για την καλλιέργεια του εδάφους

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους είναι ένα μέτρο το οποίο συσχετίζεται με ιδιότητες του που επηρεάζουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών συμπεριλαμβανόμενης, της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (cation exchange capacity cec), των συνθηκών αποστράγγισης, τα επίπεδα οργανικής ύλης, την αλατότητα, και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Οι καλλιεργητές που ενδιαφέρονται για την ακρίβεια στις καλλιέργειες τους μπορούν πλέον να συλλέξουν πιο λεπτομερείς πληροφορίες για τα χωρικά χαρακτηριστικά των καλλιεργειών τους από ποτέ. Νέοι ηλεκτρονικοί, μηχανικοί και χημικοί αισθητήρες δημιουργούνται για να μετρούν και να χαρτογραφούν πολλές εκτάσεις καλλιεργούμενες ή μη. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η λιγότερο ακριβή σε κόστος μέτρηση χαρακτηριστικού του εδάφους διαθέσιμη σε αγρότες-παραγωγούς. Μία μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους μπορεί να παρέχει περισσότερα δεδομένα σε μικρότερο χρονικό διάστημα από το παραδοσιακό δειγματικό πλέγμα εδάφους. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ποικίλει ανάλογα με την υγρασία που έχουν συγκρατήσει τα σωματίδια του χώματος. Το έδαφος η σύσταση του οποίου είναι αμμώδης φέρει χαμηλή αγωγιμότητα, το έδαφος με αργυλώδη σύσταση έχουν μέτρια ηλεκτρική αγωγιμότητα και τα πηλώδη υψηλή. Κατά συνέπεια η ηλεκτρική αγωγιμότητα σχετίζεται έντονα με το μέγεθος και τη δομή των σωματιδίων που αποτελούν το έδαφος. Επιπλέον οι μεταβολές των ξεχωριστών τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας συσχετίζονται άμεσα με άλλες ιδιότητες του εδάφους που καθορίζουν την παραγωγικότητα της καλλιέργειας του χωραφιού όπως:

1. Ικανότητα συγκράτησης-αποστράγγισης νερού.

Οι ξηρές περιοχές έχουν διακριτές διαφορές στη δομή του χώματος από αυτές με περίσσεια νερού. Αυτές οι διαφορές μπορούν να διακριθούν μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Τα εδάφη με μέτριας τιμής αγωγιμότητα, τα οποία έχουν εξίσου μέτρια υφή και μέτρια χαρακτηριστικά συγκράτησης-αποστράγγισης νερού τείνουν να είναι τα πιο παραγωγικά. Από την στιγμή που η συγκράτηση-αποστράγγιση νερού είναι τόσο σημαντικός παράγοντας στη παραγωγικότητα του χωραφιού αυτό καθιστά την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πολύτιμο εργαλείο στα χέρια του παραγωγού.

2. Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων

Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων σχετίζεται με την παρουσία πηλού και οργανικής ύλης στο έδαφος. Όσο αυξάνεται η παρουσία πηλού και οργανικής ύλης στο έδαφος τόσο αυξάνεται και η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Έρευνες επιβεβαιώνουν την συσχέτιση ανάμεσα στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους.

3.Βάθος υποστρώματος πηλού βράχου

Η απόκριση της αγωγιμότητας στην παρουσία πηλού χρησιμοποιείται για την ακριβή πρόβλεψη του βάθους που σταματάει το χωμάτινο έδαφος και ξεκινάει το βραχώδες ή πηλώδες υπόστρωμα.

4.Απορροφητικότητα

Όσο μεγαλύτερη είναι η απορροφητικότητα του εδάφους τόσο πιο εύκολα αυτό άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Τα πηλώδη εδάφη έχουν περισσότερη απορροφητικότητα σε σχέση με τα αμμώδη όταν όλοι οι άλλοι παράμετροι παραμένουν σταθεροί.

5.Αλατότητα

Μία περίσσεια διαλυμένων αλάτων στο έδαφος εντοπίζεται εύκολα μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

6.Θερμοκρασία

Όσο η θερμοκρασία μειώνετε προς τους 0 °C που είναι η θερμοκρασία πήξης του νερού, η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνετε κατά ελάχιστο. Κάτω από τους 0 °C οι πόροι του εδάφους απομονώνονται εκθετικά ο ένας από τον άλλο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ραγδέα πτώση της τιμής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.

3.2 Τρόποι μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους

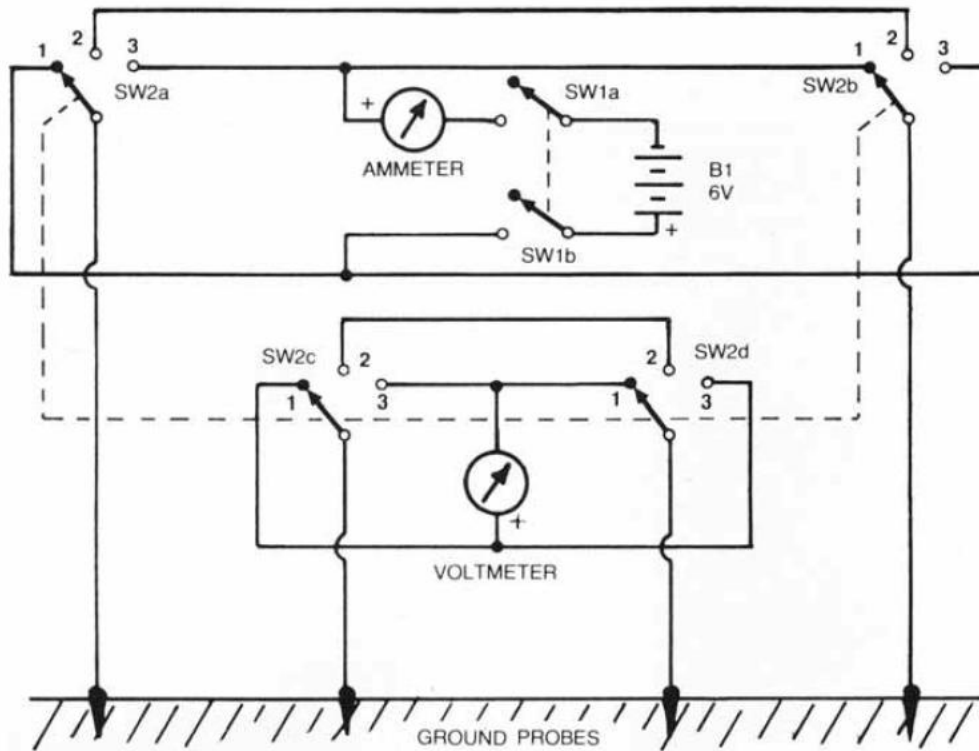
Υπάρχουν 2 εμπορικά διαθέσιμη αισθητήρες για την καταγραφή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατευθείαν στην καλλιέργεια . Αυτά είναι οι αισθητήρες άμεσης και μη επαφής με το έδαφος . Και τα 2 είδη μας έχουν δώσει συγκριτικά αποτελέσματα.

1.Αισθητήρας άμεσης επαφής με το έδαφος.

Παρακάτω θα περιγράψουν δύο διαφορετικά συστήματα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας άμεσης επαφής το ένα με την χρήση ενός probe ενώ το άλλο με την χρήση ενός ρυμουλκούμενου οχήματος. Και τα δύο βασίζονται στην μεθοδο Wenner που εφαρμόστηκε από τους Rhoades & Van Schilfgaard(1976).

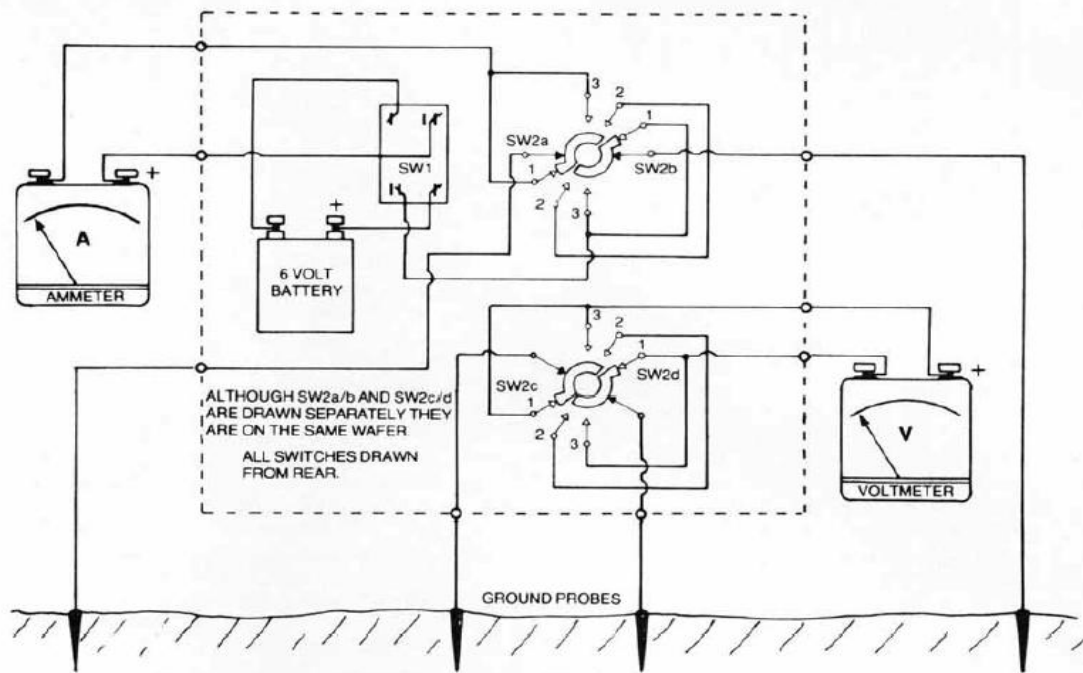
3.2.1 Η μέθοδος WENNER

Η βασικό όργανο είναι πολύ απλό. Τέσσερις ακροδέκτες τοποθετούνται στο έδαφος σε ευθεία γραμμή με ίση απόσταση μεταξύ τους . Αφήνουμε ένα ακριβές γνωστό ρεύμα να ρέει ανάμεσα στους δύο ακριανούς ακροδέκτες . Παίρνουμε εξίσου την τιμή της τάσης και του ρεύματος όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2.1.1



Σχήμα 3.2.1.1

Τα επαγγελματικά αγωγιμόμετρα χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα στους ακροδέκτες για να εξαλείψουν φαινόμενα μικρών γαλβανικών τάσεων που αναπτύσσονται στη γη. Αυτό το φαινόμενο δεν μπορεί να εξαλειφθεί ολοκληρωτικά με όργανα συνεχούς τάσης αλλά ελαχιστοποιείται εναλλάσσοντας τους πόλους της μπαταρίας που τροφοδοτεί τον ακροδέκτη. Ωστόσο πριν την εναλλαγή της τάσης βραχυκυκλώνουμε τους δύο μεσαίους ακροδέκτες για να αποφορτίσουμε γαλβανικές τάσεις που έχουν αναπτυχθεί στα άκρα του probe. Το σχήμα 3.2.1.2 παριστάνει την συνδεσμολογία του οργάνου.



Σχήμα 3.2.1.2

Το μιλιαμπερόμετρο πρέπει να είναι ικανό να μετρήσει τιμές από μA μέχρι και 100mA , το βολτόμετρο θα πρέπει να καλύπτει ένα εύρος 100mV - 3V και πρέπει να έχει ευαισθησία $20\text{K}\Omega$ ανά βολτ. Η τάση τροφοδοσίας δεν παίζει κρίσιμο ρόλο μια τάση από 6V έως 12V θα ήταν επαρκής.

1.1.1 Μετρώντας την αντίσταση του εδάφους

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που μπορείς να μετρήσεις την αντίσταση του εδάφους. Οι περισσότερες βασίζονται στην μεθοδολογία που ανακάλυψε ο Wenner. Αυτή αποτελείται όπως αναφέρθηκε και παραπάνω από τέσσερις ακροδέκτες τοποθετημένους στο έδαφος που ισαπέχουν μεταξύ τους όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.1.3.

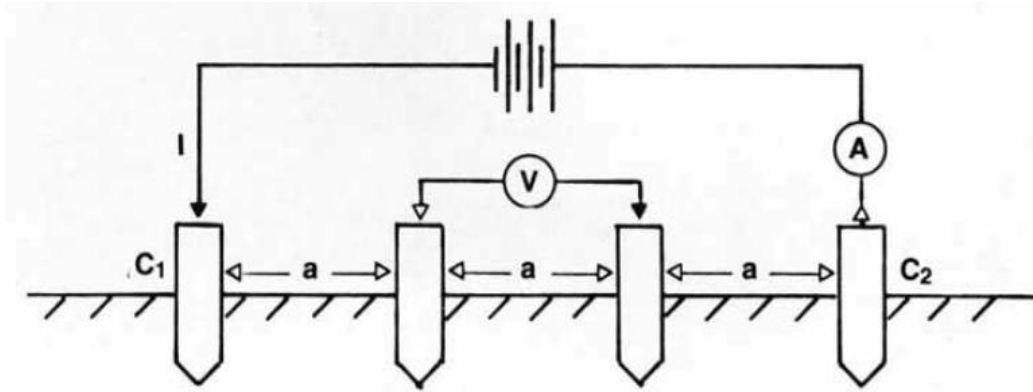


Figure 3. The electrodes are driven into the ground at equal intervals and in a straight line.

Σχήμα 3.2.1.3

Ένα ρεύμα διαρρέει τους εξωτερικούς ακροδέκτες C1,C2 και η επακόλουθη πτώση τάσης πάνω στην τιμή της αντίστασης του εδάφους μετριέται στο ζευγάρι ακροδεκτών P1,P2. Αν το έδαφος έχει αντίσταση ίση με ρ τότε :

$$\rho = 2\pi \times a \times R \Rightarrow \frac{V}{I} = 2\pi \times a \times R$$

Όπου R είναι η φαινομενική αντίσταση που μετριέται στους μεσαίους ακροδέκτες. Γενικά το ρεύμα θα ρέει σαν ένα ηλεκτρικό τόξο ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ως εκ τούτου το βάθος διείσδυσης θα αυξηθεί όσο η απόσταση a μεταξύ των ηλεκτροδίων αυξάνεται. Το ποιο αποτελεσματικό βάθος για να μετρήσουμε το R είναι 0,6 a . Για καλύτερη ακρίβεια στον υπολογισμό του λόγου $\frac{V}{I}$ είναι θεμιτό η ροή του ρεύματος I να είναι μέγιστη. Ως εκ τούτου σε εδάφη με ξερή σύσταση θα πρέπει να γίνει ύγρανση στα σημεία εισχώρησης των ακροδεκτών η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της αντίστασης επαφής μεταξύ εδάφους και ηλεκτροδίου.

3.2.2 Αισθητήρας μη άμεσης επαφής με το έδαφος

Οι αισθητήρες ηλεκτρικής αγωγιμότητας που δεν έρχονται σε επαφή με το έδαφος χρησιμοποιούν την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής . Το όργανο αποτελείται από ένα πηνίο εκπομπής και ένα πηνίο λήψης κυρίως τοποθετημένα απέναντι στα αντίθετα άκρα του οργάνου. Ένας σένσορας μέσα στην συσκευή μετράει το

προκύπτων ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Η ισχύς του δευτερεύοντος ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι ανάλογη της ηλεκτρικής αγωγιμότητας . Οι συσκευές αυτές οι οποίες μετράνε απευθείας την πτώση τάσης ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη, πρέπει να είναι τοποθετημένες σε ένα μη μεταλλικό όχημα για την αποφυγή παρεμβολών(εικόνα 1.3.2.2). Αυτοί οι σένσορες ζυγίζουν λίγο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν άνετα από ένα χρήστη, το οποίο τους καθιστά χρήσιμους για μιας μικρής έκτασης περιοχή.



εικόνα 1.3.2.2

Σχημα4:Η ηλεκτρομαγνητική συσκευή τοποθετημένη σε ένα αυτοσχέδιο μη μεταλλικό όχημα

Τα EM38 (εικόνα 1.3.2.3-4) της εταιρίας Geonics Limited και GEM2(εικόνα 1.3.2.5-6) της εταιρίας Georhey είναι δύο δημοφιλή μοντέλα αισθητήρων ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



εικόνα 1.3.2.3



εικόνα 1.3.2.4



εικόνα 1.3.2.5



εικόνα 1.3.2.6

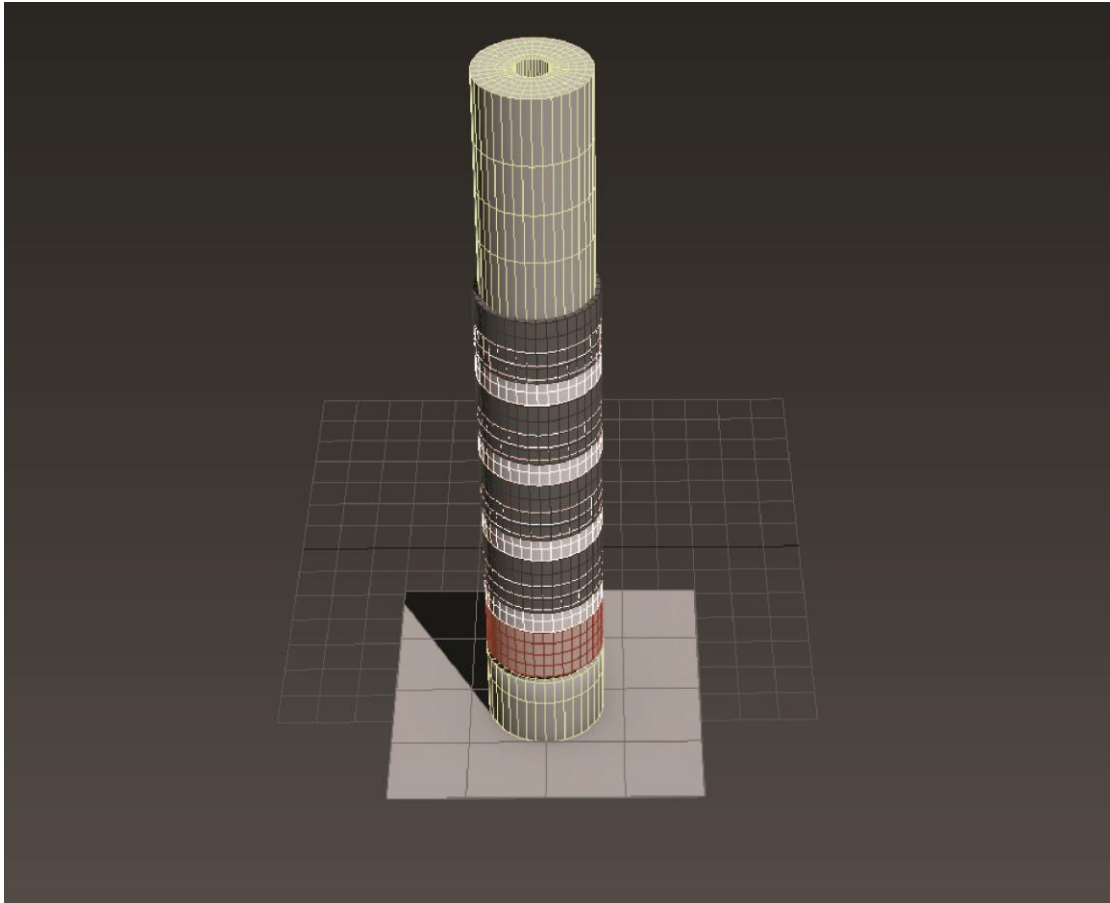
Το GEM2 είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας πολλών συχνοτήτων ικανός να μετρήσει την ηλεκτρική αγωγιμότητα σε διάφορα βάθη. Ο αισθητήρας EM-38 χρησιμοποιεί μόνο μία προκαθορισμένη συχνότητα και έχει ικανότητα μέτρησης έως 1,5 μέτρα βάθος σε οριζόντια τοποθέτηση και 0,75 σε κάθετη.

4

Μελέτη και σχεδιασμός probe άμεσης επαφής με το έδαφος

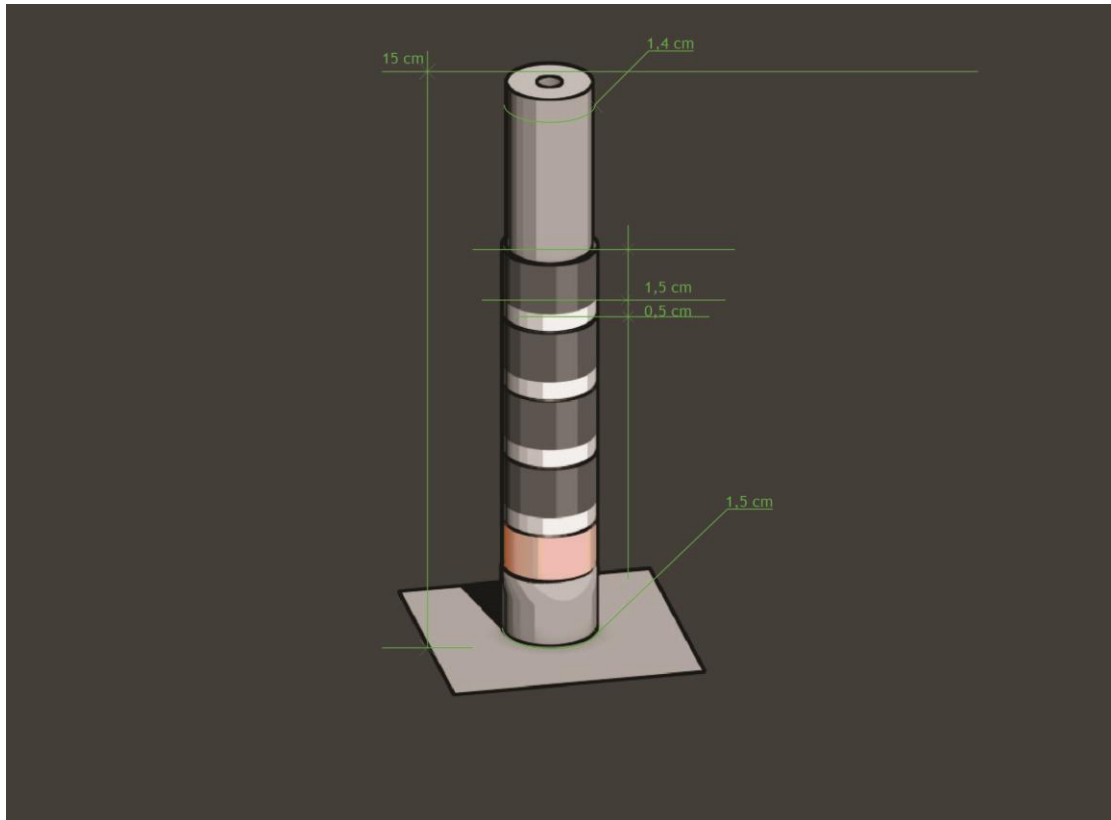
4.1 Μελέτη και σχεδιασμός του probe

Σύμφωνα με την θεωρία που αναφέρεται στα κεφάλαια ένα και δύο της εργασίας προχωρήσαμε στην κατασκευή ενός probe το οποίο θα έχει την δυνατότητα να πάρει μετρήσεις pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας απευθείας από το έδαφος. Η εικόνα 4.1.1 μας δείχνει ένα προσχέδιο του probe με την χρήση του προγράμματος δημιουργίας τρισδιάστατων σχεδίων 3D Max 2014.



Εικόνα 4.1.1

Η γενική ιδέα μιλάει για ένα κύλινδρο από μονωτικό υλικό στο οποίο θα έχουν στερεωθεί πέντε μεταλλικά δαχτυλίδια, τέσσερα ισοπαχή και σε ίση μεταξύ τους απόσταση από ανοξείδωτο χάλυβα και ένα από χαλκό. Τα τέσσερα δαχτυλίδια είναι υπεύθυνα για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενώ το πέμπτο για την μέτρηση του pH.



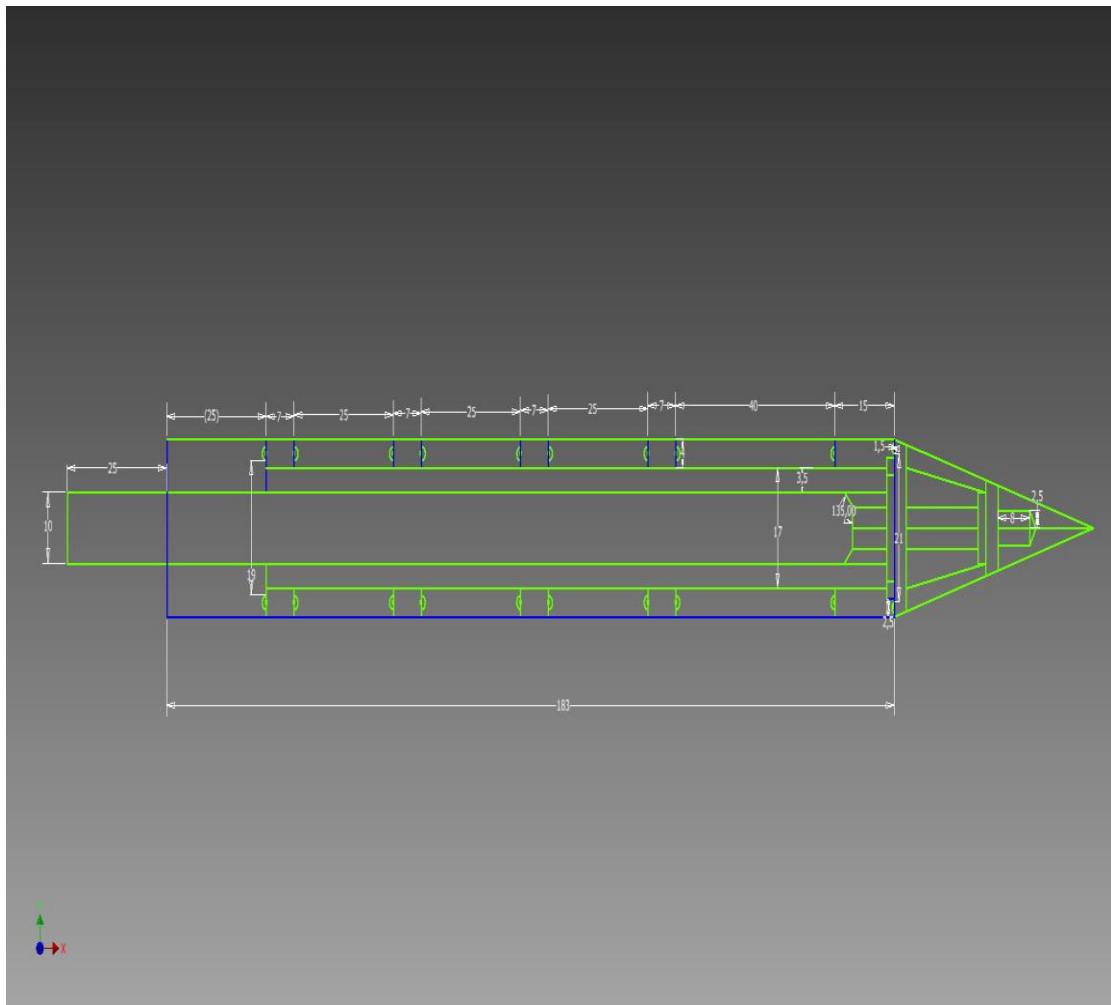
Εικόνα 4.1.2

Με γκριζο χρώμα έχουμε το μονωτικό υλικό, με μαύρο τα ανοξειδωτα δαχτυλίδια και με καφέ το χάλκινο δαχτυλίδι.

Στην άκρη του μονωτικού κυλίνδρου υπάρχει μύτη σε σχήμα κώνου που αποτελείται από αντιμόνιο μονωτικό υλικό και η αιχμή από ανοξειδωτο χάλυβα. Η επιλογή της μύτης από ανοξειδωτο χάλυβα έγινε λόγω της σκληρότητας του μετάλλου και της αντοχής του στην διάβρωση. Κάθε μεταλλικό δαχτυλίδι μονώνετε ηλεκτρικά με ένα δαχτυλίδι από μονωτικό υλικό ενδιάμεσα. Σε κάθε ένωση δαχτυλιδιού ανεξαρτήτως υλικού έχουν τοποθετηθεί O.rings για την στεγανοποίηση του probe. Πάνω σε κάθε μεταλλικό δαχτυλίδι έχει κολληθεί καλώδιο το οποίο συνδέετε με το κομμάτι των ηλεκτρονικών της κατασκευής. Στο κέντρο του κυλίνδρου στήριξης των δαχτυλιδιών ανοξειδωτη συμπαγής ράβδος η οποία καθιστά τον κύλινδρο άκαμπτο. Στην κατάληξη αυτής της ράβδου έχει γίνει σπείρωμα το οποίο βιδώνει με την ανοξειδωτη μύτη του probe. Η επιλογή του μονωτικού υλικού έγινε ανάμεσα στο Teflon (P.T.F.E.) και στο πολυαμίδιο (PA6). Το Teflon αν και έχει πάρα πολύ καλά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά έχει μέτρια σκληρότητα το οποίο δεν το καθιστά κατάλληλο στις μηχανικές καταπονήσεις. Επίσης είναι αρκετά εύκαμπτο το οποίο δημιουργούσε προβλήματα παραμόρφωσης στα δαχτυλίδια όταν αυτά έσφιγγαν μεταξύ τους. Το πολυαμίδιο από την άλλη είναι πολύ πιο σκληρό σε σύγκριση με το Teflon πράγμα το οποίο το καθιστά πιο ανθεκτικό στην μηχανική καταπόνηση. Επίσης η κατεργασία του είναι πολύ πιο εύκολη το οποίο είδαμε και στην πράξη.

4.2 Τα κομμάτια που αποτελούν την κατασκευή και η κατεργασία τους.

Παρακάτω θα αναλύσουμε την κατασκευή κομμάτι κομμάτι θα αναφερθούν οι ακριβείς διαστάσεις καθώς και ο τρόπος κατεργασίας για την παραγωγή κάθε υλικού. Ο καθηγητής του εργαστηρίου κατασκευών Κ. Παπαδουλής Θεόδωρος ήταν ο άνθρωπος πού έκανε το σχέδιο εικόνα10. Καθώς και την κατεργασία κάθε κομματιού στον τόρνο. Η κατασκευή έλαβε χώρα στο εργαστήριο του Τ.Ε.Ι.



Εικόνα 4.2.1

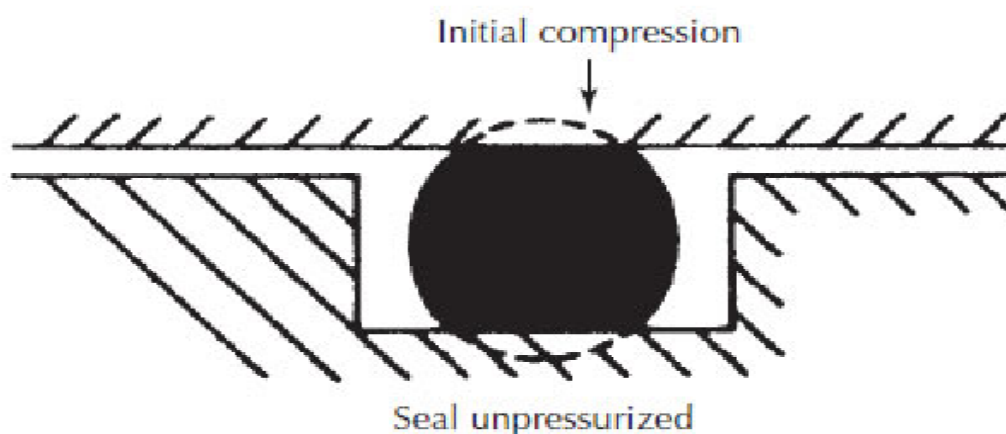
1.Ανοξείδωτη βέργα συνολικού μήκους 216mm. 173mm με διάμετρο 10mm, 35mm με διάμετρο 5mm και 8mm με σπείρωμα M5. Το πρώτο κομμάτι της κατασκευής έγινε από τεμάχιο ανοξείδωτης βέργας συνολικού μήκους 220mm και συνολικής διαμέτρου 12mm. Αρχικά στο τεμάχιο έγινε μια εγκάρσια τórνευση αποκοπής έτσι ώστε το μήκος της ράβδου να κατέβει στα 216mm. Έπειτα ακολούθησε εξωτερική

διαμήκης τόννευση με βάθος κοπής 2mm έτσι ώστε όλο το τεμάχιο να έχει συνολική διάμετρο $\mu\mu\mu$ 10mm. Αφού έφτασε όλο το τεμάχιο στα 10mm έγινε εξωτερική διαμήκης τόννευση βάθους κοπής 5mm για μήκος 43mm. Στην άκρη του τεμαχίου έγινε εξωτερική σφυροτόμηση M5 για μήκος 8mm.

2. Κυλινδρικός σωλήνας συνολικού μήκους 183mm από πολυαμίδιο (PA6) εσωτερικής διαμέτρου 10mm και εξωτερικής 17mm. Για την κατασκευή του κομματιού χρησιμοποιήσαμε μία ράβδο πολυαμιδίου μήκους 200mm εξωτερικής διαμέτρου 20mm. Σε αυτό το τεμάχιο έγινε αρχικά τόννευση κοπής για να φτάσει το μήκος των 183mm. Έπειτα ακολούθησε στην βάση του κυλίνδρου διαμπερής τρύπα αρχικά με τρυπάνι 4mm έπειτα με τρυπάνι 7mm και τέλος με τρυπάνι 10mm οπού είναι και η τελική εσωτερική διάμετρος του εξαρτήματος. Τέλος φέραμε την εξωτερική διάμετρο στα 17mm κάνοντας διαμήκη εξωτερική τόννευση με βάθος κοπής 3mm.

3. Τέσσερα δαχτυλίδια από ανοξείδωτο χάλυβα μήκους 7mm εσωτερικής διαμέτρου 17mm και εξωτερικής 25mm. Το τεμάχιο που χρησιμοποιήσαμε ήταν ένας κύλινδρος από ανοξείδωτο χάλυβα μήκους 35mm και εξωτερικής διαμέτρου 25mm. Αρχικά κάναμε μία τρύπα διαμπερή στην βάση του κυλίνδρου διαμέτρου 17mm. Έπειτα με εγκάρσια τόννευση αποκοπής κόπηκαν τα τέσσερα δαχτυλίδια μήκους 7mm έκαστο.

4. Τέσσερα δαχτυλίδια από πολυαμίδιο μήκους 25mm και ένα 40mm. Η κοπή των δαχτυλιδιών από πολυαμίδιο έγινε με αντίστοιχο τρόπο με την κοπή των δαχτυλιδιών από ανοξείδωτο χάλυβα. Μετά την κοπή έγιναν αυλακώσεις στις δύο βάσεις του κυλίνδρου και σε απόστασης από το κέντρο ίση με 9.5mm. Οι αυλακώσεις είχαν πλάτος 2mm και χρησιμεύουν για να κρατήσουν τα O.ring τα οποία στεγανοποιούν την συσκευή.



Εικόνα 4.2.2

5. Αντάπτορας. Ο αντάπτορας έχει το σχήμα 2 ενωμένων κυλίνδρων από πολυαμίδιο μήκους 2mm και 3mm και εξωτερικής διαμέτρου 21mm και 25mm αντίστοιχα και εσωτερικής διαμέτρου 18mm.

6. Το δαχτυλίδι αντιμονίου έχει σχήμα κώνου με κομμένη αιχμή παράλληλα στην βάση και η εξωτερική του διατομή ξεκινάει από τα 25mm και καταλήγει στα 12mm ενώ η εσωτερική του ξεκινάει από τα 23mm και καταλήγει στα 10mm.

7. Αντάπτορας αντίστοιχος με αυτόν του εξαρτήματος 5. με μήκος 2mm και 3mm με εξωτερική διάμετρο 8mm και 10mm αντίστοιχα.

8. Μύτη σε σχήμα κώνου με μήκος 20mm διάμετρο βάσης 8mm στην οποία το κέντρο έχει γίνει εσωτερική σφυροτόμηση M5 μήκους 9mm στην θέση αυτή βιδώνει το κομμάτι νούμερο 1.

9. Δέκα O'ring εσωτερικής διαμέτρου 19mm και εξωτερικής 21mm.

5

Η ηλεκτρονική κατασκευή

5.1 Γενική περιγραφή της ηλεκτρονικής κατασκευής

Η ηλεκτρονική διάταξη που χρειάζεται για την υλοποίηση της κατασκευής θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Δυνατότητα μέτρησης pH
- Δυνατότητα μέτρησης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας
- Δυνατότητα μέτρησης υγρασίας
- Δυνατότητα αποθήκευσης της γεωγραφικής θέσης που πάρθηκε η μέτρηση
- Δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, υγρασίας

Πιο συγκεκριμένα , για το pH χρειαζόμαστε μια διάταξη ενισχυτή οργανολογίας με πολύ χαμηλό ρεύμα πόλωσης εισόδου, ο οποίος θα μας δώσει την τιμή της τάσης που αναπτύσσεται στα άκρα των ακροδεκτών που είναι υπεύθυνα για την μέτρηση του pH. Για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί

διάταξη με δυνατότητα μέτρησης εναλλασσόμενης τάσης και ρεύματος και πιο συγκεκριμένα της true rms τιμής αυτών. Ο λόγος που χρησιμοποιούμε εναλλασσόμενη τάση είναι όπως προαναφέραμε και στο κεφάλαιο τρία για την αποφυγή γαλβανικών τάσεων στα άκρα των ακροδεκτών που αφορούν τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Τέλος για την μέτρηση της υγρασίας θα χρειαστεί διάταξη που μετράει την αλλαγή στην τιμή της χωρητικότητας που αναπτύσσεται στους ακροδέκτες. Η τιμή της υγρασίας εξαρτάται από την τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς.

Από την στιγμή που θα έχουμε πάρει τις τιμές θα χρειαστούμε έναν υπολογιστή για την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέξαμε από το probe καθώς επίσης την αποθήκευση/παρουσίαση των τιμών έτσι να γίνουν αναγνώσιμες από τον χρήστη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιήσουμε δύο μικροελεγκτές της Texas Instruments. Ο ένας θα έχει την ευθύνη της επεξεργασίας των δεδομένων από τα probes και ο άλλος την ευθύνη της παρουσίασης/αποθήκευσης των αποτελεσμάτων. Τέλος η συγκεκριμένη κατασκευή θα έχει την δυνατότητα αποθήκευσης της ακριβούς θέσης στην οποία πάρθηκε η μέτρηση, μέσω συστήματος GPS.

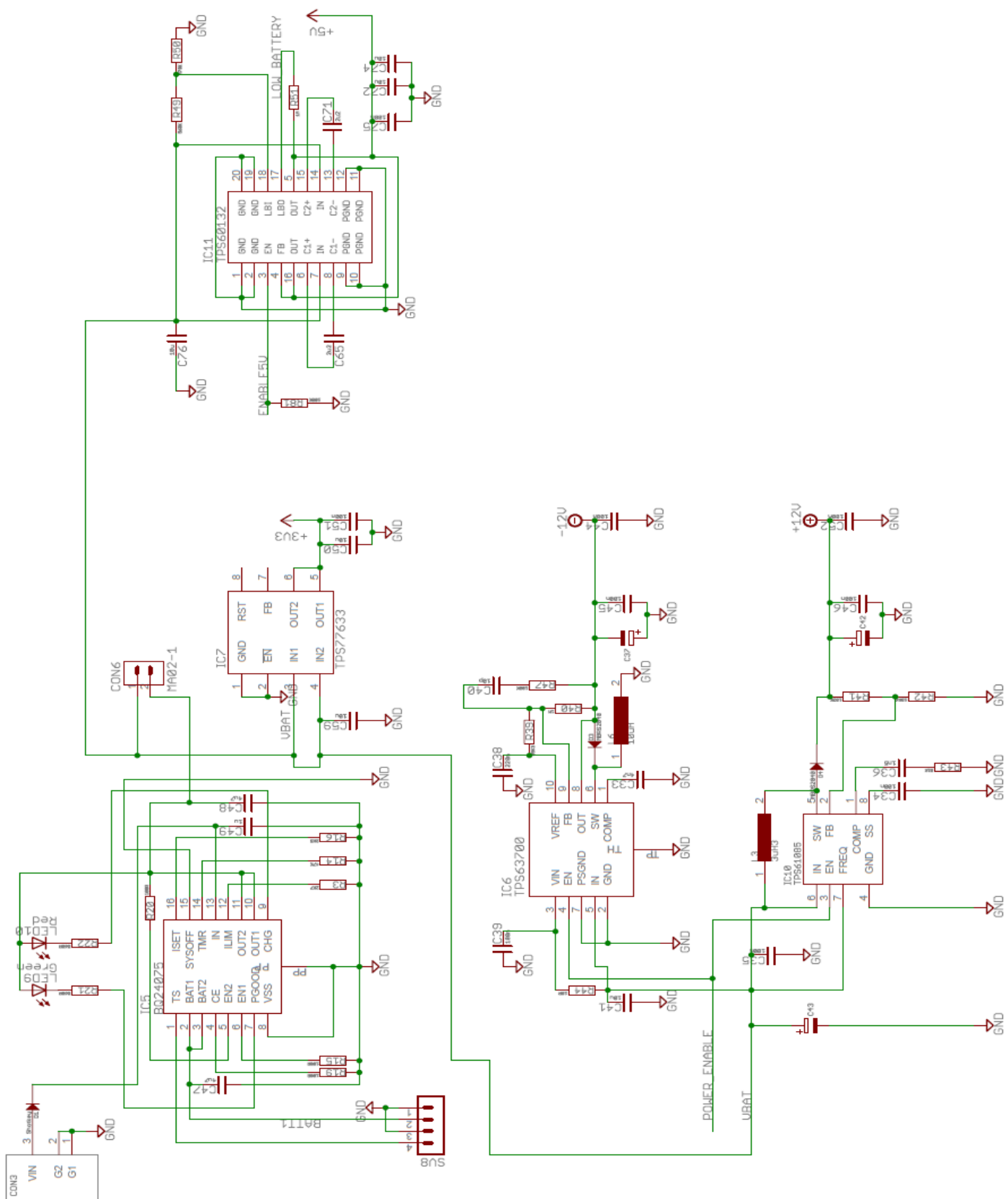
Παρακάτω θα αναλυθούν μία προς μία οι ηλεκτρονικές διατάξεις της ηλεκτρονικής κατασκευής του probe .

5.2 Διάταξη 1: Κύκλωμα τροφοδοσίας

Η διάταξη προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε ανοιχτούς χώρους συνεπώς η τροφοδοσία του θα πρέπει να γίνει μέσω κάποιου συσσωρευτή. Στην συγκεκριμένη διάταξη θα χρησιμοποιήσουμε μπαταρία ιόντων λιθίου (Li-ion). Η ονομαστική τάση της μπαταρίας είναι 4,2Volt. Η μπαταρία θεωρείται αφόρτιστη όταν η τιμή της τάσης στα άκρα της πέσει στα 3,5Volt. Για την διαχείριση της φόρτισης της μπαταρίας επιλέχθηκε το ολοκληρωμένο κύκλωμα BQ24075 της Texas Instruments (IC5, Διάταξη 5.2.1) που έχει την δυνατότητα φόρτισης της μπαταρίας μέσω USB. Η ηλεκτρονική κατασκευή για να λειτουργήσει θα πρέπει να τροφοδοτείται με τάσεις 3,3Volt, 5Volt, 12Volt, και -12Volt οι οποίες δημιουργούνται στο κύκλωμα τροφοδοσίας. Από την στιγμή που η τάση εισόδου παρέχεται από την μπαταρία της οποίας η τάση είναι πάνω από τα 3,5Volt για την έξοδο 3,3Volt θα χρησιμοποιήσουμε το ολοκληρωμένο κύκλωμα TPS77633(IC7, Διάταξη 5.2.1) το οποίο είναι ένας σταθεροποιητής τάσης με τάση εξόδου 3,3Volt.

Για την τάση εξόδου 5Volt του κυκλώματος τροφοδοσίας επιλέχθηκε το ολοκληρωμένο κύκλωμα TPS60132(IC11, Διάταξη 5.2.1) το οποίο είναι ένας DC/DC μετατροπέας σταθεροποιημένος στα 5Volt τάση εξόδου.

Για την τάση εξόδου +12Volt ένας step up DC/DC μετατροπέας ο TPS61085 (IC10, Διάταξη 5.2.1) ο οποίος παίρνει την τάση εισόδου του από την μπαταρία (3,5-4,2Volt) και βγάζει στην έξοδο του +12Volt συνεχούς τάσης. Τέλος για την δημιουργία της τάσης εξόδου των -12Volt επιλέχθηκε το ολοκληρωμένο κύκλωμα TPS63700 (IC6, Διάταξη 5.2.1) το οποίο είναι DC/DC αντιστροφέας τάσης με δυνατότητα εξόδου έως -15Volt.



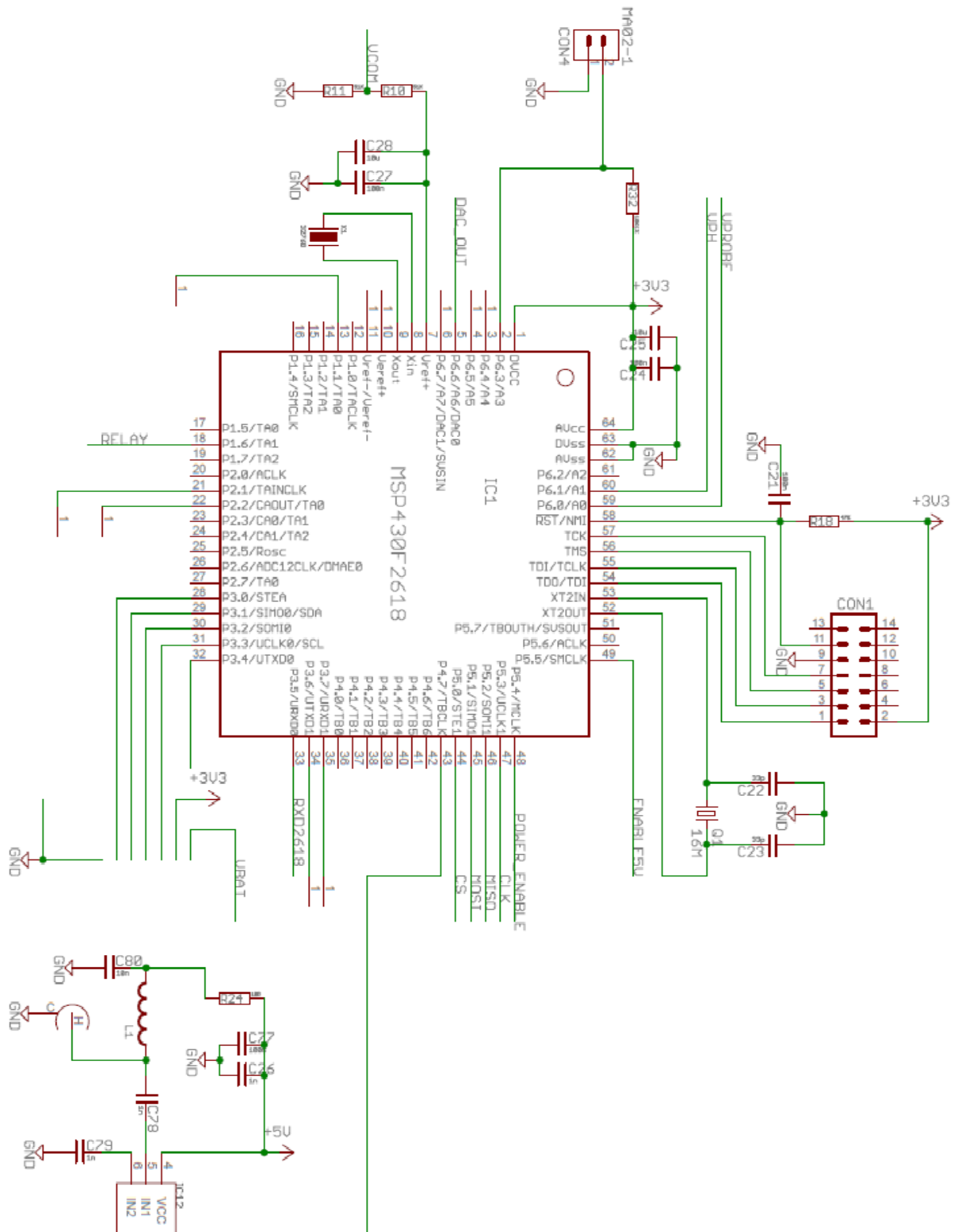
(Διάταξη 5.2.1)

5.3 Διάταξη 2: Ο μικροελεγκτής επεξεργασίας δεδομένων-Το κύκλωμα μέτρησης της υγρασίας

Ο μικροελεγκτής που επιλέχθηκε για την συλλογή και την επεξεργασία των τιμών από το probe είναι ο MPS430F2618 (IC1, Διάταξη 5.3.2) . Οι λόγοι επιλογής αυτού είναι:

- Χαμηλή τάση τροφοδοσίας
- Πολύ χαμηλό ρεύμα λειτουργίας της τάξης των μA
- DMA
- 12bit D/A μετατροπέα για την δημιουργία ημιτονοειδούς σήματος που θα χρησιμεύσει στην μέτρησης αγωγιμότητας.
- 12bit A/D για την μέτρηση της τιμής της αγωγιμότητας.
- Δυνατότητα σειριακής επικοινωνίας η οποία θα μας χρησιμεύσει στην ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα στους δύο μικροελεγκτές.
- Πολύ μικρό μέγεθος.

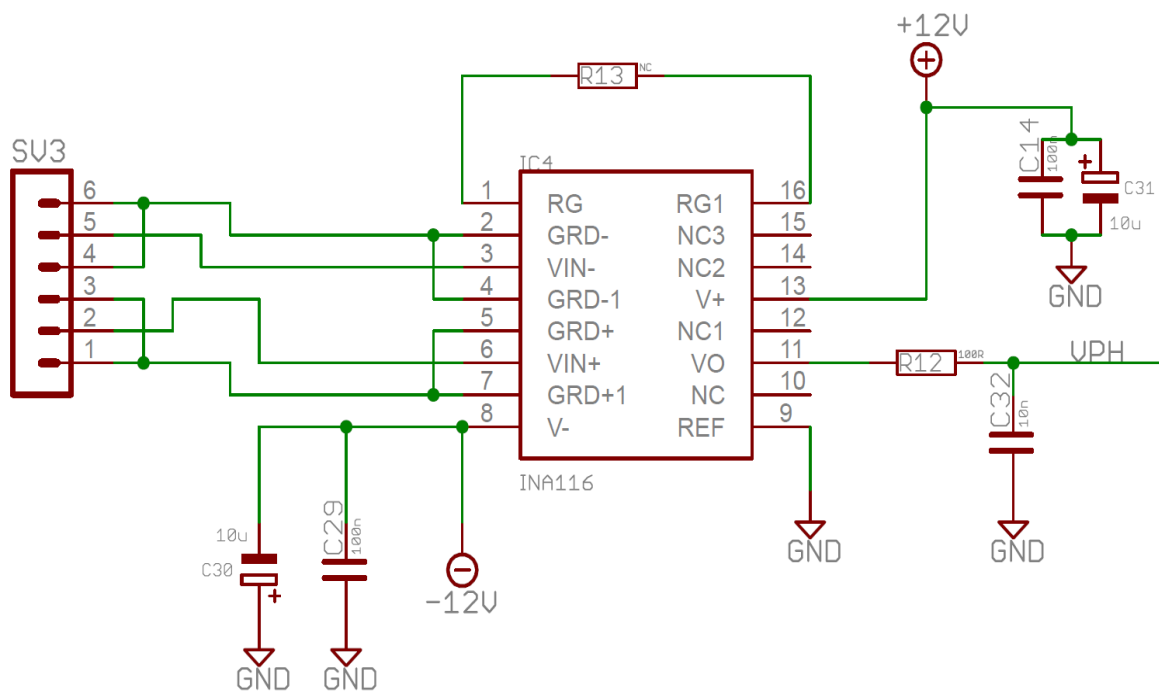
Το κύκλωμα μέτρησης της υγρασίας αποτελείται από έναν ταλαντωτή LC(L1,C80, Διάταξη 5.3.2) του οποίου η συχνότητα ταλάντωσης εξαρτάται από την διηλεκτρική σταθερά του χώματος που υπάρχει ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες. Η διηλεκτρική σταθερά μεταβάλλεται σε σχέση με την υγρασία. Λόγω του ότι η συχνότητα που παράγεται είναι υψηλή ο μικροελεγκτής δεν είναι σε θέση να μετρήσει την συχνότητα. Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε το ολοκληρωμένο κύκλωμα U664(IC12, Διάταξη 5.3.2) το οποίο είναι ένας διαιρέτης συχνότητας.



(Διάταξη 5.3.2)

5.4 Διάταξη 3: Μέτρηση της τάσης για το pH μέσω Buffer

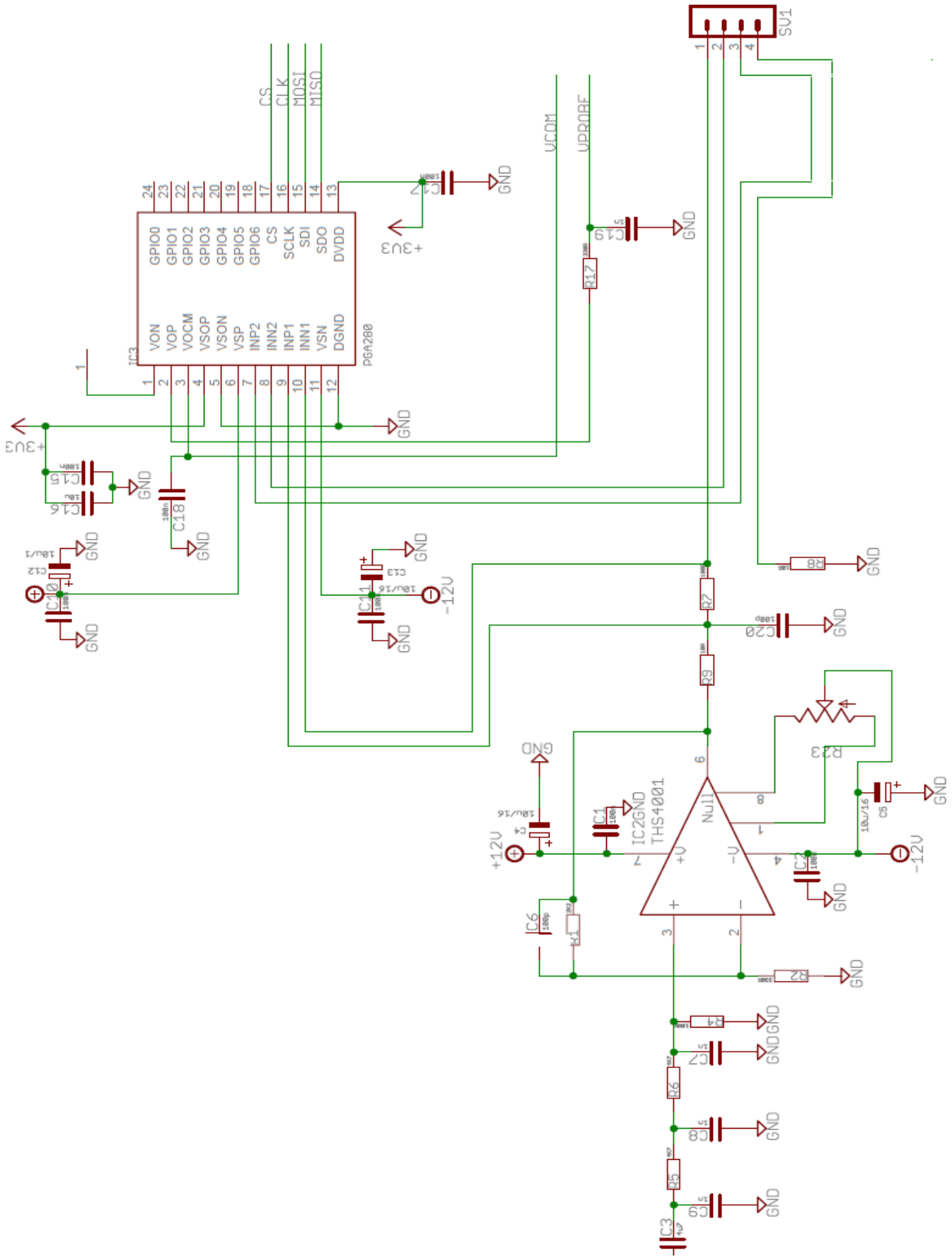
Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου για τη μέτρηση της τιμής της τάσης θα χρησιμοποιήσουμε έναν ενισχυτή οργανολογίας με πολύ χαμηλό ρεύμα πόλωσης. Για την Διάταξη 5.4.3 το ολοκληρωμένο κύκλωμα που κάνει τη δουλειά του ενισχυτή οργανολογίας είναι το INA116 (IC4) το οποίο λειτουργεί ως Buffer για να έχουμε όσο πιο ιδανική μέτρηση τάσης γίνεται καθώς το ρεύμα που παράγει το probe είναι της τάξης των fempto Ampere.



(Διάταξη 5.4.3)

5.5 Διάταξη 4: Μέτρηση τιμών τάσης και ρεύματος για τον υπολογισμό της αγωγιμότητας.

Για τον υπολογισμό της αγωγιμότητας θα πρέπει να έχουμε την δυνατότητα μέτρησης εναλλασσόμενης τάσεως και ρεύματος όπως είδαμε και στο κεφάλαιο 3. Ο μικροελεγκτής MPS430F2618 (IC1, Διάταξη 5.3.4) παράγει ένα ημιτονοειδές σήμα το οποίο έρχεται και φιλτράρεται από τους πυκνωτές C7, C8, C9 (Διάταξη 5.3.4). Στην συνέχεια το σήμα αυτό ενισχύεται με την χρήση του τελεστικού ενισχυτή THS4001 (IC2, Διάταξη 5.3.4) για να οδηγηθεί τέλος στα άκρα του Probe τα οποία έρχονται σε επαφή με το έδαφος. Για την απόκτηση της τιμής της τάσης και του ρεύματος ένας ακόμα ενισχυτής οργανολογίας χρησιμοποιήθηκε, ο PGA280 (IC3, Διάταξη 5.3.4) ο οποίος έχει την δυνατότητα μέτρησης ταυτόχρονα δυό τιμών τάσης καθώς και την δυνατότητα σειριακής επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή για την ρύθμιση του κέρδους τάσης του. Πιο συγκεκριμένα για την μέτρηση του ρεύματος θα χρησιμοποιήσουμε την μεταβολή της τάσης στα άκρα της αντίστασης (R7, Διάταξη 5.3.4) .

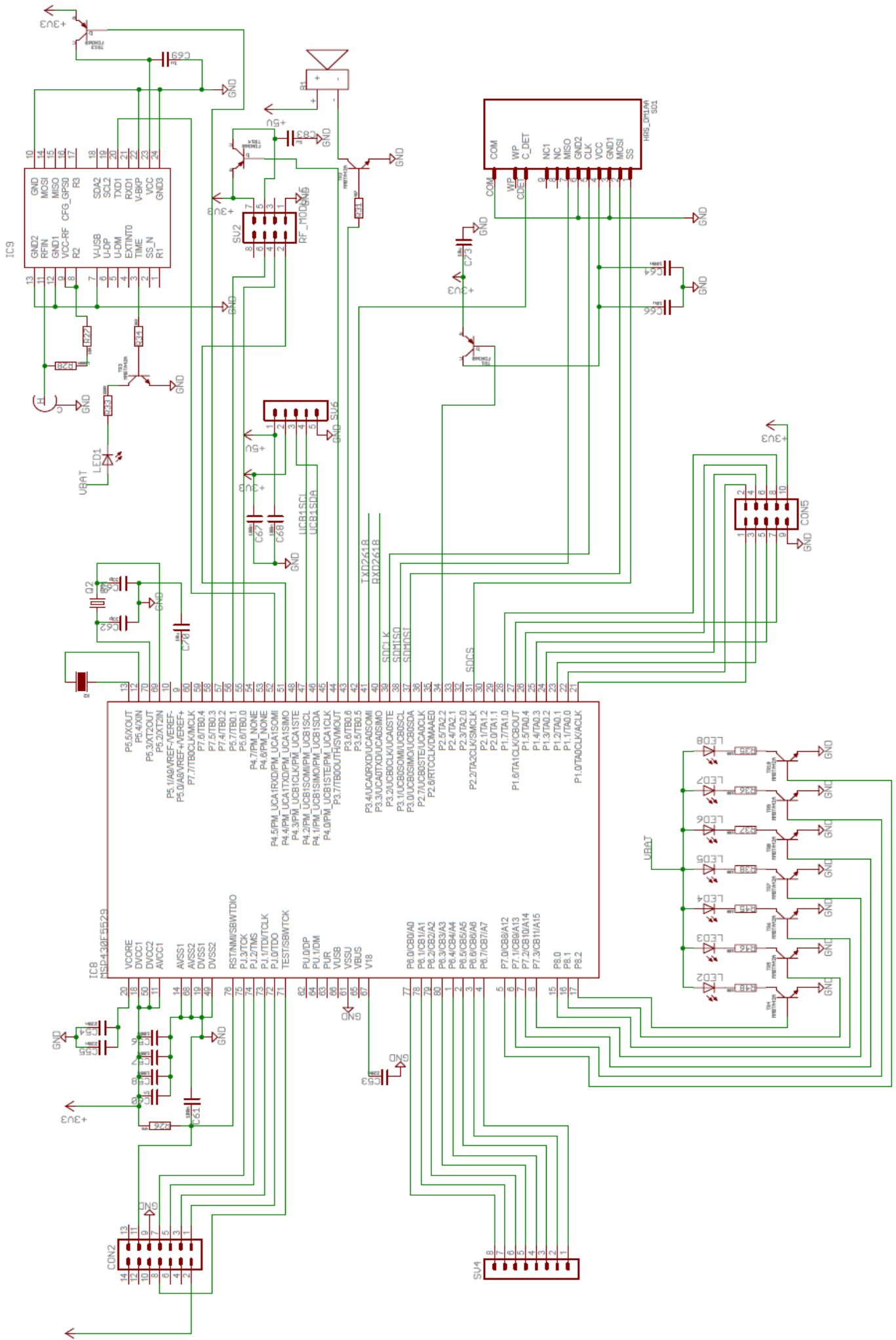


(Διάταξη 5.5.4)

5.6 Διάταξη 5: Μικροελεγκτής αποθήκευσης/εμφάνισης δεδομένων

Οι ευθύνες που αναλαμβάνει ο Μικροελεγκτής MSP430f5529 (IC8, Διάγραμμα 5.6.5) είναι:

- Η συλλογή των δεδομένων του pH, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, και της υγρασίας μέσω σειριακής επικοινωνίας
- Απόκτηση των δεδομένων θέσης από το GPS (NEO-5Q, Διάταξη 5.6.5).
- Ο έλεγχος διακοπών για την έναρξη συλλογής δεδομένων
- Η ενεργοποίηση led για την επισήμανση της προόδου της ροής του προγράμματος
- Η αποθήκευση των δεδομένων σε SD κάρτα



Βιβλιογραφία

- [1] Ι. Ασημακόπουλος εργαστηριακές ασκήσεις των μαθημάτων: γονιμότητα εδάφους, αναλύσεις φυτών και εδαφών-αξιολόγηση αποτελεσμάτων, λιπάσματα-λιπάνσεις, 2005
- [2] A.J.Bard and L.R.Faulkner, *Electrochemical Methods, Fundamentals and Applications*, John Wiley & Sons, N.Y. (1980).
- [3] Ι. Α. Μουμτζής, Δ. Π. Σαζού, *Ηλεκτροχημεία*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη (1997).
- [4] Α.Αναστόπουλος, Ν.Παπαδόπουλος, Ι.Πούλιος, Δ. Σαζού, *Σημειώσεις Πειραματικής Ηλεκτροχημείας*, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη (1996).
- [5] P. A. Christensen, A. Hammett, *Techniques and Mechanisms in Electrochemistry*, Chapman & Hall, U.K. (1994).
- [6] V.S. Bagotsky, “*Fundamentals of Electrochemistry*”, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Pennington, N.J. (2006).
- [7] *Corrosion Engineering: Principles and Practice* by Pierre R. Roberge
- [8] Leaflet about Education with Enthusiasm, Educational Research Institute, <http://www.eduentuzjasci.pl/en/>
- [9] Ewa Bartnik et. al., *Polish Science Curriculum - Podstawa programowa z komentarzami Vol 5. Edukacja przyrodnicza w szkole podstawowej, gimnazjum i liceum przyroda, geografia, biologia, chemia, fizyka*, Ministry of National Education, Warszawa 2009,
- [10] Rayment, G.E. and F.R. Higginson. 1992. Electrical conductivity. p. 15-16. In: *Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods*. Inkata Press, Melbourne
- [11] Rhoades, J.D. 1996. Lime requirement. p. 417-435. In: J. M. Bartels et al. (ed.) *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods*. 3rd ed. ASA and SSSA, Madison, WI. Book Series
- [12] Barbara Ostrowska, Krzysztof Spalik et al, *Umiejętności złożone w nauczaniu historii i przedmiotów przyrodniczych – pomiar, zadania testowe z komentarzami*, IFiS PAN, Warszawa 2010,

[13] G.D. Christian, *Analytical Chemistry*, 4th edition, John Wiley & Sons, (1986), p. 295

[14] Innovative School-level Quantitative Chemistry Experimental Technique (I) pH Measurement by Antimony Electrode K. M. CHAN Director, MicroChem Lab, Hong Kong SAR of China

