



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

*Αισθητήρας αιωρούμενων σωματιδίων
για παρακολούθηση ποιότητας νερού με
τον μικροϋπολογιστή BeagleBone*

*Participle Sensor for Water Quality
Monitoring using the BeagleBone
microcomputer*

*Όνοματεπώνυμο: Ντεμούρτσεβ Διονύσιος
Αριθμός μητρώου: 102741*

Επιβλέπων καθηγητής: Κιζήρογλου Μιχαήλ

Περίληψη

Η διπλωματική πραγματεύεται το σχεδιασμό και την υλοποίηση του συστήματος θολότητας νερού με το αισθητήριο AMS TSL1401CL, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής των εξαρτημάτων, του σχεδιασμού κυκλώματος και της ανάπτυξης λογισμικού. Η απόδοση του συστήματος αξιολογήθηκε με τη διεξαγωγή πειραμάτων σε ελεγχόμενο περιβάλλον, καθώς και σε πραγματικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν ότι το σύστημα αισθητήρων μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια τη συγκέντρωση των σωματιδίων στο νερό και μπορεί να είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού. Η διπλωματική εργασία εξετάζει επίσης τις πιθανές εφαρμογές του συστήματος αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης της ποιότητας του νερού σε βιομηχανικά και γεωργικά περιβάλλοντα, καθώς και σε φυσικά περιβάλλοντα. Το χαμηλό κόστος και η ευκολία χρήσης του συστήματος το καθιστούν μια πρακτική λύση για την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού σε αναπτυσσόμενες χώρες και αγροτικές περιοχές.

Abstract

The thesis discusses the design and implementation of the participle sensor system for water quality monitoring using the BeagleBone microcomputer, including the selection of the components, circuit design, and software development. The performance of the system was evaluated by conducting experiments in a controlled laboratory environment, as well as in real-world conditions. The results of the experiments demonstrate that the sensor system can accurately measure the concentration of particulate matter in water and can be a valuable tool for water quality monitoring. This thesis also talks through the potential applications of the sensor system, including monitoring water quality in industrial and agricultural settings, as well as in natural environments. The system's low cost and ease of use make it a practical solution for water quality monitoring in developing countries and rural areas.

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθοριστικό ρόλο έπαιξε η υποστήριξη του επιβλέποντα καθηγητή μου τον Κύριο Κιζηρόγλου Μιχαήλ. Θέλω να εκφράσω ενά βαθύ ευχαριστώ για όλη την βοήθεια και τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για να μου δώσει συμβουλές και εξηγήσεις.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Κύριο Σιδηρόπουλο Βασίλη για την συνεχή του συμπαράσταση και την όμορφη επικοινωνία που είχαμε μεταξύ μας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω του γονείς μου, οι οποίοι είναι πάντα το στήριγμα μου σε κάθε προσπάθεια της ζωής μου.

1 Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Abstract	2
Ευχαριστίες	3
2 Εισαγωγή	5
2.1 Χημική σύσταση και δομή του νερού	6
2.2 Παράμετροι ποιότητας νερού	7
2.3 Χημική ανάλυση νερού	9
2.4 Προδιαγραφές και στόχοι που έχουν τεθεί	12
3 Μικροελεγκτές	13
3.1 Διαφορές με μικροεπεξεργαστή	16
3.2 Το BeagleBone Black	17
3.3 Το υλικό (hardware) του BeagleBone Black	18
3.4 Σύγκριση με άλλες πλατφόρμες	28
4 Αισθητήρας AMS TSL 1401 CL	32
4.1 Δίοδοι	35
4.2 Κύκλος λήψης των καρτέ	38
4.3 Πειράματα και έλεγχος ορθής λειτουργίας	38
5 Λογισμικό	41
5.1 Εγκατάσταση Debian GNU/Linux	42
5.2 Εγκατάσταση βοηθητικών προγραμμάτων	45
5.3 Τροποποιήσεις – ρυθμίσεις OS	52
5.4 Εκτέλεση οδηγού	54
6 Πειράματα με δείγματα νερού	56
7 Αισθητήριο DfRobot Turbidity Sensor	61
7.1 Νεφελομετρική μονάδα θολότητας	61
7.2 Σχέση θολότητας και τάσης αισθητήρα	62
7.3 Κύκλωμα διασύνδεσης και κώδικας	62
7.4 Πειράματα με το αισθητήριο της DfRobot	64
7.5 Σύγκριση των αισθητηρίων	67
8 Συμπεράσματα - Βελτιώσεις	69
9 Βιβλιογραφία	70

2 Εισαγωγή

Το νερό ή αλλιώς στην καθαρεύουσα ύδωρ είναι η πιο σημαντική και γνωστή χημική ένωση που παίζει ένα σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη κάθε μορφής ζωής στον πλανήτη μας. Το νερό στον ανθρώπινο οργανισμό αγγίζει ένα ποσοστό ακόμα και το 70%, μια δεύτερη ονομασία που θα μπορούσε να έχει πλανήτη Γη είναι 'NEPO' μιας και το μεγαλύτερο μέρος της καλύπτεται από αυτό, κοντά στο 75%. Αν και υπάρχει σε αφθονία στον πλανήτη Γη, το πόσιμο νερό είναι ελάχιστο κοντά περίπου στο 3% το οποίο βρίσκεται σε παγοκαλύματα και σε υπόγεια ύδατα. [3]

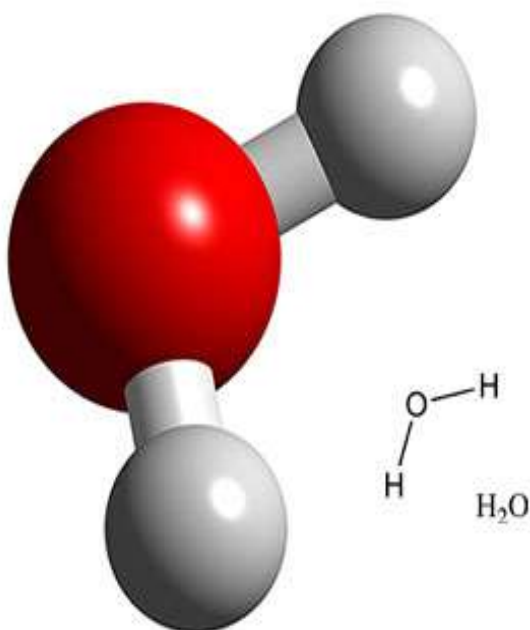
Το πολυτιμότερο αγαθό για τον άνθρωπο είναι αναμφισβήτητα το νερό. Ωστόσο οι ανάγκες του ανθρώπου για τεχνολογική εξέλιξη και οικονομική πρόοδο τον έχουν οδηγήσει στην αναζήτηση όλο και περισσότερης ποσότητας νερού γεγονός που πρέπει όμως να έχει στο πίσω μέρος του μυαλού του, διότι δεν είναι αστείρευτες όλες αυτές οι πηγές. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να προσέχει τη χρήση του κάνοντας και σχετική οικονομία έτσι ώστε να συνεχίζουν να υπάρχουν αυτές οι μεγάλες ποσότητες νερού και στον άμεσο μέλλον.

Ακόμα και οι ειδικοί σύμφωνα με έρευνες υποστηρίζουν ότι το νερό θα είναι αρκετά δυσεύρετο στο μέλλον και δεν θα μπορεί να καλύψει τις ανάγκες μας όπως και τις ανάγκες του πλανήτη μας. Μελέτες έχουν δείξει επίσης ότι το πόσιμο νερό με το πέρασμα των χρόνων γίνεται ολοένα και λιγότερο και σε αυτό έχει συνεισφέρει αρνητικά και το γεγονός της ρύπανσης του. Με τον όρο ρύπανση νερού αναφερόμαστε στην εισαγωγή διαφόρων ουσιών στον νερό τα οποία είναι βλαβερά για τους οργανισμούς, αλλοιώνουν την ποιότητα νερού και είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία. Μερικές από τις σημαντικότερες πηγές ρύπανσης είναι οι γεωργικές δραστηριότητες, τα βιομηχανικά απόβλητα τα αστικά λύματα και τα πετρελαιοειδή.

2.1 Χημική σύσταση και δομή του νερού

Το μόριο του νερού αποτελείται από δυο άτομα υδρογόνου (H) και ένα άτομο οξυγόνου (O) (Σχήμα 2.1) , που συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς. Έχει μοριακό τύπο H_2O , αλλά σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται επίσης και οι τύποι OH_2 και HOH . Η Σχετική αναλογία μαζών του υδρογόνου και του οξυγόνου είναι 1:8. Χημικά, το νερό είναι μία πολύ σταθερή χημική ένωση, αλλά και ταυτόχρονα πολύ δραστική.

Η πόλωση των δεσμών στο νερό έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση αρνητικού φορτίου στο άτομο του οξυγόνου και αντίθετα συσσώρευση θετικού φορτίου στα άτομα του υδρογόνου. Η διαφορά φορτίου έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ισχυρών ελκτικών δυνάμεων μεταξύ ενός ατόμου υδρογόνου ενός μορίου νερού και ενός ατόμου οξυγόνου ενός άλλου μορίου νερού. Ο δεσμός αυτός λέγεται δεσμός υδρογόνου. Έτσι, το μόριο του νερού είναι πολικό μόριο . Αν το νερό δεν ήταν πολικό μόριο τότε στις συνθήκες που επικρατούν στη Γή θα ήταν αέριο, συνεπώς δεν θα υπήρχε ζωή όπως την γνωρίζουμε σήμερα.



Σχήμα 2.1: Μόριο Νερού. [15]

2.2 Παράμετροι ποιότητας νερού

Όπως αναφερθήκαμε και προηγουμένως, η εισαγωγή στο νερό ξένων υλών και μικροοργανισμών οδηγεί στην υποβάθμιση της ποιότητας του. Η αξιολόγηση της ποιότητάς του μπορεί να γίνει με τη μελέτη και τη μέτρηση ορισμένων βασικών φυσικών και χημικών παραμέτρων.[2]

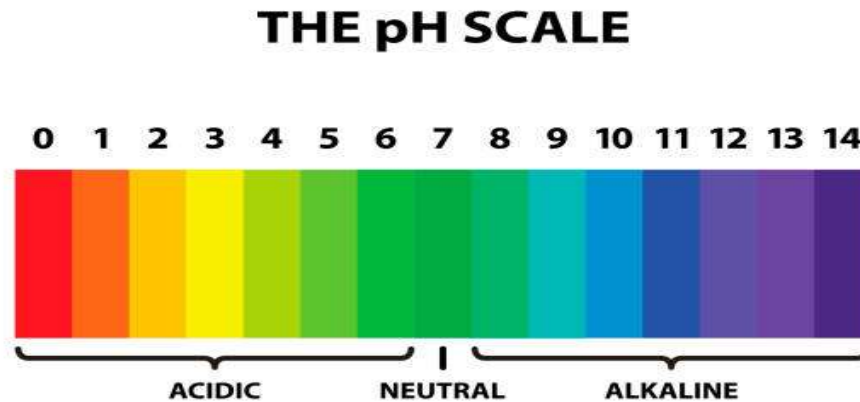
Χρώμα: Το νερό δεν θα πρέπει να έχει χρώμα να είναι διαυγές και διάφανο. Αν το χρώμα είναι διαφορετικό τότε αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορες χρωστικές ουσίες, άλατα, σίδηρο κ.α. Θα πρέπει όμως να γίνει έλεγχος σε χημικό εργαστήριο αν επιτρέπεται η κατανάλωση του και να διαπιστωθεί από που προέρχεται το χρώμα..

Οσμή: Το νερό πρέπει να είναι άοσμο σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση θα πρέπει να γίνεται έλεγχος διότι μπορεί η αιτία να είναι διάφορες χημικές ουσίες και μικροοργανισμοί τα οποία έχουν ρυπάνει το νερό και θα πρέπει να γίνει χημικός έλεγχος να βρεθεί η αιτία.

Γεύση: Το νερό πρέπει να μην έχει γεύση και να έχει αίσθηση φρεσκάδας. Πολλές φορές η γεύση του νερού προδίδει και την προέλευση του καθώς η γεύση οφείλεται στα εδαφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής, το χρόνο που έχει περάσει στο υπέδαφος μέχρι να βγει στην επιφάνεια καθώς και τα μέταλλα που απορροφά μέχρι την άνοδο του. Εύκολα εντοπίζονται οι μυρωδιές και η γεύση από χλώριο , κιμωλία και διαβρωμένους σωλήνες. Σε κάθε τέτοια περίπτωση καλύτερο είναι να το αποφύγετε.

Ενεργός Οξύτητα (pH): Το επίπεδο pH είναι μία ποσοτική μέτρηση από τα ιόντα υδρογόνου που αντιπροσωπεύουν την οξύτητα ή αλκαλικότητα ενός διαλύματος.[4] Η κλίμακα pH κυμαίνεται από 0 έως 14 και χρησιμοποιείται ευρέως για τον προσδιορισμό της οξύτητας ενός διαλύματος. Διαλύματα για τα οποία η τιμή του pH είναι μικρότερη από 7 χαρακτηρίζονται ως όξινα, ενώ διαλύματα με pH μεγαλύτερο από 7 χαρακτηρίζονται αλκαλικά. (Σχήμα 2.2).

Σύμφωνα με τους κανονισμούς της Ελληνικής νομοθεσίας οι τιμές του pH για το πόσιμο νερό θα πρέπει να κυμαίνονται από 6.5 έως και 9.5. Οποιαδήποτε άλλη τιμή απαγορεύεται και είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία.



Σχήμα 2.2 : Ενεργός Οξύτητα. [16]

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα: Το καθαρό νερό είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού από τη φύση του. Αν τα ηλεκτρόνια μπορούν και ρέουν και άγει το νερό, η ικανότητα που έχει αποκτήσει πλέον οφείλεται στην παρουσία ιόντων που εισέρχονται από άλατα, μέταλλα, ρύπανση και απόβλητα.

Αλατότητα: Η αλατότητα είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους. Ως αλατότητα του νερού ορίζεται η συγκέντρωση των ολικών στερεών που περιέχονται στο θαλασσινό νερό όταν όλα τα ανθρακικά άλατα έχουν μετατραπεί σε οξείδια. Όλα τα χρωμιούχα και ιωδιούχα έχουν αντικατασταθεί από χλωριούχα και όλες οι οργανικές ουσίες έχουν πλήρως οξειδωθεί.

Θερμοκρασία: Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει τη γεύση του. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία το νερό είναι λιγότερο εύγευστο γιατί εκδιώκονται τα διαλυμένα σ' αυτό αέρια. Η πλέον ευχάριστη γεύση είναι μεταξύ 5-15 βαθμούς κελσίου.

Θολερότητα: Σε αυτό που θα σταθούμε κυρίως και θα μας απασχολήσει στην εργασία αυτή είναι η θολερότητα οπού είναι μια έκφραση της οπτικής ιδιότητας ενός δείγματος νερού να σκεδάζει και να απορροφά το φώς που διέρχεται απ' αυτό και να μη μεταδίδει το φώς σε ευθεία γραμμή. Η θολερότητα οφείλεται σε κολλοειδής ανόργανες ή οργανικές ύλες που αιωρούνται. Νερό που είναι θολό πρέπει να ελεγχθεί η ποιότητα του, διότι η κατανάλωση θολού νερού είναι επικίνδυνη για την υγεία. Η μέτρηση της θολερότητας είναι μία από τις σημαντικότερες μετρήσεις για την εξέταση της ποιότητας νερού.

2.3 Χημική ανάλυση νερού

Οι χημικές αναλύσεις δεν είναι κάτι καινούργιο. Ανέκαθεν τα μεγάλα εργοστάσια παραγωγής προϊόντων στρέφονταν σε χημικά εργαστήρια για να ελέγξουν την ασφάλεια και την ποιότητα των τροφίμων τους. Προς την ίδια κατεύθυνση και οι αγρότες απευθύνονταν στα εργαστήρια αυτά για να αναλύσουν την ποιότητα και τη σύσταση.

Όμως τον τελευταίο καιρό ολοένα και περισσότεροι ιδιώτες, όχι απαραίτητα επαγγελματίες του χώρου, καταφεύγουν στην εύκολη (και σχετικά φθηνή) λύση της χημικής ανάλυσης. «Ο περισσότερος κόσμος έχει πάψει πλέον να εμπιστεύεται τις Δημοτικές αρχές για την ποιότητα του νερού στο σπίτι του ή βρίσκει νερό από γεώτρηση στο εξοχικό του και θέλει να ελέγξει κατά πόσο είναι πόσιμο».[13] Το πιο διάσημο αγαθό οπού ελέγχεται συχνότερα η ποιότητα του είναι το νερό.

Το γενικό χημείο του κράτους, είναι το μέρος που συνήθως απευθύνονται όσοι θέλουν να κάνουν πιο πολύπλοκές αναλύσεις. Κατά κύριο λόγο δηλαδή, εταιρείες. Οι τιμές για τις αναλύσεις είναι σαφώς υψηλότερες σε σχέση με τα ιδιωτικά εργαστήρια, ενώ για να λάβει ο ενδιαφερόμενος τα αποτελέσματα για το δείγμα που κατέθεσε πιθανώς να χρειαστεί να περιμένει ένα χρονικό διάστημα, καθώς τηρείται σειρά προτεραιότητας.

Στον παρακάτω πίνακα θα δούμε ιδιωτικές εταιρίες που διεκπεραιώνουν χημικές αναλύσεις καθώς και τις τιμές τους. (**Σχήμα 2.3**)

Η Βασική Ανάλυση αναφέρεται σε:

1. **Φυσικοχημικό έλεγχο νερού.**

Περιλαμβάνει: pH, αγωγιμότητα, ολικά στερεά, αιωρούμενα στερεά, σκληρότητα ολική, αλκαλικότητα ολική, αλκαλικότητα φαιν/νης, μόνιμη σκληρότητα, όξινα ανθρακικά, ανθρακικά και χλωριούχα άλατα.

2. **Μικροβιολογικός έλεγχος νερού.**

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, περιλαμβάνει: Κολοβακτηρίδια, Escherichia coli, Εντερόκοκκους και άλλα ανά περίπτωση.

3. **Ανάλυση για ιχνοστοιχεία και επιμολυντές.**

Περιλαμβάνει: Νιτρώδη, Νιτρικά, Φωσφορικά, Αμμωνιακά, Κάλιο, Απολυμαντικές ουσίες, Φθοριούχα, Υδροθείο, Υδροκυάνιο, Φαινόλες ή επιλεγμένα βαρέα μέταλλα ανά περίπτωση.

Η Πλήρης Ανάλυση αναφέρεται σε:

1. **Φυσικοχημικό έλεγχο νερού.**

Περιλαμβάνει: pH, Αγωγιμότητα, ολικά στερεά, αιωρούμενα στερεά, σκληρότητα ολική, αλκαλικότητα ολική, αλκαλικότητα φαιν/νης, μόνιμη σκληρότητα, όξινα ανθρακικά, ανθρακικά και χλωριούχα άλατα.

2. **Μικροβιολογικό έλεγχο νερού.**

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία περιλαμβάνει: Κολοβακτηρίδια, Escherichia coli, Εντερόκοκκους και άλλα ανά περίπτωση.

3. **Ανάλυση για ιχνοστοιχεία και επιμολυντές.**

Περιλαμβάνει: Νιτρώδη, Νιτρικά, Φωσφορικά, Αμμωνιακά, Κάλιο, Απολυμαντικές ουσίες, Φθοριούχα, Υδροθείο, Υδροκυάνιο, Φαινόλες ή επιλεγμένα βαρέα μέταλλα ανά περίπτωση.

4. **Ανάλυση για μέταλλα.**

Περιλαμβάνει: Άργυρο, Κοβάλτιο, Νικέλιο, Χαλκό, Σίδηρο, Χρόμιο, Βόριο, Μαγγάνιο, Κάδμιο, Μόλυβδο, Αντιμόνιο, Σελήνιο, Υδράργυρο και Αρσενικό.

5. Χρωματογραφική ανάλυση.

Περιλαμβάνει την ανάλυση του νερού για: Πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, Παρασιτοκτόνα, Πολυκυκλικά Διφαινύλια και Βενζοπυρένια.

6. Έλεγχο νερού για την ύπαρξη ρυπαντών:

Ανιοντικών Τασενεργών, Κατιονικών Τασενεργών, μη Ιονικών Τασενεργών λιπών και ελαίων στο σύνολο, Πετρελαϊκών Υδρογονανθράκων και ολικός οργανικός άνθρακας.

<u>Χημείο</u>	<u>Ανάλυση</u>	<u>Τιμή €</u>
Πασιάς - Ραπτοπούλου	Βασική ανάλυση νερού	149
Πασιάς - Ραπτοπούλου	Πλήρης ανάλυση νερού	744
Κυριάκου Ιωάννη	Βασική ανάλυση νερού	135
Κυριάκου Ιωάννη	Πλήρης ανάλυση νερού	750
Μπέζα Μαρία	Βασική ανάλυση νερού	150
Μπέζα Μαρία	Πλήρης ανάλυση νερού	800

Σχήμα 2.3: Παραδείγματα τιμών και αναλύσεων νερού από 3 διαφορετικά Χημεία.

2.4 Προδιαγραφές και στόχοι που έχουν τεθεί

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η κατανόηση των βασικών εννοιών γύρω από την ανάλυση του νερού όπως και η σχεδίαση και η κατασκευή ενός συστήματος θολότητας, που θα υπολογίζει και θα εξετάζει πόσο διαυγές είναι ένα υγρό, στην προκειμένη περίπτωση το νερό. Αυτό που θα πρέπει επίσης να χαρακτηρίζει το σύστημα είναι η αξιοπιστία του, η χαμηλή τιμή του και η ευκολία χρήσης του. Τα πειράματα θα αποτελούν ένα μεγάλο μέρος της εργασίας για να επιβεβαιώσουμε τα αποτελέσματά μας όπως και την σωστή λειτουργία των οργάνων μας. Ο αισθητήρας που θα χρησιμοποιηθεί και θα αναλύσουμε παρακάτω ανήκει στην κατηγορία των οπτικών αισθητήρων και βασίζεται στην θεωρία διάχυσης του φωτός, όπου μια πηγή φωτός διαπερνά το υγρό και ανάλογα με την πυκνότητα, τα σωματίδια και τη θολότητα του, η ένταση του φωτός που απορροφάται από τα εικονοστοιχεία του αισθητηρίου μας είναι ανάλογη αυτής. Θα γίνει ακόμη μια προσπάθεια σύγκρισης μεταξύ κάποιων γνωστών μικροελεγκτών του εμπορίου με τον μικροελεγκτή **Beagle Bone Black**. Τέλος, σημαντικό είναι ο αναγνώστης να έχει μια ολοκληρωμένη εικόνα της λειτουργίας του μικροελεγκτή, τα κομμάτια που τον απαρτίζουν καθώς και όλη τη διαδικασία εγκατάστασης και χρήσης αυτού από τον οποιονδήποτε φοιτητή/φοιτήτρια μελλοντικά και όχι μόνο.

3 Μικροελεγκτές

Ο ορισμός που θα μπορούσαμε να δώσουμε για τους μικροελεγκτές είναι ο εξής: **Μικροελεγκτής** είναι ένα προγραμματιζόμενο ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο διαθέτει επεξεργαστή, μνήμη, διάφορα περιφερειακά κυκλώματα καθώς επίσης και θύρες εισόδου-εξόδου για επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές. [6]

Με λίγα λόγια είναι ένας συμπιεσμένος μικροϋπολογιστής. Η μόνη διαφορά με έναν μικροϋπολογιστή που κι αυτό εκτελεί κώδικα, διαθέτει περιφερειακές συσκευές και επεξεργαστή είναι ότι όλα αυτά σε έναν μικροελεγκτή είναι πάνω σε ένα chip. Ο μικροελεγκτής τον κώδικα που τρέχει τον αποθηκεύει στη μόνιμη μνήμη του προγράμματος.

Η **Λογική Αριθμητική Μονάδα (ALU)**, αποτελεί το ολοκληρωμένο κύκλωμα του επεξεργαστή και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά και αποκωδικοποίηση των δεδομένων. Για τη λειτουργία ενός ολοκληρωμένου υπολογιστικού συστήματος όμως δεν είναι αρκετός από μόνος του ένας επεξεργαστής, αλλά απαιτούνται πολλά εξωτερικά και καμιά φορά αρκετά περίπλοκα υποσυστήματα και περιφερειακά. Τέτοια είναι:

➤ **Μνήμη προγράμματος:**

Περιέχει το κυρίως πρόγραμμα ή λογισμικό του συστήματος. Τέτοιες μνήμες είναι **ROM, FLASH, EPROM**. Κάποια μοντέλα ασφαλίζουν τις μνήμες αυτές από αντιγραφή.

➤ **RAM:**

Πλέον τα περισσότερα μοντέλα διαθέτουν αρκετά μεγάλη μνήμη.

➤ **NVRAM:**

Μόνιμη μνήμη αποθήκευσης παραμέτρων. Το πλεονέκτημα της σε σχέση με τη FLASH είναι ότι έχει τη δυνατότητα διαγραφής και επανεγγραφής.

➤ **Κύκλωμα αρχικοποίησης (reset):**

Το κύκλωμα αυτό είναι υπεύθυνο να ρυθμίσει τον μικροελεγκτή στις αρχικές του τιμές.

- **Διαχειριστής αιτήσεων διακοπής (interrupt request controller):**
Αίτηση διακοπής από τα περιφερειακά.
- **Κύκλωμα επιτήρησης τροφοδοσίας:**
Το κύκλωμα αυτό έχει την «ευθύνη» να επιτηρεί την τάση της τροφοδοσίας να είναι σε όρια που απαιτείται για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία προστατεύοντας ευαίσθητα υποσυστήματα των μικροελεγκτών.
- **Κύκλωμα επιτήρησης λειτουργίας:**
Αν το σύστημα για οποιοδήποτε λόγο παρουσιάσει κάποια δυσλειτουργία τότε αρχικοποιεί το σύστημα με επανεκκίνηση.
- **Τοπικός Ταλαντωτής:**
Είναι το ρολόι του μικροελεγκτή (clock) παρέχοντας του παλμούς.
- **Χρονιστές-απαριθμητές(timers-counters):**
Είναι χρήσιμοι διότι δίνουν την δυνατότητα στον μικροελεγκτή για την δημιουργία καθυστερήσεων μετρώντας χρόνο και απαριθμώντας γεγονότα.
- **Είσοδοι και έξοδοι:**
Μέσω αυτών συνδεόμαστε σε συγκεκριμένα κυκλώματα και υποσυστήματα, ώστε να τα αξιοποιήσουμε τις δυνατότητες του μικροελεγκτή στην εργασία που θέλουμε να εκτελέσουμε κάθε φορά.

Σχεδόν όλοι οι μικροελεγκτές διαθέτουν αρκετά περιφερειακά, υπάρχουν όμως διαφοροποιήσεις όσων αφορά τη μνήμη προγράμματος:

- **Μικροελεγκτές χωρίς μνήμη προγράμματος:**
Χαρακτηρίζονται ως *ROM-less*. Η μνήμη προγράμματος και η RAM συνδέονται με παράλληλη αρτηρία (bus). Προορίζονται σε εφαρμογές όπου θέλουμε μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ και αρκετή μνήμη.

➤ **Μικροελεγκτές με μνήμη ROM(Read Only Memory):**

One Time Programmable (OTP) δηλαδή γράφεται μόνο μια φορά. Το πλεονέκτημα τους είναι η χαμηλή τους τιμή.

➤ **Μικροελεγκτές με μνήμη FLASH:**

Είναι ιδανική κατηγορία για γρήγορη ανάπτυξη εφαρμογών, διότι μπορεί να σβηστεί σε λίγα δευτερόλεπτα. Είναι επίσης η πιο διαδεδομένη κατηγορία έχοντας αντικαταστήσει τους παλαιότερους τύπους EPROM.

Εξαιτίας του ανταγωνισμού αλλά και της αύξησης της χρήσης τέτοιων μικροϋπολογιστών σε σχεδόν κάθε ηλεκτρική και ηλεκτρονική συσκευή «αναγκάστηκαν» οι βιομηχανίες να ξεκινήσουν μαζική παραγωγή με αρκετά ανταγωνιστικά μοντέλα. Οι κατηγορίες είναι οι παρακάτω:

➤ **Μικροελεγκτές (καμιά φορά 4-bit αλλά συνήθως 8-bit):**

Μικροελεγκτές γενικής χρήσης ,χαμηλού κόστους και με πολύ μικρό αριθμό ακροδεκτών (λιγότερα από 10) . Σχεδιάζονται με έμφαση στην ελάχιστη κατανάλωση ισχύος, χωρίς καθόλου εξωτερικά εξαρτήματα και απουσιάζει η επέκταση μνήμης. Μερικά μοντέλα είναι ευρέως γνωστά όπως π.χ. οι περισσότεροι μικροελεγκτές των σειρών *PIC (Microchip), AVR (Atmel) και 8051 (Intel, Atmel, Dallas κα)*.

➤ **Μικροελεγκτές (συνήθως 8-bit αλλά και 16 ή 32-bit):**

Μικροελεγκτές χαμηλού κόστους, γενικής χρήσης, με μέτριο αριθμό ακροδεκτών. Έχουν στη διάθεση τους ένα μεγάλο μέρος περιφερειακών όπως *UART* μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό και ψηφιακό σε αναλογικό κ.α. Μερικές φορές βρίσκουμε και μοντέλα σε αυτή την κατηγορία όπου έχουν την δυνατότητα επέκταση μνήμης.

➤ **Μικροελεγκτές (κυρίως 32-bit):**

Οι μικροελεγκτές σε αυτή τη μεσαία κατηγορία χαρακτηρίζονται από τις μεγάλες ταχύτητες εκτέλεσης δεδομένων, τα πολλά περιφερειακά τους και την υψηλή σε χωρητικότητα τους μνήμη.

➤ **Μικροελεγκτές εξειδικευμένων εφαρμογών:**

Ενσωματώνουν συνήθως κάποιο εξειδικευμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας. Τέτοιοι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακές συσκευές όπως τα μόντεμ.

3.1 Διαφορές με μικροεπεξεργαστή

Οι μικροελεγκτές έχουν χαμηλό κόστος και για τη λειτουργία του απαιτείται ένας μικρός αριθμός ολοκληρωμένων λόγω των ενσωματωμένων του, ουσιαστικά είναι μια παραλλαγή του μικροεπεξεργαστή αλλά με μεγαλύτερη υπολογιστική δύναμη αλλά και δυνατότητες ανάπτυξης εφαρμογών. (Σχήμα 3.1)

Πλεονεκτήματα Μικροελεγκτών:

- **Αυτονομία**, μέσω της ενσωμάτωσης σύνθετων περιφερειακών υποσυστημάτων όπως μνήμες και θύρες επικοινωνίας. Έτσι πολλοί μικροελεγκτές δεν χρειάζονται κανένα άλλο ολοκληρωμένο κύκλωμα για να λειτουργήσουν.
- Η **ενσωμάτωση περιφερειακών** σημαίνει ευκολότερη υλοποίηση εφαρμογών λόγω των απλούστερων διασυνδέσεων. Επίσης, οδηγεί σε χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος, μεγιστοποιώντας τη φορητότητα και ελαχιστοποιώντας το κόστος της συσκευής στην οποία ενσωματώνεται ο μικροελεγκτής.
- **Χαμηλό κόστος.**
- **Μεγαλύτερη αξιοπιστία**, και πάλι λόγω των λιγότερων διασυνδέσεων.
- **Μειωμένες εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών και μειωμένη ευαισθησία** σε αντίστοιχες παρεμβολές από άλλες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Το πλεονέκτημα αυτό προκύπτει από το μικρότερο

αριθμό και μήκος εξωτερικών διασυνδέσεων καθώς και τις χαμηλότερες ταχύτητες λειτουργίας.

- **Περισσότεροι διαθέσιμοι ακροδέκτες** για ψηφιακές εισόδους-εξόδους (για δεδομένο μέγεθος ολοκληρωμένου κυκλώματος), λόγω της μη δέσμευσής τους για τη σύνδεση εξωτερικών περιφερειακών.
- **Μικρό μέγεθος** συνολικού υπολογιστικού συστήματος



Σχήμα 3.1 : Διαφορές μικροελεγκτή με μικροεπεξεργαστή. [17]

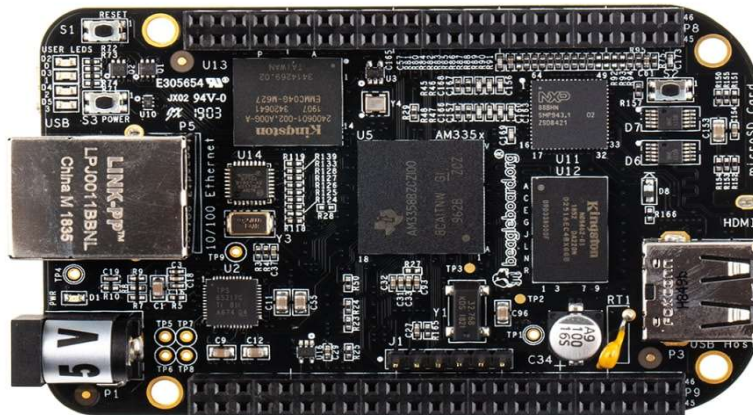
3.2 Το BeagleBone Black

Το **BeagleBone Black** είναι μια συμπαγής, χαμηλού κόστους υπολογιστική πλατφόρμα *ανοικτού κώδικα LINUX*, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσουμε εφαρμογές με ηλεκτρονικά κυκλώματα. (Σχήμα 3.2) Είναι μια ιδανική πλατφόρμα στο είδος της έχοντας τα παρακάτω γενικά χαρακτηριστικά:

- Έχει μεγάλη επεξεργαστική ισχύς η οποία μπορεί να πραγματοποιήσει μέχρι και 2 δισεκατομμύρια εντολές ανά δευτερόλεπτο.

- Χαμηλή τιμή από 55€ έως 85€.
- Η κατανάλωση ενέργειας της είναι “μηδαμινή” κυμαίνεται από 1 W (σε αναμονή) έως 2.3 W (μέγιστο).
- Υποστηρίζεται από μια τεράστια κοινότητα από επαγγελματίες έως και χομπίστες.
- Είναι ανοικτού κώδικα υποστηρίζοντας εργαλεία και εφαρμογές ανοικτού κώδικα.
- Έρχεται με προεγκατεστημένη τη διανομή Linux Angstrom.

Είναι όμως σημαντικό να τονίσουμε πως ο κώδικας αυτός συνήθως δεν παρέχει κάποιου είδους ασφάλεια ή εγγύηση. Εάν υπάρξουν προβλήματα, θα πρέπει να βασιστούμε στην καλή θέληση της κοινότητας για την επίλυσή τους.



Σχήμα 3.2 : BeagleBone Black [18]

3.3 Το υλικό (hardware) του BeagleBone Black

Στην (Σχήμα 3.3) φαίνονται λεπτομερώς τα κύρια συστήματα του BeagleBone Black.

- **Επεξεργαστής AM335x :**
Ένας ισχυρός επεξεργαστής της Sitara 1 GHz ARM-A8 της Texas Instruments.
- **Γραφικά HDMI Framer :**
Ο Framer μετατρέπει την LCD διεπαφή που είναι διαθέσιμη στον επεξεργαστή, σε ένα σήμα HDMI.
- **Μνήμη 512 MB DDR3 :**
Η χωρητικότητα της μνήμης παίζει σημαντικό ρόλο και επηρεάζει σε τεράστιο βαθμό στην απόδοση του συστήματος αλλά και τις εφαρμογές που εκτελούνται.
- **Αποθηκευτικός χώρος :**
Μια ενσωματωμένη on-board κάρτα πολυμέσων 4 GB(eMMC).
- **Διαχείριση ισχύος :**
Ολοκληρωμένο κύκλωμα διαχείρισης ισχύος.
- **Επεξεργαστής Ethernet :**
Μπορεί να συνδεθεί απευθείας σε ένα δίκτυο (υποστηρίζει DHCP).
- **Δίκτυο Ethernet (RJ45) :**
10/100 Ethernet μέσω ενός συνδέσμου RJ45. Δεν υπάρχει on-board Wi-Fi.
- **LED :**
LED παροχής (μπλε), 4 LED χρήστη (μπλε), και δύο LED στο Ethernet (κίτρινο = σύνδεση 100M ενεργή, πράσινο = κίνηση).
- **3 κουμπιά :**
Κουμπί εκκίνησης (on/off). Κουμπί επανεκκίνησης (reset) και διακόπτης επιλογής εκκίνησης για να διαλέξουμε αν θα εκκινήσει από την κάρτα SD ή από το eMMC.
- **Video out :**

Για σύνδεση σε οθόνη.

➤ **DC παροχή 5 V :**

Για σύνδεση τροφοδοτικών 5 V.

➤ **Υποδοχή κάρτας (micro-SD) :**

Το BeagleBone Black εκκινεί μέσω αυτής της υποδοχής , μπορεί να φλασάρουμε επίσης ή να χρησιμοποιηθεί για επιπλέον χώρο αν αποφασίσουμε να ξεκινά από το eMMC.

➤ **Mini-USB :**


Συνδέεται με τον υπολογιστή μας και μπορεί να τροφοδοτήσει απευθείας το BBB και/ή να επικοινωνήσει μαζί του.

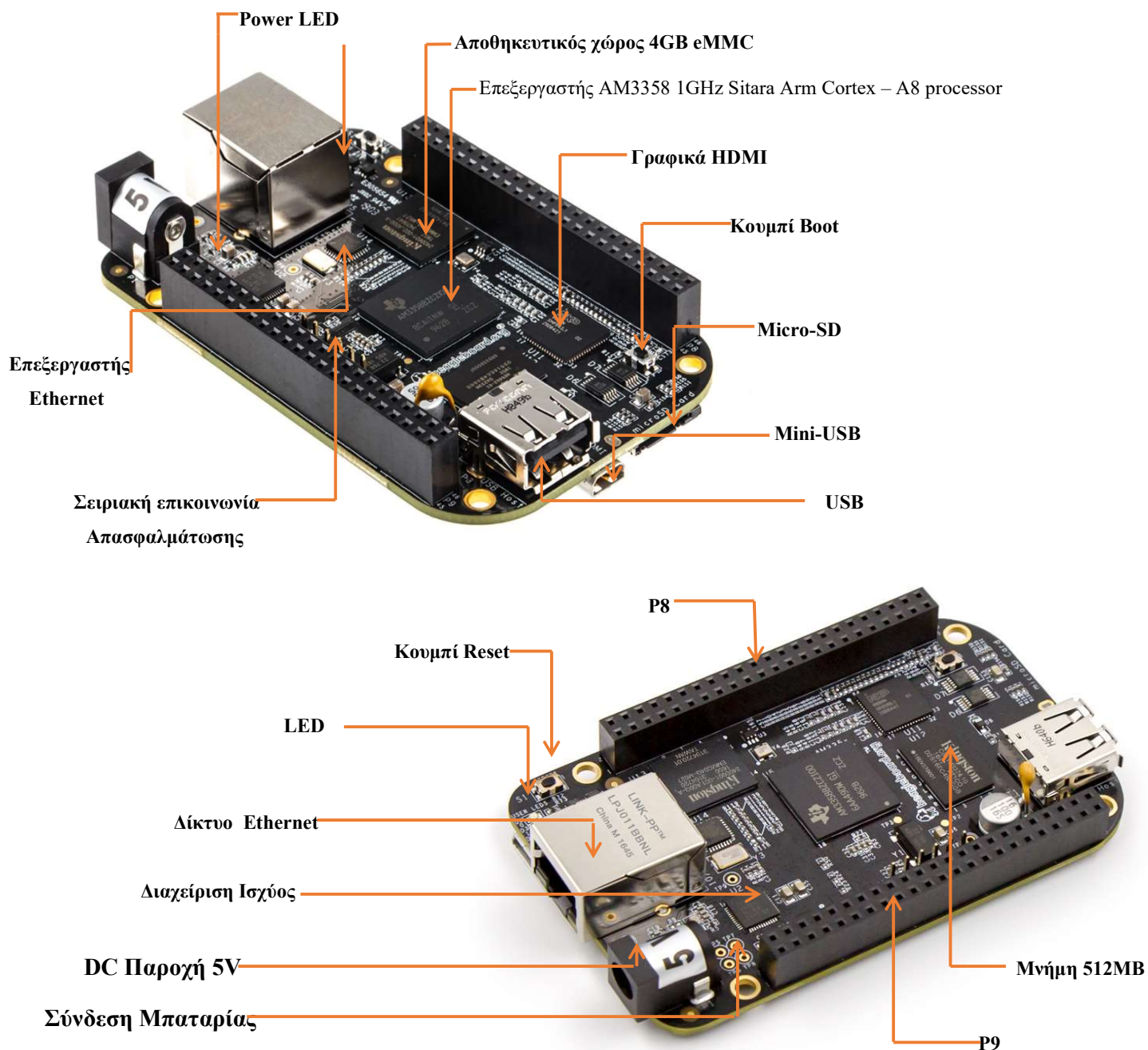
➤ **USB :**

Μπορούμε να συνδέσουμε USB περιφερειακά (π.χ. προσαρμογέα Wi-Fi, πληκτρολόγιο, κάμερα) στο BeagleBone Black με αυτό το σύνδεσμο.

➤ **92 pins σε δύο headers P8 και P9:**

Χρησιμοποιούνται για να δώσουν πρόσβαση σε συγκεκριμένες λειτουργίες και χαρακτηριστικά που περιγράφονται στον *πίνακα 5.1*.

 **Κουμπί ON/OFF**



Σχήμα 3.3 : BeagleBone Black [19]

Το Σχήμα 3.4 επίσης περιγράφει τις διάφορες εισόδους και εξόδους που είναι διαθέσιμες στους headers P8 και P9. Υπάρχουν συνολικά 92 pins σε αυτούς τους headers (2×46), όμως δεν είναι όλα διαθέσιμα για γενικού σκοπού εισόδους/εξόδους (general purpose input/outputs - GPIOs). Πολλές από αυτές τις συνδέσεις έχουν μια προκαθορισμένη διαμόρφωση:

➤ Γείωση :

Οκτώ pins είναι συνδεδεμένα με “ψηφιακή” γη.

Στο **P8**:

DGND → Pin1, Pin2, Pin43, Pin44, Pin45, Pin46

Στο **P9**:

DGND → Pin 1, 2

➤ **Έξοδοι ισχύος :**

3 έξοδοι ισχύος → 6 pins για να παρέχει ισχύ σε εξωτερικές συσκευές.

Στο **P9**:

+3,3V → Pin3, Pin4

+5V (VDD) → Pin5, Pin6

+5V (SYS) → Pin7, Pin8

➤ **Pin Τροφοδοσίας:**

Επιτρέπει την ομαλή απενεργοποίηση μέσω ενός εξωτερικού παλμού αποθηκεύοντας όλα τα δεδομένα.

Στο **P9**:

PWR_BUT → Pin9

➤ **Reset pin:**

Επανεκκινεί τη συσκευή με ασφάλεια.

Στο **P9**:

SYS_RESETN → Pin10

➤ **Ψηφιακοί είσοδοι/έξοδοι:**

Υπάρχουν *69* τέτοια *pin*.

Στο **P8**:

GPIO_30 → Pin11 - GPIO_60 → Pin12 - GPIO_31 → Pin13

GPIO_40 → Pin14 - GPIO_48 → Pin15 - GPIO_51 → Pin16

GPIO_04 → Pin17 - GPIO_05 → Pin18 - GPIO_13 → Pin19
GPIO_12 → Pin20 - GPIO_03 → Pin21 - GPIO_02 → Pin22
GPIO_49 → Pin23 - GPIO_15 → Pin24 - GPIO_117 → Pin25
GPIO_14 → Pin26 - GPIO_125 → Pin27 - GPIO_123 → Pin28
GPIO_111 → Pin29 - GPIO_112 → Pin30 - GPIO_110 → Pin31
GPIO_20 → Pin41 - GPIO_07 → Pin42

Στο P9:

GPIO_38 → Pin03 - GPIO_39 → Pin04 - GPIO_34 → Pin05
GPIO_35 → Pin06 - GPIO_66 → Pin07 - GPIO_67 → Pin08
GPIO_69 → Pin09 - GPIO_68 → Pin10 - GPIO_45 → Pin11
GPIO_44 → Pin12 - GPIO_23 → Pin13 - GPIO_26 → Pin14
GPIO_47 → Pin15 - GPIO_46 → Pin16 - GPIO_27 → Pin17
GPIO_65 → Pin18 - GPIO_22 → Pin19 - GPIO_63 → Pin20
GPIO_62 → Pin21 - GPIO_37 → Pin22 - GPIO_36 → Pin23
GPIO_33 → Pin24 - GPIO_32 → Pin25 - GPIO_61 → Pin26
GPIO_86 → Pin27 - GPIO_88 → Pin28 - GPIO_87 → Pin29
GPIO_10 → Pin31 - GPIO_11 → Pin32 - GPIO_09 → Pin33
GPIO_81 → Pin34 - GPIO_08 → Pin35 - GPIO_80 → Pin36
GPIO_78 → Pin37 - GPIO_79 → Pin38 - GPIO_76 → Pin39
GPIO_77 → Pin40 - GPIO_74 → Pin41 - GPIO_75 → Pin42
GPIO_72 → Pin43 - GPIO_73 → Pin44 - GPIO_70 → Pin45
GPIO_71 → Pin46

➤ **Σειριακή επικοινωνία BB UART:**

Είναι από τις δημοφιλέστερες σειριακές επικοινωνίες, χρησιμοποιείται για αποστολή και λήψη δεδομένων. Στο BeagleBone black θα τις βρούμε στα παρακάτω pins:

Στο P8:

UART5_TX → Pin37
UART_RX → Pin38

Στο P9:

UART1_TX → Pin24

UART1_RX → Pin26
UART2_TX → Pin21
UART2_RX → Pin22
UART4_TX → Pin11
UART4_RX → Pin13

➤ **Διάυλος επικοινωνίας SPI (Serial Peripheral Interface):**

Ο συγκεκριμένος διάυλος επικοινωνίας είναι υπεύθυνος για την σύνδεση των περιφερειακών, τον έλεγχο και τη μεταφορά τιμών στον επεξεργαστή μας. Στο BeagleBone Black θα το βρούμε στα παρακάτω pins:

Στο P9:

SPI0_CS0 → Pin17
SPI0_D0 → Pin21
SPI0_D1 → Pin18
SPI0_SCLK → Pin22
SPI1_CS0 → Pin28
SPI1_D0 → Pin29
SPI1_D1 → Pin30
SPI1_SCLK → Pin31

➤ **I²C πρωτόκολλο επικοινωνίας:**

Είναι ένα πλατιά διαδεδομένο πρωτόκολλο επικοινωνίας από πολλές εταιρίες κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Είναι ιδανικό για τη διασύνδεση περιφερειακών με χαμηλή ταχύτητα με τη μητρική πλακέτα. Στο BeagleBone Black υπάρχουν 2 ζεύγη τέτοιου είδους επικοινωνίας στα παρακάτω pins:

Στο P9:

I2C1_SCL → Pin17
I2C1_SDA → Pin18
I2C2_SCL → Pin19
I2C2_SDA → Pin20

➤ **PWM (Pulse With Modulation):**

Το BeagleBone Black έχει την δυνατότητα εκπομπής PWM για τον έλεγχο , οδήγηση κινητήρων και οποιονδήποτε άλλων ηλεκτρονικών συσκευών. Όλα τα PWM pins είναι τα παρακάτω:

Στο P8:

PWM0A → Pin22

PWM0B → Pin21

PWM0A → Pin31

PWM0B → Pin29

PWM1A → Pin14

PWM1B → Pin16

ECAPPWM0 → Pin42

ECAPPWM2 → Pin28

Στο P9:

PWM1A → Pin36

PWM1B → Pin34

PWM2A → Pin45

PWM2B → Pin46

PWM2A → Pin19

PWM2B → Pin13

Τα pins ECAPPWM0 → Pin42 - ECAPPWM2 → Pin28 είναι για τη γεννήτρια σήματος PWM αλλά μπορούν να προγραμματιστούν και για σήμα εισόδου PWM.

➤ **McASP (Multichannel Audio Serial Port):**

Το McASP λειτουργεί ως σειριακή θύρα ήχου γενικής χρήσης, βελτιστοποιημένη για τις ανάγκες πολυκαναλικών εφαρμογών ήχου και είναι συνδεδεμένη με τον HDMI. Στο BeagleBone Black θα βρούμε το McASP:

Στο P9:

MCASP0_FSX → Pin29

MCASP0_ACLKX → Pin25

MCASP0_AHCLKX → Pin31

MCASP0_AXR2 → Pin28

➤ **eMMC (embedded Multi-Media Card):**

Πρόκειται για έναν ελεγκτή πολυμέσων όπου επιτρέπει να εκκινήσει από το ενσωματωμένο eMMC αντί για την κάρτα micro-SD. Τα pins MMC βρίσκονται:

Στο P8:

MMC1_CMD → Pin20

MMC1_CLK → Pin21

MMC1_DAT0 → Pin25

MMC1_DAT1 → Pin24

MMC1_DAT2 → Pin5

MMC1_DAT3 → Pin6

MMC1_DAT4 → Pin23

MMC1_DAT5 → Pin22

MMC1_DAT6 → Pin3

MMC1_DAT7 → Pin4

➤ **HDMI LCD:**

Το BeagleBone Black έχει τη δυνατότητα διασύνδεσης οθόνης LCD μέσω HDMI. Τα pins που βοηθούν τη λειτουργία αυτή είναι:

Στο P8:

LCD_VSYNC → Pin27

LCD_PCLK → Pin28

LCD_HSYNC → Pin29

LCD_AC_BIAS → Pin30

LCD_DATA14 → Pin31

LCD_DATA15 → Pin32

LCD_DATA13 → Pin33

LCD_DATA11 → Pin34

LCD_DATA12 → Pin35

LCD_DATA10 → Pin36
LCD_DATA8 → Pin37
LCD_DATA9 → Pin38
LCD_DATA6 → Pin39
LCD_DATA7 → Pin40
LCD_DATA4 → Pin41
LCD_DATA5 → Pin42
LCD_DATA2 → Pin43
LCD_DATA3 → Pin44
LCD_DATA0 → Pin45
LCD_DATA1 → Pin46

➤ **Analog to Digital Converter Channels:**

Στο BeagleBone Black, έχουμε τη δυνατότητα να μετατρέψουμε το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό με τα παρακάτω pins:

Στο P9:

AIN0 → Pin39
AIN1 → Pin40
AIN2 → Pin37
AIN3 → Pin38
AIN4 → Pin33
AIN5 → Pin36
AIN6 → Pin35
VDD_ADC → Pin32
GND_ADC → Pin34

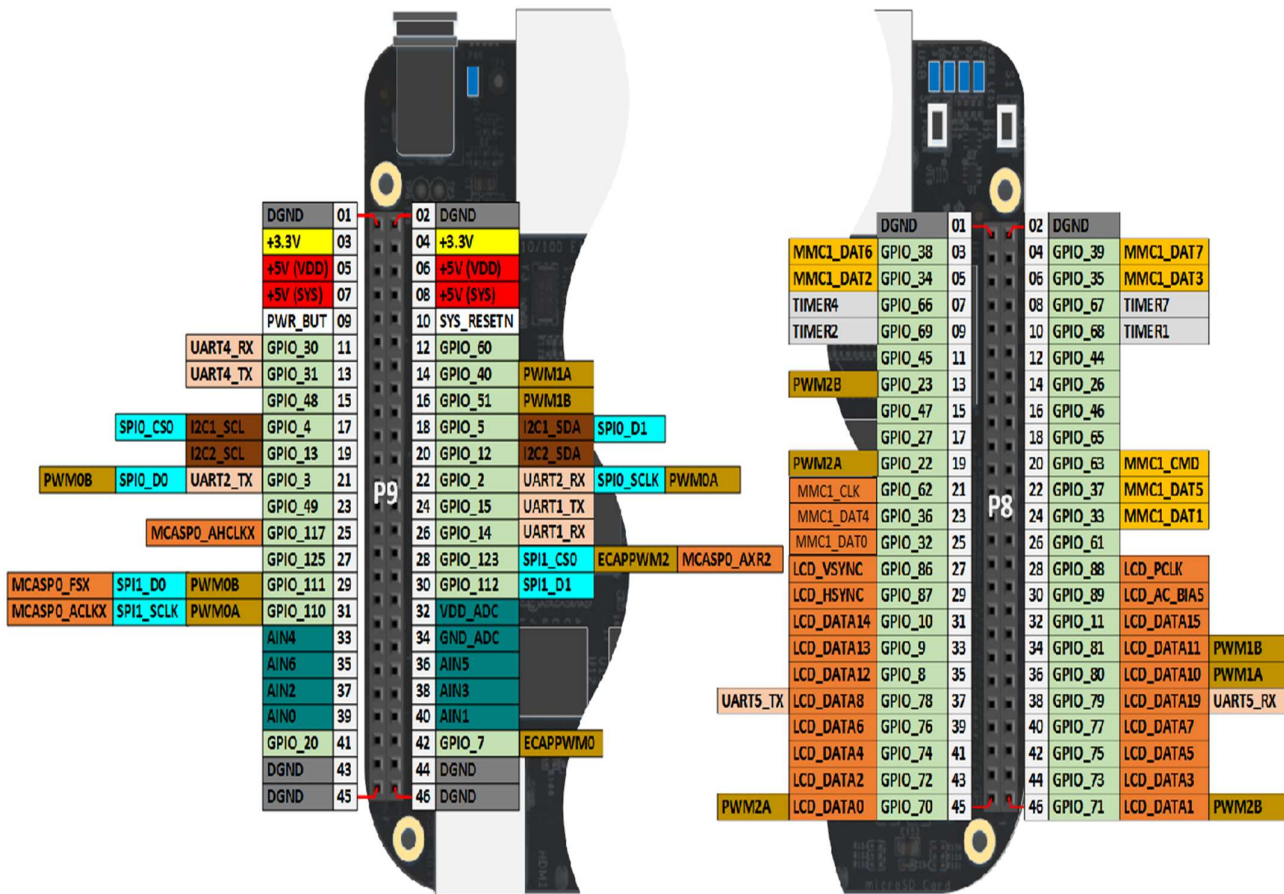
➤ **Timers:**

Έχουμε 4 μετρητές χρόνου στο BeagleBone Black και βρίσκονται:

Στο P8:

TIMER1 → Pin10
TIMER2 → Pin9
TIMER4 → Pin7

TIMER7 → Pin8



Σχήμα 3.4: Headers P8 και P9 και ονομασίες των pins [20]

3.4 Σύγκριση με άλλες πλατφόρμες

Παρόλο που το BeagleBone Black αποτελεί έναν από τους καλύτερους μικροϋπολογιστές δεν είναι η μοναδική επιλογή πλατφόρμα στην αγορά. Υπάρχουν κι άλλες πλατφόρμες που είναι κι αυτές αρκετά δημοφιλείς στο ευρύ κοινό με αρκετές δυνατότητες. Λόγω των πολύπλοκων χαρακτηριστικών τους η διαδικασία επιλογής καλύτερης είναι αδιέξοδος. Ο

κάθε μικροϋπολογιστής έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και ανάλογα με τις ανάγκες μας κάποιο θα είναι ιδανικότερο σε σχέση με κάποιο άλλο. [8]

➤ **Arduino:**

Είναι ο τέλειος μικροελεγκτής για κάποιον που ξεκινάει τα πρώτα του βήματα στο χώρο και είναι ανοικτού κώδικα με τεράστιο community (*Σχήμα 3.5*).

Πλεονεκτήματα:

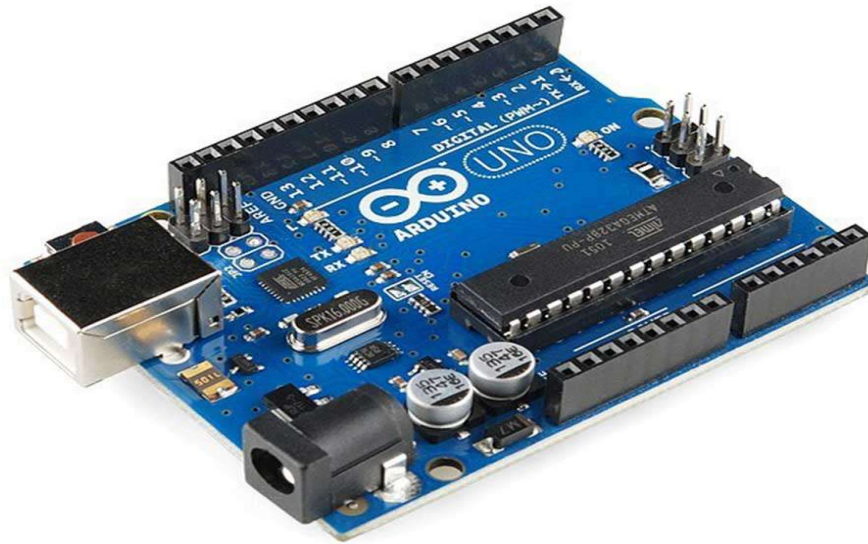
- Είναι μικροσκοπικό και οικονομικό με τιμή κοντά 25€.
- Στις εκδόσεις UNO υπάρχει πληθώρα επιλογών.
- Μηδαμινή κατανάλωση ενέργειας.
- Μπορεί να συνδεθεί σχεδόν με οτιδήποτε.

Μειονεκτήματα:

- Δεν διαθέτει λογισμικό προεγκατεστημένο.
- Δεν ενδείκνυται για πολύπλοκες διαδικασίες ταυτόχρονα.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Arduino UNO R3:

- Μικροελεγκτής ATMEGA328
- Τάση λειτουργίας 5V
- Τάση εισόδου (συνίσταται) 7-12V
- Όρια τάσης εισόδου 6-20V
- Ψηφιακοί ακροδέκτες I/O 14(6 εκ των οποίων PWM έξοδο)
- Αναλογικοί ακροδέκτες εισόδου 6
- Ισχύς συνεχόμενου ρεύματος ανά ακροδέκτη 40mA
- Ισχύς συνεχόμενου ρεύματος για ακροδέκτη τάσης 3.3V 50mA
- Μνήμη flash 32KB (ATMEGA328)
- Μνήμη SRAM 2KB (ATMEGA328)
- Μνήμη EEPROM 1KB (ATMEGA328)
- Ταχύτητα ρολογιού 16MHz



Σχήμα 3.5: Arduino UNO R3 [22]

➤ **Raspberry Pi 4 Model B 4GB:**

Είναι ένας ολοκληρωμένος υπολογιστής τσέπης που τρέχει Linux από κάρτα SD . Ουσιαστικά είναι ένας υπολογιστής Linux χαμηλής ισχύος και είναι ιδανικός για οποιαδήποτε εργασία απλή ή περίπλοκη όπου απαιτεί λογισμικό Linux (Σχήμα 3.6).

Πλεονεκτήματα:

- Έχοντας θύρες HDMI USB μπορεί να λειτουργήσει σαν κανονικός υπολογιστής.
- Είναι μικρός σε μέγεθος και οικονομικός με τιμή κοντά στα 70 €.
- Ευκολία αλλαγής λογισμικών αλλάζοντας την κάρτα SD.
- Εύκολη σύνεση στο διαδίκτυο.
- Εύκολη χρήση από αρχάριους.
- Πανίσχυρο.

Μειονεκτήματα:

- Δεν υπάρχουν αρκετές επιλογές στην επιλογή εξωτερικών αισθητηρίων σε σχέση με τα Arduino και BeagleBone.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- **Επεξεργαστής:**
Broadcom BCM2711, τετραπύρηνο Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC
@ 1.5GHz
- **Μνήμη:**
1 GB, 2 GB, 4 GB ή 8 GB LPDDR4 (ανάλογα με το μοντέλο) με on-die ECC
- **Συνδεσιμότητα:**
2.4 GHz και 5.0 GHz IEEE 802
ασύρματο LAN,
Bluetooth 5.0
Gigabit Ethernet
2 - Θύρες USB 3.0
2 - Θύρες USB 2.0
- **GPIO:** Τυπική κεφαλίδα GPIO 40 ακίδων (πλήρως συμβατή προς τα πίσω με προηγούμενες πλακέτες)
- **Βίντεο και ήχος:**
2 - θύρες micro HDMI (υποστηρίζονται έως 4Kp60)
Θύρα οθόνης MIPI DSI 2 λωρίδων
Θύρα κάμερας 2 λωρίδων MIPI CSI
Στερεοφωνικός ήχος και σύνθετη θύρα βίντεο
- **Πολυμέσα:**
H.265 (αποκωδικοποίηση 4Kp60);
H.264 (αποκωδικοποίηση 1080p60, κωδικοποίηση 1080p30);
Γραφικά OpenGL ES, 3.0
- **Υποστήριξη κάρτας SD:**
Υποδοχή κάρτας Micro SD για φόρτωση λειτουργικού συστήματος και αποθήκευσης δεδομένων.



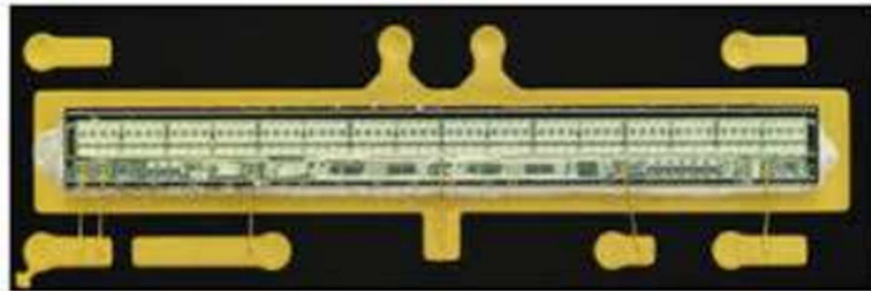
Σχήμα 3.6: Raspberry Pi 4 Model B [21]

➤ **BeagleBone:**

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του έχουν αναφερθεί παραπάνω λεπτομερώς. Το BeagleBone είναι ένας συνδυασμός Arduino και Raspberry. Έχει τη ισχύ του Raspberry και τις εξωτερικές διασυνδέσεις ενός Arduino. Το BeagleBone απευθύνεται κυρίως σε προχωρημένους χρήστες και προγραμματιστές, τα καταφέρνει καλύτερα από ένα Arduino σε πολύπλοκα πρότζεκτ αλλά με λιγότερα γραφικά σε σχέση με το Raspberry.

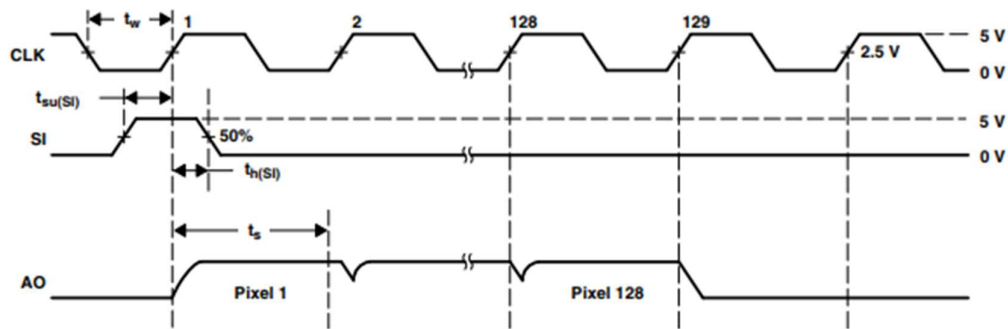
4 Αισθητήρας AMS TSL 1401 CL

Το αισθητήριο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι ο **AMSTSL1401CL** (**Σχήμα 4.1**). [12] Αποτελείται από 128 φωτοδιόδους σε γραμμική διάταξη με δυνατότητα καταγραφής της έντασης του φωτός χωρίς χρώμα. Η απόσταση μεταξύ των φωτοδίοδων είναι στα 8μm και η ευαισθησία περιοχής που έχει η κάθε φωτοδίodos είναι περίπου 3.52 τετραγωνικά μικρόμετρα. Ο χρόνος απόκρισης είναι αντιστρόφως ανάλογος της επιφάνειας φωτοδίοδου, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια τόσο πιο αργός είναι ο χρόνος απόκρισης. Η ποσότητα όμως που θα συσσωρευτεί σε κάθε εικονοστοιχείο του αισθητηρίου μας είναι ανάλογη της έντασης του φωτός και της ολοκλήρωσης. Το αισθητήριο επίσης διαθέτει 2 πυκνωτές, κύκλωμα δειγματοληψίας και 2 διακόπτες για κάθε φωτοδίodo. Οι φωτοδιόδους είναι ημιαγωγοί που μετατρέπουν το φώς σε ρεύμα. Η τάση λειτουργίας τους αισθητηρίου είναι από 3V – 5V και για τη λειτουργία του απαιτείται μια σειριακή είσοδος (SI) και ένα ρολόι (CLK).



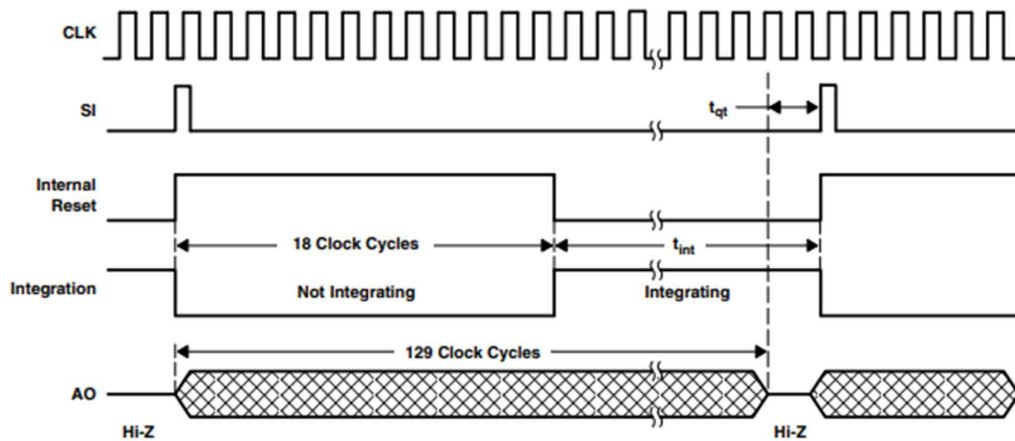
Σχήμα 4.1: Αισθητήριο AMSTSL1401CL [23]

Το αισθητήριο ελέγχεται από έναν καταχωρητή μετατόπισης 128bit. Ένας κύκλος λειτουργίας ξεκινά με λογικό 1 στις SI και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κατασκευαστή την ίδια στιγμή το ρολόι CLK πρέπει να είναι σε χαμηλή κατάσταση. Ο σωστός χρονισμός μεταξύ των σημάτων αυτών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. (**Σχήμα 4.2**)

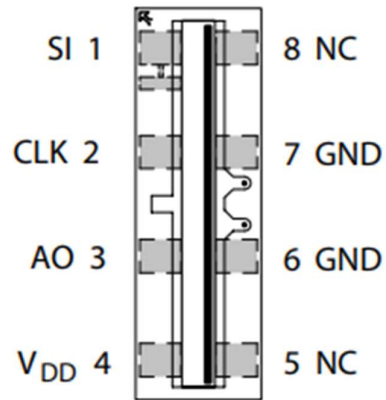


Σχήμα 4.2 : Διάγραμμα χρονισμού μεταξύ CLK και SI [24]

Η παραπάνω διαδικασία ενεργοποιεί τους πυκνωτές των εικονοστοιχείων δημιουργώντας τάση στην αναλογική έξοδο, η διάρκεια δειγματοληψίας είναι 129 παλμοί ρολογιού. (Σχήμα 4.3)



Σχήμα 4.3: Διάρκεια δειγματοληψίας [24]



Σχήμα 4.4: Άνω όψη [24]

- **Ακροδέκτης 1 → SI:**
Σειριακή είσοδος, ορίζει την έξοδο δεδομένων.
- **Ακροδέκτης 2 → CLK:**
Ρολόι, ελέγχει τα εικονοστοιχεία και την επαναφορά τους.
- **Ακροδέκτης 3 → AO:**
Αναλογική έξοδος.
- **Ακροδέκτης 4 → VDD:**
Τάση τροφοδοσίας.
- **Ακροδέκτες 5 και 8 → NC:**
No internal connection.
- **Ακροδέκτες 6 και 7 → GND:**
Ground – Γείωση.

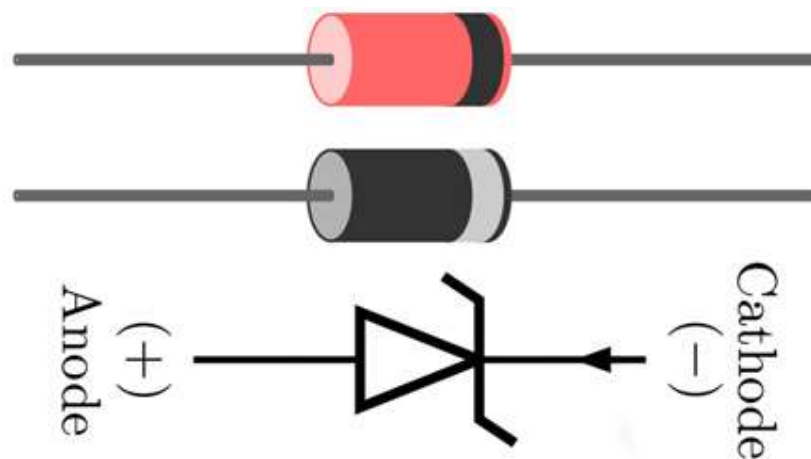
4.1 Δίοδοι

Τα τελευταία χρόνια, όλοι έχουμε χρησιμοποιήσει φώτα LED με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Η βασική ιδέα πίσω από τα LED είναι ότι εκπέμπουν φως όταν περνάει ηλεκτρισμός μέσα από αυτά.

Η δίοδος είναι ένας τύπος ηλεκτρικής συσκευής που βοηθά στη ροή του ηλεκτρισμού προς μία μόνο κατεύθυνση. Τα LED είναι παρόμοια με τις διόδους, αλλά είναι κατασκευασμένα από διόδους εκπομπής φωτός (LED). Τα LED χρησιμοποιούνται σε πολλά διαφορετικά πράγματα, όπως φώτα και gadget. [11]

Τα αρνητικά φορτία απλώνονται σε μια περιοχή ενώ τα θετικά φορτία συγκεντρώνονται σε μια άλλη. Αυτό αναγκάζει το ηλεκτρικό ρεύμα να ρέει μέσω του κυκλώματος προς μία κατεύθυνση και να διακόπτεται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτό συμβαίνει επειδή τα αντίθετα (όπως τα θετικά και τα αρνητικά φορτία) ελκούνται και απωθούν το ένα το άλλο.

Εάν βάλετε μια θετική τάση στην πλευρά με περισσότερα αρνητικά φορτία, το ρεύμα θα ρέει μέσω αυτής προς την άλλη επαφή, την κάθοδο. Αλλά αν βάλετε αρνητική τάση στην πλευρά με περισσότερα αρνητικά φορτία, το ρεύμα θα ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση λόγω του αρνητικού φορτίου. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο είναι σημαντικό να συνδέσετε μια αντίσταση στο πλάι με περισσότερα αρνητικά φορτία, έτσι ώστε το ρεύμα να μην διαρρέει τη συσκευή πολύ γρήγορα και να τη βλάψει. (Σχήμα 4.5)



Σχήμα 4.5: Διάταξη Διόδου [25]

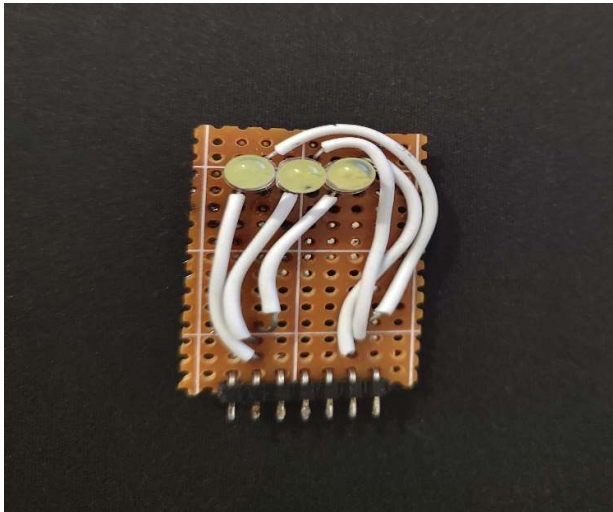
Τα λέιζερ είναι παρόμοια με τα LED, αλλά τα λέιζερ παράγουν πιο συνεκτικό (coherent) φως, πράγμα που σημαίνει ότι τα κύματα φωτός έχουν όλα την ίδια συχνότητα και φάση.

Για τα πειράματα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν 2 πηγές φωτός:

➤ **Λίοδοι Led ψυχρού έντονου φωτισμού:**

Για τη συγκεκριμένη πηγή φωτός έγινε μια απλή κατασκευή πάνω σε μια πλακέτα προτυποποίησης, αποτελείται από 3 διόδους Led και 3 αντιστάσεις των 330Ω. (Σχήμα 4.6)

➤ **Λίодος Laser:** Το laser module SYD1230 γενικά είναι αρκετά διαδομένο στην αγορά. Η ισχύς του είναι στα 5 mW (κλάσης 3α) και η τάση τροφοδοσίας 3 – 5 V.[9]Ερχεται με ενσωματωμένο το κύκλωμα οδήγησης και προστασίας από τα υψηλά ρεύματα. Ο φακός του είναι περιστρεφόμενος, όπου περιστρέφει την κάθετη ακτίνα φωτός την οποία εκπέμπει , με τη δυνατότητα επίσης εστίασης της. (Σχήμα 4.7)



Σχήμα 4.6 : Πηγή φωτός από διόδους Led



Σχήμα 4.7: Πηγή φωτός διόδου laser

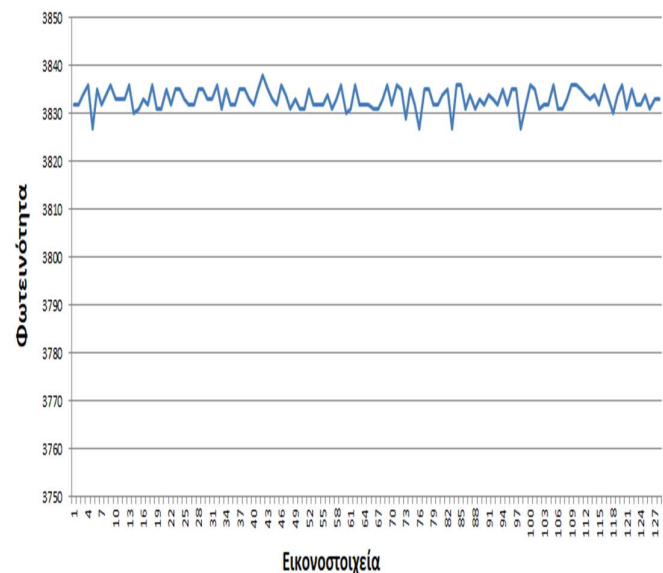
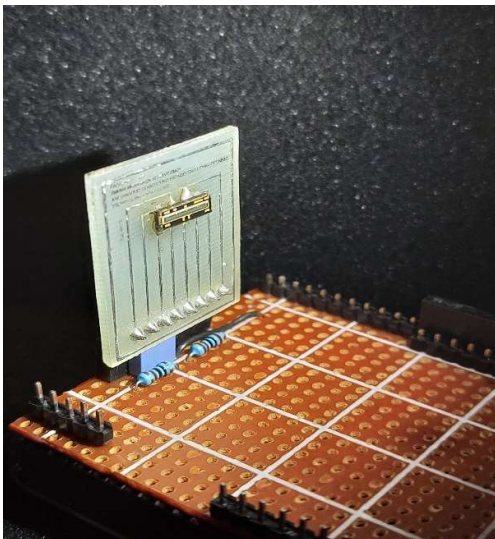
4.2 Κύκλος λήψης των καρτέ

Ως κύκλος λήψης καρτέ ορίζεται ως η συνολική διαδικασία που απαιτείται για την ολοκλήρωση και τη δειγματοληψία 128 δεδομένων που απαρτίζουν ένα καρτέ. Ο κύκλος λήψης των καρτέ απαρτίζεται από 3 φάσεις, την ολοκλήρωση, τη δειγματοληψία και την καθυστέρηση. Στην πρώτη φάση τα εικονοστοιχεία συλλέγουν το φώς, στη δεύτερη φάση γίνεται η εξαγωγή των δεδομένων που συλλέχθηκαν από την πρώτη φάση και τέλος στη τελευταία φάση δεν εκτελείται καμία απολύτως ενέργεια. Η χρησιμότητα της είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε να συμπληρωθεί ο χρόνος και το αισθητήριο μας να είναι έτοιμο για το επόμενο καρτέ.

4.3 Πειράματα και έλεγχος ορθής λειτουργίας

Ο έλεγχος της σωστής λειτουργίας του αισθητηρίου AMSTSL1401CL με τη μορφή κάποιων πειραμάτων άλλα και με τη σύγκριση των μετρήσεων που θα πάρουμε κρίνεται απαραίτητος για τη συνέχεια. Αρχικά με το *πρώτο πείραμα* μετρήσαμε το αισθητήριο χωρίς κανένα εμπόδιο μεταξύ των εικονοστοιχείων και του φωτός (*Σχήματα 4.8 και 4.9*)

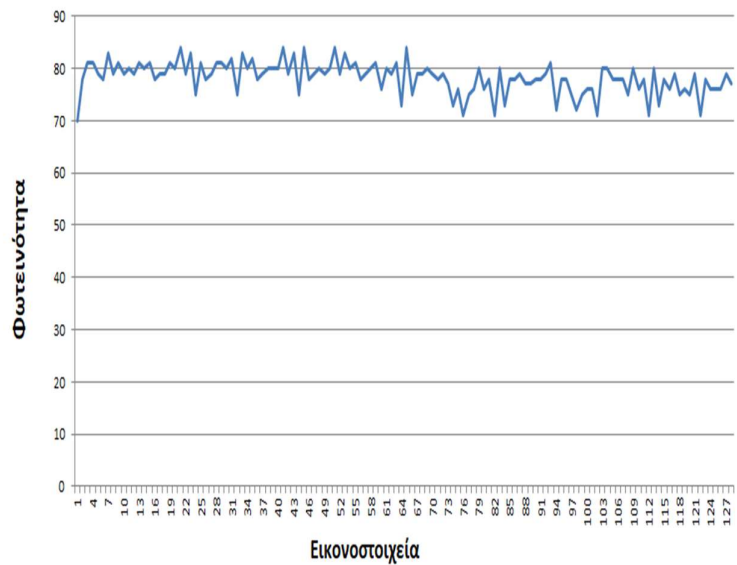
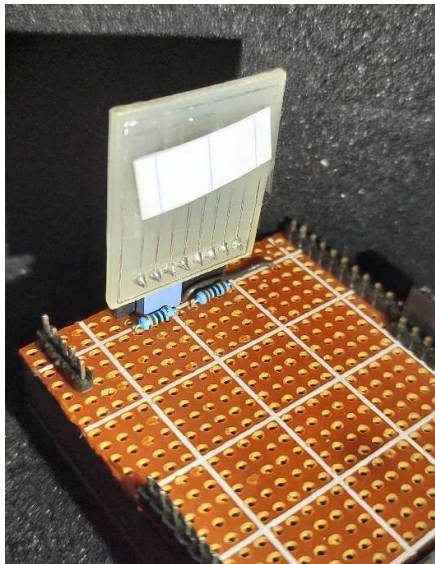
Τα ορίσματα που δόθηκαν είναι 10 frames - 80 μ s - 50 frames per second - 100 kHz και απόσταση αισθητηρίου από την πηγή στα 500 χιλιοστά.



Σχήματα 4.8 & 4.9: Αισθητήριο χωρίς εμπόδιο και οι τιμές από τη φωτεινότητα εικονοστοιχείων

Οι τιμές που λάβαμε αρχικά είναι μέσα σε επιτρεπτά όρια δείχνοντάς ότι το αισθητήριο μας λειτουργεί και οι τιμές που λάβαμε είναι ικανοποιητικές κι αυτές που περιμέναμε κοντά στις 4000.

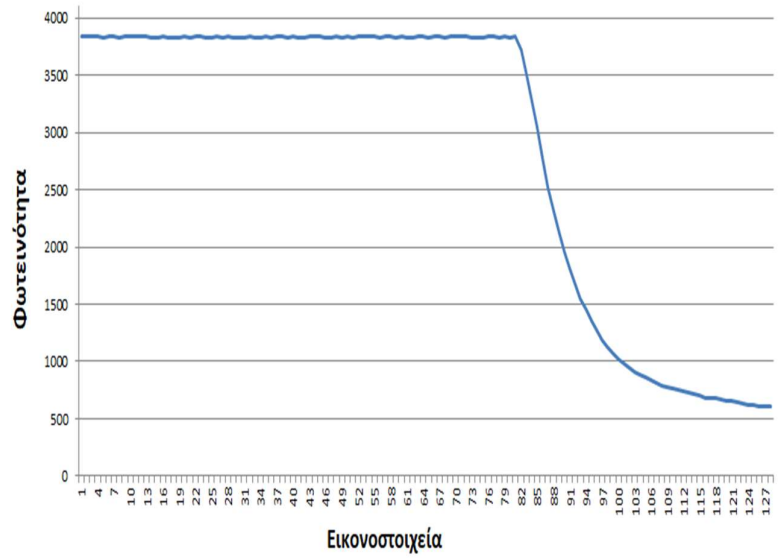
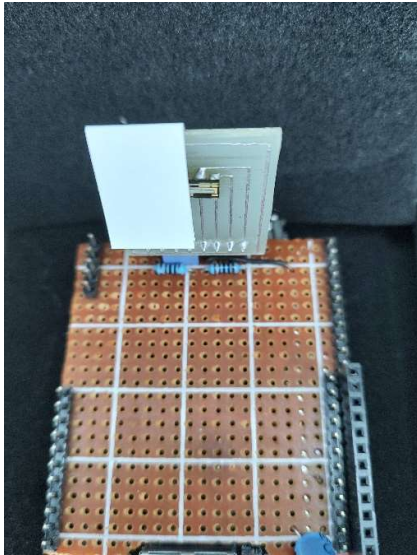
Στο *δεύτερο πείραμα* θα καλύψουμε ολόκληρη την επιφάνεια του αισθητηρίου έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσουμε το φώς των εικονοστοιχείων με τα ίδια ορίσματα του πρώτου πειράματος και με την ίδια απόσταση. (*Σχήματα 4.10 και 4.11*)



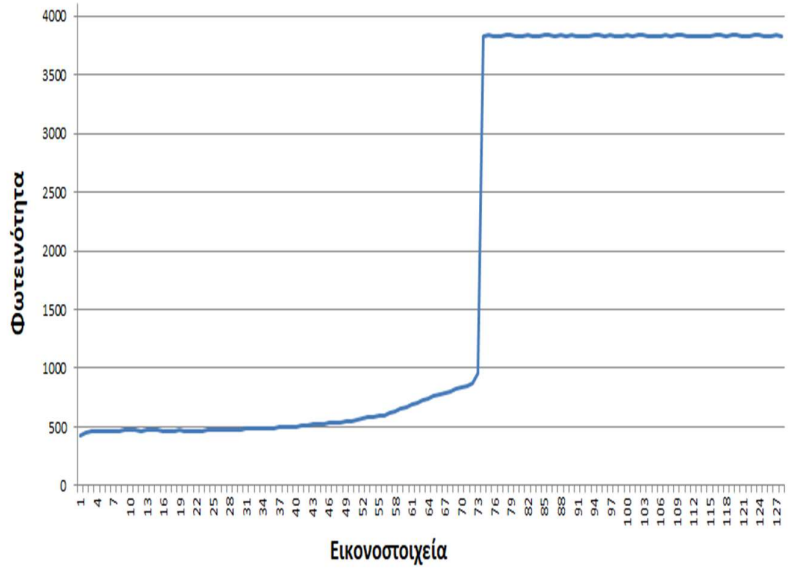
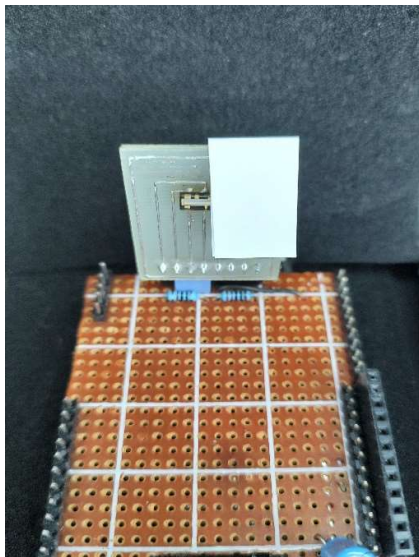
Σχήματα 4.10 & 4.11 : Αισθητήριο με εμπόδιο και οι τιμές από τη φωτεινότητα εικονοστοιχείων

Οι τιμές του αισθητηρίου είναι κοντά στο 0 αυτή τη φορά, το οποίο μας υποδηλώνει την απουσία φώτος στα εικονοστοιχεία και την ορθή λειτουργία του αισθητηρίου και πάλι.

Στο *τρίτο πείραμα* θα καλύψουμε τη μισή επιφάνεια από αριστερά προς τα δεξιά (*Σχήματα 4.12 και 4.13*) και στο *4^ο πείραμα* το αντίστροφο. (*Σχήματα 4.14 και 4.15*)



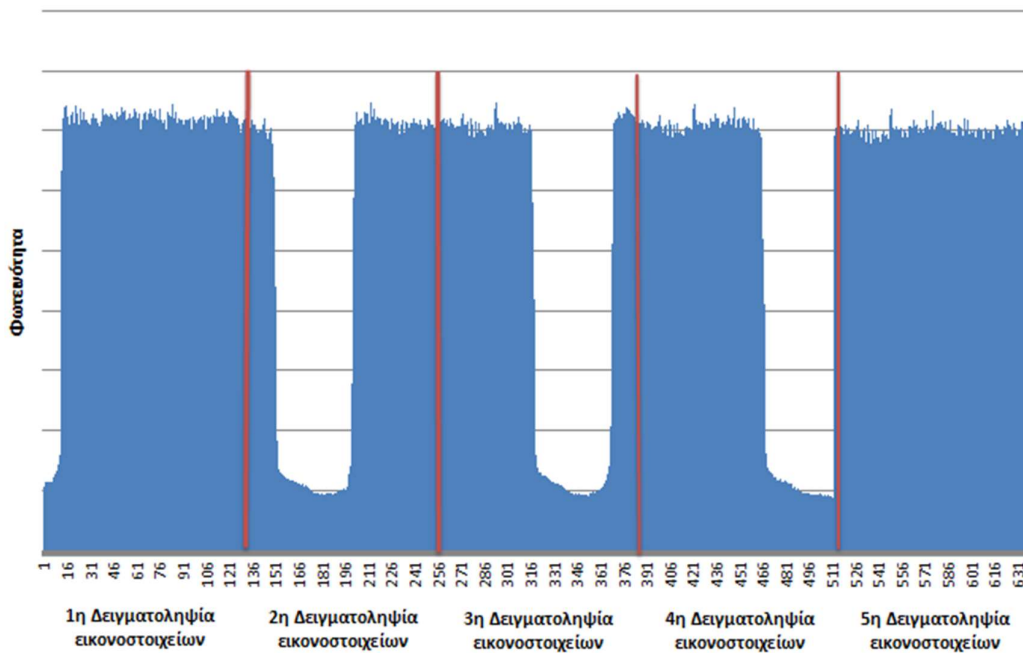
Σχήματα 4.12 & 4.13: Αισθητήριο με εμπόδιο στην μισή επιφάνεια από αριστερά και οι τιμές των εικονοστοιχείων.



Σχήματα 4.14 & 4.15: Αισθητήριο με εμπόδιο στην μισή επιφάνεια από δεξιά και οι τιμές των εικονοστοιχείων.

Στα δυο πειράματα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι το αισθητήριο “αναγνωρίζει” τα εμπόδια είτε από αριστερά είτε από δεξιά και με τα εικονοστοιχεία όλα να δείχνουν πλήρως λειτουργικά.

Στο *τελευταίο πείραμα (Σχήμα 4.16)* θα περάσουμε ένα εμπόδιο (διπλωμένο κομμάτι χαρτί) και της διάρκειας δειγματοληψίας περιμένοντας τη φωτεινότητα των εικονοστοιχείων να αλλάζει σε κάθε frame. Το μόνο που θα αλλάξουμε στα ορίσματα είναι τα frames από 10 σε 5 για να γίνει το σχήμα πιο ευανάγνωστο.



Σχήμα 4.16: Κινητό εμπόδιο από δεξιά προς τα αριστερά

Στην εικόνα αρχικά οι κόκκινες κάθετες γραμμές είναι το τέλος κάθε δειγματοληψίας. Στο πρώτο frame από 1 έως 128 από το 1 εικονοστοιχείο έως το 13 φαίνεται η απουσία φωτός κάτι το οποίο υποδηλώνει ότι κατά τη διάρκεια αυτής της δειγματοληψίας το εμπόδιο μας βρισκόταν σε αυτά τα εικονοστοιχεία. Αντίστοιχα αν παρατηρήσουμε καλύτερα την εικόνα, στα επόμενα frames τα εικονοστοιχεία που δεν έχουν φωτεινότητα μετατοπίζονται όπως ακριβώς το εμπόδιο κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών.

5 Λογισμικό

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε. Πρόκειται για την **Debian**, που είναι και το πιο δημοφιλές περιβάλλον από τους χρήστες του Beagle Bone Black. Επίσης θα γίνει μια προσπάθεια δημιουργίας ενός εγχειριδίου με όσο το δυνατόν περισσότερα σχήματα για την ευκολότερη κατανόηση του σε όσους δεν είναι εξοικειωμένοι με αυτό. Η Debian είναι ανοικτού κώδικα και είναι δωρεάν, η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε είναι η 8.7 2017-03-19 4GB SD IOT. Ο προγραμματισμός σε υψηλό επίπεδο αποδείχθηκε ιδιαίτερα δύσκολος με αρκετά προβλήματα σε όλα τα στάδια της και ο οδηγός που έχει χρησιμοποιηθεί για το αισθητήριο μας είναι χαμηλού επιπέδου C και Assembly και έχει γραφεί από τον κ. Ευστράτιο Γκαγκάνη στα πλαίσια της διπλωματικής του εργασίας με τίτλο «Κατασκευή συστήματος αισθητήρα φωτοдиодων με μικροϋπολογιστή BeagleBone για χρήση σε μη-παρεμβατικούς βιοϊατρικούς αισθητήρες». Για όποιον θέλει να χρησιμοποιήσει τον συγκεκριμένο οδηγό είναι πολύ σημαντικό να χρησιμοποιήσει και την παραπάνω έκδοση, διότι σε νεότερες εκδόσεις οι αλλαγές είναι σημαντικές και ο οδηγός δεν είναι πλέον συμβατός. [1]

5.1 Εγκατάσταση Debian GNU/Linux

1^ο Βήμα: Η επίσκεψη στην ιστοσελίδα <https://beagleboard.org/> (Σχήμα 5.1).[7]



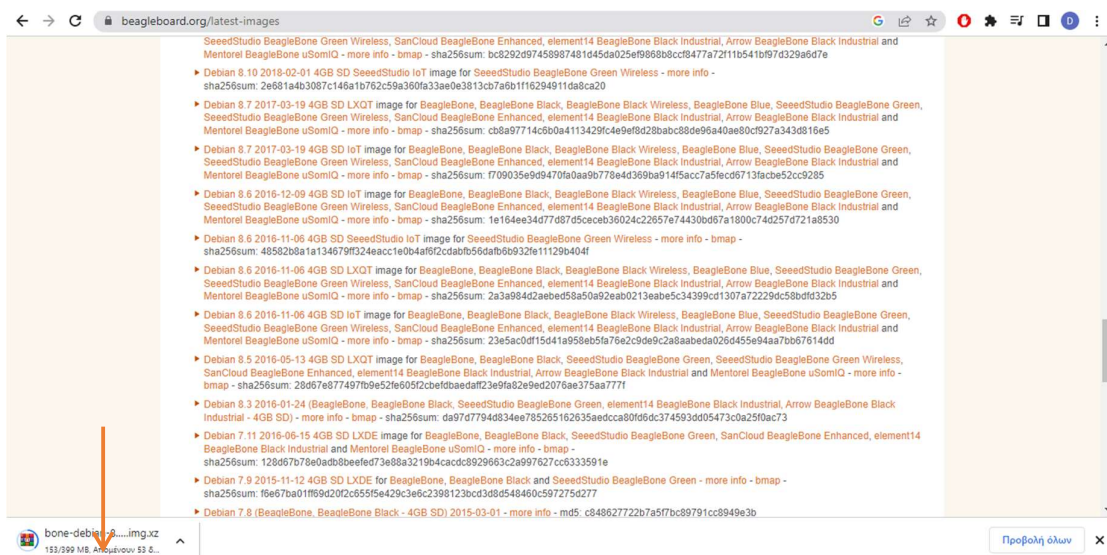
Σχήμα 5.1: Ιστοσελίδα www.Beaglebone.org

Κάνοντας αριστερό κλικ πάνω αριστερά στο start επιλέγοντας Latest Software Images επιλέγουμε την έκδοση 8.7 2017-03-19 4GB SD IOT. (Σχήμα 5.2)

- Debian 8.7 2017-03-19 4GB SD IoT image for BeagleBone, BeagleBone Black, BeagleBone Black Wireless, BeagleBone Blue, SeeedStudio BeagleBone Green, SeeedStudio BeagleBone Green Wireless, SanCloud BeagleBone Enhanced, element14 BeagleBone Black Industrial, Arrow BeagleBone Black Industrial and Mentorel BeagleBone uSomIQ - more info - bmap - sha256sum: f709035e9d9470fa0aa9b778e4d369ba914f5acc7a5fec6713facbe52cc9285

Σχήμα 5.2: Έκδοση 8.7 2017-03-19 4GB SD IOT

Πατώντας αριστερό κλικ πάνω στην έκδοση που επιθυμούμε, αυτόματα γίνεται και η λήψη της συγκεκριμένης έκδοσης. (Σχήμα 5.3)



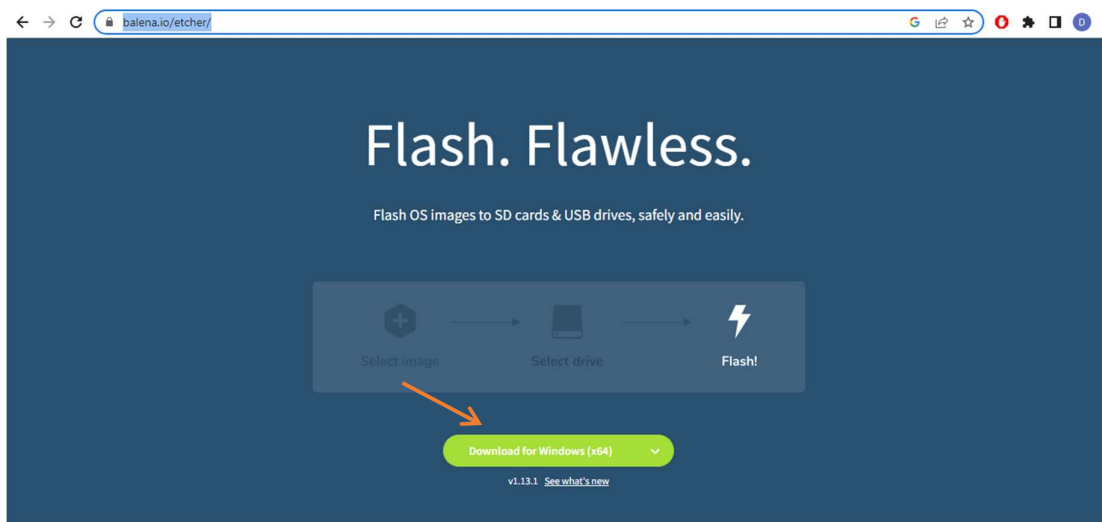
Σχήμα 5.3: Λήψη έκδοσης

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία της λήψης θα χρειαστεί ένα μέσο εγκατάστασης microSD card χωρητικότητας τουλάχιστον 4 GB. Οι σύγχρονοι υπολογιστές δεν διαθέτουν υποδοχή για microSD card κάτι το οποίο μας «αναγκάζει» να πάρουμε έναν προσαρμογέα USB σε microSD card. (Σχήμα 5.4)



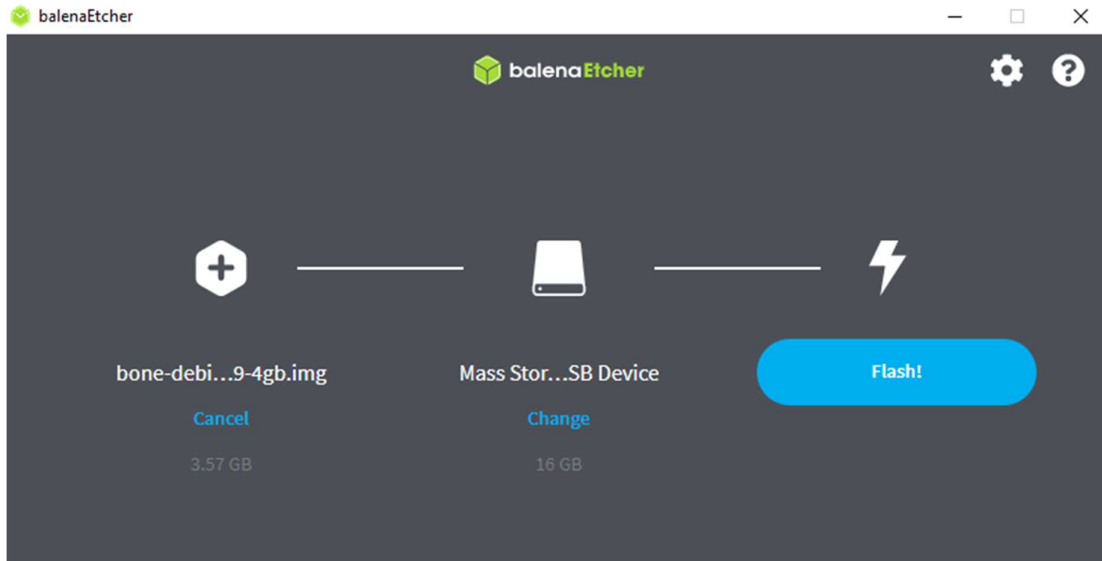
Σχήμα 5.4 : Προσαρμογές για microSD card

2^ο Βήμα: Επισκεπτόμαστε την ιστοσελίδα <https://www.balena.io/etcher/> (Σχήμα 5.5)



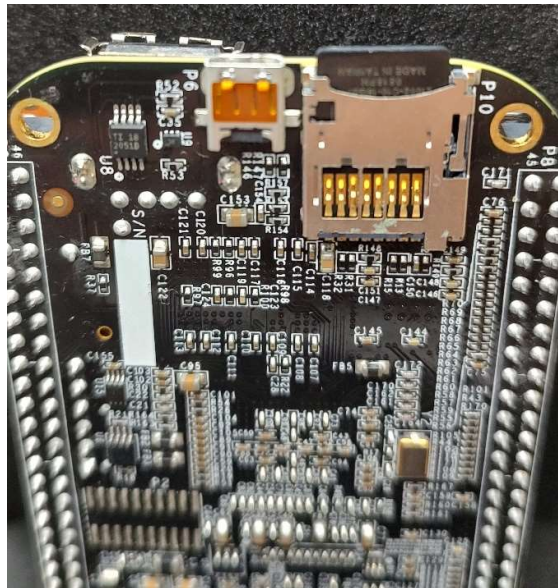
Σχήμα 5.5: Ιστοσελίδα <https://www.balena.io/etcher/> [26]

Πατώντας αριστερό κλίκ γίνεται λήψη ανάλογα με το λειτουργικό μας σύστημα, στην περίπτωση μας θα επιλέξουμε για windows. Μόλις ολοκληρωθεί η λήψη, θα προχωρήσουμε στην εγκατάσταση του προγράμματος. Ανοίγοντας το πρόγραμμα θα χρειαστεί αρχικά να επιλέξουμε την εικόνα που επιθυμούμε (στην περίπτωση μας το bone-debian-8.7-iot-armhf-2017-03-19-4gb.img). Στο select target επιλέγουμε τον microSD card και τέλος πατάμε Flash. Η διαδικασία της εγγραφής εξαρτάται από την υπολογιστική δύναμη του εκάστοτε υπολογιστή και την ταχύτητα εγγραφής της microSD card (Σχήμα 5.6) Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ότι στο διάστημα αυτό να μην απενεργοποιηθεί ο υπολογιστής ούτε να αφαιρεθεί ο προσαρμογές από τη θύρα USB.



Σχήμα 5.6: Δημιουργία SD card εκκίνησης λογισμικού

3^ο Βήμα: Όταν τελειώσει η παραπάνω διαδικασία εγγραφής αφαιρούμε την microSD card από τον προσαρμογέα (ασφαλής κατάργηση από την κάτω γραμμή εργαλείων) και είναι έτοιμο να τοποθετηθεί στην ειδική υποδοχή που διαθέτει το Beagle Bone Black. (Σχήμα 5.7)

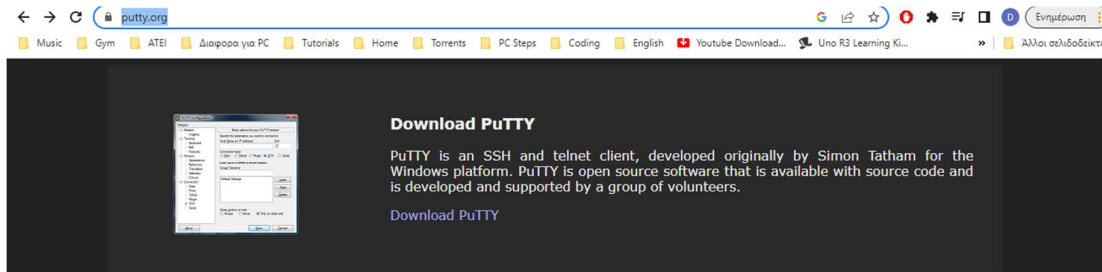


Σχήμα 5.7: Ειδική υποδοχή microSD card.

5.2 Εγκατάσταση βοηθητικών προγραμμάτων

4^ο Βήμα: Επισκεπτόμαστε την ιστοσελίδα <https://www.putty.org/> [27] επιλέγοντας download putty (**Σχήμα 5.8**). Εγκαθιστούμε το PUTTY όπου είναι εξομοιωτής τερματικού ανοικτού κώδικα που προσφέρεται δωρεάν, σειριακή κονσόλα και εφαρμογή που δίνει την δυνατότητα μεταφοράς αρχείων δικτύου. Θα πρέπει να γίνει η εγκατάσταση ενός ακόμη βοηθητικού προγράμματος με την ονομασία WinSCP από τα αρχικά Windows Secure Copy.

Το WinSCP βασίζεται στην υλοποίηση του πρωτοκόλλου SSH από το Putty και του πρωτοκόλλου FTP από το FileZilla. Η κύρια λειτουργία του είναι η ασφαλής μεταφορά αρχείων μεταξύ ενός τοπικού υπολογιστή και ενός απομακρυσμένου διακομιστή. Πέρα από αυτό, το WinSCP προσφέρει βασική λειτουργία διαχείρισης και συγχρονισμού αρχείων. Για ασφαλείς μεταφορές, χρησιμοποιεί το Secur shell πρωτόκολλο (SSH) και υποστηρίζει το πρωτόκολλο SCP εκτός από το SFTP. Για την εγκατάσταση θα χρειαστεί να επισκεφτούμε τον ιστότοπο <https://winscp.net/eng/download.php> [28] πατώντας download download WinSCP (**Σχήμα 5.9**).

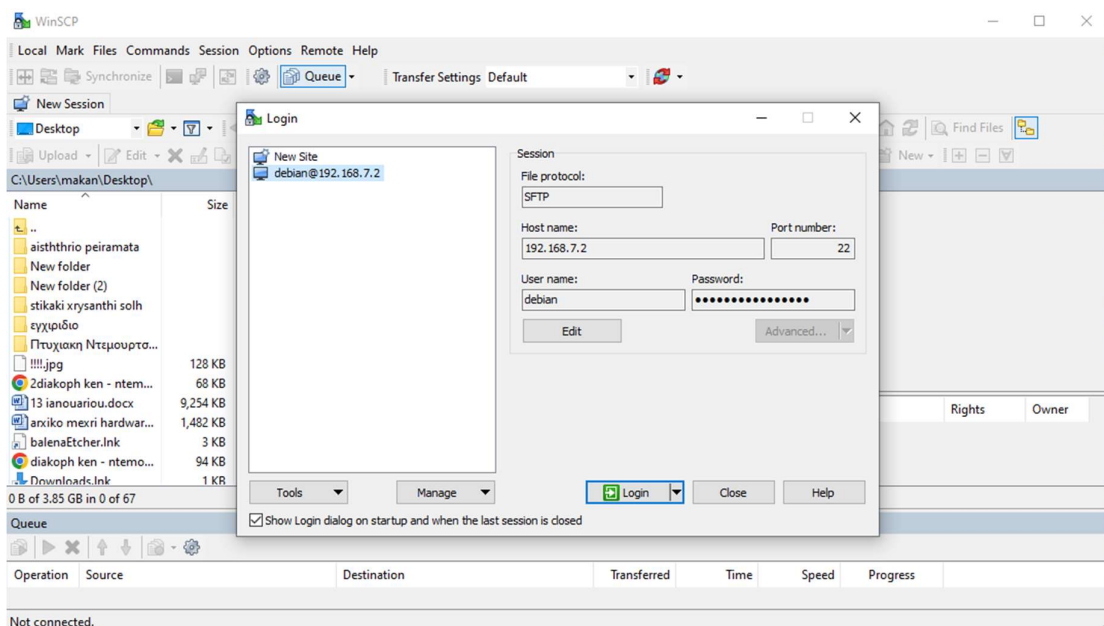


Σχήμα 5.8: Download Putty



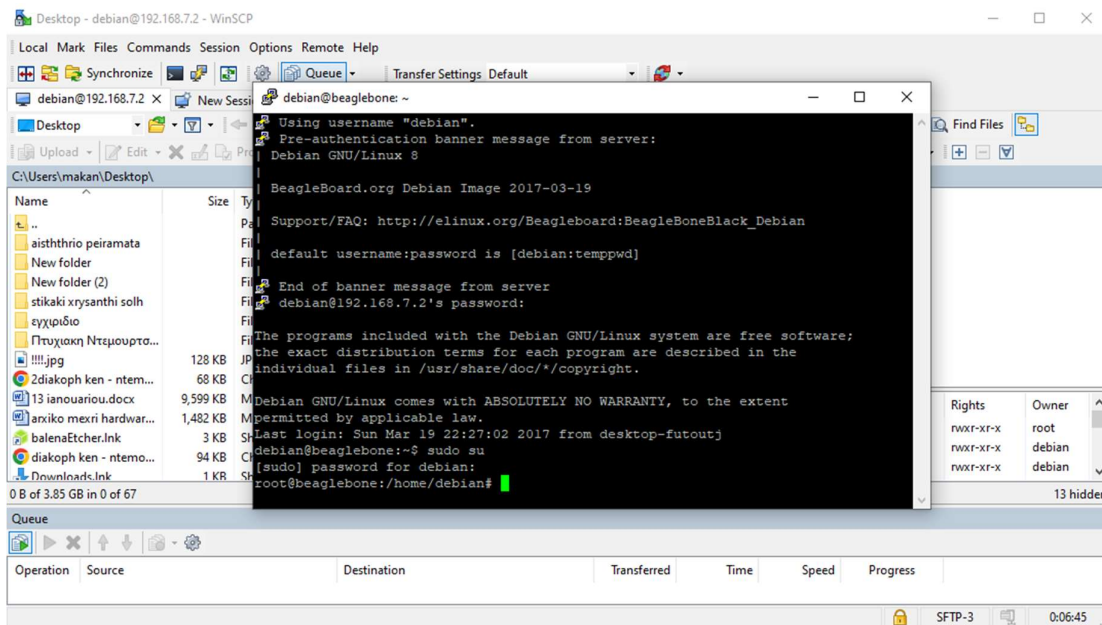
Εικόνα 5.9: Download WinSCP

5^ο Βήμα: Σε αυτό το σημείο έχουμε την δυνατότητα επιλογής αν το λογισμικό που βρίσκεται στην microSD card μας θέλουμε να το τρέξουμε απευθείας από την κάρτα ή αν θέλουμε να το εγκαταστήσουμε στην μνήμη του Beagle Bone Black eMMC. Αρχικά θα πρέπει να ανοίξουμε το WinSCP πληκτρολογώντας ως Hostname: 192.168.7.2 , Port number 22, User name: debian και password temprrwd. (*Σχήμα 5.10*)



Σχήμα 5.10: WinSCP login

Πατώντας Login ανοίγει το τερματικό PUTTY πληκτρολογώντας τον κωδικό temprrwd. Παρακάτω θα χρειαστεί να δώσουμε την εντολή “sudo su” για να έχουμε πρόσβαση σε όλα τα αρχεία όπως και να τα τροποποιήσουμε και να τα επεξεργαστούμε. (Σχήμα 5.11)



Σχήμα 5.11: Είσοδος ως supers user διαχειριστής

Με την παρακάτω εντολή `vi /boot/uenv.txt` και με την βοήθεια του επεξεργαστή κειμένου `vi`, εφόσον θέλουμε με τις επόμενες εκκινήσεις του Beagle Bone Black το περιεχόμενο που έχει γραφτεί στην microSD card να αποθηκεύεται και να τρέχει από την εσωτερική μνήμη του μικροϋπολογιστή μας, αλλάζουμε το (Για να τροποποιήσουμε ένα αρχείο κειμένου πληκτρολογούμε “i” από το insert και έξοδο και αποθήκευση αλλαγών αρχικά `escape` και την εντολή “:wq!”)

```
##enable BBB: eMMC Flasher:
```

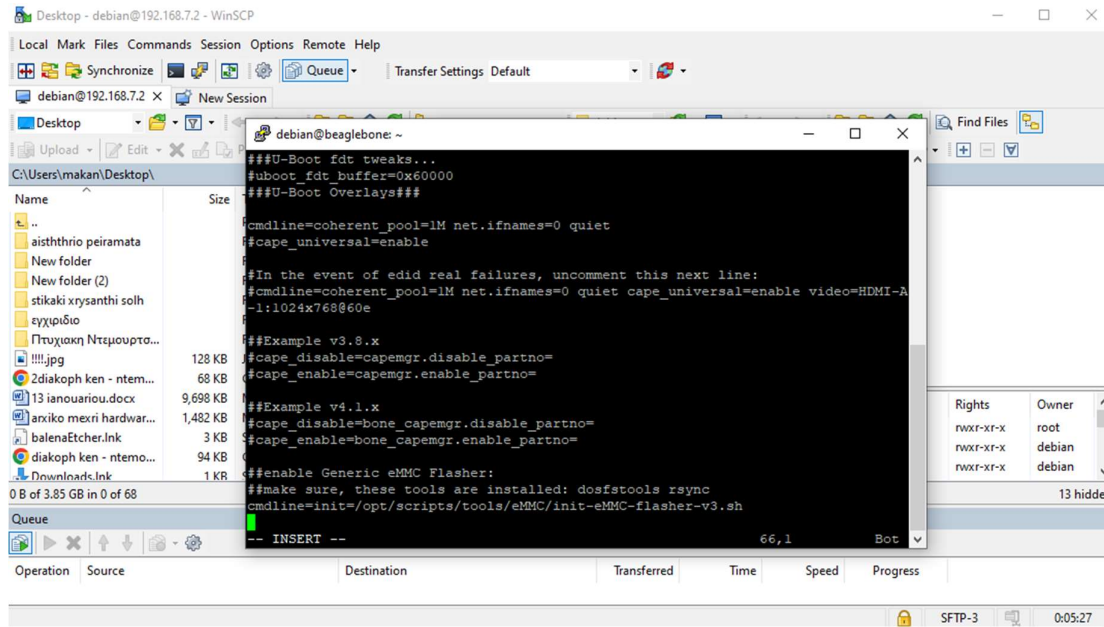
```
#cmdline=init=/opt/scripts/tools/eMMC/init-eMMC-flasher-v3.sh
```

Σε

```
##enable BBB: eMMC Flasher:
```

```
cmdline=init=/opt/scripts/tools/eMMC/init-eMMC-flasher-v3.sh
```

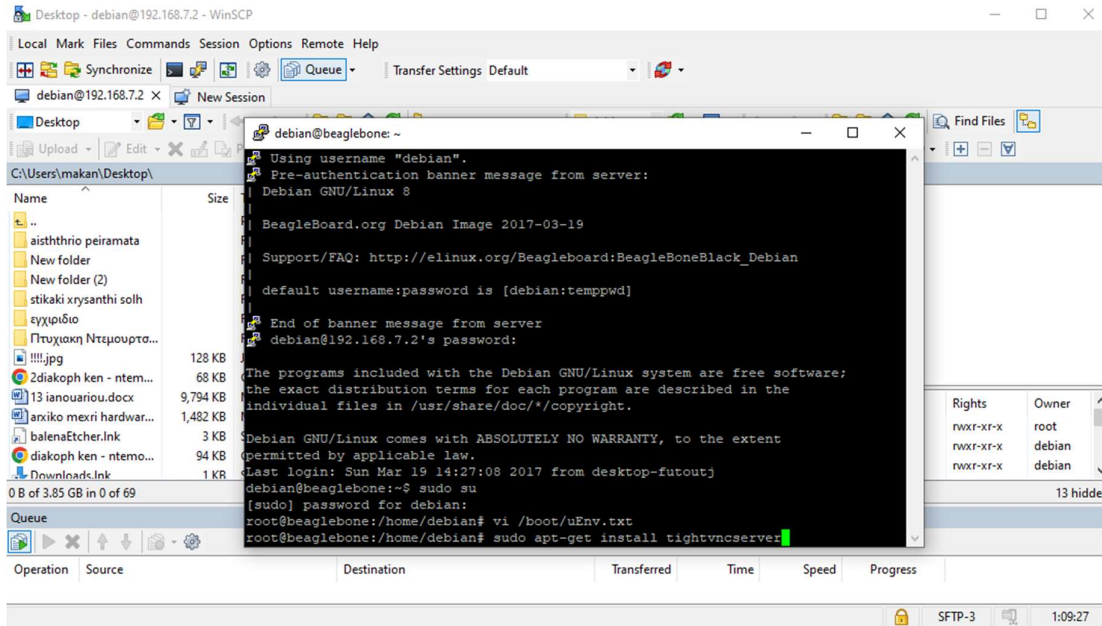

όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. (Σχήμα 5.12)



Σχήμα 5.12: Εντολές για δυνατότητα εκκίνησης από την μνήμη του Beagle Bone Black

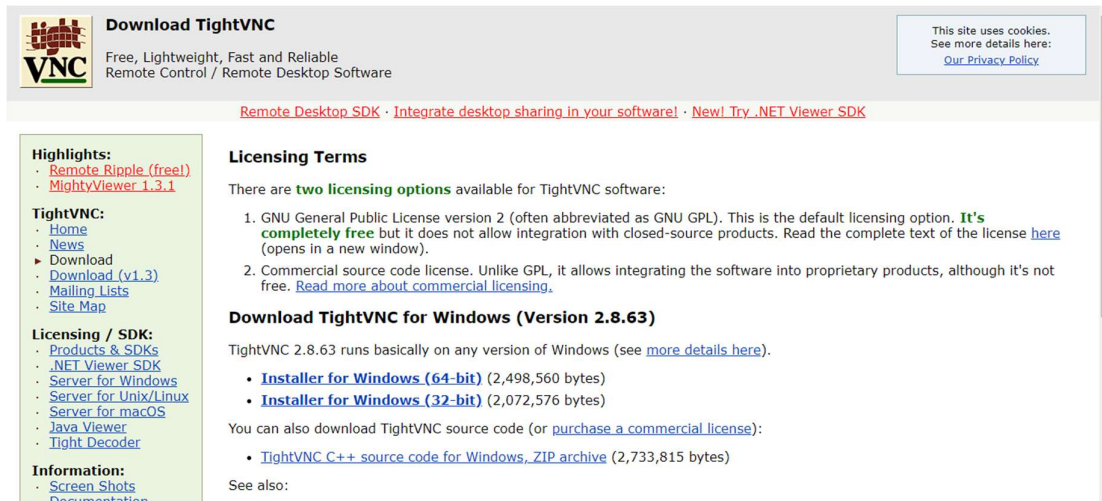
Πλέον όλα είναι έτοιμα έτσι ώστε στην επόμενη εκκίνηση μας το περιεχόμενο της microSD card να γραφεί στην εσωτερική μνήμη του μικροϋπολογιστή μας, με τη διαδικασία να κρατά αρκετά λεπτά. Τέλος δεν πρέπει να ξεχάσουμε να αφαιρέσουμε στο τέλος της διαδικασία την κάρτα διότι θα ξαναγράψει συνέχεια και θα εκτελεί την ίδια ενέργεια όσο βρίσκει ενεργή την κάρτα.

6^ο Βήμα (προαιρετικό): Βοηθά στην καλύτερη αλληλεπίδραση του χρήστη με τον μικροϋπολογιστή και δεν είναι τόσο μονότονη η όλη διαδικασία όπως από το terminal. Πρόκειται για μια εφαρμογή απομακρυσμένης βοήθειας και συγκεκριμένα το TightVNC, όπου παρακάτω θα αναλύσουμε τον τρόπο εγκατάστασης της. Η σύνδεση με το διαδίκτυο είναι απαραίτητη τόσο στον μικροϋπολογιστή μας όσο και στον υπολογιστή μας. Ανοίγοντας και πάλι το τερματικό όπως δείξαμε παραπάνω πληκτρολογούμε την εντολή `sudo apt-get install tightvncserver`. Με το τέλος της εγκατάστασης θα πρέπει ο διακομιστής να ρυθμιστεί με την παρακάτω εντολή ως εξής `tightvncserver :1`. (Σχήμα 5.13)



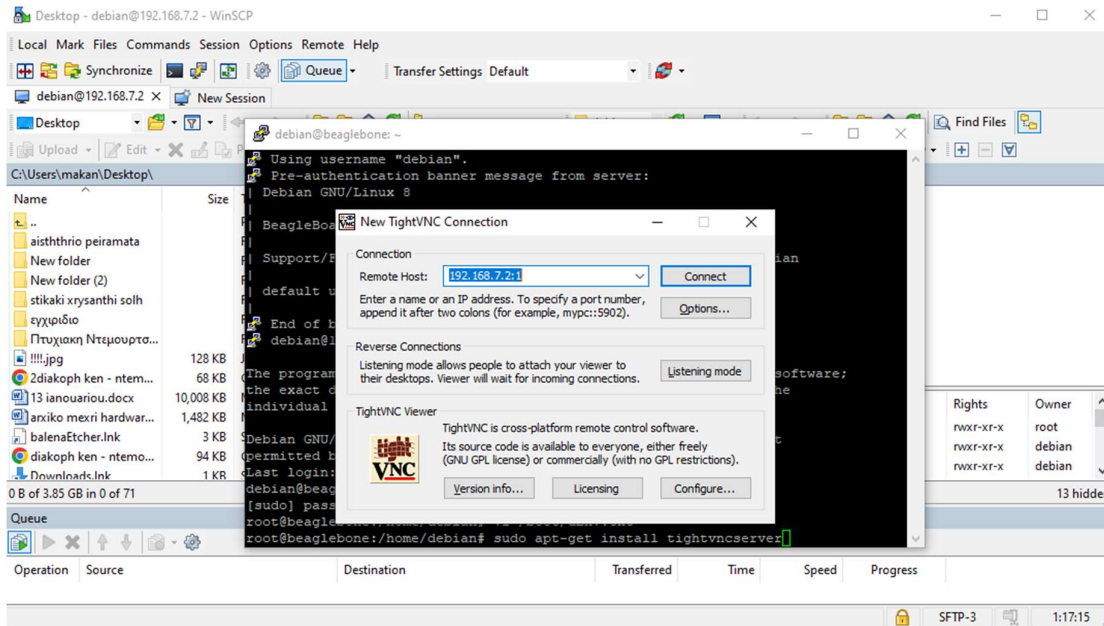
Σχήμα 5.13: Εγκατάσταση TightVNC στον Beagle Bone Black

Θα πρέπει την συγκεκριμένη εφαρμογή να την εγκαταστήσουμε και στον υπολογιστή μας μπαίνοντας την σελίδα <https://www.tightvnc.com/download.php> [29] κάνοντας λήψη και εγκατάσταση. (Σχήμα 5.14)



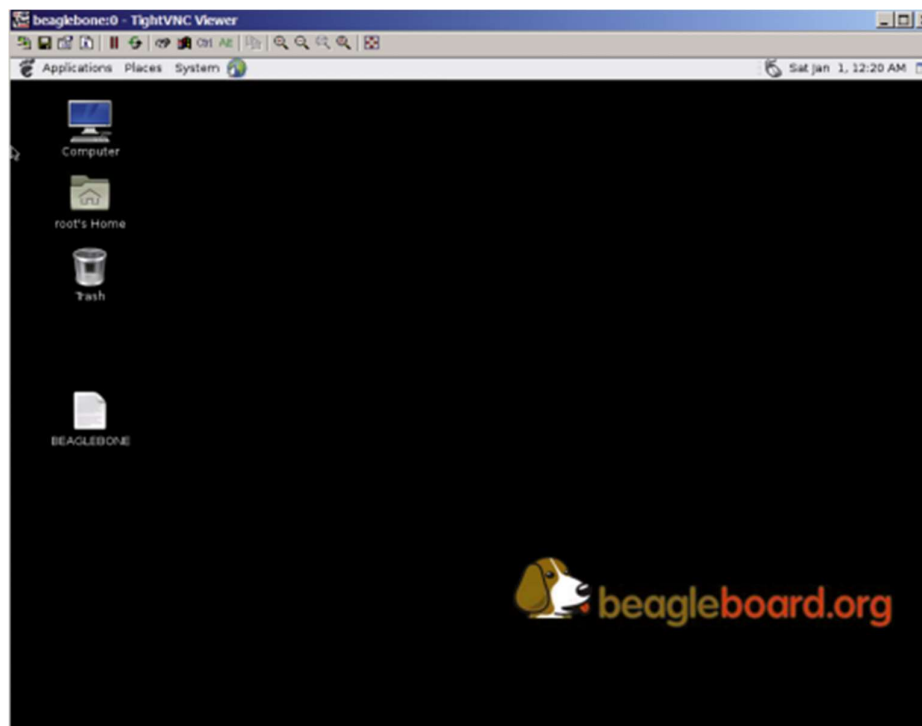
Εικόνα 5.14: Εγκατάσταση TightVnc στον υπολογιστή

Μετά το πέρας των παραπάνω ενεργειών ανοίγουμε την εφαρμογή, πληκτρολογούμε στο remote host : 192.168.7.2:1 και πατάμε Connect. (Σχήμα 5.15)



Σχήμα 5.15 : Είσοδος για απομακρυσμένη βοήθεια

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι η σύνδεση μας είναι ήταν επιτυχής (Σχήμα 5.16)



Σχήμα 5.16: Έναρξη του TightVNC

5.3 Τροποποιήσεις – ρυθμίσεις OS

Παρακάτω θα αναφέρουμε επιγραμματικά όλες τροποποιήσεις που χρειάζεται να εκτελέσουμε με την βοήθεια κάπου επεξεργαστή κειμένου πάντα. Όλες αυτές οι τροποποιήσεις με περισσότερες λεπτομέρειες αναφέρονται στην πτυχιακή εργασία του κ. Γκαγκάνη Ευστράτιου το 2019, στα πλαίσια της πτυχιακής του εργασίας «Κατασκευή συστήματος αισθητήρα φωτοдиодων με μικροϋπολογιστή Beaglebone για χρήση σε μη-παρεμβατικούς βιοϊατρικούς αισθητήρες». [1]

➤ Άδειασμα του μηχανισμού καταγραφής OS:

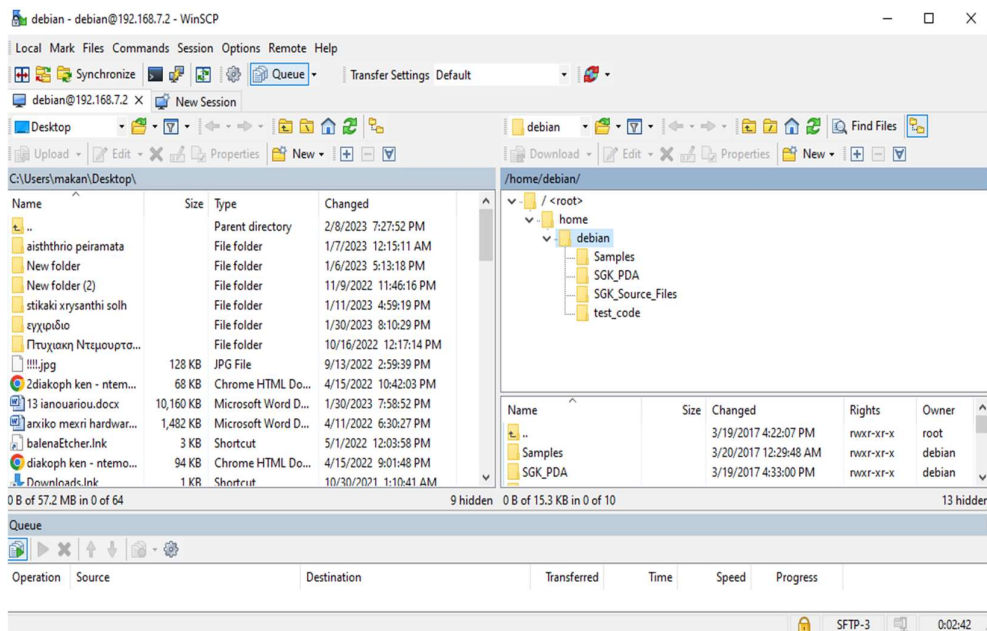
```
vi /etc/systemd/journald.conf
```

με τις εντολές επεξεργασίας και αποθήκευσης κατά την έξοδο αναφέρθηκαν παραπάνω. (Σχήμα 5.17)

```
#SystemMaxUse=16M
```

```
#MaxLevelStore=warning
```

```
#MaxLevelSyslog=warning
```



Σχήμα 5.17: Άδειασμα μηχανισμού καταγραφής

➤ **Απενεργοποίηση του Universal Cape:**

```
cat /sys/devices/platform/bone_capemgr/slots
```

Με την παραπάνω εντολή εμφανίζουμε τα ενεργά capes του συστήματος. (Σχήμα 5.18)

```
root@beaglebone:/home/debian# cat /sys/devices/platform/bone_capemgr/slots
0: PF---- -1
1: PF---- -1
2: PF---- -1
3: PF---- -1
4: P-O-L- 0 Override Board Name,00A0,Override Manuf,univ-all
```

Εικόνα 5.18: Εμφάνιση ενεργών Capes

Επειδή οι PRU είναι σχεδιασμένοι να έχουν πρόσβαση με την βοήθεια κάποιων ακροδεκτών σε κάποια υποσυστήματα και επειδή δεν είναι όλα χρήσιμα στην παρούσα εργασία θα τα απενεργοποιήσουμε πατώντας:

```
vi /boot/uEnv.txt
```

Το HDMI/eMMC cape απενεργοποιείται διαγράφοντας τον χαρακτήρα “#”, από την αρχή της γραμμής “#dtb=am335x-boneblack-overlay.dtb”. (Σχήμα 5.19)

```
##BeagleBone Black: HDMI (Audio/Video)/eMMC disabled:
dtb=am335x-boneblack-overlay.dtb
```

Σχήμα 5.19: Απενεργοποίηση του HDMI (AudioVideo/eMMC) Cape

Εκτελώντας ξανά την εντολή “cat /sys/devices/platform/bone_capemgr/slots” πρέπει να εμφανίζεται κενή η λίστα με τα cape.

➤ **Αλλαγή του Kernel:**

Γίνεται με τη βοήθεια των παρακάτω εντολών και με την προϋπόθεση ότι είμαστε συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο.

```
cd /opt/scripts/tools/
git pull
```

```
sudo ./update_kernel.sh --bone-kernel --lts4_4
```

5.4 Εκτέλεση οδηγού

Το πρώτο αρχείο που πρέπει να φορτώνεται κάθε φορά είναι αυτό του DTO. Στο φάκελο `/home/debian/SGK_PDA/Tools` υπάρχει το αρχείο με ονομασία `SGK-PDA.dts`, το οποίο πρέπει να εισαχθεί στον `device tree compiler` για την παραγωγή του τελικού αρχείου.

- `cd /home/debian/SGK_PDA/Tools`
- `dtc -O dtb -o SGK-PDA-00A0.dtbo -b 0 -@ SGK-PDA.dts`
- `sudo cp SGK-PDA-00A0.dtbo /lib/firmware`

Για να παραχθούν τα binary αρχεία:

- `cd /home/debian/SGK_PDA/Code/PRU`
- `pasm -b PRU0.p`
- `pasm -b PRU1.p`

Χρήση του C Compiler:

- `cd /home/debian/SGK_PDA/Code`
- `make`

Τύπωση ακροδεκτών:

- `cd /sys/kernel/debug/pinctrl/44e10800.pinmux 58`
- `cat pingroups`

Το αποτέλεσμα φαίνεται στην *Σχήμα 5.20*.

```
group: sgk_pda_arm_pins
pin 30 (44e10878.0)
pin 10 (44e10828.0)
pin 15 (44e1083c.0)
pin 14 (44e10838.0)

group: sgk_pda_pru_pins
pin 107 (44e109ac.0)
pin 105 (44e109a4.0)
pin 33 (44e10884.0)
```

Σχήμα 5.20: Τύπωση ακροδεκτών

Εκκίνηση των PRU καθώς και φόρτωση του DTO:

- `modprobe uio_pruss`
- `echo SGK-PDA > /sys/devices/platform/bone_capemgr/slots`

Εκτέλεση του οδηγού: Η εκτέλεση του οδηγού συνοδεύεται από *4 ορίσματα*.

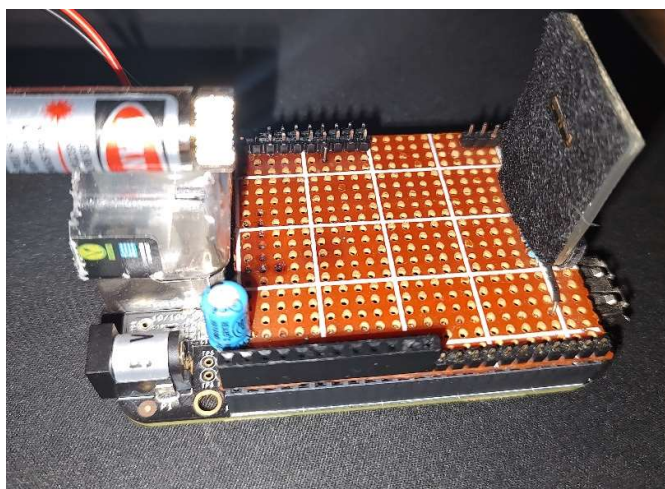
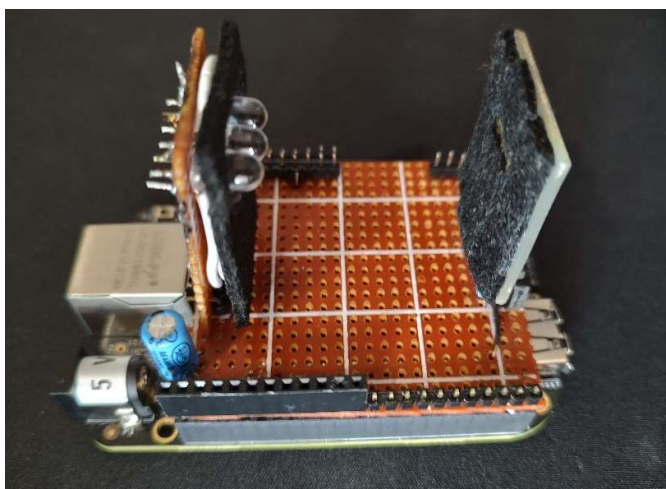
Το πρώτο είναι τα frames, το δεύτερο μs exposure time, το τρίτο frames per second και το τέταρτο Khz clock signal.

- `cd /home/debian/SGK_PDA/Code`
- `./sgk_pda_exec 10 80 50 100`

Εάν όλη η διαδικασία έγινε σωστά θα πρέπει να εμφανιστεί στο φάκελο `/home/debian/SGK_PDA/Samples` με όνομα `Sample_00001.txt`. Το αρχείο αυτό δεν πρέπει να περιέχει καμία τιμή μεγαλύτερη του 4095, δεδομένου ότι ο ADC έχει 12bit ανάλυση, άρα η μέγιστη τιμή που μπορεί να δώσει για μία μετατροπή είναι το 4095.

6 Πειράματα με δείγματα νερού

Τα πειράματα αποτελούν μονόδρομο για την αξιολόγηση ενός συστήματος, στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 5.21) φαίνεται η τελική μορφή του συστήματος με διόδους Led και δίοδο λείζερ (δεξιά). Έχουν προστεθεί απέναντι από το αισθητήριο 3 LED με λευκό έντονο φως. Το αισθητήριο όπως και η πλακέτα προτυποποίησης που φέρει τα LED έχουν επενδυθεί με μαύρο αφρολέξ για να αποφύγουμε τις αντανακλάσεις – θορύβους στις μετρήσεις μας.

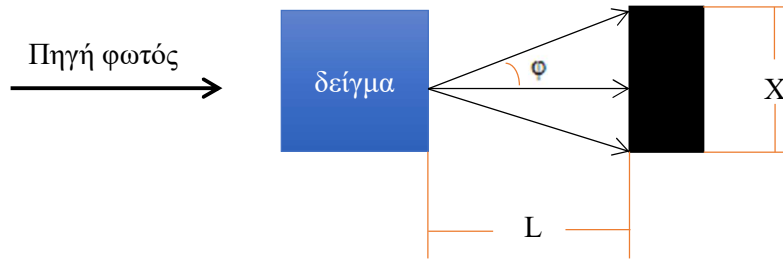


Σχήμα 5.21: Τελική μορφή συστήματος ανάλυσης νερού

Τα πειράματα που έγιναν είναι αρκετά στον αριθμό, θα δούμε όμως τρία πειράματα τα οποία είχαν πολύ θολότητα, μεσαία θολότητα και σχεδόν καθόλου θολότητα.

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 5.22) υπολογίζοντας τη γωνία ϕ , στον οριζόντιο άξονα δεν θα έχουμε τον αύξοντα αριθμό των εικονοστοιχείων αλλά γωνίες που εξαρτώνται από την απόσταση δείγματος και αισθητηρίου το οποίο θα μας βοηθήσει στο διαχωρισμό των δεδομένων μας από τις μετρήσεις σε frames.

αισθητήριο



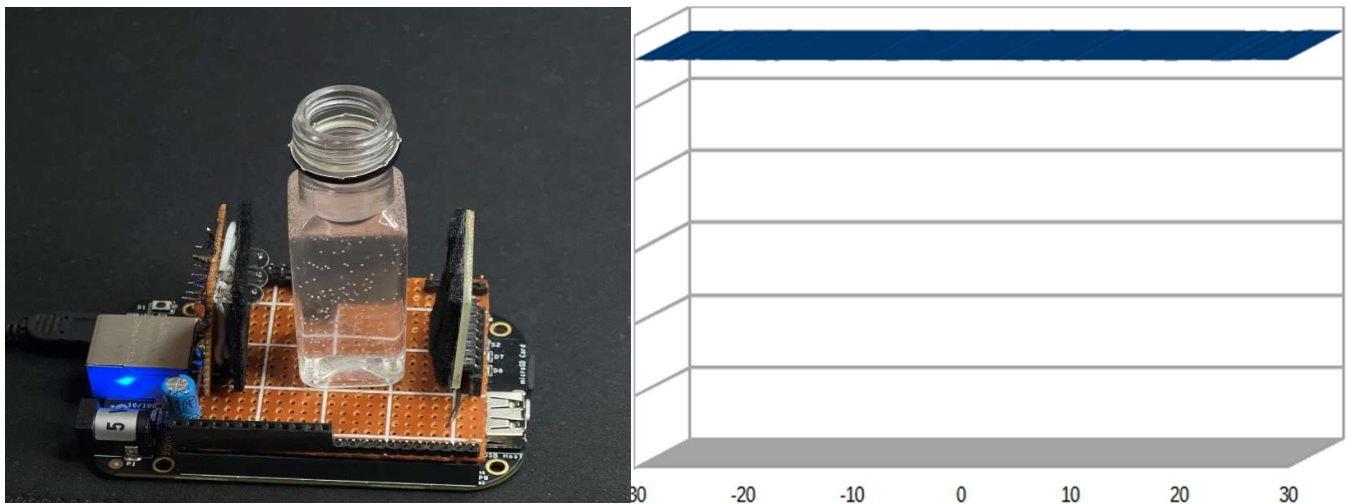
Σχήμα 5.22 : Χωρισμός δεδομένων σε frames

Για να βρούμε τη γωνία φ της παραπάνω εικόνας (Εικόνα 47), γνωρίζοντας την απόσταση X= από το datasheet του αισθητηρίου όπου είναι 0,512cm και την απόσταση L 0,88cm την οποία επιλέξαμε, η γωνία που σχηματίζεται παίρνοντας την εφαπτομένη είναι :

$$\tan\phi = \frac{X/2}{L} = 0,581$$

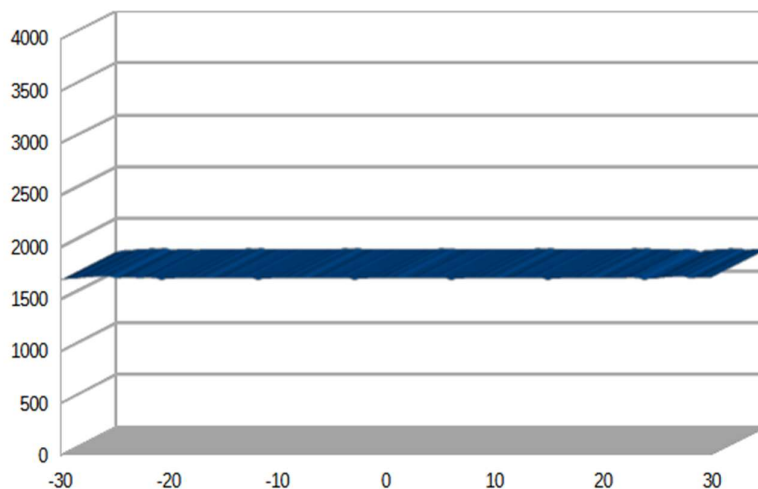
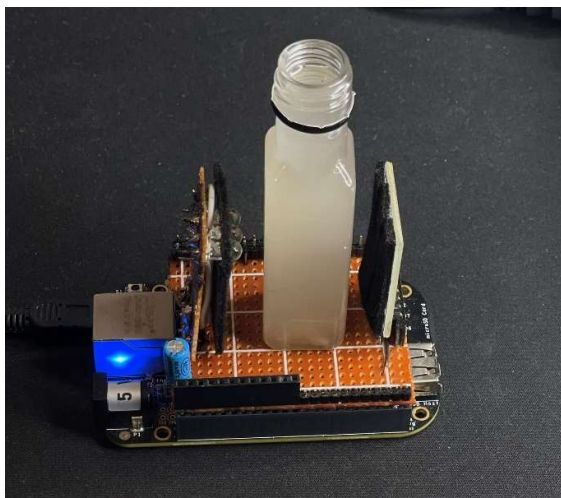
Από το τόξο εφαπτομένης βρίσκουμε ότι η γωνία που αντιστοιχεί σε αυτή την εφαπτομένη είναι οι 30 μοίρες. Οπότε οι γωνίες που θα έχουμε στα παρακάτω πειράματα μας θα είναι από -30 μοίρες έως και +30 μοίρες.

➤ **Πείραμα πρώτο :** Σε αυτό το πείραμα το δείγμα μας ήταν καθαρό νερό βρύσης όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήματα 5.23 και 5.24). Τα αποτελέσματα μας φαίνονται στην εικόνα από κάτω.



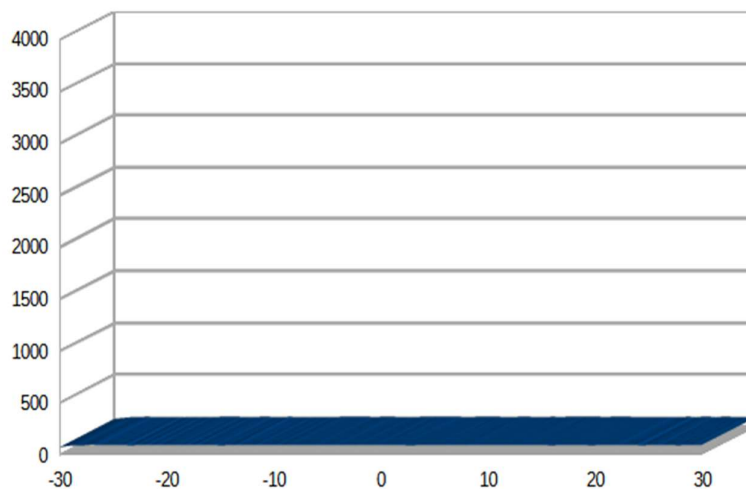
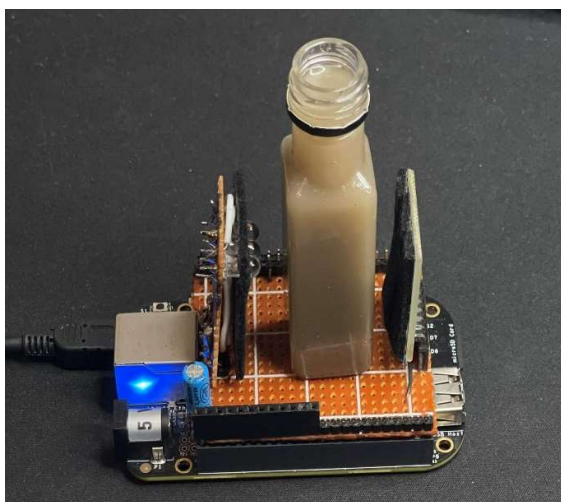
Σχήματα 5.23 και 5.24: Δείγμα από καθαρό νερό βρύσης και αποτελέσματα

- **Πείραμα δεύτερο:** Το νερό βρύσης πλέον έχει αναμειχθεί με διάφορα άλλα στερεά σώματα όπως άμμος, χόμα , χλώριο κλπ. Στα δυο παρακάτω σχήματα βλέπουμε αντίστοιχα το δείγμα όπως και τα αποτελέσματα μας. (Σχήματα 5.25 & 5.26)



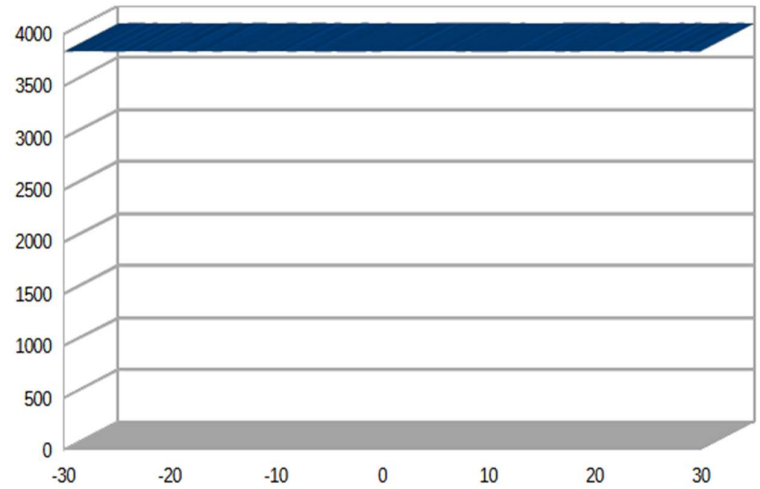
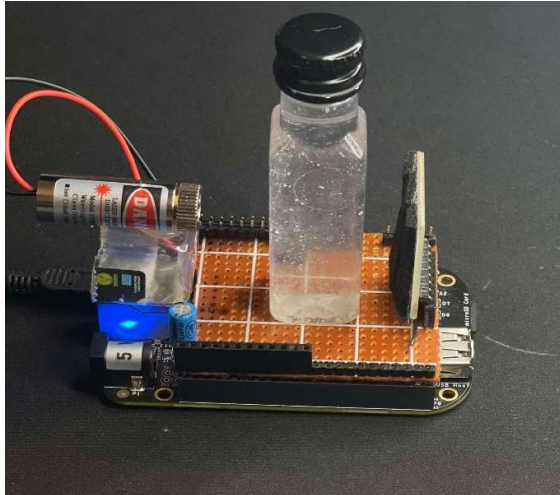
Σχήματα 5.25 & 5.26: Δείγμα μεσαίας θολότητας νερού και αποτελέσματα

- **Πείραμα τρίτο:** Το δείγμα μας πλέον είναι πάρα πολύ θολό και με περισσότερη ποσότητα σε διάφορα ξένα σώματα . (Εικόνες 5.27 και 5.28)



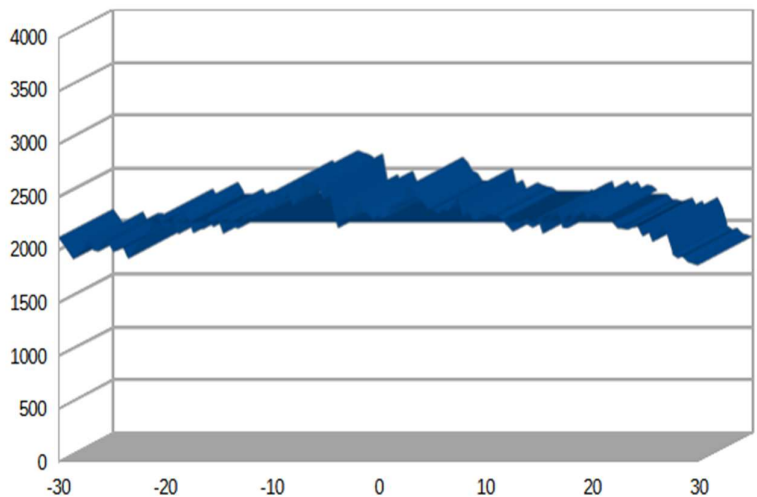
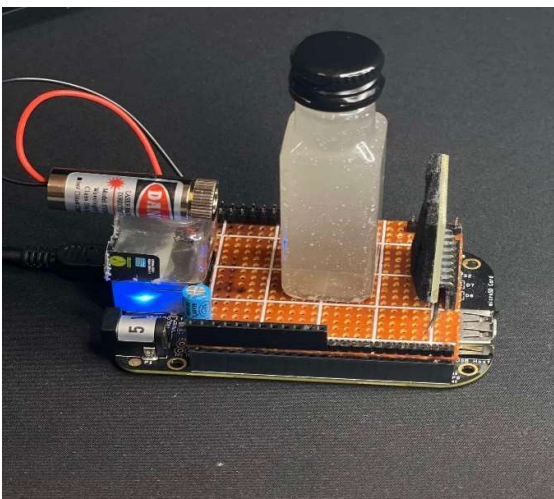
Σχήματα 5.27 & 5.28: Δείγμα νερού με πολύ θολότητα και τα αποτελέσματα

- **Πείραμα τέταρτο:** Το δείγμα μας είναι το ίδιο όπως στο πείραμα το πρώτο αυτή τη φορά με διαφορετική πηγή φωτός, αυτή της διόδου λείζερ. (Σχήματα 5.29 και 5.30)



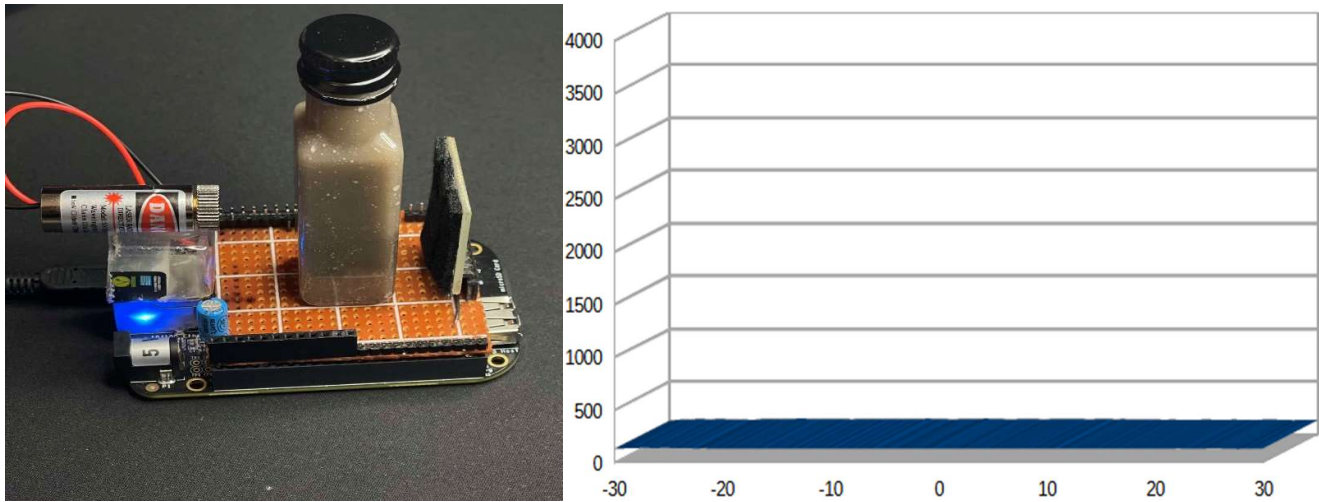
Σχήματα 5.29 και 5.30: Δείγμα νερού από καθαρό νερό βρύσης

- **Πείραμα πέμπτο:** Το δείγμα μας αυτή τη φορά είναι ίδιο με αυτό του δεύτερου πειράματος με πηγή διόδου λείζερ. (Σχήματα 5.31 και 5.32)
-



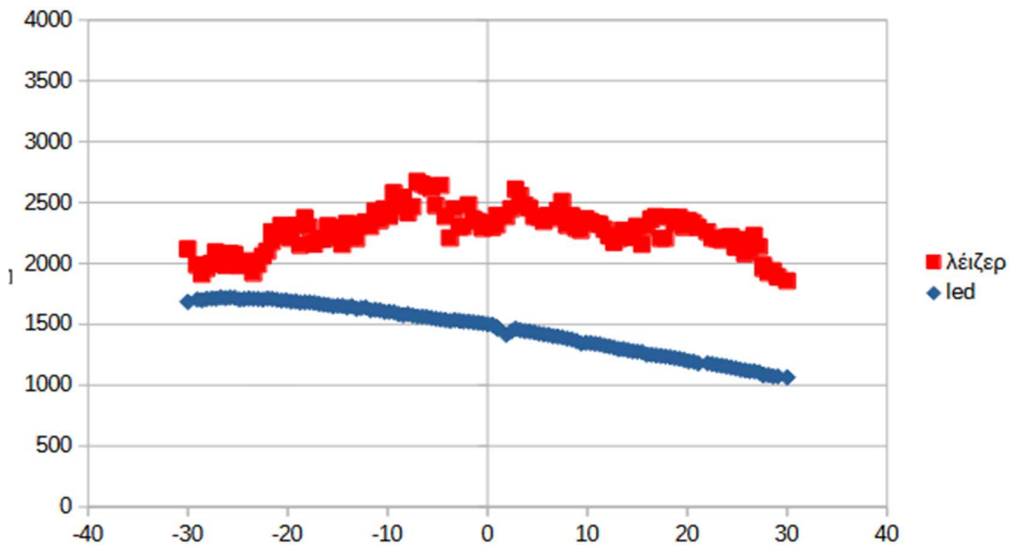
Σχήματα 5.30 & 5.31: Δείγμα νερού μεσαίας θολότητας όπως στο πείραμα δεύτερο

- **Πείραμα έκτο:** Στο τελευταίο πείραμα έχουμε ένα πολύ θολό δείγμα όπως και στο τρίτο πείραμα. (Εικόνες 5.32 & 5.33)



Σχήματα 5.32 και 5.33: Δείγμα με μεγάλη θολότητα , ίδιο δείγμα όπως στο πείραμα τρίτο

Η διαφορά μεταξύ των δυο πηγών φωτός είναι ότι με τη δίοδο λέιζερ έχουμε καλύτερη στόχευση της πηγής φωτός στο αισθητήριο μας και αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα και ανίχνευση σωματιδίων που υπάρχουν στο νερό κατά της δειγματοληψία καθώς και το μέγεθός τους. (Εικόνα 5.34)



Σχήματα 5.34: Σύγκριση πηγών φωτός

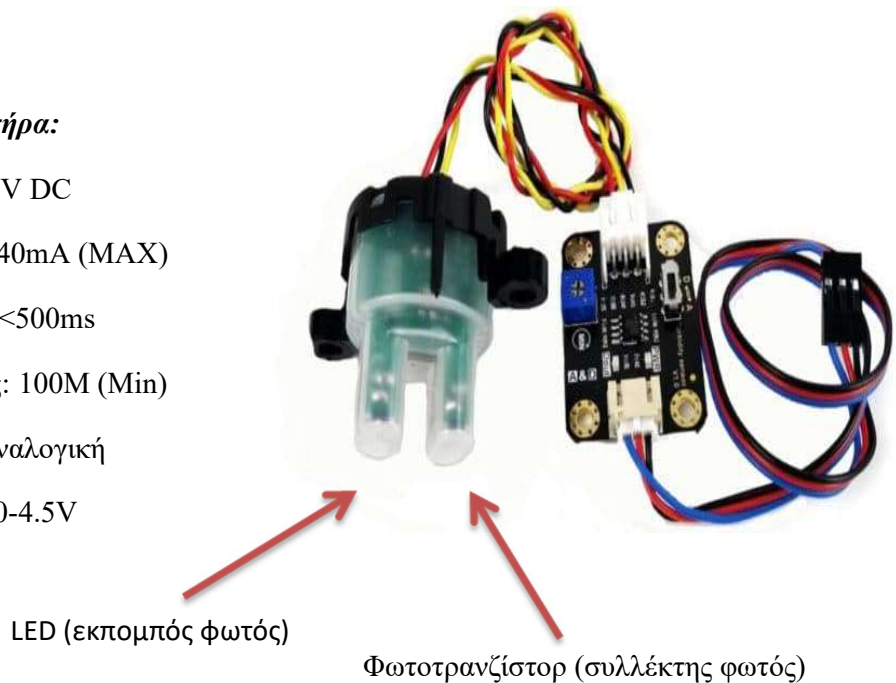
7 Αισθητήριο DfRobot Turbidity Sensor

Αισθητήρας θολότητας DfRobot για Arduino: (Σχήμα 6.1)

Ανιχνεύει την ποιότητα του νερού μετρώντας τα επίπεδα θολότητας. Χρησιμοποιεί το φως για να ανιχνεύσει αιωρούμενα σωματίδια στο νερό μετρώντας τη διαπερατότητα του φωτός και τον ρυθμό σκέδασης, ο οποίος αλλάζει με την ποσότητα των συνολικών αιωρούμενων στερεών στο νερό. Ο μπροστινός αισθητήρας είναι μια οπτική συσκευή που περιλαμβάνει ένα LED (πομπός φωτός) και ένα φωτοτρανζίστορ (δέκτης φωτός).

Προδιαγραφές αισθητήρα:

1. Τάση λειτουργίας: 5V DC
2. Ρεύμα λειτουργίας: 40mA (MAX)
3. Χρόνος απόκρισης: <500ms
4. Αντίσταση μόνωσης: 100M (Min)
5. Μέθοδος εξόδου: Αναλογική
6. Αναλογική έξοδος: 0-4.5V



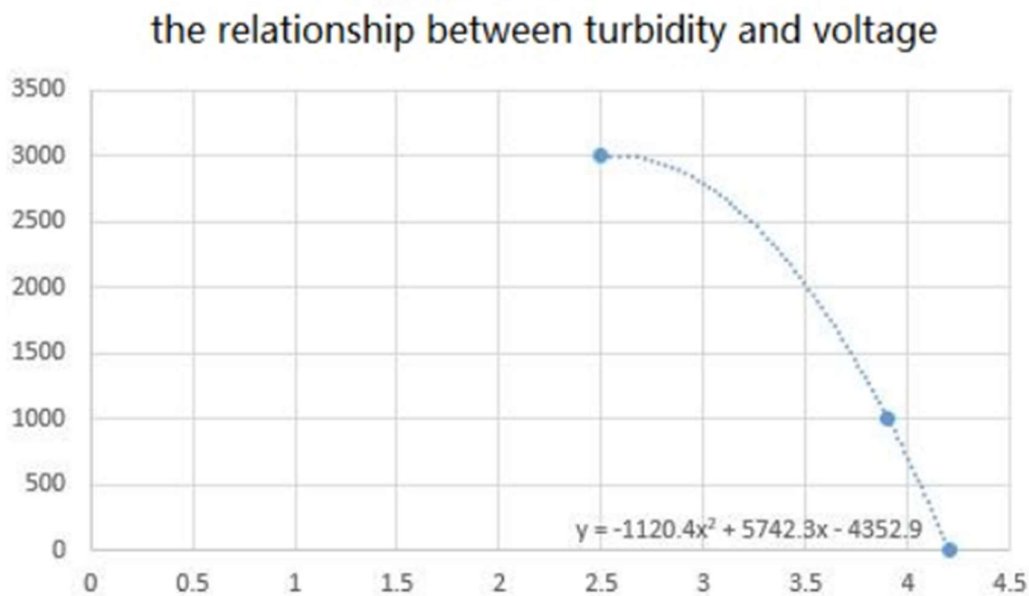
Σχήμα 6.1: Αισθητήρας θολότητας DfRobot [30]

7.1 Νεφελομετρική μονάδα θολότητας

Το NTU (Nephelometric Turbidity Unit) μετρά πόσο βρώμικο είναι ένα υγρό ή νερό και πόσα σωματίδια αιωρούνται σε αυτό. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός, τόσο πιο βρώμικο φαίνεται και τόσο πιο θολό. Σήμερα, το NTU είναι η τυπική μονάδα που χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει ένα όργανο που μετρά το διάσπαρτο φως σε γωνία 90 μοιρών από την προσπίπτουσα δέσμη φωτός.

7.2 Σχέση θολότητας και τάσης αισθητήρα

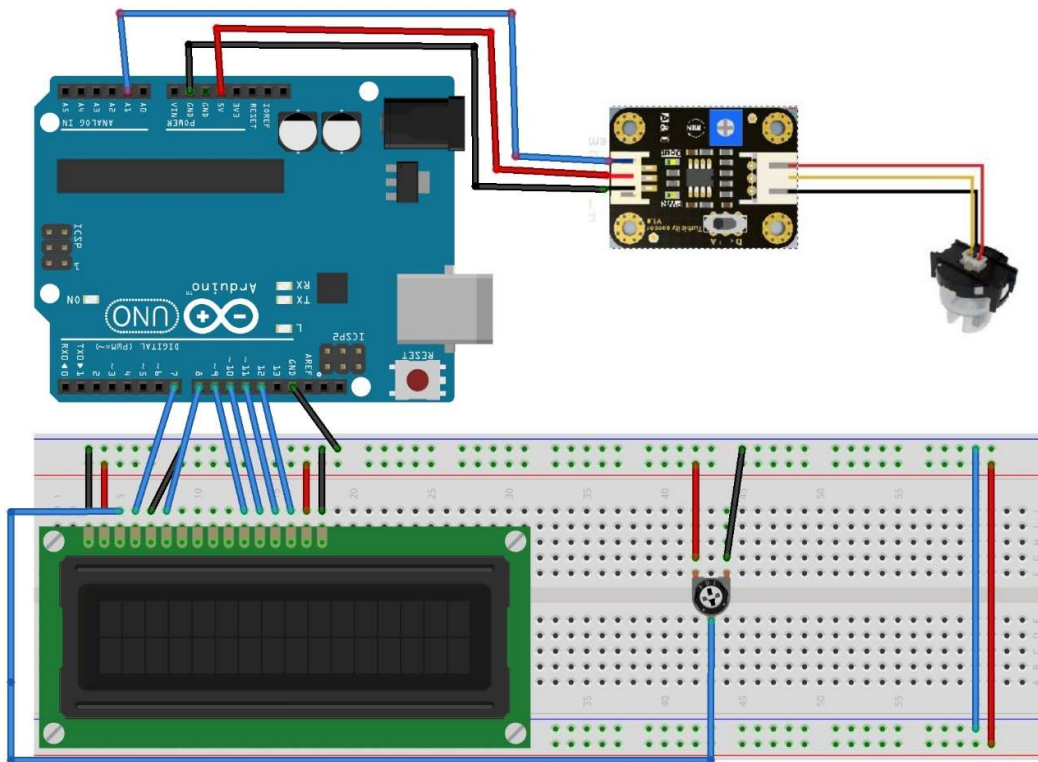
Από το άρθρο της Dfrobot για το συγκεκριμένο αισθητήριο βρήκαμε τη σχέση θολότητας και τάσης καθώς και τη εξίσωση που μας δίνει το NTU ανάλογα με τη τάση που μας δίνει το αισθητήριο. (Σχήμα 6.2)



Σχήμα 6.2: Σχέση θολότητας και Τάσης [30]

7.3 Κύκλωμα διασύνδεσης και κώδικας

Στο κύκλωμα έχουμε προσθέσει και μια οθόνη υγρών κρυστάλλων για να βλέπουμε τα αποτελέσματα και να έχουμε μια καλύτερη διεπαφή με την όλη κατασκευή. Φυσικά γίνεται και χωρίς την οθόνη βλέποντας τα αποτελέσματα στην εφαρμογή για τον προγραμματισμό Arduino. Το παρακάτω κύκλωμα διασύνδεσης έχει σχεδιαστεί με την εφαρμογή fritzing. (Σχήμα 6.3)



Σχήμα 6.3: Κύκλωμα διασύνδεσης με το αισθητήριο

Παρακάτω θα αναλύσουμε τον κώδικα που χρησιμοποιήθηκε:

```
#include <LiquidCrystal.h> “ Εισαγωγή βιβλιοθήκης για την οθόνη”
```

```

LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);

    int sensorPin = A0; "Δήλωση μεταβλητών και ονομασιών PIN"
    float volt;
    float ntu;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    lcd.begin(16,2);

}

void loop()
{

    volt = sensorPin * (5.0 / 1024.0); "Μετατροπή αναλογικής τάσης"
    if(volt < 2.5){
        ntu = 3000;
    }else{
        ntu = -1120.4*square(volt)+5742.3*volt-4353.8; "Μετατροπή σε NTU"
    }

    lcd.clear(); "Εκτύπωση στην οθόνη"
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(volt);
    lcd.print(" V");

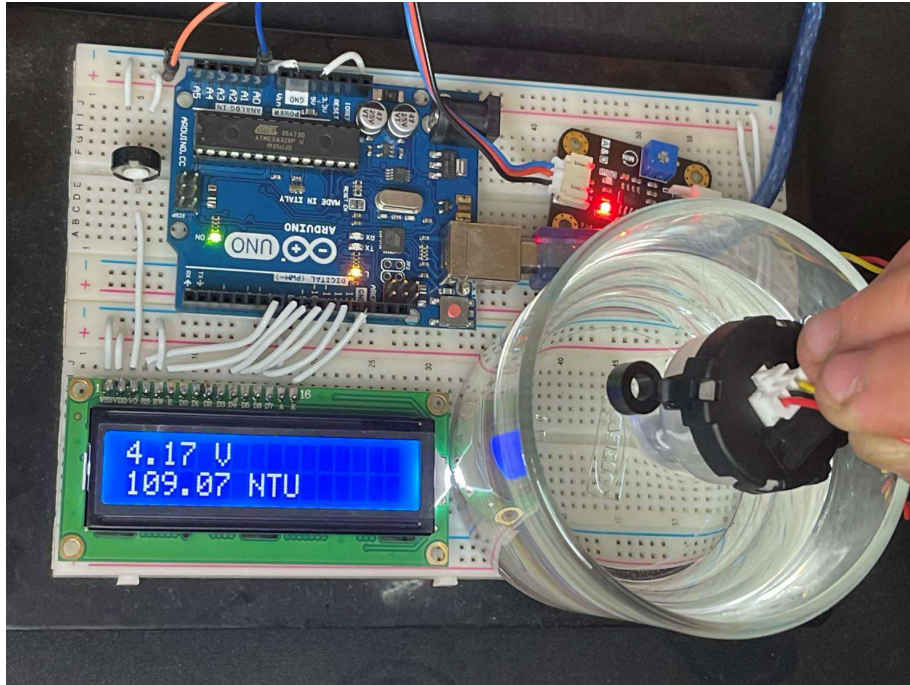
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(ntu);
    lcd.print(" NTU");
    delay(10);
}

```

7.4 Πειράματα με το αισθητήριο της DfRobot

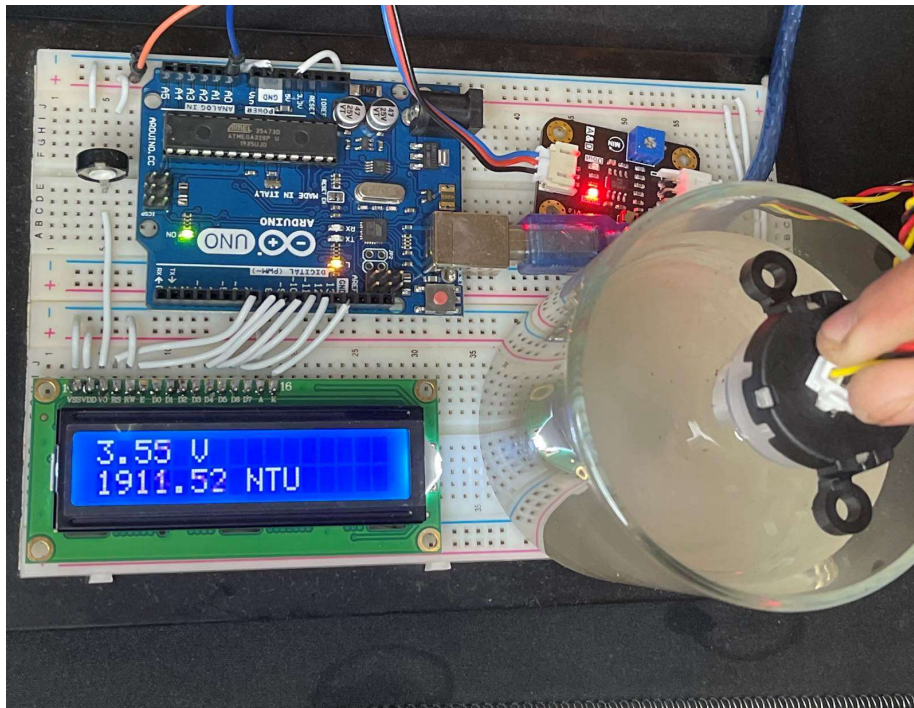
Όπως και με τα προηγούμενα πειράματα έτσι και τώρα τα πειράματα στον αριθμό θα είναι τρία. Το κάθε πείραμα θα έχει διαφορετική θολότητα τα όποια θα δούμε παρακάτω όπως βέβαια και τα αποτελέσματα μας.

➤ **Πρώτο πείραμα** : Το δείγμα μας είναι ένα καθαρό ποτήρι νερό. Τα αποτελέσματα στην οθόνη είναι 4.17 V και 109.7 NTU, όπου μας επιβεβαιώνει ότι το δείγμα μας έχει σχεδόν μηδαμινή θολότητα. (Σχήμα 6.4)



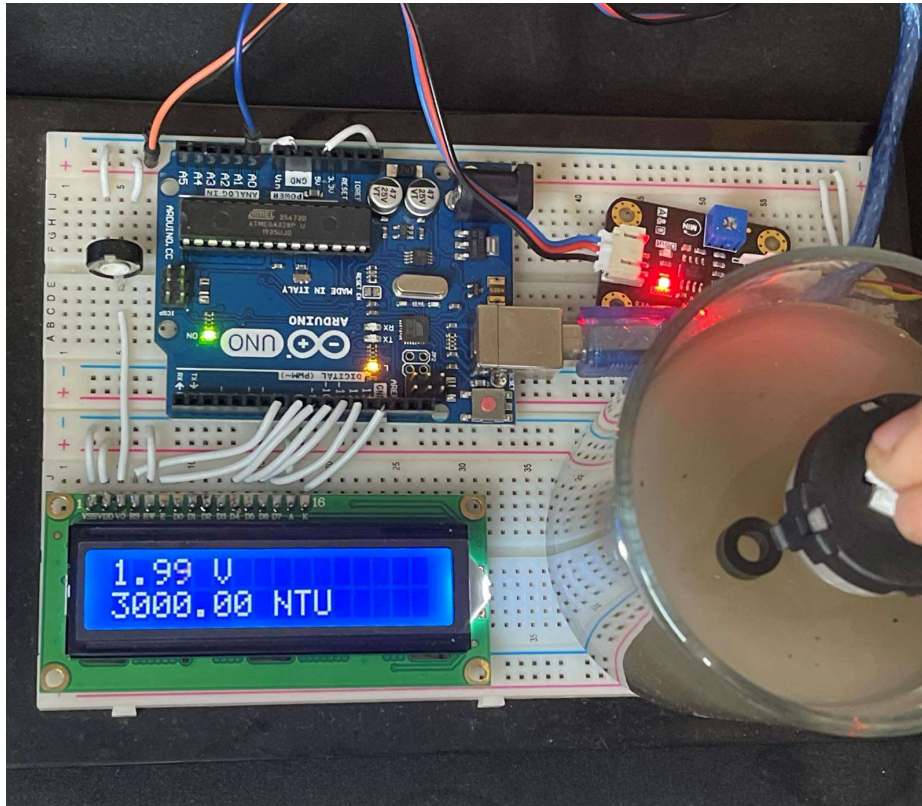
Σχήμα 6.4 : Πρώτο πείραμα με καθαρό νερό βρύσης ως δείγμα

➤ **Δεύτερο πείραμα** : Στο δείγμα μας έχουν προστεθεί πάλι διάφορα ξένα σωματίδια όπως πετραδάκια χρώμα κ.α. Τα αποτελέσματα στην οθόνη τα οποία λάβαμε είναι 3.55V και 1911,52 NTU. Παρατηρούμε ότι η τάση στο αισθητήριο ελαττώθηκε και μας υποδηλώνει ότι πλέον το δείγμα μας έχει κάποιο ποσοστό θολότητας. (Σχήμα 6.5)



Σχήμα 6.5 : Δεύτερο πείραμα με μέτριο βαθμό θολότητας δείγμα

- **Τρίτο πείραμα :** Στο τελευταίο μας πείραμα απλά προσθέσαμε αρκετά περισσότερα σωματίδια από άμμο χρώμα κ.α. Οι μετρήσεις που λάβαμε ήταν 1.99 V και 3000 NTU. Πλέον το δείγμα έχει μεγάλο βαθμό θολότητας. (**Σχήμα 6.6**)



Σχήμα 6.6 : Τρίτο πείραμα με μεγάλο βαθμό θολότητας.

7.5 Σύγκριση των αισθητηρίων

Τα αισθητήρια όπως είδαμε παραπάνω έχουν καλή απόκριση και σωστή λειτουργία για τον σκοπό της εργασίας. Στο σχήμα παρακάτω θα δούμε μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά των δυο αυτών αισθητηρίων (**Σχήμα 6.7**).

Αισθητήριο	TCL 1401 CI	DfRobot
Λειτουργία	3 έως 5 V	3 έως 5 V
Χρόνος απόκρισης	> 800 m/s	> 500 m/s
Αναλογική έξοδος	1.6 έως 2.4 V	0 έως 4.5 V
Ψηφιακή έξοδος	-	0 έως 5 V
Θερμοκρασία λειτουργίας	-25 έως 85 °C	5 έως 90 °C
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-25 έως 85 °C	-10 έως 90 °C
Κατανάλωση	0.04 έως 0.06 W	0.12 έως 0.2 W

Σχήμα 6.7 : Πίνακας σύγκρισης

Ο χρόνος που απαιτείται όπου τα pixel της οθόνης να αλλάξουν κατάσταση από ένα χρώμα σε ένα άλλο, ονομάζεται χρόνος απόκρισης της οθόνης και τον μετράμε σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Το αισθητήριο της DfRobot έχει μια καλύτερη απόκριση. Το αισθητήριο TSL 1401 CL δεν διαθέτει ψηφιακή έξοδο, επίσης βλέπουμε ότι είναι πιο ανθεκτικό σε χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας έ και αποθήκευσης ενώ στις υψηλές έχουν παρόμοια ανθεκτικότητα. Κάτι άλλο που είναι σημαντικό να υπάθει σχετικά με τα αισθητήρια είναι ότι αυτό της DfRobot διαθέτει μια πλαστική κατασκευή η οποία στεγανοποιεί το κάτω μέρος του αισθητηρίου και της δίνει τη δυνατότητα να είναι αδιάβροχο και πιο βολικό σε χρήση αλλά καταναλώνει περισσότερη ενέργεια. Τέλος για την τελική λειτουργία εκτός απο το κύκλωμα διασύνδεσης το αισθητήριο DfRobot δεν χρειάζεται κάποια κόλληση και γενικά είναι πιο εύκολο στην χρήση στον προγραμματισμό και σε λειτουργία κάτι που χαρακτηρίζει γενικά τα arduino.

8 Συμπεράσματα - Βελτιώσεις

Η ανάλυση νερού σίγουρα δεν είναι μια απλή υπόθεση , από τη διαύγεια και μόνο δεν μπορούμε να χαρακτηρίσουμε αν το νερο είναι πόσιμο και κατάλληλο για την υγεία του ανθρώπου. Σε συνδιασμό με άλλα αισθητήρια τα αποτελέσματα μας για την ποιότητα του νερου θα ήταν πιο ολοκληρωμένα το οποίο αποτελεί και μια επέκταση του υπάρχων συστήματος. Μερικές ακόμα προτάσεις που θα βέλτιωναν την κατασκευή είναι :

- Να γίνει μια πλαστική και διάφανη κατασκευή η οποία θα στεγανοποιεί την όλη κατασκευή για να γίνονται απευθείας μετρήσεις με τον μικροελεγκτή ή έστω την πηγή φωτός με το αισθητήριο (όπως το αισθητήριο της DfRobot).
- Στη φορητότητα θα βοηθούσε επίσης μια εξωτερική μπαταρία που θα παρείχε στο μικροελεγκτή μας την απαιτούμενη ενέργεια.
- Τοποθέτηση οθόνης LCD για BegaleBone Black για να βλέπουμε απευθείας τα αποτελέσματα μας.

9 Βιβλιογραφία

1. **Ευστράτιος Γκαγκάνης.** *Κατασκευή συστήματος αισθητήρα φωτοдиодων με μικροϋπολογιστή Beaglebone για χρήση σε μηπαρεμβατικούς βιοϊατρικούς αισθητήρες*
2. **Δημήτρης Π. Καλεράντες***The. Παράμετροι ποιότητας νερού και δείκτες ρύπανσης*
3. **Τριανταφυλλίδης Τριαντάφυλλος.** *Απόψεις καταναλωτών του Δήμου Πάρου για το νερό της ύδρευσης και τα εμφιαλωμένα νερά*
4. <https://medinova.gr/ti-einai-to-ph/http://www.microsoft.com/>. [Online]
5. <https://www.bitterbooze.com/i-geysi-tou-nerou/> [Online]
6. <https://www.wikipedia.org/wiki/Μικροελεγκτης> [Online]
7. <https://beagleboard.org/black> [Online]
8. <https://www.informatique-mania.com/el/materiel/microcontroleur/> [Online]
9. <https://riverglennapts.com/el/diode/301-laser-diode.html>. [Online]
10. https://www.weigu.lu/sb-computer/bbb_device_tree/index.html [Online]
11. <https://coolweb.gr/fotodiodoi-diodoi-leds/> [Online]
12. <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/560737/AMSCO/TSL1401CL>
[Online]
13. <https://www.in2life.gr/features/notes/article/219567/hhmikes-analyseis-poy-kai-me-posa.html> [Online]

14. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CF%84%CE%AE%CF%82> [**Online**]
15. https://helleniccollege.gr/wpcontent/uploads/works/water/images/01kyklos/ei_kona1.jpg [**Online**]
16. https://blog.farmacon.gr/media/k2/items/cache/7a93221fba5bbc5da8f2ad532adb1720_S.jpg [**Online**]
17. <https://components101.com/articles/difference-between-microprocessor-and-microcontroller> [**Online**]
18. https://res.cloudinary.com/rsc/image/upload/bo_1.5px_solid_white,b_auto,c_pad,dpr_2,f_auto,h_399,q_auto,w_710/c_pad,h_399,w_710/F1252411-01?pgw=1 [**Online**]
19. https://static4.arrow.com/-/media/arrow/images/products/0617/black_img1.jpg [**Online**]
20. <https://microcontrollerslab.com/wp-content/uploads/2019/12/Beaglebone-Black-pinout-diagram.png> [**Online**]
21. https://b.scdn.gr/images/sku_main_images/019212/19212716/20190627125506_raspberry_pi_4_model_b_4gb.jpeg [**Online**]
22. https://ram-e-shop.com/wp-content/uploads/2018/09/uno_r3.jpg [**Online**]
23. <https://www.mouser.com/images/taos/lrg/tsl1401cl.jpg> [**Online**]

24. <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/560737/AMSCO/TSL1401CL.html> [**Online**]
25. https://kids.kiddle.co/images/thumb/0/05/Diode_3D_and_ckt.png/300px-Diode_3D_and_ckt.png [**Online**]
26. <https://www.balena.io/etcher/> [**Online**]
27. <https://www.putty.org/> [**Online**]
28. <https://winscp.net/eng/download.php> [**Online**]
29. <https://www.tightvnc.com/download.php> [**Online**]
30. <https://how2electronics.com/diy-turbidity-meter-using-turbidity-sensor-arduino> [**Online**]
/