



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ
ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ, ΜΕΤΑΦΟΡΑ
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΟΜΠΟ ΡΕΥΜΑΤΟΣ
4-20mA ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΝΔΕΙΞΗ



Του φοιτητή

Βαλσαμή Παναγιώτη Γεωργίου

Αρ. Μητρώου: 515010

Επιβλέπων

Ονοματεπώνυμο: Σπάσος Μιχαήλ

Βαθμίδα: Αναπληρωτής Καθηγητής

Ημερομηνία 22/01/2021

Τίτλος Δ.Ε.: Μετρητής σχετικής υγρασίας εδάφους που περιλαμβάνει αισθητήρα, μεταφορά αποτελεσμάτων σε 4-20mA και ψηφιακή ένδειξη.

Κωδικός Δ.Ε.: 18127M

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Βαλσαμής Παναγιώτης Γεώργιος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Σπάσος Μιχαήλ

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.: 12/03/2019

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.: 22/01/2021

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Βαλσαμή Παναγιώτη Γεωργίου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Στους γονείς μου που με στήριξαν
σε αυτό το ταξίδι από την αρχή μέχρι το τέλος.»*

Πρόλογος

Η ενασχόληση με την γη είναι μια ασχολία των ανθρώπων εδώ και χιλιετίες. Για πάρα πολλά χρόνια ήταν ο βασικός πυλώνας της οικονομίας για τους πολιτισμούς κάτι που ισχύει, σε πολύ μικρότερο βαθμό βέβαια, και στις μέρες μας. Μεγαλώνοντας στην επαρχία, γνωρίζω τις δυσκολίες του επαγγέλματος και το άγχος των παραγωγών για το πώς οι εκάστοτε συνθήκες θα επηρεάσουν την σοδειά τους.

Επομένως θέλησα να επιλέξω το συγκεκριμένο θέμα, με σκοπό να γνωρίσω τεχνολογίες, που πρώτον εφαρμόζονται ήδη σε αυτόν τον τομέα και δεύτερον, να ενημερωθώ για υποσχόμενες τεχνολογίες που θα έχουν μεγάλο θετικό αντίκτυπο στην βιομηχανία της γης.

Είχα την επιθυμία να μελετήσω, να σχεδιάσω και τελικά να φτιάξω μία κατασκευή, η οποία εφαρμόζοντας βασικές γνώσεις του τομέα της ηλεκτρονικής και χρησιμοποιώντας σύγχρονα μέσα, να είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικές συνθήκες και να βοηθήσει τον αγρότη έστω σε ένα απλό θέμα.

Οι γνώσεις που έλαβα πραγματοποιώντας την εργασία ήταν κυρίως τεχνικές. Αρχικά, το σημαντικότερο μάθημα ήταν το πόσο σημαντικό ρόλο έχει ο αγωγός που θα χρησιμοποιηθεί. Πέρα από το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαρρέυσει μέσω αυτού, όπου δεν είχα κανένα πρόβλημα, σημαντικό ρόλο έχει το αν είναι θωρακισμένος από τις παρεμβολές. Επίσης βρέθηκα αντιμέτωπος με την μη γραμμικότητα του ADC μετατροπέα του μικροελεγκτή. Σε αυτό το σημείο χρειάστηκε κατάλληλο λογισμικό για να μετριάσει αυτό το ζήτημα. Φυσικά, δεν θα έπρεπε να παραλήψω και τον σχεδιασμό των πλακετών. Για την περάτωση της εργασίας χρειάστηκε να σχεδιάσω τυπωμένα κυκλώματα Αυτή η διεργασία μου δίδαξε κάποιες βασικές γνώσεις στην χρήση των ανάλογων λογισμικών, αλλά με σύστησε και σε υλικά που απαιτούνται για την κατάλληλη σύνδεση των αισθητηρίων πάνω στα τυπωμένα κυκλώματα και στην σύνδεση των πλακετών με τους αγωγούς.

Περίληψη

Η διάταξη που αποτελεί την εν λόγω εργασία ξεκινά από δύο αισθητήρια. Ένα αισθητήριο υγρασίας εδάφους και ένα αισθητήριο θερμοκρασίας. Αυτά τα αισθητήρια, τοποθετούνται μέσα στο χώμα, σε όποιο βάθος επιθυμούμε και πραγματοποιούν τις μετρήσεις τους. Αυτές οι μετρήσεις λαμβάνονται στην έξοδό τους με την μορφή διαφοράς δυναμικού. Οι δύο αυτές διαφορές δυναμικού υπόκεινται σε κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να κυμαίνονται μεταξύ δύο επιθυμητών τιμών διαφοράς δυναμικού. Στην συνέχεια μετατρέπονται σε ρεύμα μέσω βαθμίδων 4-20mA, μεταδίδονται στην επιθυμητή απόσταση και μετά, μέσω κυκλώματος, μετατρέπονται σε διαφορά δυναμικού με τιμή ίδια με την αρχική. Φιλτράρονται με την χρήση κατάλληλων φίλτρων αντιπαρεμβολής και οδηγούνται στις εισόδους ενός μικροελεγκτή. Με το κατάλληλο λογισμικό, υπολογίζονται το ποσοστό της υγρασίας εδάφους και η θερμοκρασία του εδάφους σε βαθμούς Κελσίου και τελικά εμφανίζονται σε μία οθόνη και αποστέλλονται στο cloud.

RELATED SOIL METER THAT INCLUDES SENSOR, TRANSFER OF RESULTS WITH 4-20mA CURRENT SOURCE AND DIGITAL INDICATION

Valsamis Panagiotis Georgios

Abstract

The first components of the circuit that constitutes the present project are two sensors, one soil moisture sensor and one temperature sensor. These sensors are buried into the soil, at a desired depth to take their measurements. The measurements that are taken appear on the sensors output in the form of voltage difference. Then, they are processed through a suitable circuit, so that the output voltage of the sensors has a suitable value for us. After that, a 4-20mA current source, for each measurement, receives the voltage difference, converts it into current, transports the signal at a desired distance and then the current is again converted into voltage difference with a value same as the input voltage difference. Those two voltage differences are filtered through a low pass filter and are driven to the microprocessor's pins. With suitable software loaded to the microcontroller, we estimate the soil moisture percentage and the soil temperature in Celsius degrees. In the end, those two values are presented on a display and are sent to the cloud.

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω του γονείς μου, για την κάθε είδους στήριξη για την περάτωση της παρούσας εργασίας και επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή, κύριο Σπάσο Μιχαήλ, που παρά τις δυσκολίες των καιρών, με βοήθησε σε κάθε πρόβλημα που προέκυψε.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract.....	vii
Ευχαριστίες.....	viii
Περιεχόμενα.....	ix
Κατάλογος εικόνων.....	x
Κατάλογος κυκλωμάτων.....	xi
Κατάλογος γραφημάτων.....	xi
Κατάλογος διαγραμμάτων.....	xii
Συντομογραφίες.....	xii
Κεφάλαιο 1: Γενικά περί “έξυπνης” γεωργίας.....	1
1.1 Η τεχνολογία IoT.....	1
1.2 Η σημασία της IoT τεχνολογίας στον τομέα της γεωργίας.....	1
1.3 Σημαντικές εφαρμογές του διαδικτύου των πραγμάτων στην βιομηχανία της γης.....	3
1.3.1 Δειγματοληψία και χαρτογράφηση του εδάφους.....	3
1.3.2 Σωστή και ελεγχόμενη χρήση του νερού.....	3
1.3.3 Λίπασμα.....	4
1.3.4 Ασθένεια των καλλιεργειών και διαχείριση παράσιτων.....	5
1.3.5 Παρακολούθηση παραγωγής, πρόβλεψη και συγκομειδή.....	6
1.4 Προηγμένες τεχνικές.....	7
1.4.1 Καλλιέργεια θερμοκηπίου.....	7
1.4.2 Υδροπονία.....	7
1.4.3 Cloud computing.....	8
Κεφάλαιο 2: Ανάγκη μέτρησης υγρασίας και θερμοκρασίας εδάφους.....	10
2.1 Η σημασία της υγρασίας και η σχέση της με το έδαφος.....	10
2.2 Η σημασία της θερμοκρασίας και η σχέση της με το έδαφος.....	11
2.2.1 Μεταβολή της θερμοκρασίας.....	12
2.2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας σε κάποια είδη εδάφους και στην ανάπτυξη των φυτών.....	13
2.2.3 Επίδραση της θερμοκρασίας στις χημικές ιδιότητες του εδάφους.....	13
Κεφάλαιο 3 :Συνοπτική περιγραφή λειτουργίας της μετρητικής διάταξης.....	15
3.1 Συνοπτική περιγραφή της μετρητικής διάταξης.....	15
3.2 Αισθητήριο υγρασίας.....	15
3.2 Ημιαγώγιμο αισθητήριο μέτρησης θερμοκρασίας.....	18

Κεφάλαιο 4: Αναλυτική περιγραφή λειτουργίας της μετρητικής διάταξης.....	20
4.1 Λήψη μετρήσεων.....	20
4.1.1 Μέτρηση και conditioner υγρασίας.....	20
4.1.2 Μέτρηση και conditioner θερμοκρασίας.....	22
4.2 Ενσύρματη μεταφορά δεδομένων.....	23
4.2.1 Μετατροπή από τάση σε ρεύμα.....	23
4.2.2 Μετατροπή από ρεύμα σε τάση.....	26
4.3 Φίλτρο αντιπαρεμβολής σημάτων.....	27
4.4 Μετατροπή δεδομένων από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα.....	28
4.5 Διάγραμμα ροής κώδικα.....	31
4.6 ThingSpeak™.....	36
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης.....	42
Βιβλιογραφία.....	43
Παράρτημα Α: Λογισμικό εργασίας.....	44
Παράρτημα Β: Λογισμικό γραμμικοποίησης ADC converter.....	48

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1: Σημαντικοί τομείς της τεχνολογίας στην ιστορία της γεωργίας.....	2
Εικόνα 1.2: Ιεραρχία πιθανών εφαρμογών της “έξυπνης” καλλιέργειας.....	4
Εικόνα 1.3: Ανατομία φυτού.....	4
Εικόνα 1.4: Σημαντικές ενέργειες, διαδικασίες και πιθανά αποτελέσματα της “έξυπνης” καλλιέργειας.....	6
Εικόνα 1.5: Θερμοκήπιο για μαζική παραγωγή.....	7
Εικόνα 1.6: Ερευνητής της NASA ελέγχει κρεμμύδια (κέντρο), μαρούλια (αριστερά) και ραπανάκια (δεξιά) που χρησιμοποιούν την τεχνική τη υδροπονίας.....	8
Εικόνα 2.1: Κήπος με ξερά χόρτα ως στρώμα οργανικής ύλης (soil mulching).....	13
Εικόνα 3.1: Το χωρητικό αισθητήριο υγρασίας SEN0193 της DFRobot.....	17
Εικόνα 3.2: Εσωτερική μορφή πυκνωτή.....	18
Εικόνα 3.3: Η δίοδος ως αισθητήριο υγρασίας.....	19
Εικόνα 3.4: Αδιάβροχη έκδοση του αισθητηρίου θερμοκρασίας LM35.....	19
Εικόνα 4.1: Η μετρητική διάταξη.....	36
Εικόνα 4.2: PCB conditioner και πομπού 4-20mA.....	37
Εικόνα 4.3: PCB conditioner και πομπού 4-20mA με τα υλικά.....	37

Εικόνα 4.4: PCB μετατροπής ρεύματος 4-20mA σε τάση 0-3V, επεξεργασίας και εμφάνιση δεδομένων.....	38
Εικόνα 4.5: PCB μετατροπής ρεύματος 4-20mA σε τάση 0-3V, επεξεργασίας και εμφάνιση δεδομένων με τα υλικά.....	38
Εικόνα 4.6: Το καλώδιο μεταφοράς δεδομένων.....	39
Εικόνα 4.7: Ανατομία καλωδίου μεταφοράς δεδομένων.....	39
Εικόνα 4.8: Οι μετρήσεις όπως εμφανίζονται στην οθόνη της μετρητικής διάταξης και όπως φαίνονται στο ThingSpeak™.....	40
Εικόνα 4.9: Η ένδειξη του θερμομέτρου της εικόνας 4.8.....	40
Εικόνα 4.10: Η ένδειξη του υγρασιομέτρου της εικόνας 4.8.....	41

Κατάλογος κυκλωμάτων

Κύκλωμα 4.1: Βαθμίδα $Y=(-A)*X+B$	21
Κύκλωμα 4.2: Μετατροπή τάσης εξόδου LM35 από 0-500mV σε 0-3V.....	22
Κύκλωμα 4.3: Κύκλωμα πομπού ρεύματος 4-20mA.....	25
Κύκλωμα 4.4: Κύκλωμα μετατροπής από 4-20mA σε 0-3V.....	27

Κατάλογος γραφημάτων

Γράφημα 2.1: Μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό ανάλογα με τον τύπο του εδάφους.....	11
Γράφημα 3.1: Γραφική παράσταση που δείχνει πώς η αύξηση του όγκου του νερού μειώνει την αντίσταση μεταξύ δύο σημείων σε δύο, διαφορετικού τύπου, εδάφη.....	15
Γράφημα 3.2: Μορφή μεταβολής αντίστασης σε PTC και NTC θερμίστορ.....	20
Γράφημα 4.1: Έξοδος της βαθμίδας $Y=(-A)*X+B$ για το αισθητήριο υγρασίας.....	22
Γράφημα 4.2: Έξοδος ενισχυτή τάσης εξόδου του LM35.....	23
Γράφημα 4.3: Έξοδος πηγής ρεύματος συναρτήσει της τάσης εισόδου.....	25
Γράφημα 4.4: Έξοδος πηγής ρεύματος συναρτήσει της αντίστασης φορτίου.....	26
Γράφημα 4.5: Έξοδος κυκλώματος μετατροπής από 4-20mA σε 0-3V.....	27
Γράφημα 4.6: Κυματομορφή ενός SAR ADC.....	29
Γράφημα 4.7: Το πρόβλημα γραμμικότητας των ενσωματωμένων ADC converter του ESP32.....	30
Γράφημα 4.8: Σύγκριση πραγματικής απόκρισης του ADC (γκρι) με την γραμμικοποιημένη απόκριση (μπλε).....	30
Γράφημα 4.9: Σύγκριση μετρήσεων υγρασίας με υγρασιόμετρο εμπορίου.....	35
Γράφημα 4.10: Σύγκριση μετρήσεων θερμοκρασίας με θερμόμετρο εμπορίου.....	35

Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3.1: Μπλοκ διάγραμμα μετρητικής διάταξης.....	15
Διάγραμμα 4.1: Μπλοκ διάγραμμα ενός SAR ADC.....	28

Συντομογραφίες

IoT: Internet of Things

ADC: Analog-to-Digital converter

SAR: Successive Approximation

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ “ΕΞΥΠΝΗΣ” ΓΕΩΡΓΙΑΣ

1.1 Η τεχνολογία του IoT

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, ή πιο εύκολα IoT, είναι μία τεχνολογία με πολύ υψηλή σημασία τόσο τεχνικά όσο και κοινωνικά και οικονομικά. [1] Ένας ορισμός που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή του, θα τον περιέγραφε ως ένα σύνολο τρόπων όπου η συνδεσιμότητα των συσκευών και η υπολογιστική ισχύς επεκτείνεται σε αισθητήρες και αντικείμενα της καθημερινής ζωής τα οποία μέχρι πρότινος δεν θεωρούνταν υπολογιστικές συσκευές, με σκοπό την ανταλλαγή, την συλλογή και την δημιουργία δεδομένων.

Οι τεχνολογίες IoT είναι μία κενοτόμα τεχνολογία της οποίας τα οφέλη δεν έχουμε καρπωθεί ακόμα στο μέγιστο. Μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο στον τομέα των καταναλωτικών αγαθών, όσο και στην βιομηχανία. Εφαρμογές που θα εξελίξουν την ζωή του ατόμου αλλά και της κοινωνίας, όπως είναι τα γνωστά σε όλους smart homes και smart cities, βασίζονται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Για να καταλάβουμε πόσο σημαντική είναι αυτή η τεχνολογία, ας δούμε τις προγνώσεις κάποιων εταιρειών στον χώρο της τεχνολογίας και των οικονομικών. Η Cisco προέβλεπε 24 δισεκατομμύρια συσκευές συνδεδεμένες στο διαδίκτυο μέχρι το 2019. Η Morgan Stanley με την σειρά της προβλέπει 75 δις μέχρι το τέλος του 2020 ενώ η Huawei 100 δις μέχρι το 2025. Από την οικονομική πλευρά, η επίδραση των IoT τεχνολογιών υπολογίζεται από την McKinsey Global, από τα 3,9 μέχρι τα 11,1 τρισεκατομμύρια δολάρια παγκοσμίως μέχρι το 2025.

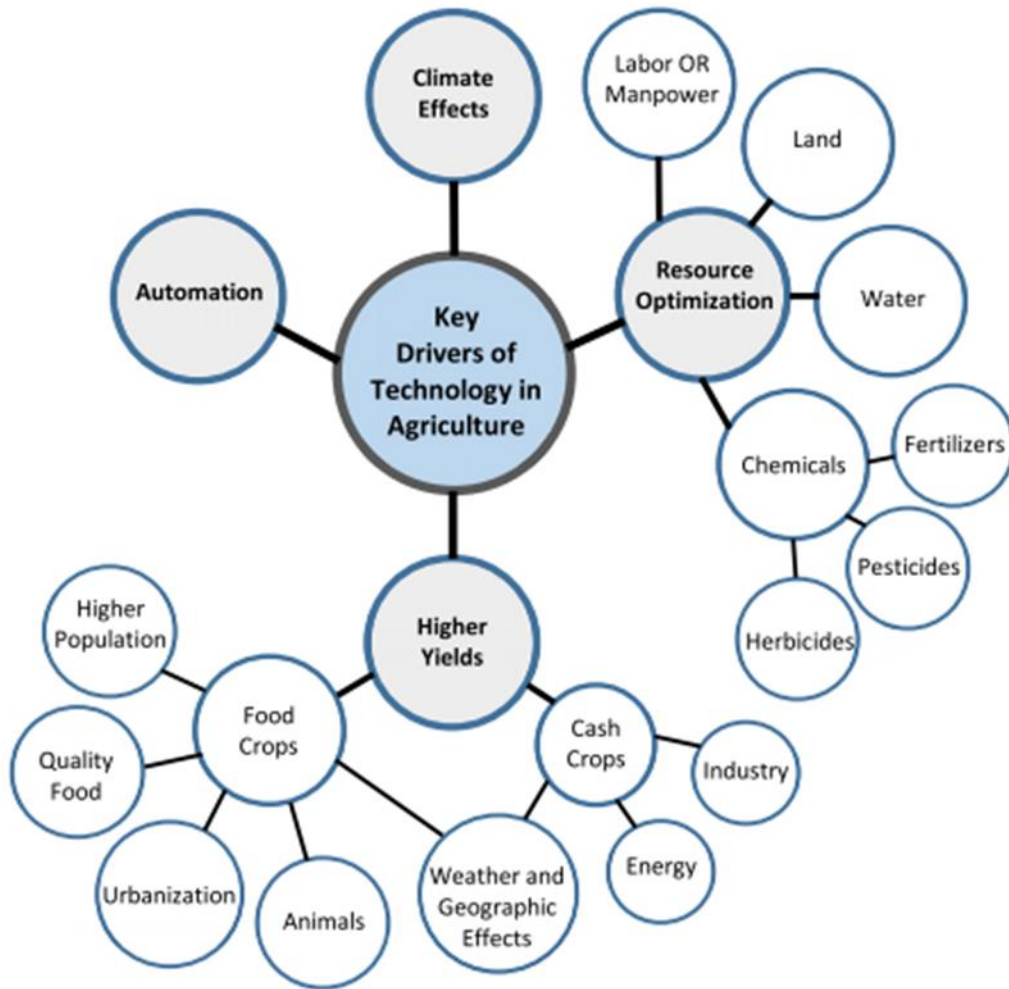
1.2 Η σημασία της IoT τεχνολογίας στον τομέα της γεωργίας

[2] Η ποιότητα και η ποσότητα της τροφής, είναι ένα σημαντικό και επείγον θέμα αν αναλογιστούμε ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός δείχνει να έχει ανοδική πορεία. Επομένως πρέπει να βρεθούν πιο μοντέρνοι και έξυπνοι μηχανισμοί καλλιέργειας και αν αναλογιστούμε, τους περιορισμούς που μας θέτει η περιορισμένη καλλιεργήσιμη γη και η κλιματική αλλαγή, αυτοί οι τρόποι πρέπει να βρεθούν γρήγορα.

Για να γίνει πιο κατανοητή η επικτατική ανάγκη εύρεσης νέων τρόπων ας δούμε ένα παράδειγμα. Το 1991 η συνολική έκταση καλλιεργήσιμης γης παγκοσμίως υπολογίστηκε περίπου στα 19.5 εκατομμύρια τετραγωνικά μίλια (39.47% του εδάφους της γης) ενώ το 2013 υπολογίστηκε περίπου 18.6 εκατομμύρια τετραγωνικά μίλια (37.73% του εδάφους της γης). Βέβαια δεν πρέπει να ξεχνάμε, ότι διαφορετικές καλλιέργειες χρειάζονται και διαφορετικό έδαφος. Παράμετροι όπως ο τύπος του εδάφους και η παρουσία θρεπτικών συστατικών είναι κλειδιά στην ανάπτυξη των καλλιεργειών. Επίσης αυτοί οι παράμετροι δεν είναι σταθεροί, διαφοροποιούνται έντονα κατά την διάρκεια του έτους. Η παρακολούθησή τους όμως είναι αναγκαία για τον τομέα της καλλιέργειας.

Επίσης πέρα από το έδαφος, οι κλιματικές αλλαγές έχουν και αυτές πολύ σημαντικό ρόλο. Δεν καθορίζουν μόνο το κλίμα στο οποίο ευδοκимуούν οι καλλιέργειες, αλλά και οι καιρικές συνθήκες στην περίοδο μιας καλλιέργειας επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητά της. Αν σκεφτούμε τις αλλαγές και τα ακραία, σε ορισμένες φορές, καιρικά φαινόμενα μπορούμε εύκολα να κατανοήσουμε την σημασία των καιρικών συνθηκών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1



Εικόνα 1.1: Σημαντικοί τομείς της τεχνολογίας στην ιστορία της γεωργίας

Πώς όμως μία τεχνολογία, που η βάση της βρίσκεται στην σύνδεση διάφορων συσκευών και αισθητήρων και στην επικοινωνία αυτών, μπορεί να βελτιώσει τον καλλιέργειας της γης;

- Αρχικά μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη παρακολούθηση των παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή. Υγρασία και θερμοκρασία περιβάλλοντος και εδάφους, πεχά εδάφους, έκθεση στο ηλιακό φως είναι μερικοί από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα της σοδειάς.
- Επιπρόσθετα, δίνεται και η δυνατότητα ελέγχου των εσωτερικών διαδικασιών. Έχοντας την δυνατότητα να παρακολουθούμε την ποσότητα της παραγωγής μπορούμε να σχεδιάσουμε την καλύτερη διανομή των προϊόντων.
- Επιπλέον μπορούν να συλλεχθούν και δεδομένα για την αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την παρακολούθηση και την κατάλληλη ανάλυση των παραγωγικών διαδικασιών.
- Αύξηση της αποτελεσματικότητας της παραγωγής μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών (πότισμα, ράντισμα).
- Προστασία του περιβάλλοντος. Από την στιγμή που διαδικασίες όπως το ράντισμα, που εκτός την παραγωγή μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά και το περιβάλλον γενικότερα, μπορούν να αυτοματοποιηθούν, συμβάλλουμε στην προστασία του περιβάλλοντος.

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ "ΕΞΥΠΙΝΗΣ" ΓΕΩΡΓΙΑΣ

- Περιορισμός του κόστους παραγωγής και των περιττών εξόδων λόγω του αυξημένου ελέγχου της διαδικασίας παραγωγής, που μας δίνει την δυνατότητα εντοπισμού ανωμαλιών στην ανάπτυξη της. Με αυτόν τον τρόπο οι πιθανότητες να καταστραφεί η σοδειά είναι σημαντικά περιορισμένες.

1.3 Σημαντικές εφαρμογές του διαδικτύου των πραγμάτων στην βιομηχανία της γης

1.3.1 Δειγματοληψία και χαρτογράφηση εδάφους

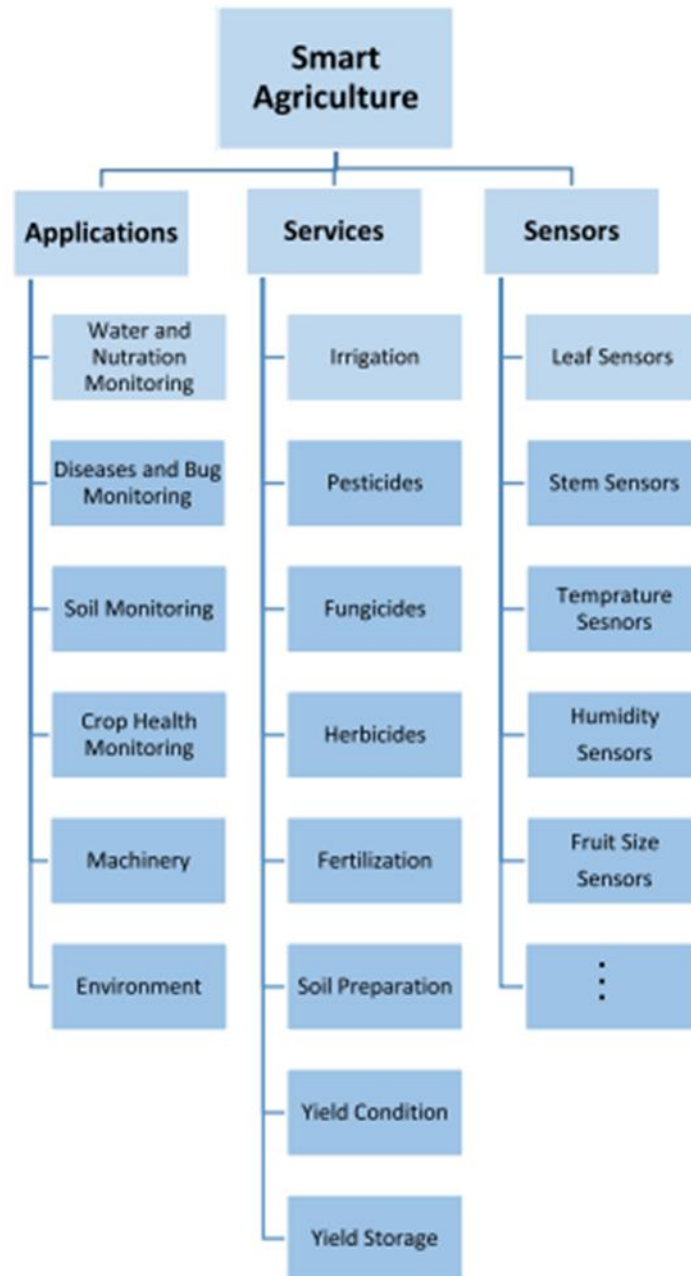
[2] Το έδαφος είναι η πηγή τροφής των φυτών και η δειγματοληψία του είναι το πρώτο βήμα για να αντλήσουμε σημαντικές πληροφορίες. Οι σημαντικές παράμετροι που πρέπει να εξεταστούν περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τον τύπο του εδάφους, την προϊστορία της συγκομιδής, την τοπογραφία κλπ. Αναλύοντας κατάλληλα αυτές τις πληροφορίες μπορούμε να λάβουμε πληροφορίες για την κατάσταση του εδάφους όσο αφορά την φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά.

Με την χρήση του κατάλληλου τεχνολογικού εξοπλισμού δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης της μορφολογίας του εδάφους, την μέγιστη χωρητικότητά του σε νερό και τον ρυθμό απορρόφησης ουσιών, πληροφορίες που βοηθούν στην ελαχιστοποίηση της διάβρωσης, της συμύκνωσης, της αλάτωσης, της οξύνισης και της ρύπανσης.

1.3.2 Σωστή και ελεγχόμενη χρήση του νερού

[2] Εκτός τους περιορισμούς που εισάγουν το έδαφος με την μορφολογία του και την σύσταση του και οι καιρικές συνθήκες, το νερό έχει εξίσου σημαντικό ρόλο και για αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται με σύνεση. Ο πλανήτης καλύπτεται περίπου στο 71% από νερό. Όμως το 97% αυτού του όγκου νερού, βρίσκεται στους ωκεανούς, πόκειται για αλμυρό νερό. Από το υπόλοιπο 3% του συνολικού όγκου νερού, που πρόκειται για "γλυκό" νερό, ένα σημαντικό μέρος είναι είτε σε μορφή πάγων είτε στο υπέδαφος. Οπότε το ποσοστό του νερού που διατίθεται για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών είναι περίπου το 0.5% του συνολικού όγκου νερού. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού, προορίζεται για τις καλλιέργειες. Επομένως πρέπει να χρησιμοποιείται με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο, για να μην υπάρξει πρόβλημα διαθεσιμότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

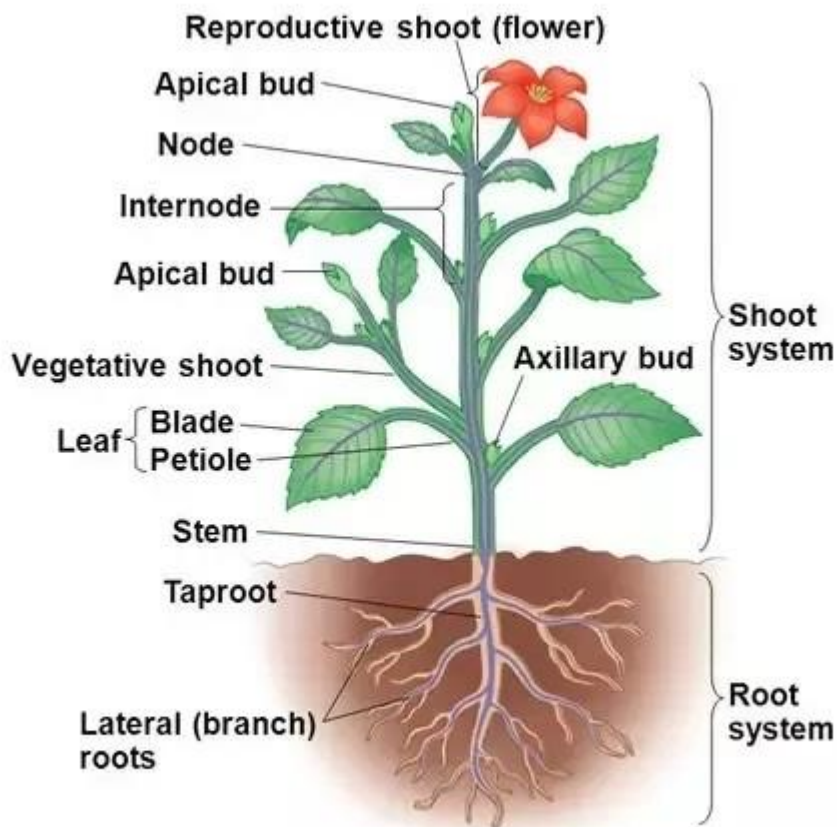


Εικόνα 1.2: Ιεραρχία πιθανών εφαρμογών της "έξυπνης" καλλιέργειας

1.3.3 Λίπασμα

[2] Το λίπασμα μπορεί να είναι είτε φυσικό είτε χημικά παρασκευασμένο. Χρησιμοποιείται για την παροχή θρεπτικών συστατικών στα φυτά παρέχοντας τους άζωτο (N) για την ανάπτυξη των φύλλων, φώσφορο (P) για τις ρίζες, τα λουλούδια και τους καρπούς, κάλλιο (K) για την ανάπτυξη του κορμού και την κίνηση του νερού.

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ "ΕΞΥΠΙΝΗΣ" ΓΕΩΡΓΙΑΣ



Εικόνα 1.3: Ανατομία φυτού

Παρόλα αυτά, περισσότερο λίπασμα δεν σημαίνει και περισσότερη ανάπτυξη του φυτού. Η αλόγιστη χρήση του, εκτός από οικονομικό βάρος, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα του εδάφους, να δηλητηριάσει τα υπόγεια ύδατα και εν τέλει να συμβάλει αρνητικά στην κλιματική αλλαγή.

Η σκεπτόμενη όμως χρήση λιπάσματος με την βοήθεια τεχνολογιών smart farming βοηθάει στην ακριβής χρήση του σύμφωνα με την ανάγκη της καλλιέργειας και μειώνοντας στο ελάχιστο την ρύπανση του περιβάλλοντος. Ο υπολογισμός της κατάλληλης ποσότητας λιπάσματος υπολογίζεται σύμφωνα με την καλλιέργεια αυτή καθέ αυτή, τον τύπο του εδάφους, τον τύπο του λιπάσματος, την απορροφητική ικανότητα του εδάφους και των καιρικών συνθηκών.

1.3.4 Ασθένεια των καλλιεργειών και διαχείριση παράσιτων

[2] Οι απειλές στις οποίες είναι εκτεθειμένες οι καλλιέργειες είναι πολλές και ποικίλες. Εκτός από τις καιρικές συνθήκες, πολύ σημαντικό ρόλο έχουν και οι ασθένειες που μπορούν να πλήξουν τις καλλιέργειες αλλά και διάφορα έντομα. Ένα παράδειγμα αποτελεί η καλλιέργεια της πατάτας στην Ιρλανδία περί το 1850, όπου λόγω μιας ασθένειας, η παραγωγή της μειώθηκε σημαντικά με αποτέλεσμα να χαθούν περίπου 1 εκατομμύριο άνθρωποι. Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization-FAO) υπολογίζει ότι το 20-40% της παγκόσμιας σοδειάς χάνεται λόγω ασθενειών και παράσιτων. Για αυτό τον λόγο έχει γίνει ευρεία η χρήση παραστικτόνων. Η πλειονότητα όμως αυτών είναι επιβλαβής για την υγεία στων ανθρώπων και των ζώων και προκαλούν

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

μόλυνση του οικοσυστήματος. Χρησιμοποιώντας IoT εφαρμογές, όπως για παράδειγμα ασύρματοι αισθητήρες, ρομπότ και drones επιτρέπουν στην σημαντική μείωση των παρασιτοκτόνων. Αυτό επιτυγχάνεται με την συνεχή παρακολούθηση με την χρήση εικόνων που λαμβάνονται από πολλά διαφορετικά μέσα.



Εικόνα 1.4: Σημαντικές ενέργειες, διαδικασίες και πιθανά αποτελέσματα της "έξυπνης" καλλιέργειας

1.3.5 Παρακολούθηση παραγωγής, πρόβλεψη και συγκομιδή

[2] Η παρακολούθηση της παραγωγής περιλαμβάνει όλους εκείνους του μηχανισμούς που βοηθούν στην ανάλυση δεδομένων, φερ' ειπείν τη μάζα των σπόρων, το ποσό της υγρασίας και η ποσότητα της συγκομιδής. Θεωρείται ως ένα σημαντικό εργαλείο στην εργαλείο, όχι μόνο κατά την διάρκεια της συγκομιδής αλλά και πριν. Για παράδειγμα η γονιμοποίηση με γύρη καλής ποιότητας.

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ “ΕΞΥΠΝΗΣ” ΓΕΩΡΓΙΑΣ

Η πρόβλεψη της σοδειάς, είναι η ικανότητα να μπορεί να υπολογίσει κανείς εκ των προτέρων την ποσότητα που θα έχει στο τέλος. Αναλύοντας την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα φυτά την κάθε στιγμή, η θέρηση μπορεί να προγραμματιστεί αποτελεσματικότερα και άρα σοδειά υψηλότερης ποιότητας.

1.4 Προηγμένες τεχνικές

1.4.1 Καλλιέργεια θερμοκηπίου



Εικόνα 1.5: Θερμοκήπιο για μαζική παραγωγή

[2] Λόγω κάποιων αναγκών έχει αναπτυχθεί η χρήση θερμοκηπίων για την καλλιέργεια. Η επιτυχία της παραγωγής βασίζεται σε ποικίλους παράγοντες. Η ακρίβεια στην παρατήρηση των συνθηκών μέσα στο θερμοκήπιο, αυτόματα συστήματα λήψης αποφάσεων και συστήματα εξαιρισμού είναι μερικοί από αυτούς τους παράγοντες. Η ακριβής παρατήρηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων είναι το πιο σημαντικό έργο στα μοντέρνα θερμοκήπια, όπου υπάρχουν πολλές μετρήσεις πολλών παραγόντων ώστε να καθοριστούν οι κατάλληλες συνθήκες.

1.4.2 Υδροπονία

[2] Η υδροπονία είναι μία τεχνική καλλιέργειας όπου δεν απαιτείται χώμα! Βασίζεται σε ένα σύστημα άδρευσης, όπου οι ρίζες των φυτών, συνήθως φρούτα και λαχανικά (μαρούλι, τομάτα, φράουλα, πιπεριά), βρίσκονται μέσα σε ένα διάλυμα, το οποίο είναι και η πηγή των θρεπτικών τους συστατικών. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί χαλίκι ή κάποιο υπόστρωμα απλά για την παροχή στήριξης στο φυτό.

[3] Τα θρεπτικά συστατικά προέρχονται εκτός των άλλων από περιττώματα ψαριών, κοπριά πάπιας, χημικά λιπάσματα ή από άλλες τεχνητές θρεπτικές ουσίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ένα από τα πλεονεκτήματα της υδροπονίας, είναι η μειωμένη χρήση νερού. Για την παραγωγή ενός κιλού τομάτας με τον συμβατικό τρόπο, απαιτούνται 400 λίτρα νερού, ενώ με την τεχνική της υδροπονίας χρειάζονται μόνο 70 λίτρα.

Επομένως η ακριβής μέτρηση του νερού και κυρίως των ουσιών που χρειάζονται τα φυτά για την ανάπτυξή τους είναι σημαντική. Οι μετρήσεις χρειάζονται για την παρακολούθηση των διαφόρων παραμέτρων ανά πάσα στιγμή, από οποιοδήποτε σημείο, αλλά και για αποθήκευση για την περαιτέρω ανάλυσή τους.



Εικόνα 1.6: Ερευνητής της NASA ελέγχει κρεμμύδια (κέντρο), μαρούλια (αριστερά) και ραπανάκια (δεξιά) που χρησιμοποιούν την τεχνική της υδροπονίας

1.4.3 Cloud Computing

[2] [4] Η ακρίβεια στην γεωργία δείχνει τα ενδεχόμενα οφέλη της και τα πλεονεκτήματά της, όταν οι διαδικασίες που συμβαίνουν καθοδηγούνται από τα κατάλληλα δεδομένα. Η τεχνολογία του cloud computing είναι η λύση σε αυτό το θέμα. Σε έναν κόσμο όπου η μετάδοση της πληροφορίας είναι σχεδόν ακαριαία και οι συσκευές που έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο είναι διαδεδομένες, η χρήση cloud υπηρεσιών είτε για αποθήκευση δεδομένων είτε για παρακολούθηση εργασιών είναι πλέον από τις σημαντικότερες εφαρμογές. Κάποια από τα πλεονεκτήματα χρήσης τέτοιου είδους υπηρεσιών είναι:

- Εύκολη και άμεση πρόσβαση στην πληροφορία. Μέσω ενός υπολογιστή, ενός tablet ή ενός κινητού τηλεφώνου μπορούμε να έχουμε την πληροφορία που μας ενδιαφέρει ανά πάσα στιγμή.
- Καλύτερη οργάνωση των επημέρους εργασιών που οδηγεί σε καλύτερη απόδοση των εργαζομένων.
- Οικονομικό όφελος. Η τεχνική υποστήριξη παρέχεται από τον εκάστοτε πάροχο και άρα δεν χρειάζεται η πρόσληψη κατάλληλου τεχνικού προσωπικού.
- Παροχή όλων των αποδείξεων για την λήψη αποφάσεων.
- Βαθύτερη κατανόηση των μετρήσεων με την ανάλυση που παρέχουν τέτοιου είδους τεχνολογίες.

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ "ΕΞΥΠΝΗΣ" ΓΕΩΡΓΙΑΣ

- Ενημέρωση του αγρότη για τις τρέχουσες καιρικές συνθήκες, για τις βραχυπρόθεσμες προβλέψεις και γενικά για το κλίμα με την χρήση κατάλληλων εφαρμογών.
- Αποτελεσματικότερη εργασία. Λόγω των διαδικασιών στην γεωργία, μεγάλο μέρος του χρόνου του αγρότη, αφιερώνεται στην μετακίνηση του για την αξιολόγηση των συνθηκών στις καλλιέργειες του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΓΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

2.1 Η σημασία της υγρασίας και η σχέση της με το έδαφος

[5][6] Το επίπεδο της υγρασίας στο έδαφος εκφράζεται ως ο λόγος της ποσότητας του νερού προς την μάζα στεγνού εδάφους. Είναι ένα μέγεθος που προσδιορίζει την ποσότητα του νερού σε μία γνωστή ποσότητα εδάφους. Εκφράζεται ως ποσοστό.

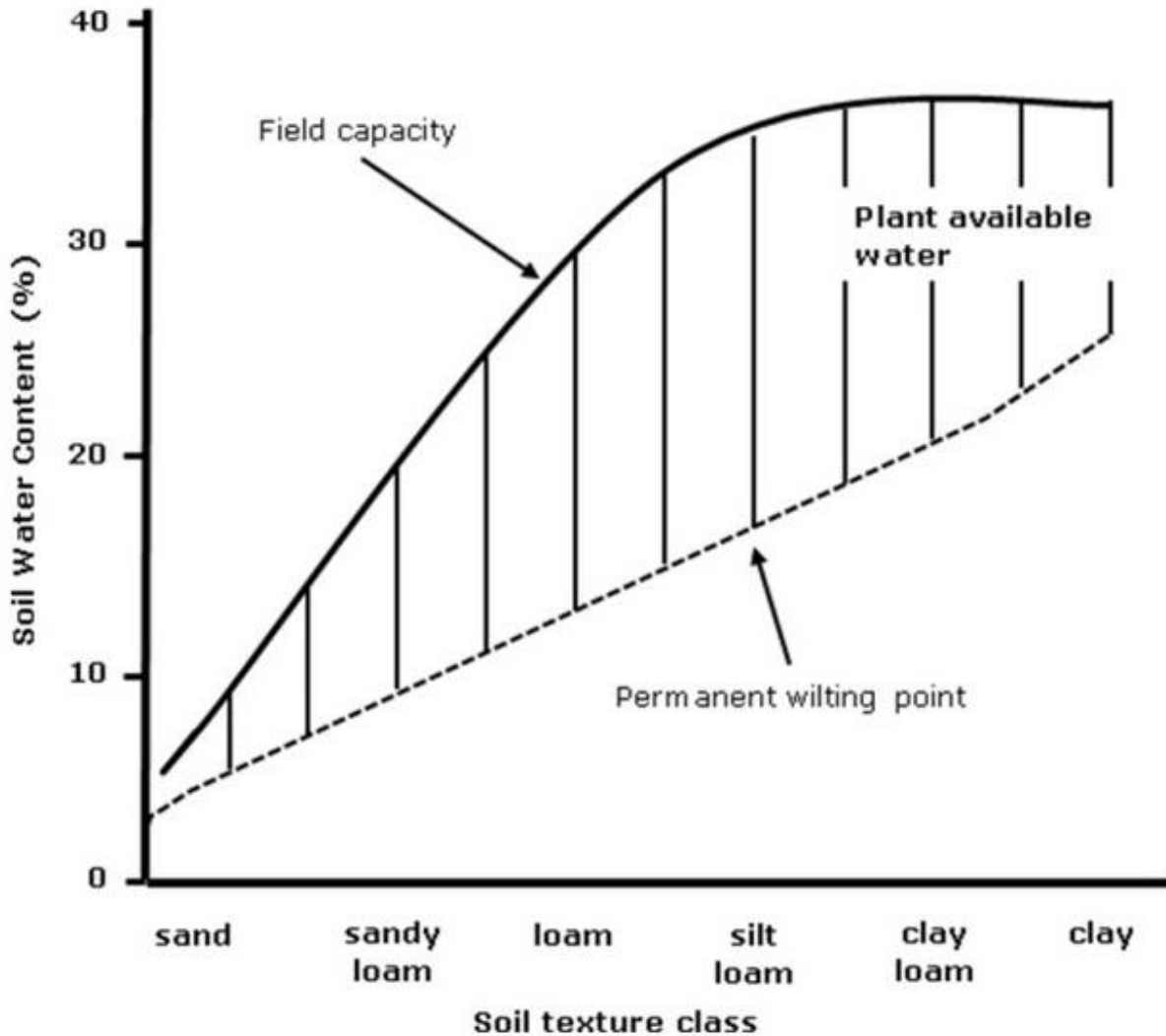
Η επαρκής ποσότητα υγρασίας, είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες για την ανάπτυξη των φυτών και για υψηλή παραγωγή. Το νερό, πέρα από την ικανότητά του να διασπά τις θρεπτικές ουσίες ώστε να τις απορροφήσει το φυτό, λειτουργεί και ως ένας ρυθμιστής της θερμοκρασίας, αφού τα δύο αυτά μεγέθη εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους. Κατά την διαδικασία της ρύθμισης της θερμοκρασίας, ένα μέρος της υγρασίας εξατμίζεται. Αυτό συμβαίνει διότι το φυτό έχει διαφορετικές ανάγκες σε νερό, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν και το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκεται.

Καμία από τις φυσικές διαδικασίες δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς την παρουσία νερού. Η υγρασία του εδάφους εξαρτάται εκτός των άλλων, από την συνολική βροχόπτωση, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την κατανάλωση των φυτών. Η επαρκής συγκέντρωση υγρασίας είναι υψηλής σημασίας για την ανάπτυξη και την ποιότητα της παραγωγής. Ο σκοπός της ύπαρξης νερού είναι:

- Το επίπεδο της υγρασίας επηρεάζει την περιεκτικότητα του εδάφους σε αέρα, την ποσότητα των αλάτων που υπάρχουν εκεί και την ύπαρξη τοξικών ουσιών.
- Ρυθμίζει την δομή του εδάφους, πόσο εύπλαστο είναι και την πυκνότητά του.
- Επηρεάζει την θερμοκρασία του εδάφους και την θερμοχωρητικότητα (heat capacity-η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας μίας μάζας κατά 1 βαθμό Κελσίου).
- Προστατεύει το έδαφος από τις καιρικές συνθήκες (weathering)
- Προσδιορίζει το πόσο έτοιμο είναι το χωράφι για την καλλιέργεια του.

Βέβαια το επίπεδο της υγρασίας, επηρεάζεται και από τον τύπο του εδάφους. Τις περισσότερες φορές, πιο στεγνό έδαφος μπορεί να απορροφήσει μεγαλύτερο όγκο νερού. Ωστόσο είναι πολύ χρήσιμο να γνωρίζουμε τον τύπο του εδάφους. Ένα έδαφος που είναι αμμώδες, που αποτελείται κυρίως από κόκκους έχει μικρή περιεκτικότητα σε νερό. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα (γράφημα 2.1), σε ένα τέτοιου τύπου έδαφος, η μέγιστη χωρητικότητα σε νερό δεν έχει μεγάλη διαφορά από το μόνιμο σημείο μαρασμού, όπως για παράδειγμα σε ένα έδαφος που είναι περισσότερο λασπώδες.

ΑΝΑΓΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ



Γράφημα 2.1: Μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό ανάλογα με τον τύπο του εδάφους

Κάποιοι σημαντικοί παράμετροι για την περιγραφή του εδάφους είναι:

- Χωρητικότητα πεδίου (Field Capacity): προσδιορίζει την περιεκτικότητα σε νερό που συγκρατείται κόντρα στην επίδραση της βαρύτητας σε πίεση -0.033MPa .
- Μόνιμο σημείο μαρασμού (Permanent wilting point): είναι η ελάχιστη ποσότητα νερού που περιέχεται στο έδαφος και αρκεί για να μην μαραθεί το φυτό.
- Διαθέσιμο νερό φυτού (Plant available water): είναι η διαφορά των προηγούμενων μεταβλητών και προσδιορίζει την διαθέσιμη ποσότητα νερού.

2.2 Η σημασία της θερμοκρασίας και η σχέση της με το έδαφος

[7] Επίσης σημαντικό ρόλο, μαζί με το επίπεδο της υγρασίας, έχει και η θερμοκρασία. Ενώ η υγρασία επηρεάζει σημαντικά τον ρυθμό ανάπτυξης των φυτών και ως ένα βαθμό και την δομή του εδάφους, στην συνέχεια θα σημειώσουμε σε ποιούς τομείς επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών και η θερμοκρασία καθώς και από τους πόσους διαφορετικούς παράγοντες μπορεί να μεταβληθεί, καθιστώντας την ρύθμιση της ένα αρκετά σύνθετο ζήτημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ως μέγεθος, είναι η μέση κινητική ενέργεια της κίνησης, της περιστροφής και της ταλάντωσης των δομικών στοιχείων της ύλης.

2.2.1 Μεταβολή της θερμοκρασίας

[7] Η θερμοκρασία του εδάφους ποικίλει ανάλογα με την εποχή του χρόνου και εμφανίζει μεταβολές ακόμα και κατά την διάρκεια της ημέρας. Αυτό οφείλεται σε διεργασίες που συμβαίνουν στο περιβάλλον αλλά και σε διεργασίες που συμβαίνουν στο ίδιο το έδαφος. Όσο αφορά τους περιβαλλοντικούς λόγους, η θερμότητα που απορροφάται από το έδαφος και η θερμότητα που διοχετεύει το έδαφος στο περιβάλλον είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την θερμοκρασία του εδάφους. Η θερμοκρασία επηρεάζει τον ρυθμό αποσύνθεσης της οργανικής ύλης και της κρυσταλοποίησης διαφορετικών ουσιών. Επίσης επηρεάζει και το επίπεδο της περιεκτικότητας σε νερό και της διαθεσιμότητας του στα φυτά.

Το έδαφος λειτουργεί ως μία αποθήκη θερμότητας. Κατά τις θερμές ημέρες απορροφά θερμότητα ενώ κατά τις ψυχρές ημέρες αποδίδει θερμότητα στο περιβάλλον. Φυσικά οι όροι θερμές και ψυχρές είναι σχετικοί, καθώς η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ περιβάλλοντος και εδάφους είναι αυτή που έχει πραγματικά σημασία.

Ο κύριος λόγος μεταβολής της θερμοκρασίας είναι ο ήλιος με την ακτινοβολία που αποδίδει. Ωστόσο η θερμοκρασία δεν επηρεάζεται μόνο από αυτόν τον παράγοντα. Άλλοι, εξίσου σημαντικοί παράγοντες είναι:

- Το χρώμα της επιφάνειας. Οι επιφάνειες που έχουν σκούρο χρώμα, απορροφούν μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς αναπτύσσουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες.
- Στρώματα οργανικής ύλης (soil mulching). Τέτοια στρώματα χρησιμοποιούνται για την διατήρηση υψηλού επιπέδου της υγρασίας και χαμηλής θερμοκρασίας.
- Η κλίση της επιφάνειας. Η ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος το συναντάει σε διαφορετικές κλίσεις. Ανάλογα με την κλίση, η σκέδαση σε κάποια σημεία είναι έντονη, που σημαίνει ότι η ακτινοβολία ανά μονάδα εμβαδόν είναι χαμηλή, ενώ σε κάποια άλλα η σκέδαση δεν είναι τόσο έντονη και άρα μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολίας ανά μονάδα εμβαδού.
- Βλάστηση. Η βλάστηση λειτουργεί σαν μόνωση και επηρεάζει σημαντικά την μεταφορά θερμότητας. Η απουσία της διευκολύνει την απορρόφηση θερμότητας τις θερμές μέρες αλλά εμποδίζει και την απόδοση θερμότητας από το έδαφος στο περιβάλλον τις ψυχρές μέρες.
- Περιεκτικότητα σε οργανική ύλη. Με την ύπαρξη της οργανικής ύλης μεγαλώνει ο όγκος της υγρασίας που μπορεί να αποθηκευτεί. Επίσης συμβάλλει στο σκούρο χρώμα του εδάφους.
- Εξάτμιση. Η εξάτμιση του νερού από το έδαφος απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας. Κατά την διαδικασία της εξάτμισης, αξιοποιείται μεγάλο ποσό ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα η ενέργεια που μένει για την αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους να είναι μικρή. Με λίγα λόγια, μεγαλύτερος ρυθμός εξάτμισης σημαίνει μεγαλύτερη μείωση στην θερμοκρασία του εδάφους.

ΑΝΑΓΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ



Εικόνα 2.1: Κήπος με ξερά χόρτα ως στρώμα οργανικής ύλης (soil mulching)

2.2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας σε κάποια είδη εδάφους και στην ανάπτυξη φυτών

[7]

- Βιοδραστηριότητα. Η αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνει τον ρυθμό κρυσταλοποίησης του αζώτου στο έδαφος και αυξάνει την αποσύνθεση της οργανικής ύλης στο έδαφος. Θερμοκρασίες χαμηλότερες από 0 Κελσίου μειώνει την κρυσταλοποίηση αναστέλλοντας την μικροβιακή δραστηριότητα και μειώνοντας την διάχυση διαλυμάτων στο έδαφος.
- Μικροοργανισμοί. Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί που συναντώνται στο έδαφος απαιτούν θερμοκρασίες από 10-35,6 Κελσίου για να πραγματοποιήσουν τις διεργασίες τους. Με την μείωση της θερμοκρασίας κάτω από κάποια όρια αυτές οι διεργασίες παύουν να πραγματοποιούνται.
- Μακροοργανισμοί. Σε θερμοκρασία από 10-24 Κελσίου, τα έντομα καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας. Σε ακραίες θερμοκρασίες, είτε πολύ υψηλές, είτε πολύ χαμηλές, οι μακροοργανισμοί πεθαίνουν.
- Αποσύνθεση οργανικής ύλης. Σε υπό του μηδέν θερμοκρασίες υπάρχει συσσώρευση ύλης λόγω του χαμηλού ρυθμού αποσύνθεσης. Ο χαμηλός ρυθμός αποσύνθεσης προκαλείται λόγω της χαμηλής μικροβιακής δραστηριότητας στις χαμηλές θερμοκρασίες.
- Πρόσληψη νερού. Η πρόσληψη νερού μειώνεται με την μείωση της θερμοκρασίας. Αυτό οφείλεται στο αυξημένο ιξώδες και την μειωμένη απορροφητικότητα στις χαμηλές θερμοκρασίες.
- Ανάπτυξη της ρίζας. Οι υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν την ανάπτυξη των ριζών εξαιτίας της μεταβολικής δραστηριότητας των κυττάρων της ρίζας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.2.3 Επίδραση της θερμοκρασίας στις χημικές ιδιότητες του εδάφους

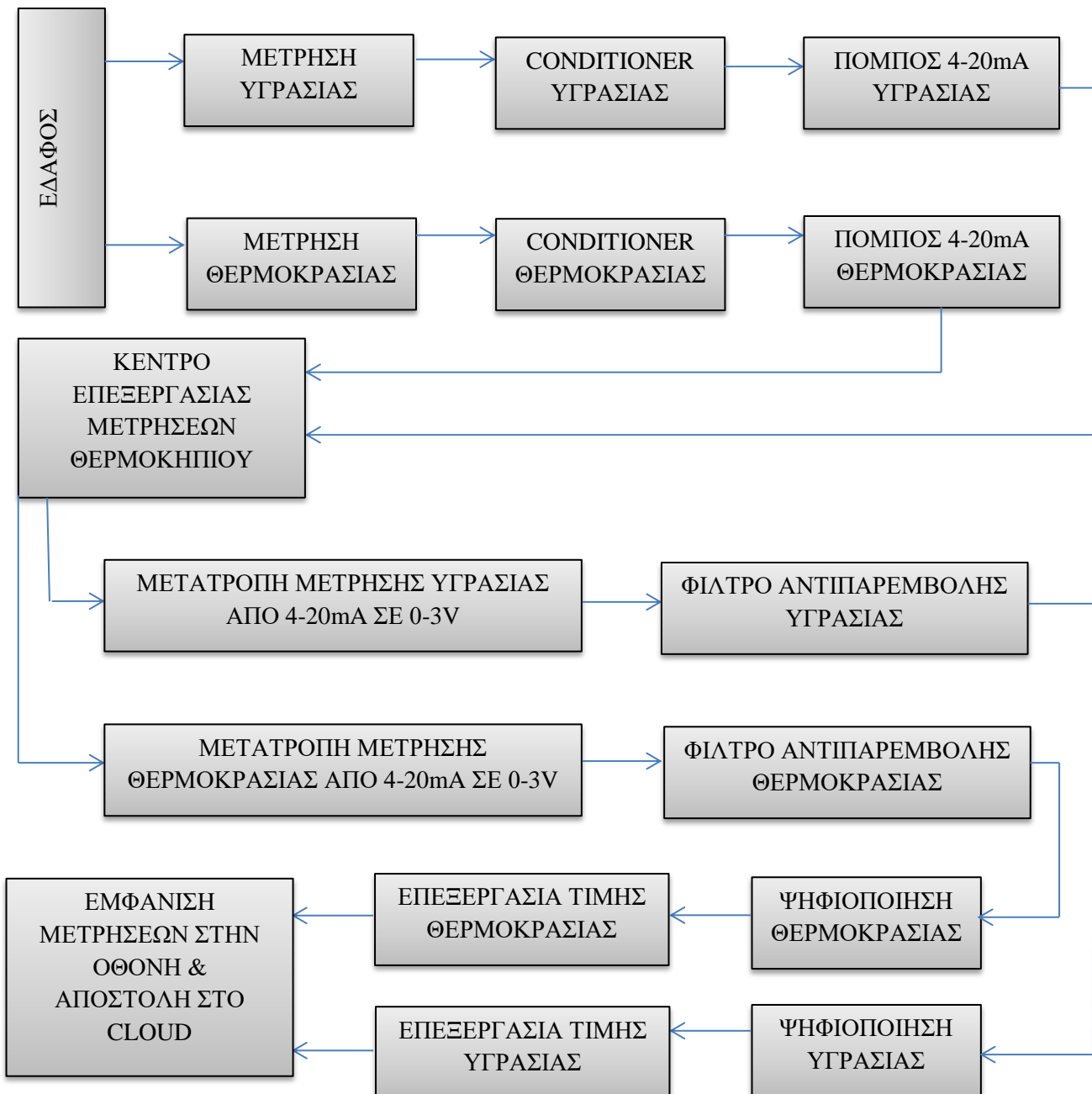
[7] Αύξηση στην θερμοκρασία του εδάφους σημαίνει μείωση της οργανικής ύλης που υπάρχει σε αυτό. Αυτή η μείωση στην οργανική ύλη συνδυασμό με άλλες διεργασίες που συμβαίνουν οδηγεί σε μείωση ανταλλαγής κατιόντων.

- Διαθέσιμος φώσφορος. Έχει παρατηρηθεί ότι η ποσότητα διαλυμάτων νερού-φωσφόρου αυξάνεται σε θερμοκρασίες από 50-250 Κελσίου εξαιτίας της αύξησης της κινητικότητας των μορίων φωσφόρου στο χώμα μέσω της διάχυσης. Σε χαμηλές θερμοκρασίες η ποσότητα του φωσφόρου μειώνεται επειδή η αποδέσμευσή του από την διαθέσιμη οργανική ύλη παρεμποδίζεται.
- pH εδάφους. Σε θερμοκρασίες από 25-39 Κελσίου το pH αυξάνεται εξαιτίας της μετουσίωσης οργανικού οξέως το οποίο αυξάνεται στις υψηλές θερμοκρασίες.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

3.1 Συνοπτική περιγραφή της μετρητικής διάταξης



Διάγραμμα 3.1: Μπλοκ διάγραμμα μετρητικής διάταξης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η μετρητική διάταξη δέχεται στην είσοδό της τις μετρήσεις των αισθητηρίων. Αυτές οι τιμές κυμαίνονται από 2.55V-1.24V για ποσοστό υγρασίας 0-100% και 0-500mV για θερμοκρασία από 0-50°C. Για την ευκολότερη διαχείριση αυτών των τιμών, μετατρέπονται σε τιμή τάσης από 0-3V με τον σχεδιασμό των κατάλληλων conditioner. Οι τιμές αυτές όμως θέλουμε να σταλούν σε ένα συγκεκριμένο σημείο μέσα στο θερμοκήπιο για την επεξεργασία τους. Με την απόσταση από το σημείο μέτρησης μέχρι το σημείο επεξεργασίας να είναι άγνωστο, ο καλύτερος και οικονομικότερος τρόπος για να συμβεί είναι η χρήση πομπού ρεύματος 4-20mA. Επομένως μετά τους conditioner των δύο μετρήσεων, ακολουθούν δύο διατάξεις για την μετατροπή των σημάτων από τάση σε ρεύμα. Με την χρήση καλωδίου με θωράκιση, ώστε τα σήματα να είναι ανεπηρέαστα από τυχόν διακυμάνσεις, τα δεδομένα μεταφέρονται στο κέντρο επεξεργασίας μετρήσεων του θερμοκηπίου. Εκεί, έχουμε την μετατροπή των πληροφοριών από ρεύμα ξανά σε τάση μεγέθους 0-3V. Έπειτα, οδηγούνται σε ένα φίλτρο αντιπαρεμβολής, ώστε να "κοπούν" θόρυβοι των 50Hz, που ενδεχομένως να εισαχθούν από το δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος ή από άλλους θορύβους που υπάρχουν στο περιβάλλον. Στη συνέχεια οδηγούνται στις εισόδους του μικροελεγκτή. Εκεί, πρέπει πρώτα να μετατραπούν από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα για να μπορέσει να είναι δυνατή η επεξεργασία τους. Χρησιμοποιώντας τον ενσωματωμένο ADC επιτυγχάνεται αυτή η διαδικασία και ξεκινά η επεξεργασία των μετρήσεων από τον μικροελεγκτή. Αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία τους, οι τιμές του ποσοστού υγρασίας και θερμοκρασίας του εδάφους εμφανίζονται στην οθόνη της διάταξης και επίσης, ο μικροελεγκτής συνδέεται στο ασύρματο δίκτυο του θερμοκηπίου για να στείλει τις μετρήσεις στο cloud.

3.2 Αισθητήριο υγρασίας

Για την αίσθηση της υγρασίας υπάρχουν διάφοροι τρόποι. Μπορεί να γίνει με ηλεκτρονικά στοιχεία (αντιστάσεις, πυκνωτές, ολοκληρωμένα κυκλώματα κλπ). Από τις διατάξεις που θα δημιουργηθούν από αυτά τα στοιχεία προκύπτει ένα σήμα, το οποίο επηρεάζεται άμεσα από την υγρασία, την θερμοκρασία, ακόμα και από την σύσταση του χώματος. Έπειτα, με την κατάλληλη επεξεργασία μπορεί κάποιος να υπολογίσει το ποσοστό της υγρασίας.

Ωστόσο, στην αγορά υπάρχουν πολλά αισθητήρια τα οποία είναι εύκολα στην χρήση τους και δεν χρειάζεται η σύνθεση περίπλοκων και πολύπλοκων κυκλωμάτων. Υπάρχουν ψηφιακά και αναλογικά αισθητήρια, ανάλογα με την εκάστοτε ανάγκη.

Στην παρούσα μετρητική διάταξη χρησιμοποιήθηκε ένα αναλογικό αισθητήριο και συγκεκριμένα ένα χωρητικό αισθητήριο υγρασίας. Σε αυτού του τύπου τα αισθητήρια, η μεταβολή γίνεται αντιληπτή από την μεταβολή της χωρητικότητας, που προκαλείται από τις μεταβολές στο διηλεκτρικό. Δεν μετράει την υγρασία απευθείας, αντ' αυτού μετράει τα ιόντα που διαλύονται στο νερό. Με λίγα λόγια, η μέτρηση αφορά το διηλεκτρικό του εδάφους, με τον κυριότερο παράγοντα που το μεταβάλλει να είναι το νερό. Θυμίζουμε ότι:

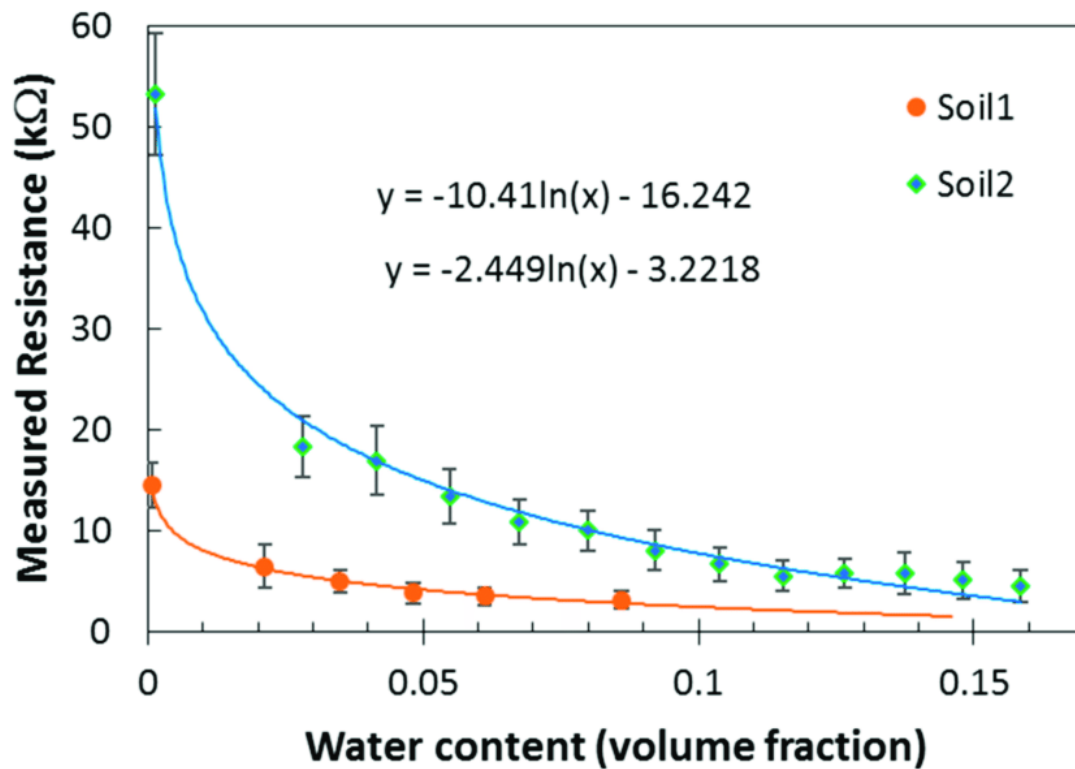
$$C = \epsilon * \frac{A}{d}$$

Σχέση 3.1

Όπου:

- C, η χωρητικότητα του πυκνωτή,
- ϵ , η διηλεκτρική σταθερά του υλικού,
- A, η επιφάνεια των πλακών, στην περίπτωση μας των probe και
- d, η απόσταση των πλακών μεταξύ τους.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



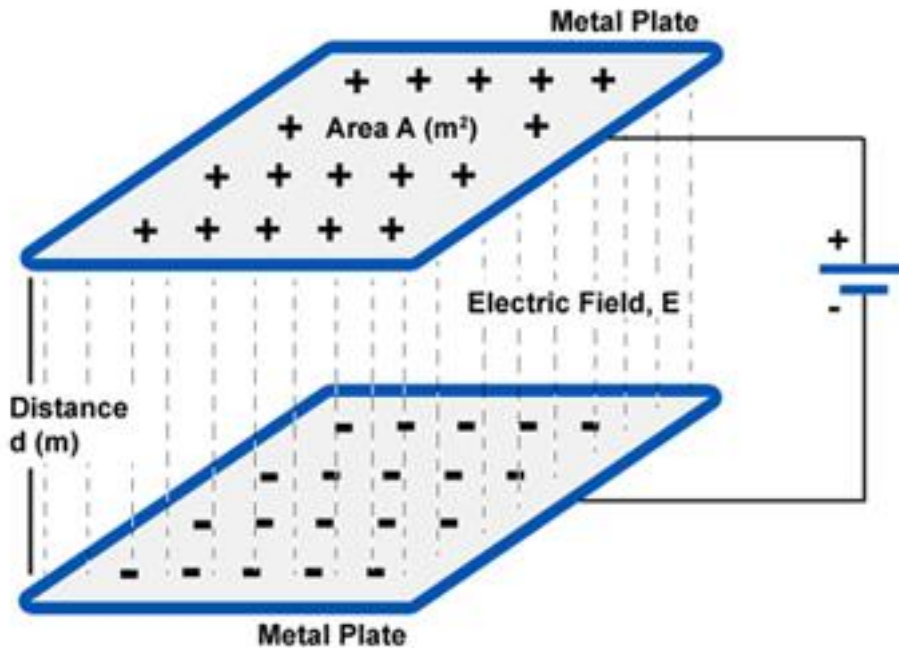
Γράφημα 3.1: Γραφική παράσταση που δείχνει πώς η αύξηση του όγκου του νερού μειώνει την αντίσταση μεταξύ δύο σημείων σε δύο, διαφορετικού τύπου, εδάφη



Εικόνα 3.1: Το χωρητικό αισθητήριο υγρασίας SEN0193 της DFRobot

Το χωρητικό αισθητήριο της φωτογραφίας, σύμφωνα με την έρευνα [8] Calibration of Soil Moisture Sensor, έχει υψηλή απόκριση στις μεταβολές της υγρασίας, δεν επηρεάζεται από τον όγκο του εδάφους (θα μετρήσει ίδιες τιμές στην ίδια υγρασία είτε τοποθετηθεί σε γλάστρα είτε σε ένα θερμοκήπιο) και την θερμοκρασία του, επηρεάζεται όμως από τις μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3



Εικόνα 3.2: Εσωτερική μορφή πυκνωτή

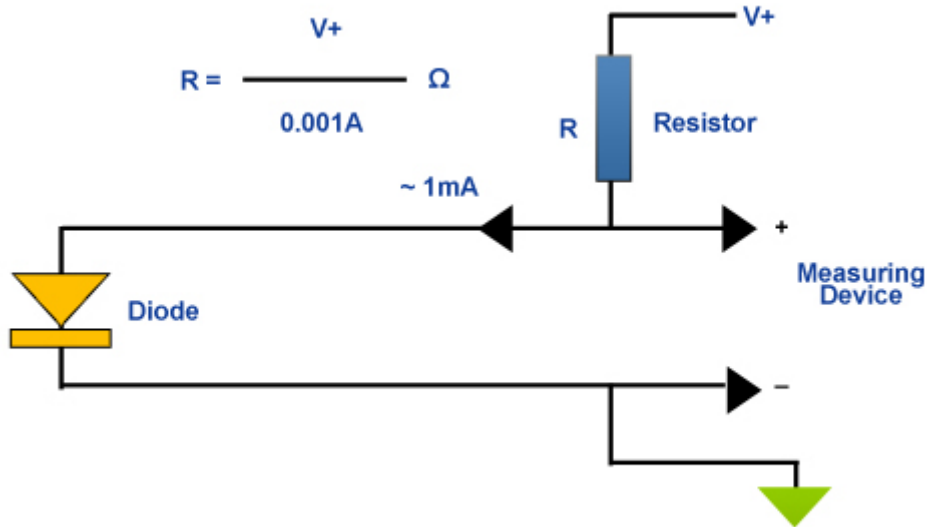
3.2 Ημιαγωγίμο αισθητήριο μέτρησης θερμοκρασίας

[9] Τα ημιαγωγίμο αισθητήρια μέτρησης θερμοκρασίας, είναι ηλεκτρονικά εξαρτήματα που παράγονται όπως όλα τα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Για να επιτευχθεί η μέτρηση της θερμοκρασίας εκμεταλευόμαστε το γεγονός, ότι οι δίοδοι που βρίσκονται στο εσωτερικό αυτών των αισθητηρίων, έχουν χαρακτηριστικά τάσης-ρεύματος που επηρεάζονται από την θερμοκρασία. Όταν δύο πανομοιότυπα τρανζίστορ λειτουργούν σε μία συγκεκριμένη κατάσταση, η διαφορά δυναμικού βάσης-εκπομπού είναι ανάλογη με την απόλυτη θερμοκρασία.

Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των αισθητηρίων είναι:

- Αρκετά γραμμική έξοδο,
- Το εύρος θερμοκρασίας που μπορούν να μετρήσουν είναι από -40°C έως 120°C ,
- Έχουν καλή ακρίβεια,
- Μπορούν να συνδεθούν εύκολα με άλλες ηλεκτρονικές συσκευές όπως ενισχυτές, μικροελεγκτές κ.λ.π
- Είναι ιδανικοί για την χρήση τους σε ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems),
- Τα ηλεκτρικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά μεταβάλλονται δύσκολα.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



Εικόνα 3.3: Η δίοδος ως αισθητήριο θερμοκρασίας

[10] Στην εφαρμογή μας το αισθητήριο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της θερμοκρασίας είναι ο ευρέως διαδεδομένος LM35 και συγκεκριμένα μία αδιάβροχη παραλλαγή του. Πρόκειται για ένα ημιαγώγιμο αισθητήριο, που η έξοδός του είναι διαφορά δυναμικού, γραμμικά ανάλογη με την θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου. Για την χρήση του δεν απαιτείται εξωτερική παρέμβαση.

Έχει ακρίβεια $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ βαθμούς Κελσίου σε θερμοκρασία δωματίου και ακρίβεια $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$ βαθμούς Κελσίου στο εύρος από -55°C έως 150°C . Έχει μικρό συντελεστή αυτο-θέρμανσης (self-heating) στον αέρα, λιγότερο από $0,1$ βαθμό Κελσίου. Έχει μεγάλο εύρος τάσεων λειτουργίας, από 4-30 Volt και η κατανάλωση ρεύματος είναι ιδιαίτερα μικρή ($<60\mu\text{A}$).

Στις εφαρμογές όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνονται τροφοδοτικά, διαχείριση μπαταριών, εφαρμογές HVAC (High Voltage Alternate Current) και διάφορες συσκευές.



Εικόνα 3.3: Αδιάβροχη έκδοση του αισθητηρίου θερμοκρασίας LM35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

4.1 Λήψη μετρήσεων

4.1.1 Μέτρηση και conditioner υγρασίας

Το αισθητήριο της υγρασίας έχει έξοδο διαφορά δυναμικού που κυμαίνεται περίπου από 1.24V σε υγρό περιβάλλον έως 2.55V σε στεγνό περιβάλλον (οι μετρήσεις για την κάθε περίπτωση, έγιναν μέσα σε ένα ποτήρι νερό μέχρι ένα ασφαλές σημείο και στον αέρα αντίστοιχα). Επομένως:

$$0 = \alpha * 2.56 + \beta \quad (4.1)$$

$$3 = \alpha * 1.22 + \beta \quad (4.2)$$

Από την εξίσωση (4.1) έχουμε ότι $\beta = -2.56 * \alpha$ (4.3) και αντικαθιστώντας στην (4.2) προκύπτει ότι:

$$3 = 1.22 * \alpha - 2.56 * \alpha \Rightarrow 3 = -1.34 * \alpha \Rightarrow \alpha = -2.24 \quad (4.4)$$

Από την (3) και την (4) προκύπτει ότι:

$$\beta = -2.56 * (-2.24) \Rightarrow \beta = 5.73 \quad (4.5)$$

Από την στιγμή που το α είναι αρνητικός αριθμός, προκύπτει για έναν αναστρέφον ενισχυτή με κέρδος ίσο με την τιμή του α . Άρα:

$$\alpha = \frac{R_F}{R_G} \Rightarrow 2.24 = \frac{R_F}{R_G} \quad (4.6)$$

Θέτοντας $R_G = 10k$, η R_F θα πρέπει να ισούται με 22.4k. Η πιο κοντινή τιμή σε αυτή είναι η τιμή 22k της σειράς E24.

Η μεταβλητή β ισούται με το γινόμενο της τάσης αναφοράς που πρέπει να εφαρμοστεί επί το κέρδος A_V του μη αναστρέφοντος ενισχυτή. Από την στιγμή που το κέρδος του μη αναστρέφοντος ενισχυτή έχει υπολογισθεί ότι είναι 2.24, τότε:

$$\beta = 5.73 \Rightarrow V_{ref} * 2.24 = 5.73 \Rightarrow V_{ref} = 1.77V \Rightarrow$$

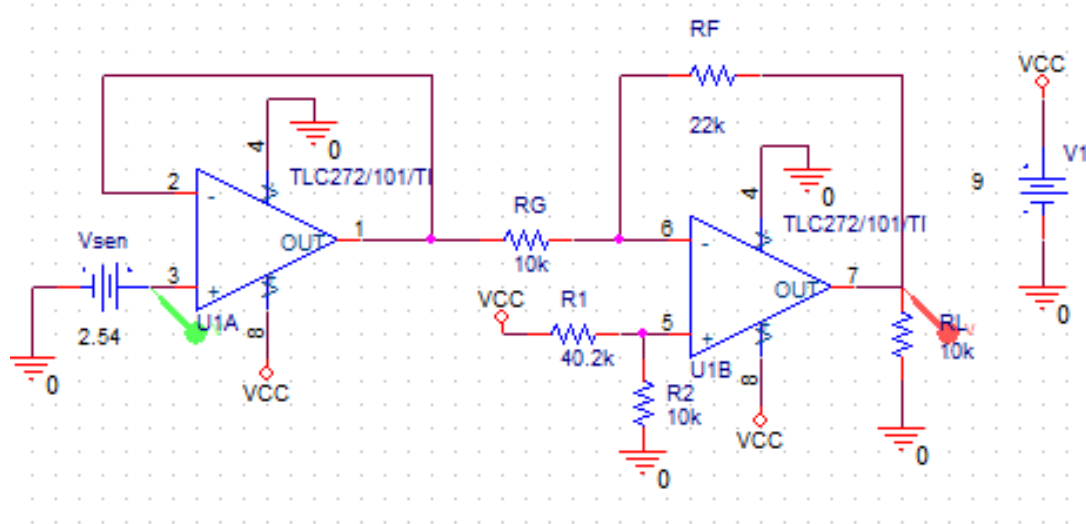
$$\Rightarrow V_{CC} * \frac{R_2}{R_1} = 1.77 \Rightarrow (\text{θέτω } R_2 = 10k)$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{90 - 17.7}{1.77} \Rightarrow R_1 = 40.84k$$

Αντί για 40.84k, χρησιμοποιώ αντίσταση τιμής 40.2k από την σειρά αντιστάσεων E48.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, χρειαζόμαστε μία βαθμίδα $Y = A * X + B$ και συγκεκριμένα την διάταξη $Y = -A * X + B$.

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



Κύκλωμα 4.1: Βαθμίδα $Y=(-A)*X+B$

Η πηγή τάσης V_{sen} προσομοιάζει την έξοδο του SEN 0193. Αυτή η τάση οδηγείται αρχικά σε έναν ακόλουθο τάσης, διότι διαφορετικά υπήρχαν προβλήματα, αν δηλαδή η έξοδος του αισθητηρίου οδηγούνταν κατευθείαν στην αντίσταση R_G . Στη συνέχεια, στον δεύτερο τελεστικό ενισχυτή του TLC272, έχουμε συνδεσμολογία διαφορικού ενισχυτή. Συγκεκριμένα:

Εφαρμόζοντας το θεώρημα της υπέρθεσης έχουμε:

A) Γειώνοντας το αριστερό άκρο της αντίστασης R_G , η τάση εξόδου του U1B ισούται με:

$$V_{o,1} = V_{CC} * \frac{R_2}{R_1 + R_2} * \left(1 + \frac{R_F}{R_G}\right) = 9 * \frac{10k}{40.2k + 10k} * \left(1 + \frac{22k}{10k}\right) \Rightarrow V_{o,1} = 5.73V$$

B) Γειώνοντας την τάση αναφοράς στο σημείο ένωσης της R_1 με την R_2 , η τάση εξόδου του U1B ισούται με:

$$V_{o,2} = V_2 * \left(-\frac{R_F}{R_G}\right) \Rightarrow V_{o,2} = V_2 * (-2.2) \quad (4.7)$$

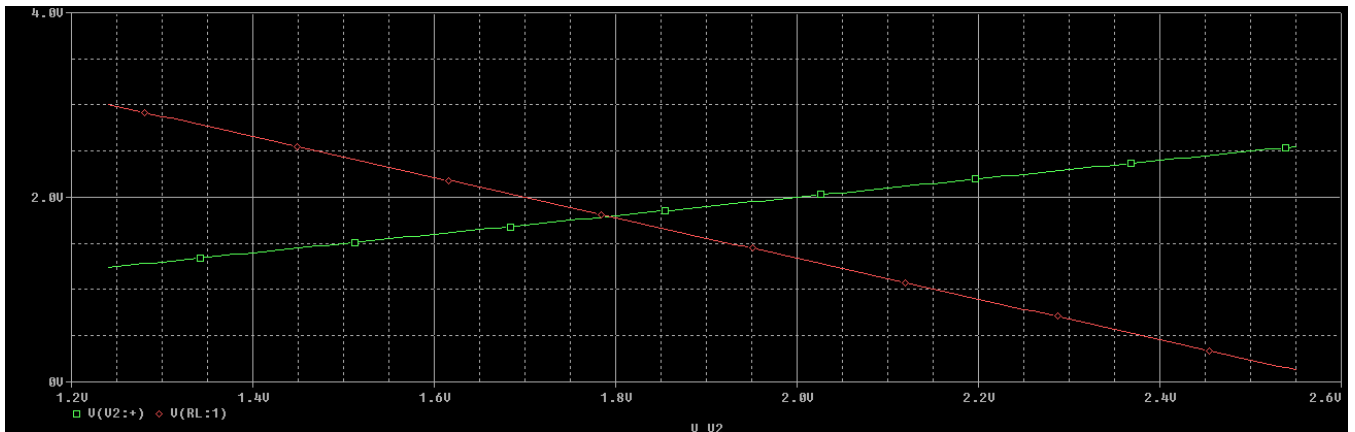
Στην περίπτωση που η υγρασία είναι στο μέγιστο, η τάση εισόδου της βαθμίδας $Y=A*X+B$ ισούται με $V_{sen}=1.22V$ και επομένως η τάση $V_{o,2} = -2.684V$. Από το θεώρημα της υπέρθεσης προκύπτει ότι:

$$V_o = V_{o,1} + V_{o,2} = 5.73 - 2.684 \Rightarrow V_o = 3.046$$

Αντίστοιχα, στην περίπτωση που η υγρασία έχει την ελάχιστη τιμή της, η τάση εισόδου της βαθμίδας $Y=A*X+B$ ισούται με $V_{sen}=2.55V$ και επομένως η τάση $V_{o,2} = 5.61V$. Από το θεώρημα της υπέρθεσης προκύπτει ότι:

$$V_o = V_{o,1} + V_{o,2} = 5.73 - 5.61 \Rightarrow V_o = 0.12V$$

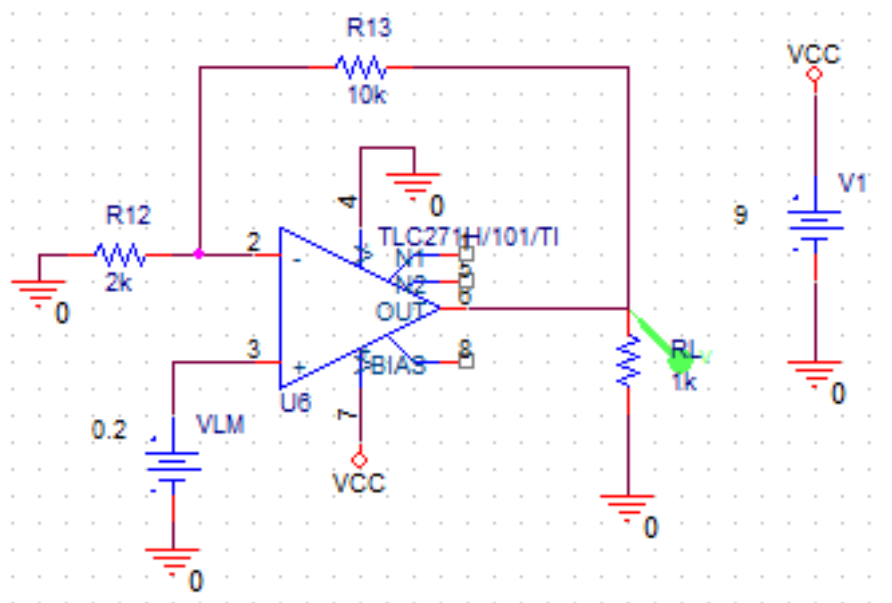
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



Γράφημα 4.1: Έξοδος της βαθμίδας $Y=A*X+B$ για το αισθητήριο υγρασίας

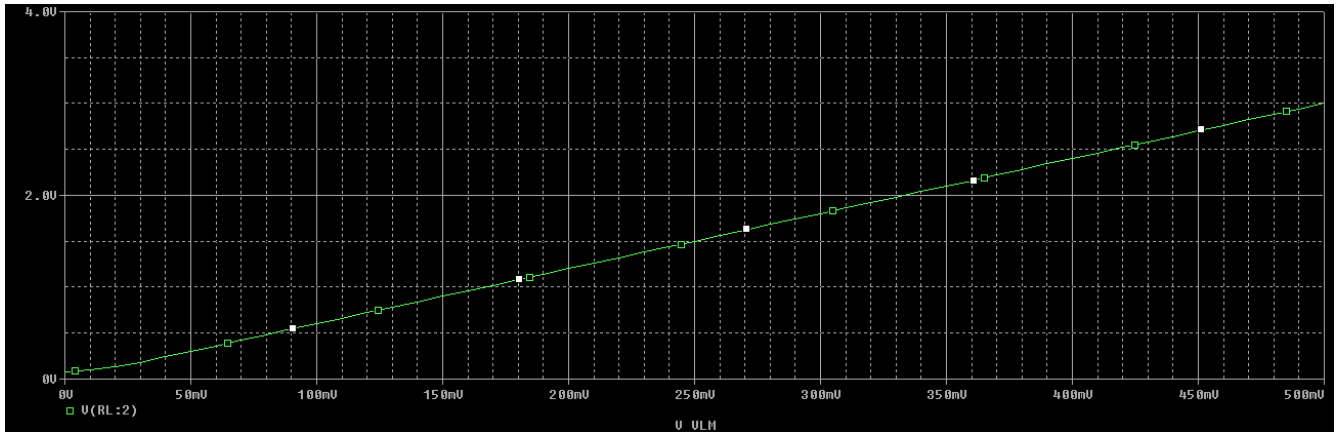
4.1.2 Μέτρηση και conditioner θερμοκρασίας

Όσο αφορά την μέτρηση της θερμοκρασίας, ακολουθούμε την ίδια τακτική. Το αισθητήριο LM35 έχει μία έξοδο της τάξης των $10\text{mV}/^\circ\text{C}$. Επομένως για το εύρος $0^\circ\text{C}-50^\circ\text{C}$ που μας ενδιαφέρει να μετρήσουμε περιμένουμε μία έξοδο από $0-500\text{mV}$. Για λόγους απλότητας στον σχεδιασμό της επόμενης βαθμίδας, ενισχύω την τάση εξόδου του LM35 έτσι ώστε να κυμαίνεται από $0-3\text{V}$. Εδώ η επεξεργασία είναι πιο εύκολη. Με έναν μη αναστρέφων ενισχυτή με κέρδος τάσης $A_v=6$ μπορούμε να έχουμε την επιθυμητή έξοδο.



Κύκλωμα 4.2: Μετατροπή τάσης εξόδου LM35 από $0-500\text{mV}$ σε $0-3\text{V}$

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



Γράφημα 4.2: Έξοδος ενισχυτή τάσης εξόδου του LM35

4.2 Ενσύρματη μεταφορά δεδομένων

Ο πιο απλός τρόπος για την μεταφορά δεδομένων είναι απλά η σύνδεση αγωγών στην έξοδο των διατάξεων. Σε βιομηχανικό όμως περιβάλλον, όπου οι ηλεκτρικοί θόρυβοι είναι πολλοί μπορούν να αλλοιώσουν το σήμα σε μεγάλο και βαθμό και να χαθεί η πληροφορία. Επίσης, η μεταφορά πληροφορίας υπό μορφή τάσης είναι δυνατή μόνο σε κοντινές αποστάσεις. Μετά από ένα σημείο, η αντίσταση των αγωγών είναι πλέον υψηλή και το σήμα αλλοιώνεται.

[11] Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η χρήση οπτικής ίνας. Τα δεδομένα που θέλουμε να μεταφέρουμε, μπορούν μέσω κατάλληλων διατάξεων οπτοηλεκτρονικών να μετατραπούν σε φως. Το φως δεν επηρεάζεται από τους ηλεκτρικούς θορύβους και άρα η μεταφορά των δεδομένων γίνεται χωρίς πρόβλημα. Το μεινέκτημα όμως αυτής της λύσης είναι το υψηλό κόστος. Οι οπτικές ίνες για την μεταφορά των σημάτων αλλά και οι μετατροπείς που θα αλλάξουν το ηλεκτρικό σήμα σε φως και τούμπαλιν έχουν υψηλό κόστος.

Μία φιλικότερη λύση είναι ο πομπός ρεύματος 4-20mA. Μία τέτοια διάταξη δέχεται το σήμα τάσης στην είσοδο της και με κατάλληλη επεξεργασία την μετατρέπει σε ρεύμα και την μεταφέρει μέσω απλών αλλά κατάλληλων καλωδίων. Το ρεύμα, όπως και το φως, δεν επηρεάζεται από ηλεκτρικούς θορύβους. Ο μόνος περιορισμός είναι η αντίσταση του καλωδίου, καθώς μετά από ένα κρίσιμο σημείο, η αντίσταση πλέον είναι υψηλή και πηγή ρεύματος δεν μπορεί να τροφοδοτήσει το "φορτίο". Με την χρήση όμως καλωδίου με μικρή αντίσταση και τον κατάλληλο ηλεκτρονικό σχεδιασμό του πομπού το πρόβλημα εξαφανίζεται.

4.2.1 Μετατροπή από τάση σε ρεύμα

Από την στιγμή που και η μέτρηση της υγρασίας και η μέτρηση της θερμοκρασίας κυμαίνονται από 0-3V χρειαζόμαστε δύο φορές την ίδια βαθμίδα.

Στην έξοδο θέλουμε να έχουμε ρεύμα έντασης από 4mA για μηδενική τάση εισόδου και 20mA για την μέγιστη τάση εισόδου. Από την στιγμή που ο λόγος $\frac{I_{Lmax}}{I_{Lmin}}=5$, τότε και ο λόγος $\frac{V(+)_max}{V(+)_min}$ των τάσεων στο ποδαράκι 3 του TLC272 πρέπει να ισούται με 5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Θέτω $V(-)_{\min}=0.45V$

Όταν $V_{in}=0V$

$$V(+)_{\min}=9*\frac{R2//R3}{R1+(R2//R3)}\Rightarrow\frac{R2//R3}{R1+(R2//R3)}=0.05 \quad (4.8)$$

Όταν $V_{in}=3V$ θα πρέπει $V(+)_{\max}=2.25V$

$$V(+)_{\max}=0.45+3*\frac{R1//R3}{R2+(R1//R3)}\Rightarrow\frac{R1//R3}{R2+(R1//R3)}=0.6 \quad (4.9)$$

$$R2//R3=\frac{R2*R3}{R2+R3}=\frac{10R2}{10+R2} \quad (4.10)$$

και

$$R1//R3=\frac{R1*R3}{R1+R3}=\frac{10R1}{10+R1} \quad (4.11)$$

Από τις εξισώσεις (4.10) και (4.8) έχουμε:

$$\frac{10*R2}{10+R2}=0.05*R1+0.05(R2//R3)\Rightarrow\frac{10*R2}{10+R2}=0.05R1+\frac{0.5*R2}{10+R2}\Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0.05*R1=\frac{9.5*R2}{10+R2}\Rightarrow R1=\frac{9.5*R2}{0.5+0.05*R2} \quad (4.12)$$

Από τις εξισώσεις (4.11) και (4.9) έχουμε:

$$\frac{10*R1}{10+R1}=0.6*R2+0.6(R1//R3)\Rightarrow\frac{10*R1}{10+R1}=0.6*R2+\frac{6*R1}{10+R1}\Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0.6*R2=\frac{4*R1}{10+R1}\Rightarrow 6*R2+0.6*R1*R2=4*R1\Rightarrow (\text{αντικαθιστούμε } R1)$$

$$\Rightarrow 6*R2+\frac{0.6*R2*9.5*R2}{0.5+0.05*R2}=\frac{4*9.5*R2}{0.5+0.05*R2}\Rightarrow 3*R2+0.3*R2^2+5.7R2^2=38*R2\Rightarrow$$

$$\Rightarrow 6*R2^2-35*R2=0\Rightarrow R2*(6*R2-35)=0$$

$R2=0$ απορρίπτεται,

$R2=5.833k\Omega$ και αντικαθιστώντας στην (4.12) $R1=69.99k\Omega$.

Από την σειρά αντιστάσεων E24, επιλέγουμε $R1=68k\Omega$ και $R2=5.6k\Omega$.

Στον κλάδο που περιλαμβάνει την αντίσταση $R4$ πρέπει να ρέει ρεύμα με ένταση 10 φορές μικρότερο από αυτό του ρεύματος εξόδου. Στην περίπτωση όπου το ρεύμα εξόδου είναι $4mA$, τότε το ρεύμα που διαρρέει την $R4$ πρέπει να είναι έντασης $0.4mA$ και από την στιγμή που $V_{R4}=V(-)=V(+)$ λόγω φαινομενικού βραχυκυκλώματος έχουμε:

$$R4=\frac{VR4}{IR4}=\frac{0.45}{0.04mA}=11.25k\Omega$$

Λόγω σειράς E24 χρησιμοποιώ τιμή αντίστασης $11k\Omega$.

Το τρανζίστορ 2N3904 είναι σε κατάσταση αγωγής επομένως μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση $R6$ είναι ίδιο με αυτό της $R4$.

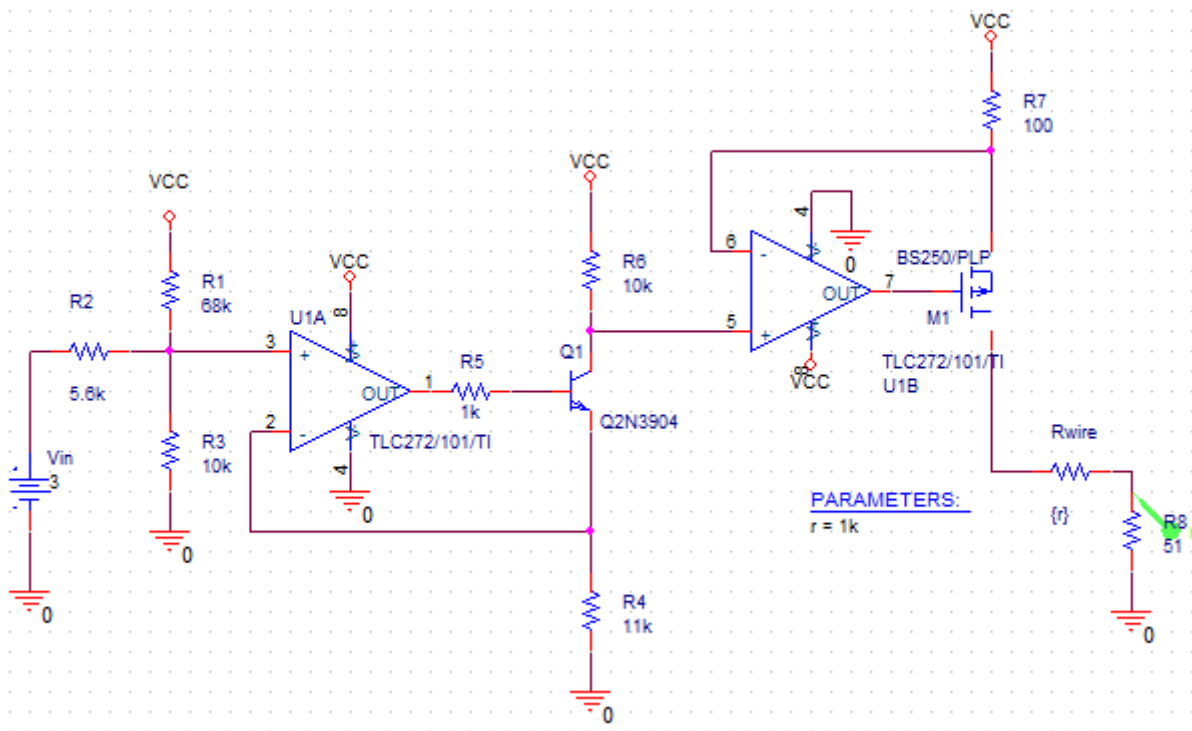
ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Χρησιμοποιώντας μια αντίσταση $R7=100\Omega$ μεταξύ τροφοδοσίας και πηγής του MOSFET υπολογίζουμε ότι:

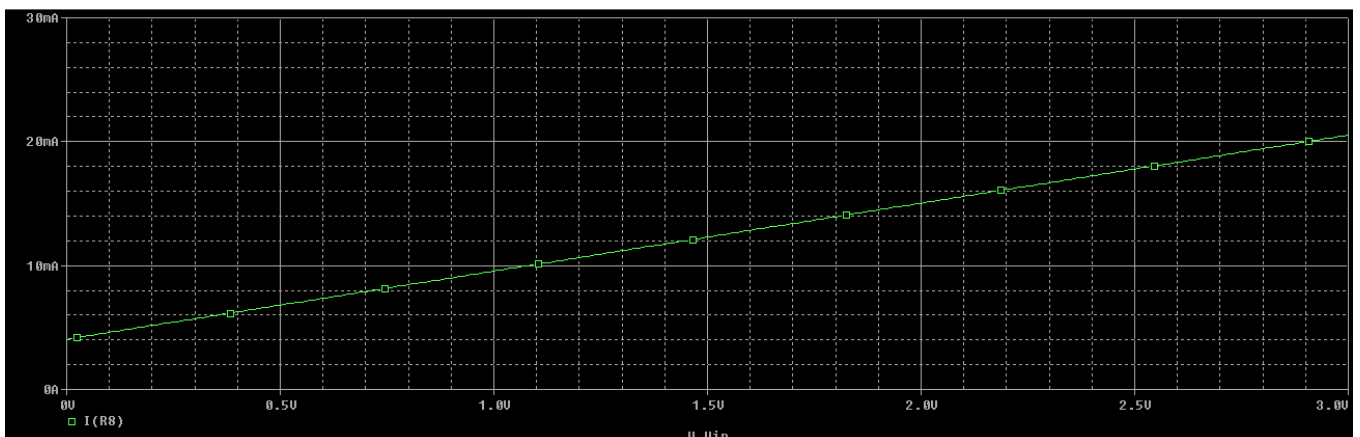
$$V_{(-)U1B}=9-(100 \cdot 4m)=8.6V$$

Επομένως:

$$R6 = \frac{V_c - V(i)U1B}{IR4} = \frac{9 - 8.6}{0.04m} \Rightarrow R6 = 10k\Omega.$$

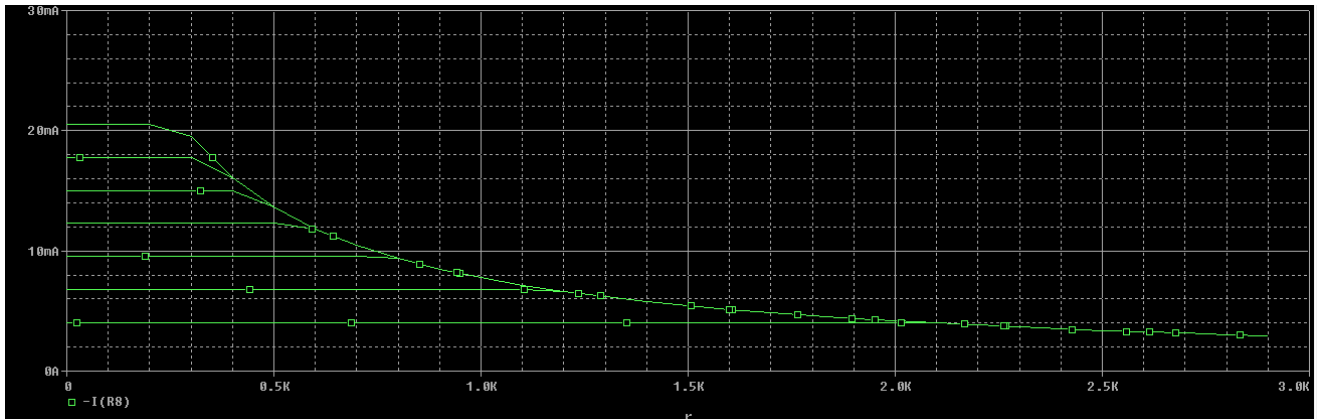


Κύκλωμα 4.3: Κύκλωμα πομπού ρεύματος 4-20mA



Γράφημα 4.3: Έξοδος πηγής ρεύματος συναρτήσει της τάσης εισόδου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



Γράφημα 4.4: Έξοδος πηγής ρεύματος συναρτήσει της αντίστασης φορτίου

Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται η κρίσιμη τιμή της αντίστασης φορτίου, όπου το ρεύμα της βαθμίδας 4-20mA "γωνατίζει". Για την μέγιστη τιμή των 20mA η μέγιστη τιμή της αντίστασης φορτίου είναι περίπου στα 251Ohm (200Ohm αντίσταση καλωδίου και 51Ohm στην είσοδο της επόμενης βαθμίδας) ενώ για την ελάχιστη τιμή των 4mA το μέγιστο φορτίο ισούται με κάτι παραπάνω από 2kOhm.

4.2.2 Μετατροπή από ρεύμα σε τάση

Τα δεδομένα που λήφθηκαν από τα αισθητήρια, αφού μεταφερθούν στο σημείο που θέλουμε πρέπει να τα μετατρέψουμε ξανά σε τάση. Στην περίπτωση μας θέλουμε να τα μετατρέψουμε ξανά στην τάση που είχαν πριν την είσοδό τους στην πηγή ρεύματος, δηλαδή σε 0-3V. Για να γίνει αυτό, χρησιμοποιώ μία αντίσταση R8 τιμής 51Ohm οπότε το σήμα και των δύο μετρήσεων κυμαίνεται από 204mV-1020mV. Για να μετατραπούν και να κυμαίνονται από 0-3V αρκεί να υπολογιστεί και να σχεδιαστεί μία κατάλληλη βαθμίδα $Y=A*X+B$.

$$0=0.204\alpha+\beta \Rightarrow \beta = -0.204\alpha$$

$$3=1.02\alpha+\beta \Rightarrow 3=1.02\alpha-0.204\alpha \Rightarrow \alpha=3.67$$

Το α αντιπροσωπεύει το κέρδος του ενισχυτή και αφού είναι θετικό πρόκειται για μη αναστρέφον ενισχυτή. Άρα:

$$\alpha = 1 + \frac{R_F}{R_G} \Rightarrow \frac{R_F}{R_G} = 2.67$$

Θέτοντας $R_G=10k\Omega$ προκύπτει ότι $R_F=27.5k\Omega$. Άρα συνδέουμε σε σειρά δύο αντιστάσεις τιμών 20kOhm και 7.5kOhm.

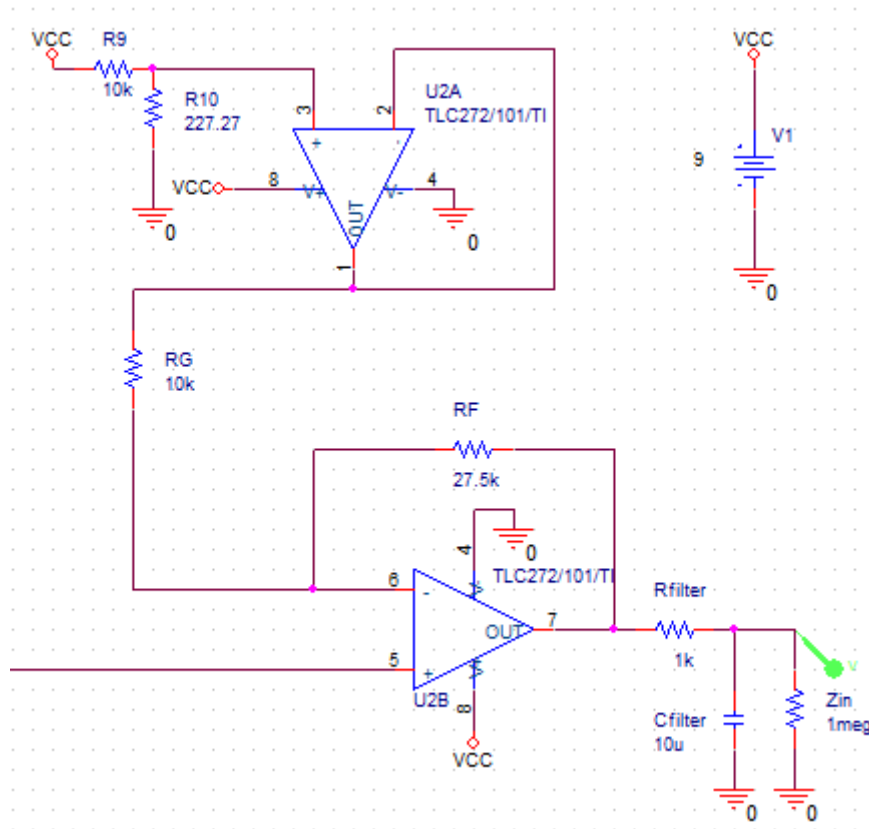
$$\beta = -0.204 * 2.67 \Rightarrow \beta = -0.54$$

$$\beta = V_{ref} * (-2.67) \Rightarrow V_{ref} = \frac{0.54}{2.67} \Rightarrow V_{ref} = 0.2V$$

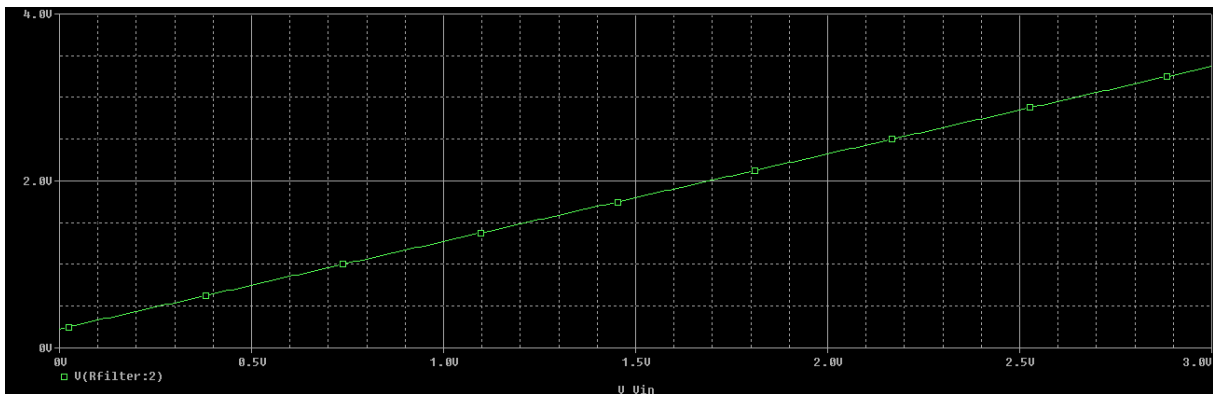
Θέτω την αντίσταση $R_9=10k\Omega$ και επομένως:

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

$$\beta = \frac{V_{CC} \cdot R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow \beta \cdot R_1 + \beta \cdot R_2 = V_{CC} \cdot R_2 \Rightarrow R_2 = \frac{\beta \cdot R_1}{V_{CC} - \beta} = 227.27 \Omega$$



Κύκλωμα 4.4: Κύκλωμα μετατροπής από 4-20mA σε 0-3V



Γράφημα 4.5: Έξοδος κυκλώματος μετατροπής από 4-20mA σε 0-3V

4.3 Φίλτρο αντιπαρεμβολής σημάτων

Μετά την μετατροπή των σημάτων από ρεύμα σε τάση και πριν την ψηφιοποίησή τους πρέπει να φιλταριστούν. Ο θόρυβος του περιβάλλοντος αλλά κυρίως οι διακυμάνσεις του δικτύου ενδέχεται να επηρεάσουν τα σήματα να παραποιηθεί το σήμα εξόδου. Για αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούνται δύο χαμηλοπερατά φίλτρα, ένα για το κάθε σήμα, ώστε να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο. Τα φίλτρα αποτελούνται από μία αντίσταση και έναν πυκνωτή συνδεδεμένα σε σειρά και η έξοδος λαμβάνεται

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

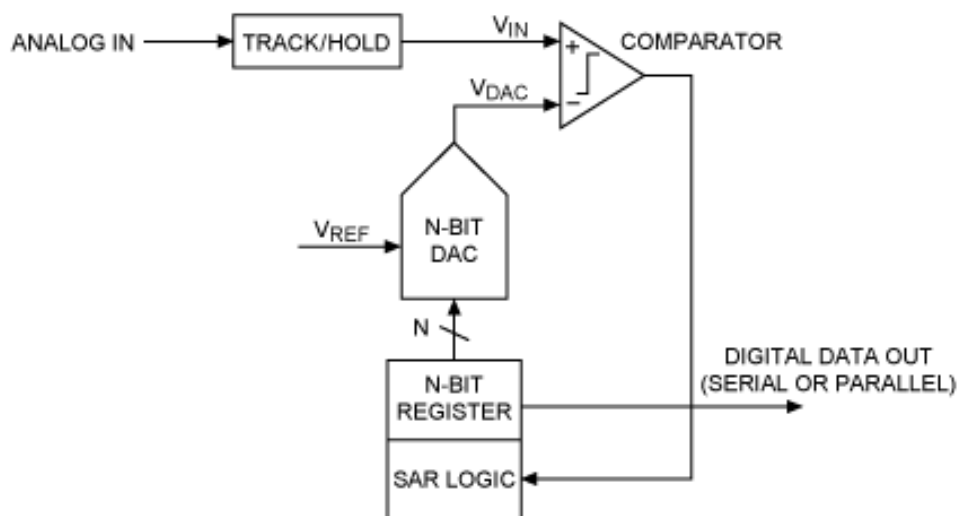
από το σημείο επαφής των δύο εξαρτημάτων. Χρησιμοποιώντας την σχέση $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ και με τιμές $R=1k\Omega$ και $C=10\mu F$ η συχνότητα αποκοπής ισούται με $f_c=15.9\text{Hz}$. Από την στιγμή που το δίκτυο της Ελλάδας βρίσκεται στα 50Hz, το φίλτρο είναι ικανοποιητικό.

4.4 Μετατροπή δεδομένων από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα

Το κύκλωμα του conditioner που προηγείται του μικροελεγκτή, επεξεργάζεται αναλογικά σήματα. Αυτά τα σήματα όμως, για να επεξεργαστούν από τον μικροελεγκτή χρειάζεται πρώτα να μετατραπούν σε ψηφιακό σήμα. Αυτή την δουλειά αναλαμβάνει ο ένας από τους δύο μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακού σήματος τεχνολογίας διαδοχικών προσεγγίσεων (Successive Approximation Analog to Digital Converter, SAR ADC).

[11] Οι μετατροπείς από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα που χρησιμοποιούν την μέθοδο των διαδοχικών προσεγγίσεων (Successive Approximation Analog to Digital Converter) συναντώνται με διακριτική ικανότητα από 8-16 bits. Ο χρόνος μετατροπής τους ποικίλει από 100μs μέχρι 1μs και είναι κατάλληλοι και για σειριακή και για παράλληλη έξοδο. Έχουν χαμηλό παράγοντα φόρμας (form factor), μικρή κατανάλωση ισχύος, χαρακτηριστικό που καθιστά αυτή την κατηγορία ιδανική για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες και έχουν υψηλή διακριτική ικανότητα και ανάλυση. Αυτά τα χαρακτηριστικά δίκαια κάνουν τους SAR ADC την πιο δημοφιλή κατηγορία μετατροπέων γενικής χρήσης. Τυπικά αποτελούνται από τέσσερα κύρια υποκυκλώματα[12]:

- ένα κύκλωμα δειγματοληψίας και συγκράτησης (sample and hold, S/H) όπου οδηγείται η τάση εισόδου, δηλαδή η τάση που θέλουμε να ψηφιοποιήσουμε,
- από έναν συγκριτή τάσης, ο οποίος δέχεται την τάση εισόδου, την συγκρίνει με την τάση που παράγει ένας εσωτερικός DAC (Digital to Analog Converter) και δίνει το αποτέλεσμα στον καταχωρητή διαδοχικών προσεγγίσεων (Successive-Approximation Register – SAR),
- έναν καταχωρητή διαδοχικών προσεγγίσεων σχεδιασμένο να παρέχει έναν προσεγγιστικό δυαδικό κώδικα της τάσης εισόδου στον DAC
- από έναν DAC ο οποίος παρέχει στον συγκριτή τάσης, μία αναλογική τάση που αντιστοιχεί στον δυαδικό κώδικα της εξόδου του SARin.

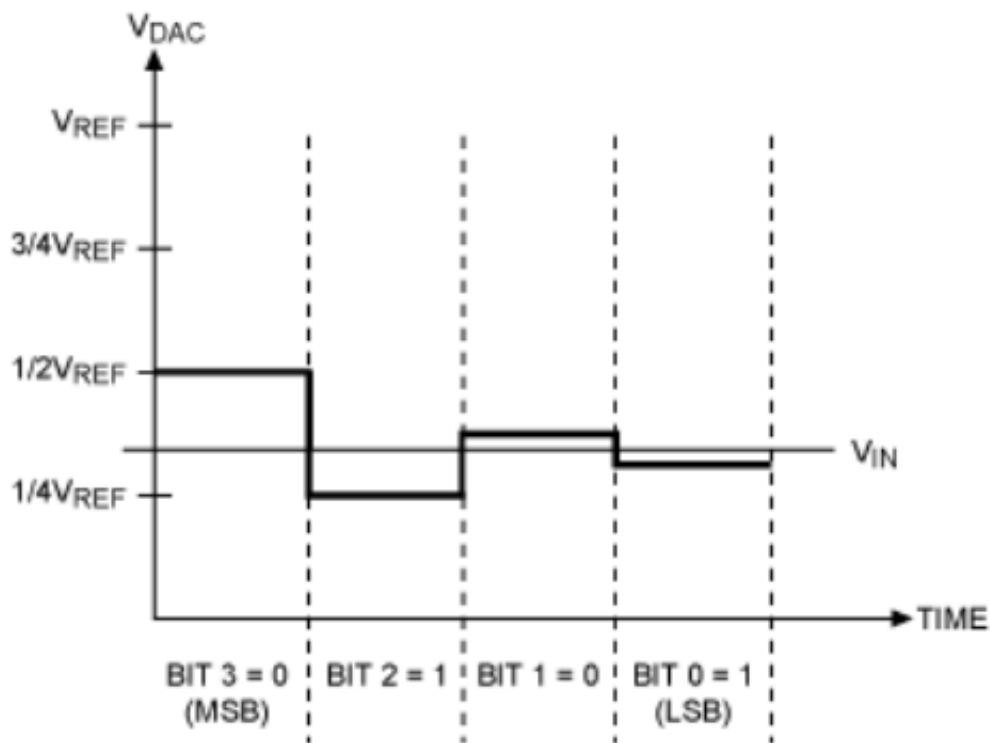


Διάγραμμα 4.1: Μπλοκ διάγραμμα ενός SAR ADC

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Η λειτουργία τους έχει ως εξής:

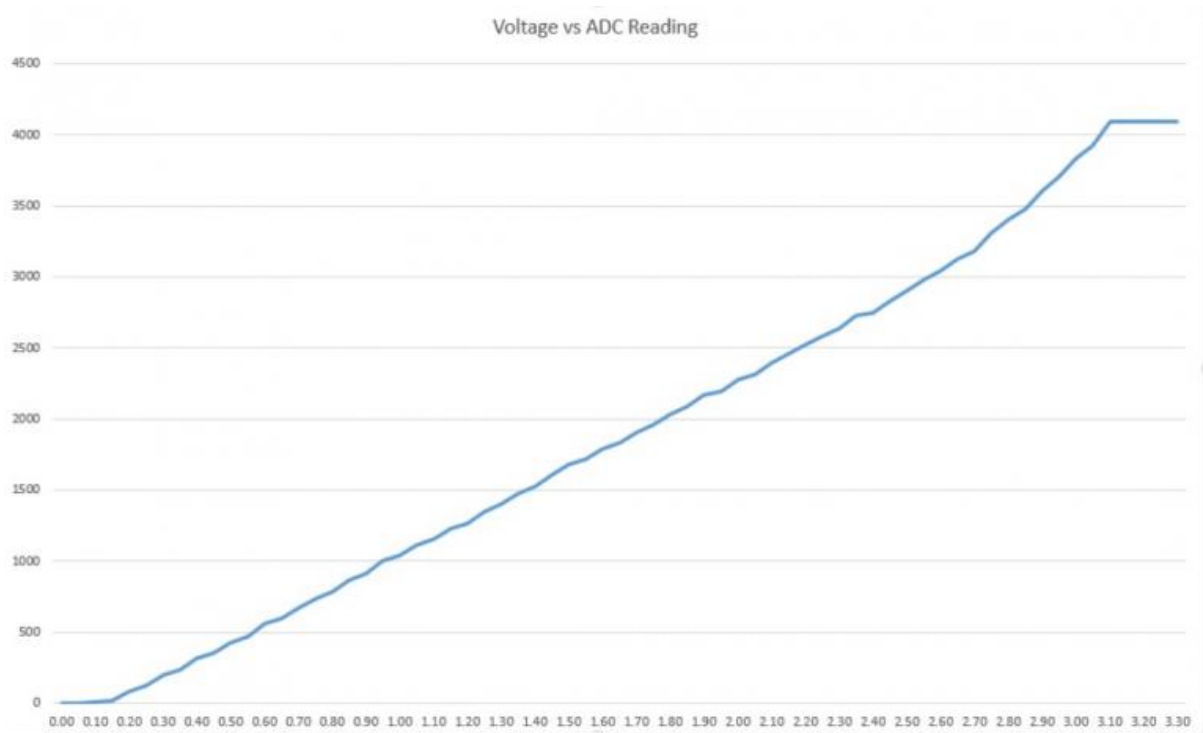
[13] Η αναλογική τάση εισόδου V_{in} που θέλουμε να ψηφιοποιήσουμε οδηγείται σε ένα κύκλωμα δειγματοληψίας και συγκράτησης. Το MSB του δυαδικού κώδικα ορίζεται σε κατάσταση high και όλα τα υπόλοιπα bit σε κατάσταση low. Αυτός ο κώδικας είναι η τάση εξόδου του DAC (V_{DAC}) και έχει τιμή ίση με το μισό της V_{ref} που παρέχεται στον ADC. Η τάση εισόδου V_{in} συγκρίνεται με την V_{DAC} . Αν είναι μεγαλύτερη ο συγκριτής έχει έξοδο 1 ενώ αν είναι μικρότερη ο συγκριτής έχει έξοδο 0. Αυτή η έξοδος καταχωρείται στο MSB και συνεχίζει με τον ίδιο τρόπο μέχρι και το LSB όπου δημιουργείται και ο τελικός δυαδικός κώδικας.



Γράφημα 4.6: Κυματομορφή ενός SAR ADC

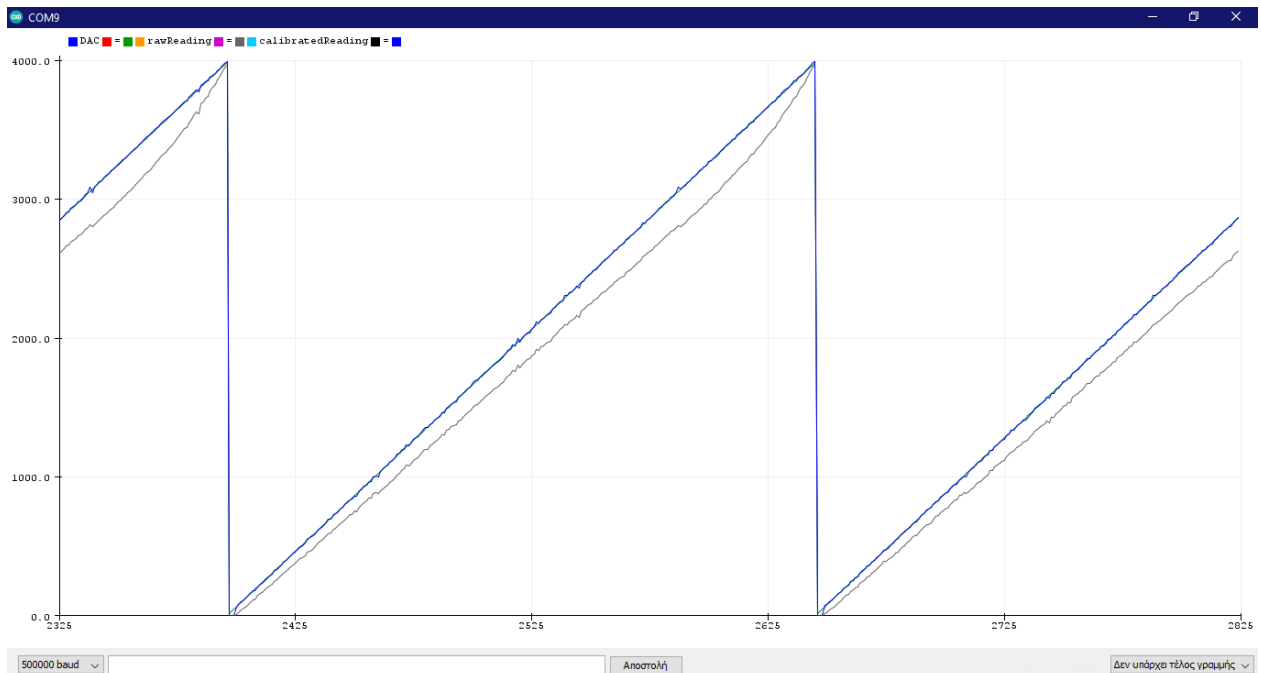
Ένα σημαντικό πρόβλημα του εσωτερικού μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα, είναι μη γραμμικότητά του. Αυτό γίνεται αντιληπτό από το γράφημα 4.7 (δείτε παρακάτω). Η μέγιστη τάση τροφοδοσίας του μικροελεγκτή είναι τα 3.3V. Επομένως αυτή πρέπει να είναι και η μέγιστη τιμή (καλό θα ήταν να είναι ελαβρώς μικρότερη για μεγαλύτερη ασφάλεια) οποιουδήποτε σήματος θέλουμε να οδηγήσουμε σε κάποια από τις εισόδους του. Βλέπουμε ότι παρουσιάζει μία καμπύλη προς τα κάτω, πράγμα που σημαίνει ότι αν κάποια αναλογική τιμή μετά την δειγματοληψία της ανήκει σε αυτή την περιοχή, πολύ πιθανό να λάβει ψηφιακή τιμή που να αναπροκρίνεται σε μικρότερη αναλογική τιμή από αυτή που έχει στην πραγματικότητα. Επίσης στις οριακές τιμές, κοντά στο 0 και κοντά στο 4095, αφού ο ADC που χρησιμοποιούμε είναι 12-bit, βλέπουμε ότι η κυματομορφή είναι επίπεδη. Αυτό σημαίνει ότι τιμές κοντά στις οριακές τιμές, όπως για παράδειγμα 0.2 και 3.1, ο μικροελεγκτής θα τις μεταφράσει σε 0 και 3.3 αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



Γράφημα 4.7: Το πρόβλημα γραμμικότητας των ενσωματωμένων ADC converters του ESP32

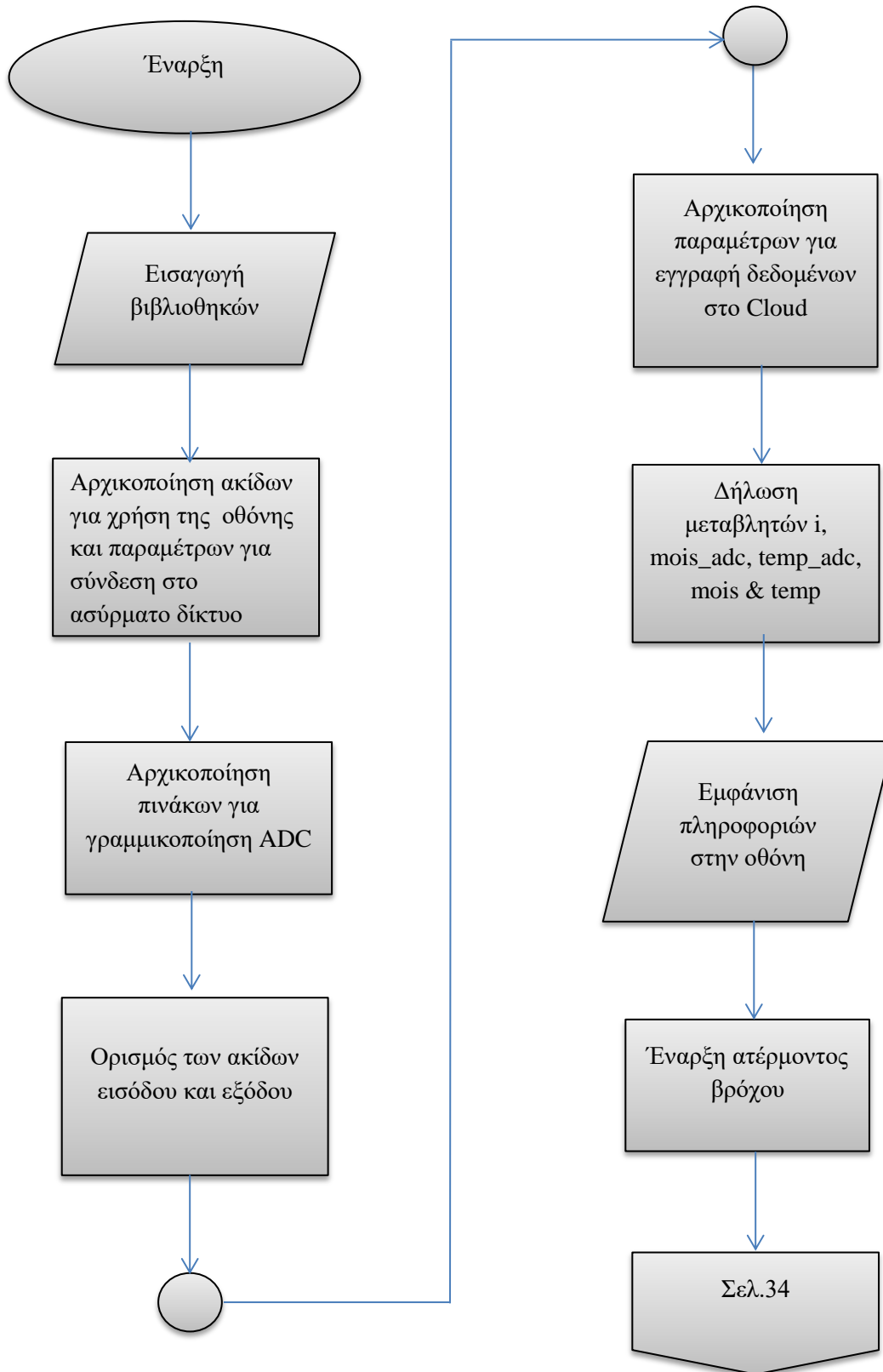
Αυτό το θέμα μπορεί να λυθεί με την χρήση Look Up Table (LUT). Συγκεκριμένα μπορούμε με την χρήση κατάλληλου λογισμικού που θα "τρέξουμε" στον μικροελεγκτή να παράξουμε έναν πίνακα με τιμές. Χρησιμοποιώντας τον πίνακα, μπορούμε να βελτιώσουμε σημαντικά την απόδοση των ADC μετατροπέων του μικροελεγκτή και να πάρουμε τιμές που ανταποκρίνονται περισσότερο στην πραγματικότητα.



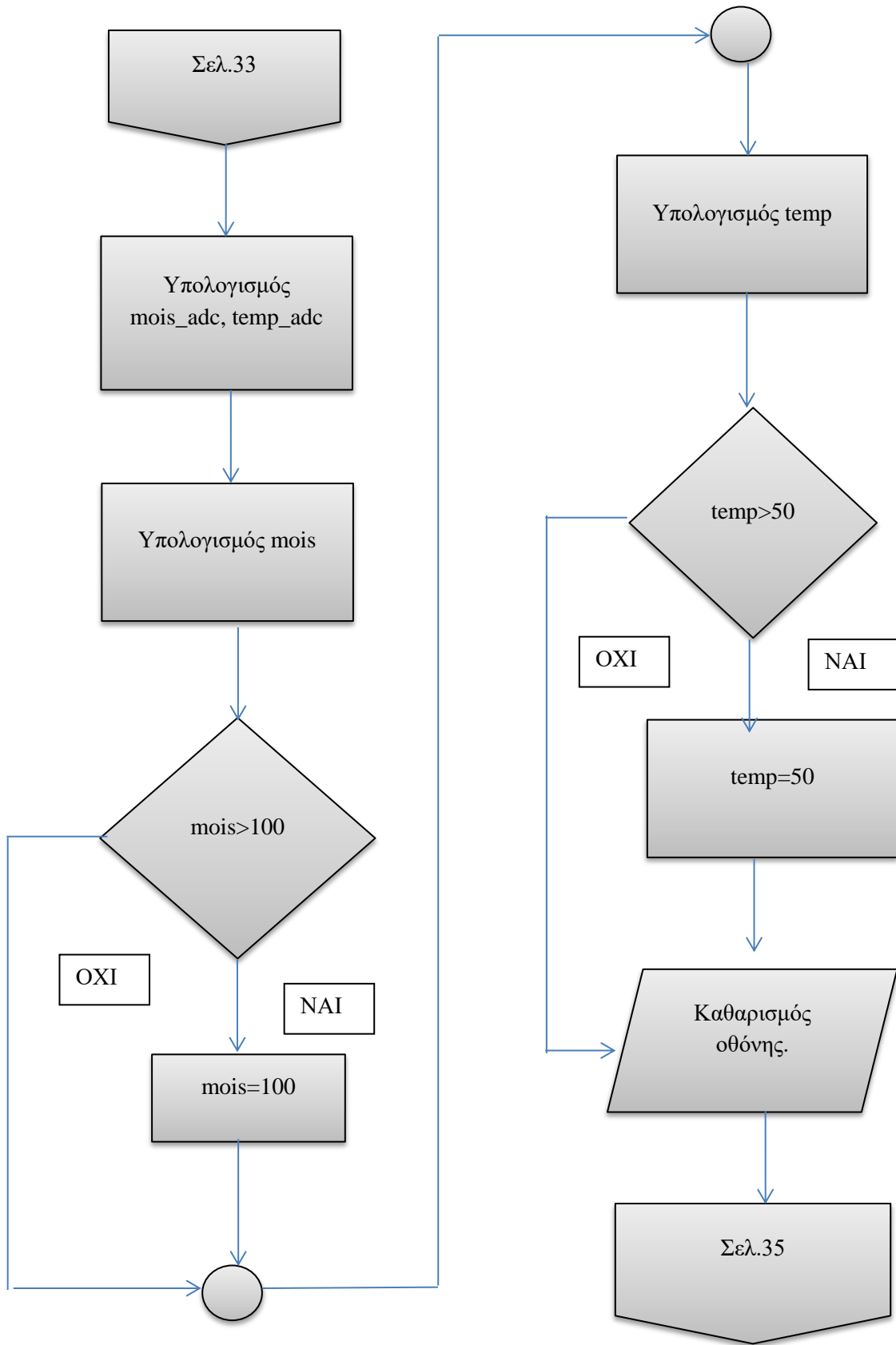
Γράφημα 4.8: Σύγκριση πραγματικής απόκρισης του ADC (γκρι) με την γραμμικοποιημένη απόκριση (μπλε)

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

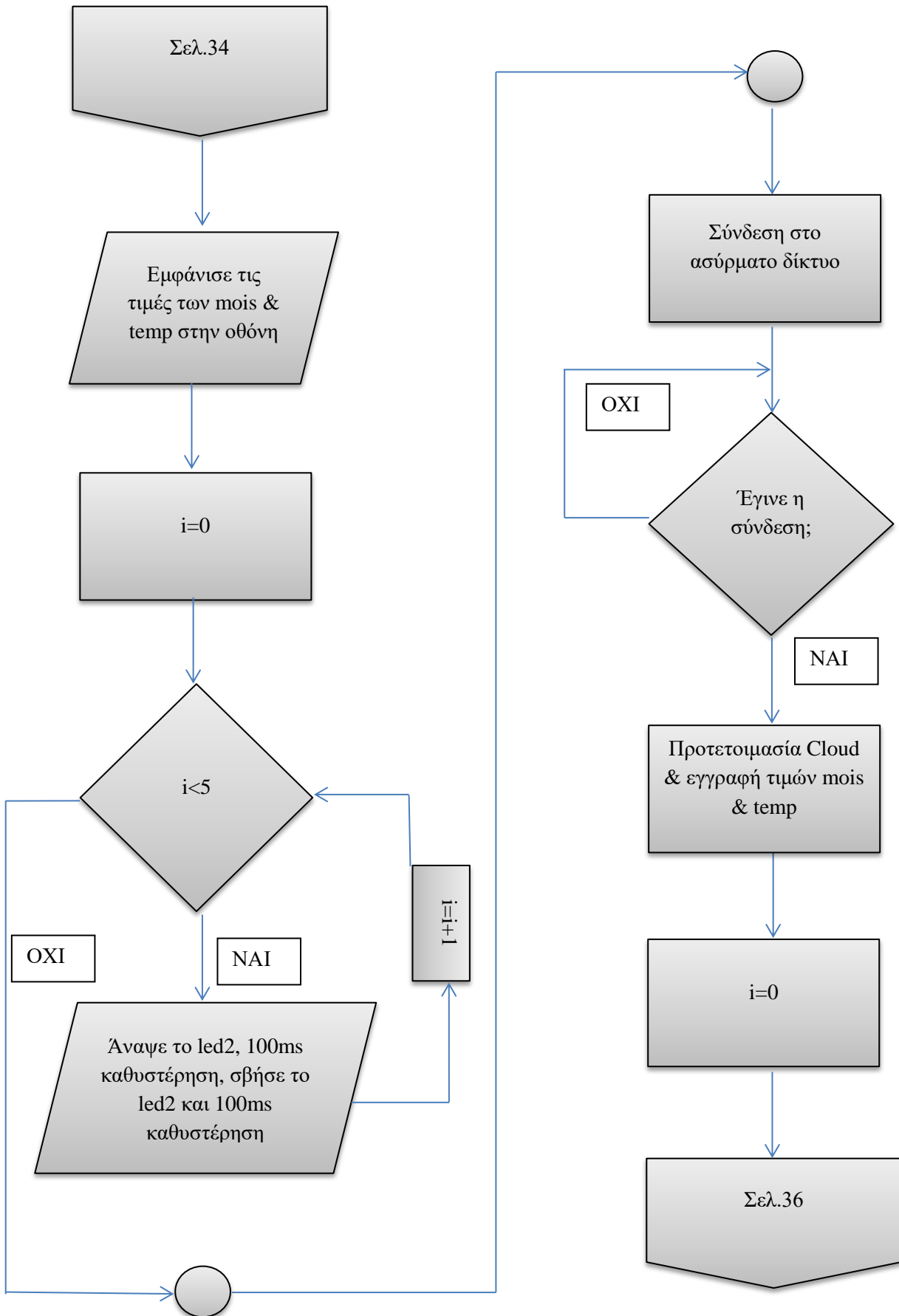
4.5 Διάγραμμα ροής κώδικα



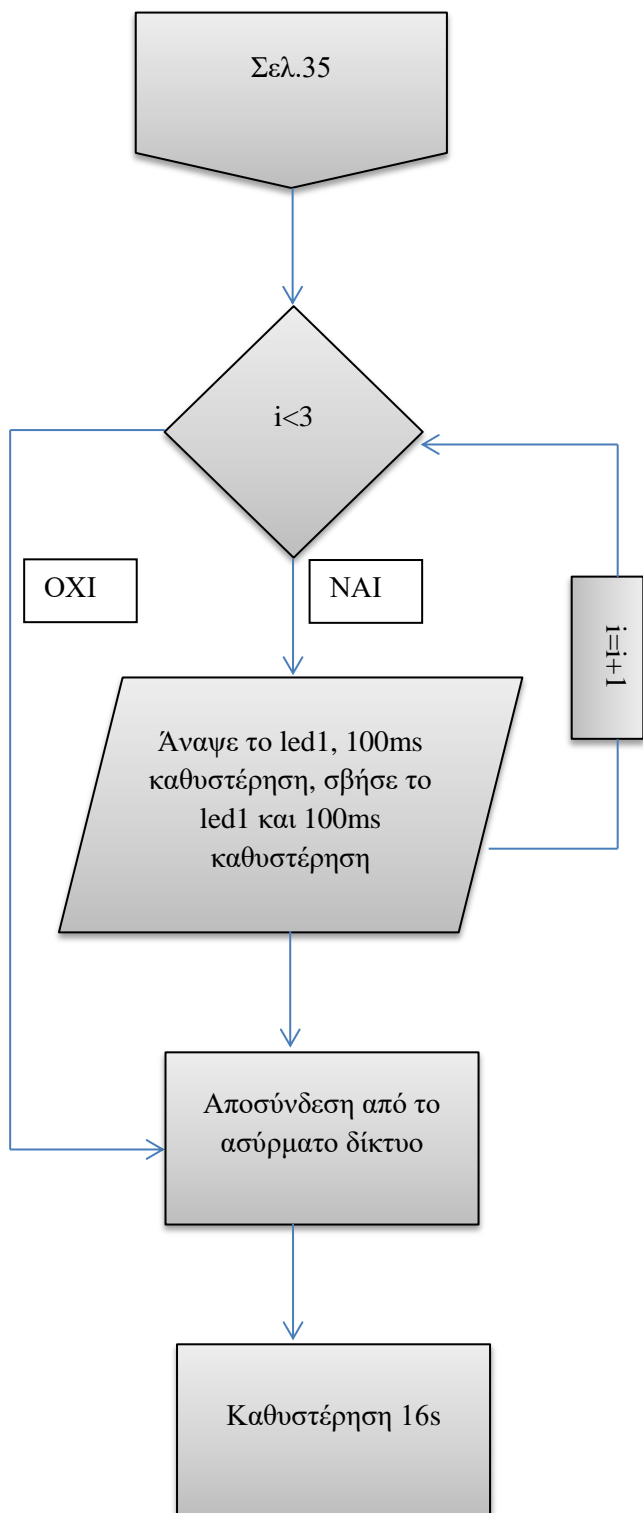
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



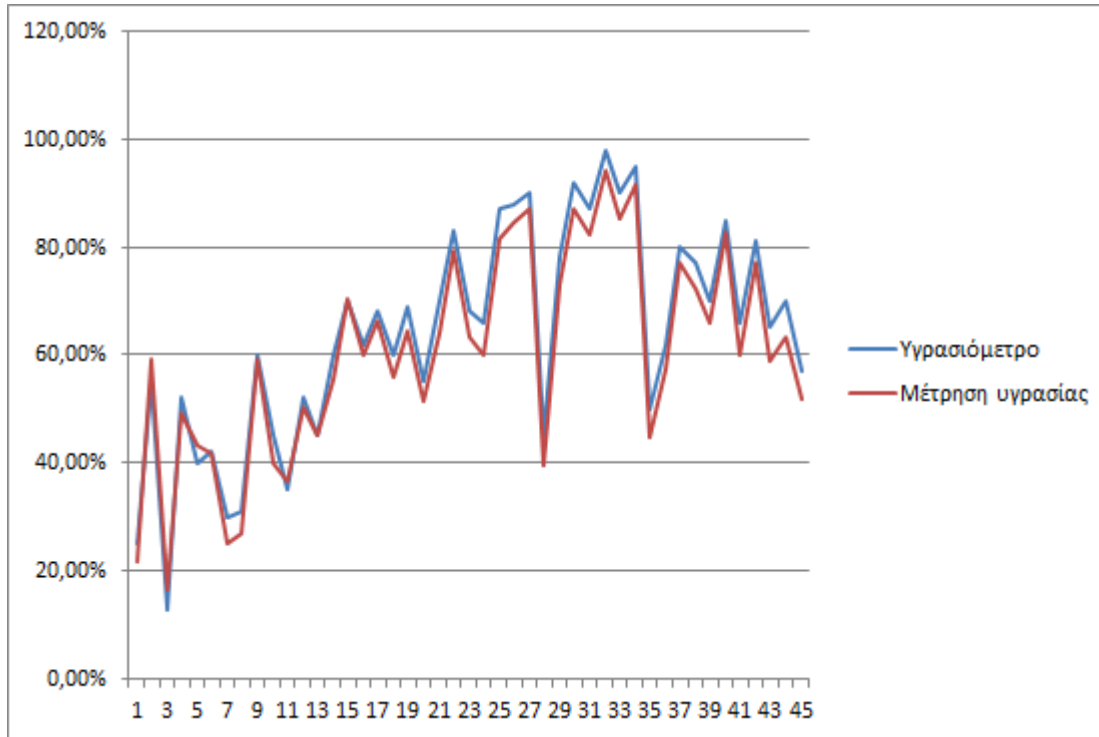
ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



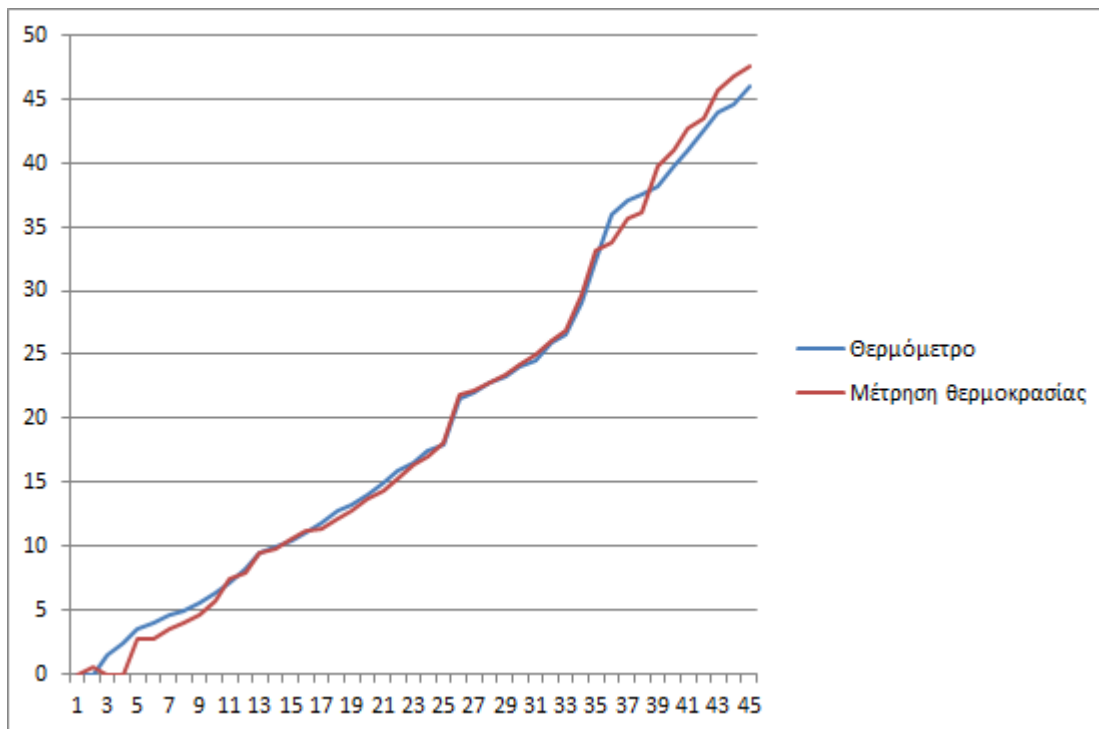
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



Γράφημα 4.9: Σύγκριση μετρήσεων υγρασίας με υγρασιόμετρο εμπορίου



Γράφημα 4.10: Σύγκριση μετρήσεων θερμοκρασίας με θερμόμετρο εμπορίου

Από το γράφημα 4.9 παρατηρούμε ότι οι μετρήσεις υγρασίας του κυκλώματος, με τις μετρήσεις ενός υγρασιόμετρου του εμπορίου, συμβαδίζουν. Στο εύρος από 40%-60% υγρασία φαίνεται ότι ταυτίζονται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Στο γράφημα 4.10 φαίνονται οι μετρήσεις θερμοκρασίας του κυκλώματος με τις μετρήσεις ενός θερμομέτρου του εμπορίου. Παρατήρουμε ότι στις χαμηλές και στις υψηλές θερμοκρασίες οι μετρήσεις των δύο οργάνων αποκλίνουν, οπότε η δεδομένη μετρητική διάταξη δεν προτείνεται για μέτρηση θερμοκρασιών στο εύρος 0-5°C και στο εύρος 35-50°C, που είναι και η μέγιστη τιμή για την οποία σχεδιάστηκε η βαθμίδα μέτρησης της θερμοκρασίας.

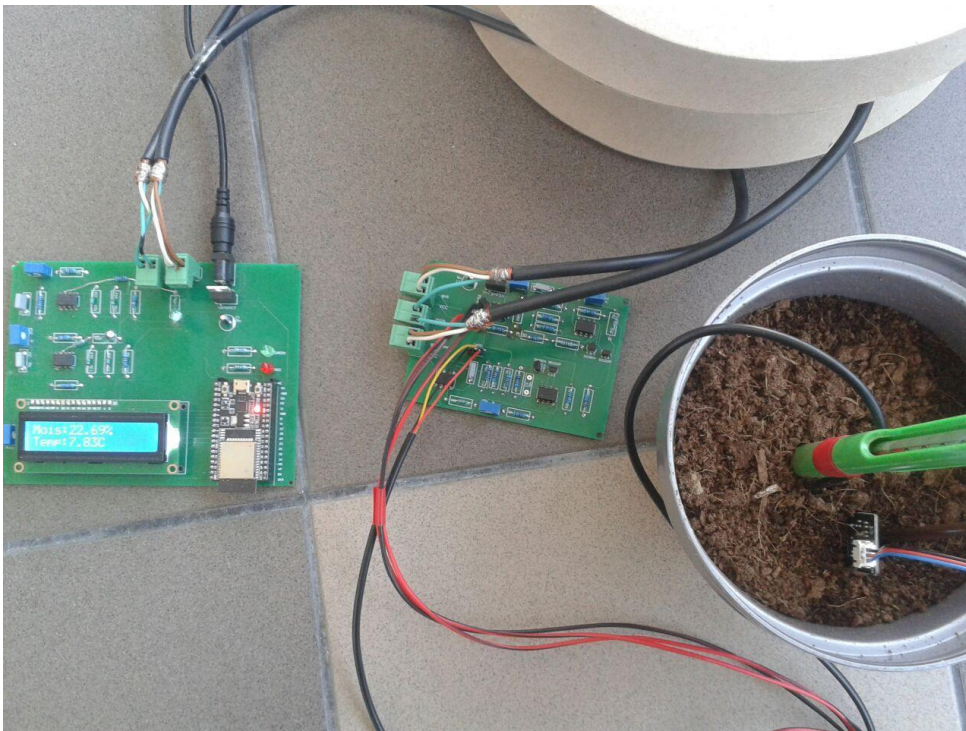
4.6 ThingSpeak™

[14] Το ThingSpeak™ είναι μία IoT πλατφόρμα που επιτρέπει στους χρήστες την απεικόνιση και την ανάλυση δεδομένων στο Cloud. Ενσωματώνοντας κώδικα MATLAB®, είναι εφικτή η online επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων από την στιγμή που έχουν ληφθεί από το ThingSpeak™. Κάποιες από τις δυνατότητες που παρέχονται είναι:

- Εύκολη διαμόρφωση των συσκευών για την αποστολή δεδομένων χρησιμοποιώντας δημοφιλή IoT πρωτόκολλα
- Απεικόνιση των ληφθέντων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο
- Ανάλυση των δεδομένων με την βοήθεια του MATLAB®
- Δημιουργία συστημάτων IoT χωρίς την ανάπτυξη web software και την χρήση server.

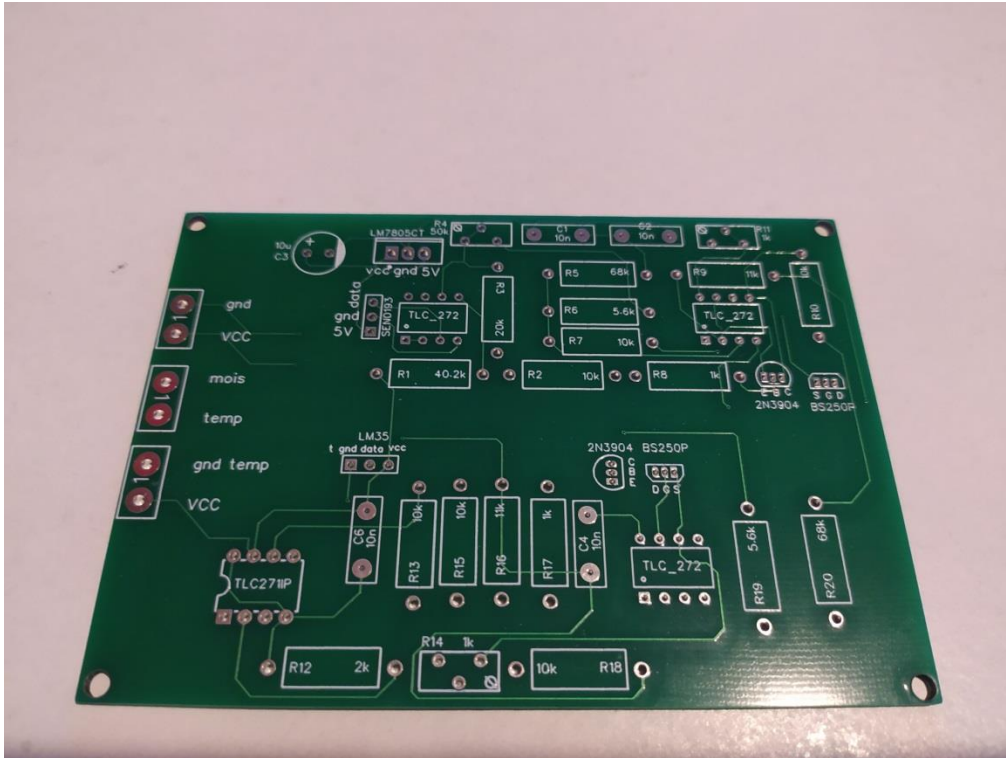
Στην παρούσα εργασία η πλατφόρμα του ThingSpeak™ χρησιμοποιείται απλά για την απομακρυσμένη παρακολούθηση των μετρήσεων. Λόγω των περιορισμών που έχει η δωρεάν χρήση της πλατφόρμας, ο ελάχιστος χρόνος για την αποστολή δεδομένων είναι κάθε 15 δευτερόλεπτα.

4.7 Η μετρητική διάταξη

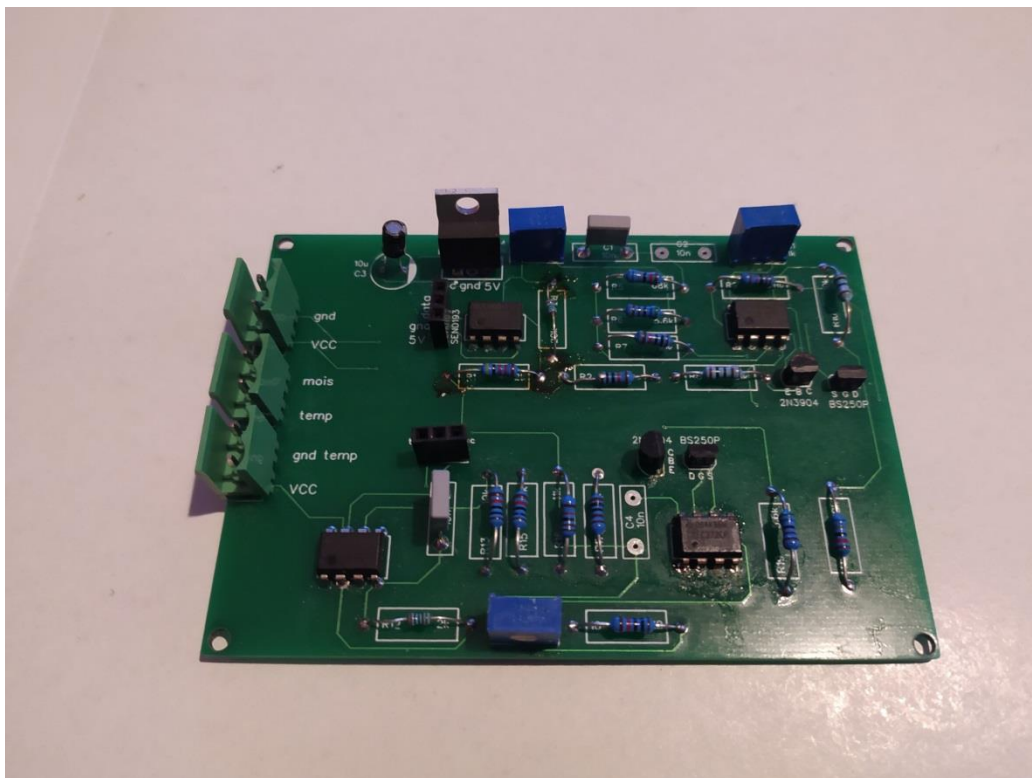


Εικόνα 4.1: Η μετρητική διάταξη

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

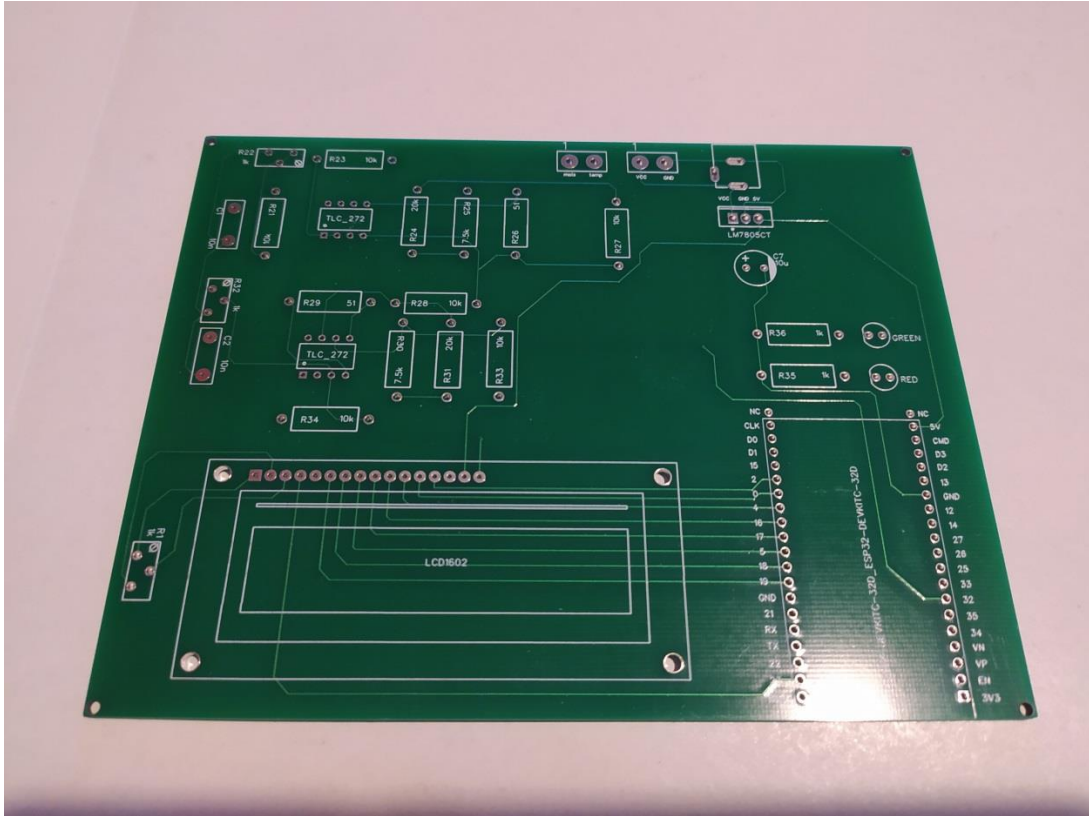


Εικόνα 4.2: PCB conditioner και πομπού 4-20mA

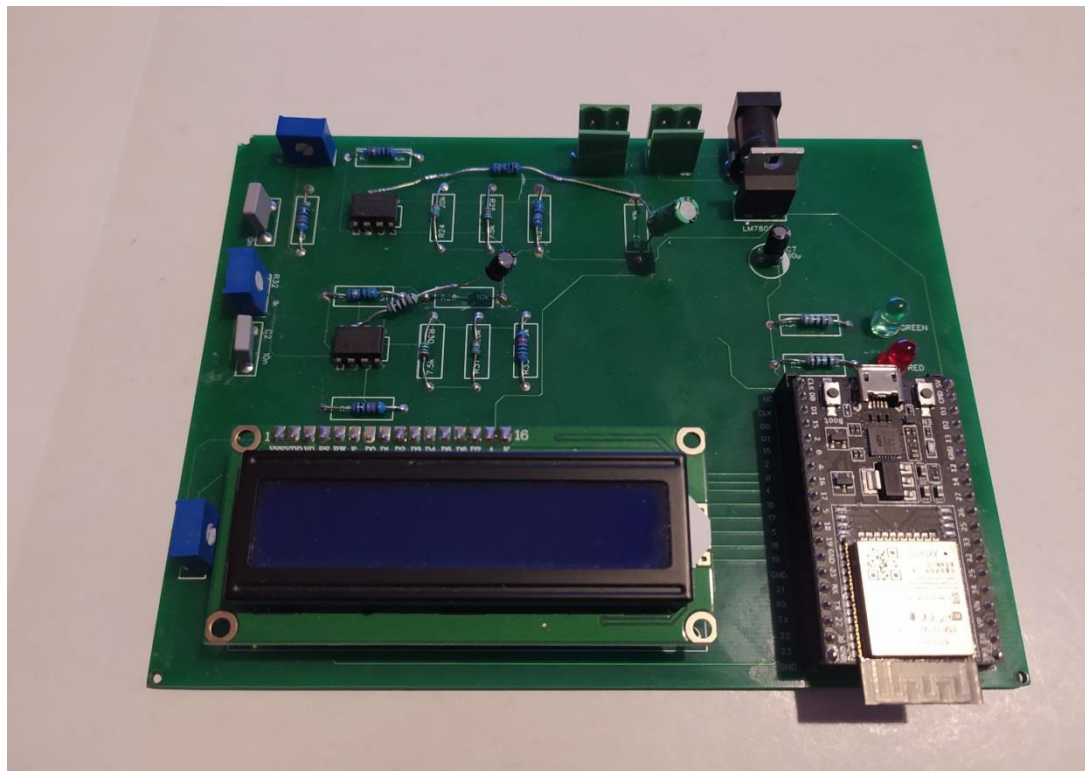


Εικόνα 4.3: PCB conditioner και πομπού 4-20mA με τα υλικά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



Εικόνα 4.4: PCB μετατροπής ρεύματος 4-20mA σε τάση 0-3V, επεξεργασίας και εμφάνισης δεδομένων



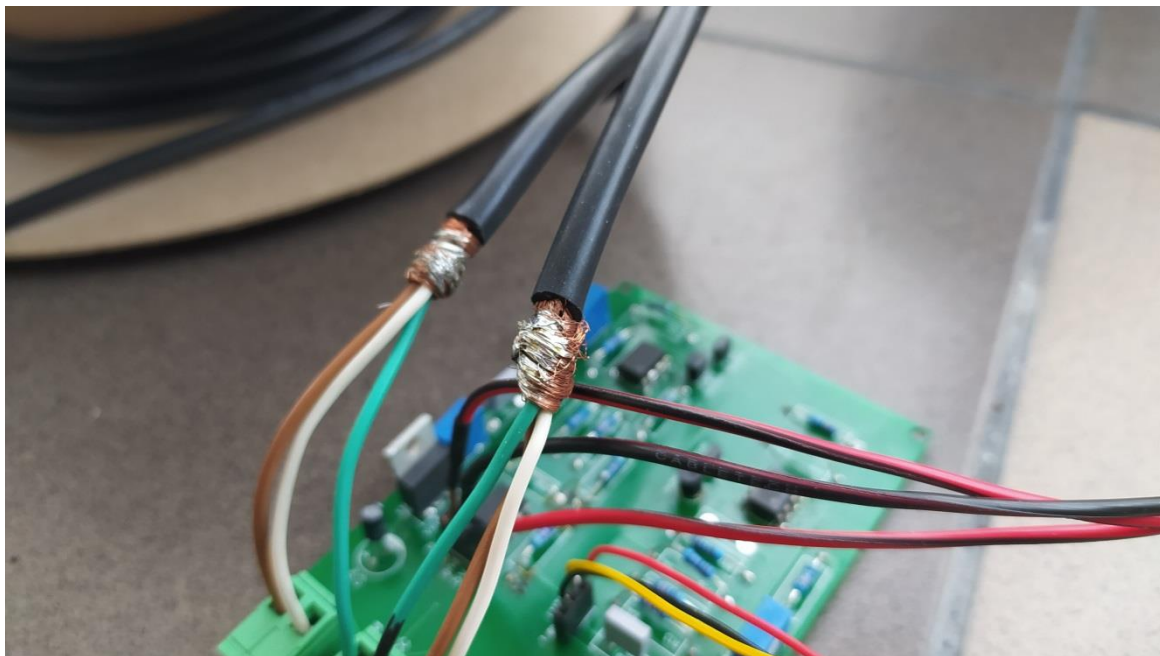
Εικόνα 4.5: PCB μετατροπής ρεύματος 4-20mA σε τάση 0-3V, επεξεργασίας και εμφάνισης δεδομένων με υλικά

Σε αυτή την πλακέτα, λόγω κάποιων λαθών κατά τον σχεδιασμό της και κάποιων προσθηκών, χρειάστηκε να την τροποποιήσω όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5.

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



Εικόνα 4.6: Το καλώδιο μεταφοράς δεδομένων

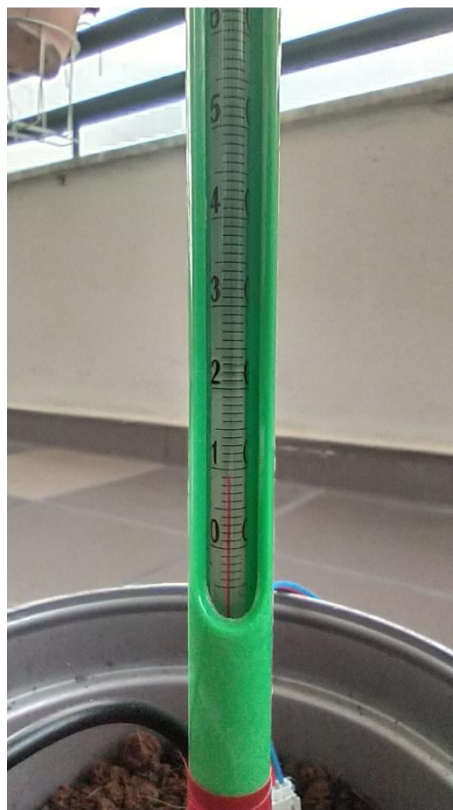


Εικόνα 4.7: Ανατομία του καλωδίου μεταφοράς δεδομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



Εικόνα 4.8: Οι μετρήσεις όπως εμφανίζονται στην οθόνη της μετρητικής διάταξης και όπως φαίνονται στο ThingSpeak™



Εικόνα 4.9: Η ένδειξη του θερμομέτρου της εικόνας 4.8

ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



Εικόνα 4.10: Η ένδειξη του υγρασιόμετρου της εικόνα 4.8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

Συνοψίζοντας, συμπαιρένουμε ότι η τεχνολογία IoT έχει πάρα πολλά οφέλη για την βιομηχανία της καλλιέργειας της γης. Τα οφέλη μπορεί να είναι μικρές ευκολίες, όπως η παρατήρηση του ποσοστού της υγρασίας και της θερμοκρασίας, μπορεί όμως να είναι και καθοριστικές για την παραγωγή. Όπως είδαμε στην περίπτωση της υδροπονίας, η ακριβής μέτρηση των συστατικών που παρέχονται στις ρίζες του φυτού, καθώς και η ακριβής ρύθμιση του χρόνου που πρέπει να συμβεί είναι κομβικής σημασίας. Με την σωστή αξιοποίηση αυτή της τεχνολογίας δεν επωφελείται μόνο η βιομηχανία. Είναι δυνατή η περιορισμένη και αποτελεσματικότερη χρήση του νερού, ενός φυσικού πόρου ο οποίος ενδέχεται να απασχολήσει την ανθρωπότητα στο μέλλον. Επίσης, η χρήση λιπάσματος μπορεί να περιοριστεί στην απολύτως απαραίτητη και να μειωθεί η ρύπανση που προκαλείται από αυτό.

Από τις σημαντικότερες παραμέτρους της καλλιέργειας, αλλά και γενικά για την ανάπτυξη των φυτών, είναι οι παράμετροι της υγρασίας και της θερμοκρασίας. Στο νερό γίνεται η διάσπαση των θρεπτικών συστατικών που χρειάζονται τα φυτά ώστε να αναπτυχθούν. Πέρα όμως από την παροχή απαραίτητων ουσιών στις ρίζες, ρυθμίζει και παραμέτρους που έχουν σχέση με το έδαφος. Η θερμοκρασία του, η χημική του σύσταση, ακόμα και η δομή του είναι χαρακτηριστικά που επηρεάζονται από την παρουσία του νερού. Εξίσου σημαντικό παράγοντα έχει και η θερμοκρασία. Όπως η υγρασία επηρεάζει την θερμοκρασία, έτσι και η θερμοκρασία επηρεάζει την υγρασία, καθώς προκειται για δύο μεγέθη που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Επίσης, η θερμότητα που είναι παγιδευμένη στο έδαφος επιδρά στην διάσπαση της οργανικής ύλης και άρα, όπως και στην περίπτωση της υγρασίας, επηρεάζεται η χημική σύσταση του εδάφους. Άρα γίνεται αντιληπτό πως η παρακολούθηση αυτών των δύο παραμέτρων μπορεί να δώσει μια σχετικά καλή εικόνα για το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται η σοδειά.

Για την περάτωση της εργασίας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν υλικά τα οποία θα είχαν καλύτερη απόδοση. Για την αίσθηση της υγρασίας υπάρχουν αισθητήρια, είτε αναλογικά, είτε ψηφιακά είτε και ακόμα αισθητήρια που αποτελούνται από ένα σύνολο απλών υλικών κατάλληλα συνδεδεμένων μεταξύ τους, τα οποία θα παρήχαν καλύτερες μετρήσεις. Ωστόσο η χρήση του συγκεκριμένου αισθητηρίου, ήταν πολύ απλή και εύκολη και για μια απλή μέτρηση της υγρασίας είναι ικανοποιητικό. Επιπλέον θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ολοκληρωμένο κύκλωμα ADC converter, αφού όπως είδαμε ο ενσωματωμένος μετατροπέας του μικροελεγκτή έχει πρόβλημα με την γραμμικότητά του. Κάτι τέτοιο όμως θα έκανε το κύκλωμα πιο περίπλοκο και πιο δύσκολο στην σχεδιάσή του. Τέλος θα μπορούσα, μετά την μεταφορά των δεδομένων σε μορφή ρεύματος, να έχω μόνο μία αντίσταση και να συνδέω την είσοδο του μικροελεγκτή στο άκρο της αντίστασης. Με αυτό τον τρόπο, θα είχα λιγότερες βαθμίδες στην μετρητική διάταξη και άρα λιγότερα σφάλματα που εισάγονται από τις ελαφρές μεταβολές στις τιμές των αντιστάσεων, από την ασυμμετρία των τάσεων στις εισόδους των τελεστικών ενισχυτών και γενικά από θορύβους που επάγονται στα υλικά.

Βιβλιογραφία και παραπομπές

Για την προσομοίωση των κυκλωμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PSpice της OrCAD.

Για την εγγραφή των λογισμικών (λογισμικό εργασίας, λογισμικό γραμμικοποίησης μικροελεγκτή) χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Arduino IDE.

Επιστημονικό έντυπο

[1] Karen Rose, Scott Eldridge, Lyman Chapin, “THE INTERNET OF THINGS: AN OVERVIEW Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World”, Internet Society, Οκτώβριος 2015

Έρευνες

[2] Muhammad Ayaz, Mohammad Ammad-Uddin, Zubair Sharif, Ali Mansour, El-Hadi M. Aggoune, “Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Agriculture: Toward Making the Fields Talk”, IEEE

[7] Brownmang Onwuka, Brown Mang “Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth”, MedCrave, Ιανουάριος 12, 2018

[8] Murtiningrum Murtiningrum, Fathi Alfinur Rizqi, Fajar Muzdrikah, Calibration of Capacitive Soil Moisture Sensor, Αύγουστος 2018

Τεχνικά έντυπα

[13] Maxim Integrated, “Understanding SAR ADCs: Their Architecture and Comparison with Other ADCs”, Οκτώβριος 2, 2001

Φύλλα δεδομένων

[10] Texas Instruments, “LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors”, Αύγουστος 1999, Ανανέωση Δεκέμβριος 2017

Βιβλία

[11] Μιγάλης Ν. Σπάσος, Αναλογική επεξεργασίασημάτων αισθητηρίων, Εκδόσεις Αϊβάζη, 2018

Διαδικτυακές σελίδες

[4] Compare the Cloud, “Cloud Computing & The Modern Age”, Διαθέσιμο: comparethecloud.net

[6] Earth Observing System, "Soil Moisture Control: An Essential Farming Constituent, Διαθέσιμο: eso.com

[5] the nature EDUCATION, "Soil Water Dynamics", Anthony Toby O'Geen, Διαθέσιμο: nature.com

[9] Chipkin Automation Systems, "Semiconductor Temperature Sensors", Διαθέσιμο: chipkin.com

[14] ThingSpeak™, "Learn More About ThingSpeak", "ThingSpeak Key Features", Διαθέσιμο: thingspeak.com

[3] Wikipedia, "Hydroponics", Διαθέσιμο: en.wikipedia.org

[12] Wikipedia, "Successive-approximation ADC", Διαθέσιμο: en.wikipedia.org

Παράρτημα Α: Λογισμικό εργασίας

```
#include <WiFiClient.h>
```

```
#include <WiFiServer.h>
```

```
#include <WiFi.h>
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
#include <ThingSpeak.h>
```

```
WiFiClient client;
```

```
LiquidCrystal lcd(23,19,18,5,17,16,4,0,2,15);
```

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

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

```
const int ADC_LUTmois[4096]////λόγω της μεγάλης έκτασης των πινάκων ADC_LUTmois &
```

```
const int ADC_LUTtemp[4096]////ADC_LUTtemp προτίμησα να τους αναφέρω μόνο ονομαστικά
```

```
const int pin_mois=35;
```

```
const int pin_temp=32;
```

```
const int ledpin1=12; //green
```

```
const int ledpin2=14; //red
```

```
const int channel_id= *****;
```

```
const char write_api[] = "*****";
```

```
int i;
```

```
int mois_adc;
```

```

int temp_adc;

float mois;

float temp;

void setup(){

  lcd.begin(16,2);

  lcd.clear();

  lcd.print("International Hellenic University");

  delay(2000);

  for(i=0; i<18; i++){

    lcd.scrollDisplayLeft();

    delay(300);

  }

  lcd.clear();

  lcd.print("Department of");

  lcd.setCursor(0,1);

  lcd.print("Information and");

  delay(2000);

  lcd.clear();

  lcd.print("Electronic");

  lcd.setCursor(0,1);

  lcd.print("Engineering");

  delay(2000);

  lcd.clear();

  lcd.print("Valsamis Panagiotis Georgios");

  delay(2000);

  for(i=0; i<13; i++){

    lcd.scrollDisplayLeft();

    delay(300);

  }

```

```

lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("Soil Moisture &");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("Temperature");

delay(3000);

lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("Monitoring via");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("ThingSpeak");

delay(3000);

lcd.clear();

pinMode(ledpin1,OUTPUT);

pinMode(ledpin2,OUTPUT);

lcd.print("Please wait");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("for measurements");
}

void loop(){

  mois_adc=analogRead(pin_mois);

  mois_adc=ADC_LUTmois[mois_adc];

  mois_adc=map(mois_adc,0,3724,250,3900);

  temp_adc=analogRead(pin_temp);

  temp_adc=ADC_LUTtemp[temp_adc];

  temp_adc=map(temp_adc,0,3724,250,3900);

  mois=(mois_adc-250)/36.14;

  if (mois>100)

  {

```

```

    mois=100;
}
temp=(temp_adc-250)/71.56;
if (temp>50)
{
    temp=50;
}
lcd.clear();
lcd.print("Mois:"); lcd.print(mois); lcd.print("%");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Temp:"); lcd.print(temp); lcd.print("C");
for(i=0; i<5; i++){
    digitalWrite (ledpin2, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite (ledpin2, LOW);
    delay(100);
}
WiFi.begin (ssid,pass);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED ){
}
ThingSpeak.begin (client);
ThingSpeak.setField(1, mois);
ThingSpeak.setField(2, temp);
ThingSpeak.writeFields(channel_id, write_api);
digitalWrite(ledpin1, LOW);
for(i=0; i<3; i++){
    digitalWrite(ledpin1, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(ledpin1, LOW);
}

```

```

    delay(100);

}

WiFi.disconnect();

delay(16000);}

```

Παράρτημα Β: Λογισμικό γραμμικοποίησης ADC converter

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την γραμμικοποίηση του ADC converter είναι ο κώδικας του χρήστη e-tinkers από το github.com. Διαθέσιμο εδώ: <https://github.com/e-tinkers/esp32-adc-calibrate>

```

#include <Arduino.h>

#include <driver/dac.h>

#define GRAPH // uncomment this for print on Serial Plotter

//#define FLOAT_LUT // uncomment this if you need float LUT

#define ADC_PIN 35 // GPIO 35 = A7, uses any valid Ax pin as you wish

float Results[4097];

float Res2[4096*5];

void dumpResults() {
    for (int i=0; i<4096; i++) {
        if (i % 16 == 0) {
            Serial.println();
            Serial.print(i); Serial.print(" - ");
        }
        Serial.print(Results[i], 2); Serial.print(", ");
    }
    Serial.println();
}

void dumpRes2() {
    Serial.println(F("Dump Res2 data..."));

    for (int i=0; i<(5*4096); i++) {

```

```

    if (i % 16 == 0) {
        Serial.println(); Serial.print(i); Serial.print(" - ");
    }
    Serial.print(Res2[i],3); Serial.print(", ");
}
Serial.println();
}

void setup() {
    dac_output_enable(DAC_CHANNEL_1); // pin 25
    dac_output_voltage(DAC_CHANNEL_1, 0);
    analogReadResolution(12);
    Serial.begin(500000);
    delay(1000);
}

void loop() {
    Serial.print(F("Test Linearity "));
    for (int j=0; j<500; j++) {
        if (j % 100 == 0) Serial.print(".");
        for (int i=0; i<256; i++) {
            dac_output_voltage(DAC_CHANNEL_1, (i & 0xff));
            delayMicroseconds(100);
            Results[i*16]=0.9*Results[i*16] + 0.1*analogRead(ADC_PIN);
        }
    }
    Serial.println();
    // dumpResults();
    Serial.println(F("Calculate interpolated values .."));
    Results[4096] = 4095.0;
    for (int i=0; i<256; i++) {

```

```

for (int j=1; j<16; j++) {
    Results[i*16+j] = Results[i*16] + (Results[(i+1)*16] - Results[(i)*16])*(float)j / (float)16.0;
}
}
// dumpResults();
Serial.println(F("Generating LUT .."));
for (int i=0; i<4096; i++) {
    Results[i]=0.5 + Results[i];
}
// dumpResults();
Results[4096]=4095.5000;
for (int i=0; i<4096; i++) {
    for (int j=0; j<5; j++) {
        Res2[i*5+j] = Results[i] + (Results[(i+1)] - Results[i]) * (float)j / (float)10.0;
    }
}
// dumpRes2();
for (int i=1; i<4096; i++) {
    int index;
    float minDiff=99999.0;
    for (int j=0; j<(5*4096); j++) {
        float diff=fabs((float)(i) - Res2[j]);
        if(diff<minDiff) {
            minDiff=diff;
            index=j;
        }
    }
    Results[i]=(float)index;
}

```

```

// dumpResults();

for (int i=0; i<(4096); i++) {

    Results[i]/=5;

}

#ifdef GRAPH

while(1) {

    for (int i=2; i<256; i++) {

        dac_output_voltage(DAC_CHANNEL_1, (i & 0xff));

        delayMicroseconds(100);

        float r = Results[analogRead(ADC_PIN)];

        Serial.print(i*16); Serial.print(" "); Serial.println(r);

    }

}

#else

Serial.println();

#ifdef FLOAT_LUT

Serial.println("const float ADC_LUT[4096] = { 0,");

for (int i=1; i<4095; i++) {

    Serial.print(Results[i],4); Serial.print(",");

    if ((i%15)==0) Serial.println();

}

Serial.println(Results[4095]);

Serial.println("};");

#else

Serial.println("const int ADC_LUT[4096] = { 0,");

for (int i=1; i<4095; i++) {

    Serial.print((int)Results[i]); Serial.print(",");

    if ((i%15)==0) Serial.println();

}

}

```

```
Serial.println((int)Results[4095]);  
Serial.println("};");  
#endif  
while(1);  
#endif  
}
```