



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## Κατασκευή έξυπνου συστήματος ελέγχου ηλεκτρικού σκίαστρου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στυλιανός Θ. Χοίρας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ευάγγελος Β. Χριστοφόρου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2023





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## Κατασκευή έξυπνου συστήματος ελέγχου ηλεκτρικού σκιάστρου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στυλιανός Χοίρας

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14<sup>η</sup> Νοεμβρίου 2023.

.....  
Ευάγγελος Χριστοφόρου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννης Γκόνος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ευστάθιος Συκάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2023



.....

Στυλιανός Θ. Χοίρας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Στυλιανός Χοίρας, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

# Περίληψη

---

Στη παρούσα διπλωματική εργασία έγινε η ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου συστήματος ηλεκτρικών περσίδων σκίασης με χρήση μικροελεγκτή διασυνδεδεμένου με αισθητήρες. Το σύστημα ανιχνεύει την κατεύθυνση μέγιστης έντασης φωτισμού και με τη βοήθεια ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος ανοιγοκλείνει το σκίαστρο. Παράλληλα με χρήση κατάλληλων αισθητήρων παρέχεται σημαντική πληροφόρηση όπως θερμοκρασία-υγρασία εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, μέτρηση υπεριώδους ακτινοβολίας (Ultra Violet - UV), μέτρηση έντασης φωτισμού καθώς και μέτρηση κλίσης σκίαστρου. Με χρήση διαδικτυακής πλατφόρμας μέσω της οποίας αναπτύχθηκε η διεπαφή χρήστη (User Interface - UI) έγινε εφικτή η μετάδοση της πληροφορίας όλων των αισθητήρων.

Η προτεινόμενη διάταξη δύναται να προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας εφόσον με την αυτοματοποίηση μπορεί να αυξηθεί η εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού και παράλληλα να μειωθεί η χρήση τεχνητού φωτισμού. Επίσης, το σύστημα προστατεύεται από πιθανούς κραδασμούς λόγω κακοκαιριών με χρήση επιταχυνσιόμετρου. Ακόμη, παρέχεται η δυνατότητα παράκαμψης του αυτοματοποιημένου συστήματος μέσω ενός διακόπτη όπου στη συνέχεια γίνεται χειροκίνητος έλεγχος με χρήση τηλεχειριστηρίου.

**Λέξεις-κλειδιά:** *Αισθητήρες, IoT, ESP32, Ενσωματωμένο Σύστημα, Αυτοματοποιημένο Σύστημα Σκίασης*



# Abstract

---

This thesis is dealing with the development of an automated shading system using a microcontroller unit which is connected to several sensors. The system detects the maximum light intensity direction and with a DC motor repositions the shades. In addition, it can measure several quantities like indoor and outdoor temperature and humidity, it measures the ultraviolet index radiation (UV), light intensity and the shade gradient. For live tracking data of all sensors, a user interface (UI) through an online platform was made.

The proposed system it may offer energy saving because it gives the opportunity to harness as much as possible the natural light that leads to the least possible use of artificial lighting. Furthermore, it can assure the protection of the shades exploiting the use of an accelerometer unit. Last but not least, it gives the option of bypassing the automated mode via a switch where the system can be controlled manually by the user through a remote controller.

**Keywords:** *Sensors, IoT, ESP32, Embedded System, Automated Shading System*





# Ευχαριστίες

---

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας και την περάτωση των προπτυχιακών σπουδών μου στη σχολή ΗΜΜΥ του Ε.Μ.Π θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τους γονείς μου Θεόδωρο και Μαρία για την αμέριστη στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια αυτού του ταξιδιού. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου την αρραβωνιαστικιά μου Χριστίνα για την αμέτρητη υποστήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια διανύοντας μαζί τον δρόμο του πτυχίου. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στα αδέρφια μου Αντρέα, Σάββα και Βασίλεια που είναι πάντα στο πλευρό μου.

Ακόμη, ιδιαίτερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ευάγγελο Χριστοφόρου για την ευκαιρία που μου έδωσε αλλά και την εμπιστοσύνη μου που έδειξε όσον αφορά την ενασχόληση με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, καθώς και για την καθοδήγησή του. Οφείλω να ευχαριστήσω ακόμη ιδιαίτερα τον μεταδιδακτορικό ερευνητή του εργαστηρίου κ. Σπύρο Αγγελόπουλο του οποίου η διαρκής καθοδήγηση και οι συμβουλές ήταν υψίστης σημασίας για την περάτωση της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους φίλους και συμφοιτητές μου για την πολύτιμη βοήθεια σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



# Πίνακας περιεχομένων

---

Περίληψη .....	iv
Abstract.....	vi
Ευχαριστίες.....	viii
Πίνακας περιεχομένων .....	x
Ευρετήριο Σχημάτων.....	xiii
Ευρετήριο Πινάκων.....	xvii
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1 IoT - Internet of Things .....	1
1.1.1 Παραδείγματα εφαρμογών IoT.....	2
1.2 Σκοπιμότητα Εργασίας .....	4
1.3 Περιεχόμενο Κεφαλαίων .....	5
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Αντίστοιχων Διατάξεων.....	7
2.1 Συστήματα ακολουθίας ηλίου.....	7
2.1.1 Σχεδιασμός και Εξαρτήματα.....	7
2.1.2 Αλγόριθμοι ελέγχου .....	12
2.2 Ενεργά Συστήματα Σκίασης.....	17
Κεφάλαιο 3: Τεχνολογίες και Πρωτόκολλα.....	23
3.1 Ενσωματωμένα Συστήματα (Embedded Systems).....	23
3.2 Μικροελεγκτές και Μικροεπεξεργαστές.....	24
3.3 Πλακέτες Ανάπτυξης (Development Boards).....	26
3.3.1 Η οικογένεια Arduino .....	26
3.3.2 Raspberry Pi.....	28
3.3.3 ESP8266 & ESP32.....	29

3.4 Ασύρματα Πρωτόκολλα Επικοινωνίας.....	31
3.4.1 ZigBee.....	31
3.4.2 Bluetooth Low Energy (BLE) .....	31
3.4.3 Near Field Communication (NFC) .....	32
Κεφάλαιο 4: Τεχνολογία Αισθητήρων.....	33
4.1 Αισθητήρες Φωτός .....	34
4.1.1 Φωτοαντίσταση .....	34
4.1.2 Φωτοδίοδος .....	35
4.1.3 Φωτοτρανζίστορ .....	36
4.2 Αισθητήρες Θερμοκρασίας.....	37
4.2.1 Resistive Temperature Detectors (RTDs).....	38
4.2.2 Θερμίστορ .....	40
4.3 Αισθητήρες Υγρασίας .....	41
4.4 Γυροσκόπια .....	43
4.5 Επιταχυνσιόμετρα .....	45
4.5.1 Πιεζοηλεκτρικά Επιταχυνσιόμετρα (Piezoelectric).....	46
4.5.2 Επιταχυνσιόμετρα πιεζο-αντίστασης (Piezoresistive) .....	46
4.5.3 Χωρητικά Επιταχυνσιόμετρα (Capacitive).....	47
Κεφάλαιο 5: Επιλογή Αισθητήρων και Υλικών Πειραματικής Διάταξης.....	49
5.1 Η πλακέτα ανάπτυξης NodeMCU-32S ESP32.....	49
5.2 Αισθητήρας Θερμοκρασίας – Υγρασίας DHT11 .....	52
5.3 Αισθητήρας Έντασης Φωτισμού BH1750FVI .....	53
5.4 Αισθητήρας Μέτρησης δείκτη UV (UV index).....	55
5.5 Επιταχυνσιόμετρο – Γυροσκόπιο ICM20649 .....	56
5.6 Αισθητήρας Υπέρουθρης Ακτινοβολίας.....	58
5.7 Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος - Γέφυρα οδήγησης L298N .....	59

Κεφάλαιο 6: Πειραματική Διαδικασία .....	63
6.1 Το Arduino IDE .....	63
6.2 Προγραμματισμός Αισθητήρων.....	64
6.2.1 DHT11.....	64
6.2.2 BH1750, ICM20649.....	66
6.2.3 UV Sensor (B) (Si1145).....	69
6.2.4 TSOP38238 IR .....	70
6.3 Τοποθέτηση και Συνδεσμολογία Αισθητήρων.....	71
6.4 Υλοποίηση Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη (GUI) .....	75
6.5 Διάγραμμα Ροής Κώδικα που Αναπτύχθηκε.....	77
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα, Μελλοντικές Επεκτάσεις .....	85
7.1 Συνολική Αξιολόγηση Εργασίας και Αποτελεσμάτων .....	85
7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις Συστήματος .....	85
Βιβλιογραφία .....	87

# Ευρετήριο Σχημάτων

---

Σχήμα 1: Internet of Things [4].....	1
Σχήμα 2: Παραδείγματα Εφαρμογών IoT [5] .....	2
Σχήμα 3: Έξυπνο Ποντίκι Υπολογιστή με χρήση τεχνολογίας IoT [6].....	3
Σχήμα 4: Έξυπνο Σύστημα Οδοφωτισμού [8].....	3
Σχήμα 5: Περιστρεφόμενο Σύστημα Σκίασης, Κομισιόν, Βρυξέλλες [16].....	4
Σχήμα 6: Γενικευμένος Σχεδιασμός Συστήματος ST 1 [20].....	8
Σχήμα 7: Γενικευμένος Σχεδιασμός Συστήματος ST 2 [21].....	8
Σχήμα 8: Συνδεσμολογία LDR ως διαιρέτη τάσης [22].....	9
Σχήμα 9: Διάγραμμα Κυκλώματος Ηλιακού Ιχνηλάτη DAST [23] .....	10
Σχήμα 10: Ηλιακός Ιχνηλάτης με BH1750 και STM32 [24] .....	10
Σχήμα 11: Κύκλωμα με 2 συγκριτές και 4 τρανζίστορ [26] .....	11
Σχήμα 12: Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελέγχου ST για CSP σύστημα [25].....	11
Σχήμα 13: Παράδειγμα Ανάλυσης Εικόνας [28].....	12
Σχήμα 14: Συναρμολόγηση Hardware [28] .....	12
Σχήμα 15: Υβριδικός Αλγόριθμος (Hybrid - Loop) [31].....	13
Σχήμα 16: Αλγόριθμος Ανοικτού Βρόγχου (Open - Loop) [31] .....	14
Σχήμα 17: Αλγόριθμος Κλειστού Βρόγχου (Closed - Loop) [31] .....	14
Σχήμα 18: Διαγράμματα ροής λειτουργίας αισθητήρων LDR [25] .....	15
Σχήμα 19: Στρατηγική ελέγχου για συστήματα ΦΒ [34] .....	16
Σχήμα 20: Στρατηγική Ελέγχου για συστήματα CSP [34] .....	17
Σχήμα 21: Γενική Ιδέα Δυναμικής Τεχνολογίας Λούβρων [37] .....	18
Σχήμα 22: Σχηματικό Διάγραμμα Τριών Υποσυστημάτων [38].....	18
Σχήμα 23:Απεικόνιση εξωτερικών (a) & εσωτερικών (b) στοιχείων του προτεινόμενου συστήματος [38] .....	19
Σχήμα 24: Βηματικός Κινητήρας (a) και Πλακέτα Οδήγησης Κινητήρα [38] .....	19
Σχήμα 25: Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο του συστήματος [38].....	19
Σχήμα 26: Διάγραμμα ροής συστήματος έξυπνης κουρτίνας [39] .....	20
Σχήμα 27: Σύστημα Ελέγχου κλίσης περσίδων με χρήση ΦΒ [40] .....	21
Σχήμα 28: Τάση εξόδου ΦΒ στοιχείου συναρτήσει γωνίας σκιάστρου [40] .....	21

Σχήμα 29: Διαδικασία Σχεδιασμού ενός Ενσωματωμένου Συστήματος [43] .....	24
Σχήμα 30: Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής Intel 4004 [47] .....	25
Σχήμα 31: Ο Μικροελεγκτής (MCU) ATtiny817 της Microchip Technology [49].....	25
Σχήμα 32: Η πλακέτα ανάπτυξης Arduino Nano ESP32 [53] .....	26
Σχήμα 33: Η πλακέτα Raspberry Pi Zero 2W [57] .....	28
Σχήμα 34: Διάγραμμα Θυρών ESP8266EX [59] .....	29
Σχήμα 35: Pinout Διάγραμμα ESP - 01 της Ai Thinker [60] .....	29
Σχήμα 36: Η πλακέτα ανάπτυξης ESP8266 – DevKitS [61].....	30
Σχήμα 37: Pinout Διάγραμμα της ESP32 - DevKitC της Espressif [62] .....	30
Σχήμα 38: Το λογότυπο και μερικές εφαρμογές του πρωτόκολλου ZigBee [65] .....	31
Σχήμα 39: Οι κύριες διαφορές Bluetooth και BLE [67] .....	32
Σχήμα 40: Μερικές από τις εφαρμογές του NFC [70] .....	32
Σχήμα 41: Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σε ημιαγωγό [72].....	34
Σχήμα 42: Κάτοψη και τομή φωτοαντίστασης θειούχου καδμίου CdS [76] .....	35
Σχήμα 43: Ισοδύναμο κύκλωμα και χαρακτηριστική μιας ανάστροφα πολωμένης φωτοδιόδου [72] .....	36
Σχήμα 44: Φωτοδιόδοι Ge (1η αριστερά) και Si (3 δεξιά) [78].....	36
Σχήμα 45: Η δομή και το σύμβολο ενός φωτοτρανζίστορ [73].....	37
Σχήμα 46: Τυπικές συσκευασίες φωτοτρανζίστορ [80] .....	37
Σχήμα 47: Αντίσταση ( $R/R_0$ ) συναρτήσσει θερμοκρασίας (T) για Pt, Cu, Ni [73].....	39
Σχήμα 48: Διάφορα είδη αντιστάσεων RTD [83].....	39
Σχήμα 49: Διάφορα είδη θερμίστορ [84] .....	41
Σχήμα 50: Απλοποιημένο κύκλωμα μέτρησης σχετικής υγρασίας με χωρητικό αισθητήρα [72] .....	42
Σχήμα 51: Διάφοροι τύποι αισθητήρων υγρασίας [87] .....	43
Σχήμα 52: Αρχιτεκτονική ενός δονούμενου γυροσκοπίου MEMS [91] .....	44
Σχήμα 53: Η διάταξη Sagnac (αριστερά) και η δομή ενός οπτικού γυροσκοπίου (δεξιά) [90], [93].....	44
Σχήμα 54: Αρχή λειτουργίας επιταχυνσιόμετρου [73].....	45
Σχήμα 55: Αρχή λειτουργίας πιεζοηλεκτρικών επιταχυνσιόμετρων [73] .....	46
Σχήμα 56: Αρχή λειτουργίας επιταχυνσιόμετρων τύπου πιεζο-αντίστασης [73].....	47
Σχήμα 57: Αρχή λειτουργίας χωρητικού επιταχυνσιόμετρου [73] .....	47



Σχήμα 58: Σύγκριση επιταχυνσιομέτρων με βάση το κόστος και την ακρίβεια μέτρησης [94]	47
.....	
Σχήμα 59: Η πλακέτα ανάπτυξης NodeMCU-32S [96].....	50
Σχήμα 60: Pinout Διάγραμμα της πλακέτας NodeMCU-32S [96] .....	50
Σχήμα 61: Σχηματικό Διάγραμμα NodeMCU-32S [96] .....	51
Σχήμα 62: Ο αισθητήρας θερμοκρασίας - υγρασίας DHT11 [97], [98].....	52
Σχήμα 63: Σχηματικό διάγραμμα DHT11 [99] .....	53
Σχήμα 64: Ο αισθητήρας ένταση φωτισμού BH1750FVI [101] .....	54
Σχήμα 65: Διάγραμμα δομής αισθητήρα BH1750FVI [101] .....	54
Σχήμα 66: Η πλακέτα UV Sensor (B) που περιλαμβάνει τον αισθητήρα Si1145 [105] .....	55
Σχήμα 67: Το σχηματικό διάγραμμα του UV Sensor (B) [106] .....	55
Σχήμα 68: Η πλακέτα ICM20649 [107].....	57
Σχήμα 69: Σχηματικό διάγραμμα ICM20649 Adafruit [109].....	57
Σχήμα 70: Ο αισθητήρας υπερύθρων TSOP38238 (38kHz) [110].....	58
Σχήμα 71: Η εσωτερική δομή του TSOP38238 [110].....	59
Σχήμα 72: Ο κινητήρας DC, το τροφοδοτικό 12V και η πλακέτα γέφυρας L298N [113]–[115]	60
.....	
Σχήμα 73: Έλεγχος και προγραμματισμός αισθητήρων σε breadboard.....	63
Σχήμα 74: Το Arduino IDE [116] .....	64
Σχήμα 75: Κώδικας προγραμματισμού αισθητήρα DHT11 .....	65
Σχήμα 76: Συνδεσμολογία αισθητήρα DHT11 – ESP32s σε breadboard .....	66
Σχήμα 77: Προγραμματισμός BH1750, ICM20649 (1).....	67
Σχήμα 78: Προγραμματισμός BH1750, ICM20649 (2).....	67
Σχήμα 79: Προγραμματισμός BH1750, ICM20649 (3).....	68
Σχήμα 80: Προγραμματισμός BH1750, ICM20649 (4).....	68
Σχήμα 81: Συνδεσμολογία BH1750 (1,2), ICM20649 (3) και NodeMCU-32s (4).....	68
Σχήμα 82: Κώδικας προγραμματισμού αισθητήρα UV .....	69
Σχήμα 83: Καλωδίωση αισθητήρα UV, φωτός και επιτάχυνσης σε breadboard.....	70
Σχήμα 84: Κώδικας αποκωδικοποίησης IR και το τηλεχειριστήριο.....	71
Σχήμα 85: Συνδεσμολογία κυκλώματος SPDT switch, IR και 10kΩ αντίστασης στην NodeMCU-32s .....	71
Σχήμα 86: Ο αισθητήρας ICM20649 τοποθετημένος σε περσίδα στην κατασκευή .....	72

Σχήμα 87: Ο αισθητήρας BH1750 στο πάνω μέρος της κατασκευής .....	72
Σχήμα 88: Οι αισθητήρες UV και BH1750 σε κοινό κουτί προστασίας στο κάτω μέρος .....	73
Σχήμα 89: NodeMCU - ESP32s, L298N, DHT11, TSOP38238 και αντίσταση 10kΩ .....	73
Σχήμα 90: Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος και ο αισθητήρας DHT11 .....	74
Σχήμα 91: Τοποθέτηση αισθητήρων σε κουτί προστασίας και συγκόλληση σε διάτρητη πλακέτα .....	74
Σχήμα 92: Η κατασκευή προσομοίωσης έξυπνου σκιάστρου .....	74
Σχήμα 93: GUI κατασκευής μέσω Windows.....	76
Σχήμα 94: GUI σε Android.....	76
Σχήμα 95: Ταυτοποίηση Blynk και σύνδεση στο Wi-Fi.....	77
Σχήμα 96: Η συνάρτηση sendBlynk() η οποία στέλνει στο Blynk τις μετρήσεις των αισθητήρων .....	77
Σχήμα 97: Διάγραμμα ροής void setup().....	78
Σχήμα 98: Διάγραμμα ροής void loop() .....	79
Σχήμα 99: Διάγραμμα ροής συνάρτησης notifyUVindex() .....	80
Σχήμα 100: Διάγραμμα ροής συνάρτησης moveShade() .....	80
Σχήμα 101: Διαγράμματα ροής closeShade() και openShade().....	81
Σχήμα 102: Διαγράμματα ροής getDirection(), moveForward() και moveBackward().....	82
Σχήμα 103: Διαγράμματα ροής updateICMVars(), getAngle(), manualMode(), readSensors() και sendBlynk() .....	82
Σχήμα 104: Μηχανοκίνητο Αυτόνομο Σύστημα Σκίασης με χρήση ΦΒ [119] .....	86
Σχήμα 105: Σύστημα σκίασης με ενσωματωμένα ΦΒ πλαίσια [120] .....	86

# Ευρετήριο Πινάκων

---

Πίνακας 1: Παραδείγματα Ενσωματωμένων Συστημάτων και οι αγορές τους [41] .....	23
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Arduino UNO [54] .....	27
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Arduino Nano ESP32 [55] .....	27
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Πλακέτας Raspberry Pi Zero 2W [57].....	28
Πίνακας 5: Μετρούμενα Μεγέθη ανά τύπο Αισθητήρα [71] .....	33
Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά υλικών κατασκευής RTD [73] .....	39
Πίνακας 7: Διάφορες οικογένειες επιταχυνσιόμετρων [73] .....	45
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά πλακέτα ανάπτυξης NodeMCU-32S [96] .....	51
Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά αισθητήρα θερμοκρασίας - υγρασίας DHT11 [98] .....	53
Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά αισθητήρα έντασης φωτισμού BH1750FVI [100] .....	54
Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά αισθητήρα UV Sensor (B) [104] .....	56
Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά πλακέτας ICM20649 [107] .....	57
Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά αισθητήρα TSOP38238 [110].....	59
Πίνακας 14: Χαρακτηριστικά κινητήρα συνεχούς ρεύματος (DC) [113] .....	61
Πίνακας 15: Χαρακτηριστικά πλακέτας οδήγησης κινητήρα L298N [112] .....	61
Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά τροφοδοτικού [115] .....	61

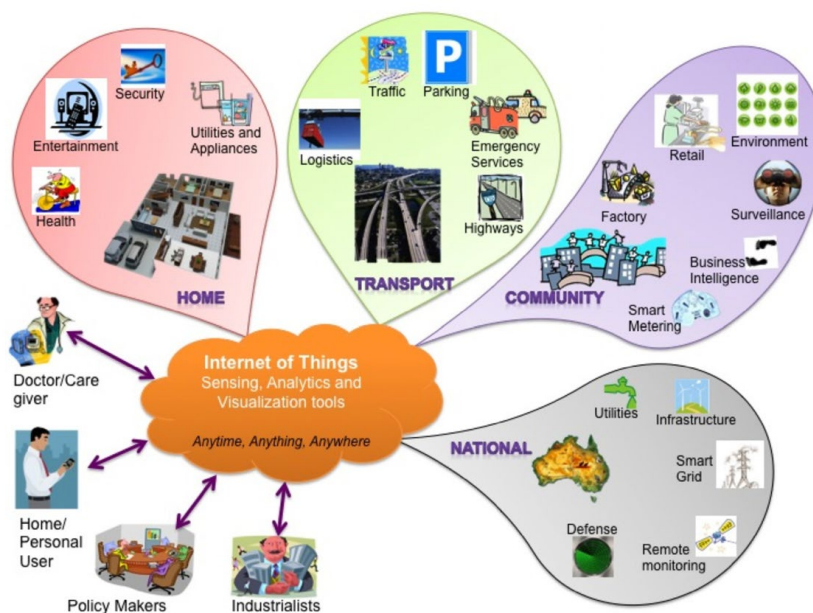


# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1 IoT - Internet of Things

Η ιδέα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) είχε διατυπωθεί ήδη από το 1926 από τον Νικόλα Τέσλα: “...Όταν η ασύρματη τεχνολογία θα έχει εφαρμοσθεί σε όλο τον κόσμο, τότε ο κόσμος θα μετατραπεί σε ένα τεράστιο εγκέφαλο, που στην πραγματικότητα είναι...” [1]. Η πιο σαφής και σύγχρονη διατύπωση έγινε το 1999 από τον Kevin Ashton όπου χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τον όρο Internet of Things εξηγώντας πως αρχικά το διαδίκτυο αφορούσε δεδομένα που δημιουργήθηκαν από τον άνθρωπο ενώ στη σύγχρονη μορφή του αποτελεί δεδομένα δημιουργημένα από πράγματα [2].

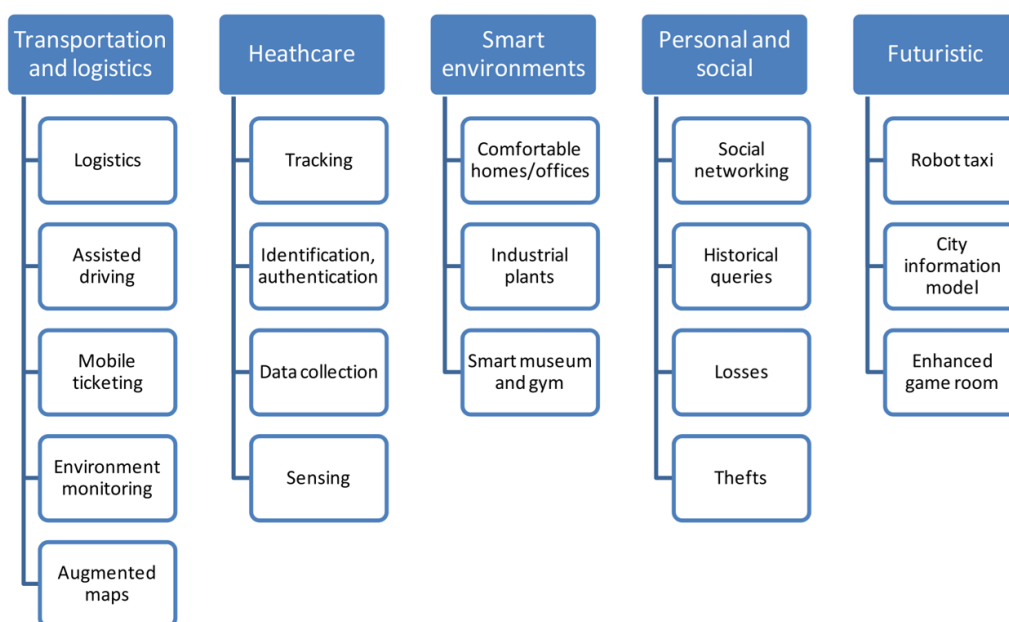
Επομένως το IoT ορίζεται ως εξής: Το IoT είναι το δίκτυο φυσικών αντικειμένων όπως συσκευές, όργανα, οχήματα, κτίρια κ.α, ενσωματωμένα με ηλεκτρονικά κυκλώματα, λογισμικό και αισθητήρες τα οποία είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο επιτρέποντας σε αυτά τα αντικείμενα τη συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων. Δίνεται έτσι, η ευκαιρία ανίχνευσης και απομακρυσμένου ελέγχου των αντικειμένων μέσω του διαδικτύου, δημιουργώντας ευκαιρίες για πιο άμεση ενσωμάτωση του φυσικού κόσμου σε συστήματα που βασίζονται σε υπολογιστές, καταλήγοντας σε βελτιωμένη απόδοση και ακρίβεια [3].



Σχήμα 1: Internet of Things [4]

## 1.1.1 Παραδείγματα εφαρμογών IoT

Το IoT αποτελεί μια τεχνολογία μετασχηματισμού η οποία έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε διάφορους τομείς. Σύμφωνα με την έρευνα των Atzori, Iera και Morabito που διεξήχθη το 2010, διαπιστώθηκε ότι το IoT έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση σε τομείς όπως η υγειονομική περίθαλψη, οι μεταφορές, η διαχείριση ενέργειας και ακόμη η περιβαλλοντική παρακολούθηση. Για παράδειγμα στον υγειονομικό τομέα μέσω του IoT είναι δυνατό να γίνεται εφικτή η απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών και προσωπικού, η συλλογή δεδομένων ζωτικών σημείων σε πραγματικό χρόνο καθώς και η ειδοποίηση για άμεση παρέμβαση [5]. Ακόμη ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι μια εργασία που δημοσιεύτηκε το 2021 όπου με τη χρήση μικροελεγκτή και βιομετρικών αισθητήρων έγινε η κατασκευή ενός έξυπνου ποντικιού υπολογιστή το οποίο καταγράφει και μεταφέρει ασύρματα τα επίπεδα άγχους των εργαζομένων μέσω Wi-Fi. Αναλυτικά, το σήμα φωτοπληθυσμογραφίας (Photoplethysmography – PPG) καταγράφεται από τον αντίχειρα του χρήστη μέσω ενός αισθητήρα ο οποίος τοποθετήθηκε στο πλευρικό τοίχωμα του ποντικιού ενώ η γαλβανική απόκριση δέρματος (Galvanic Skin Response – GSR) καταγράφεται από την παλάμη του χρήστη μέσω δύο αισθητήρων οι οποίοι τοποθετήθηκαν στο επάνω μέρος του ποντικιού [6].

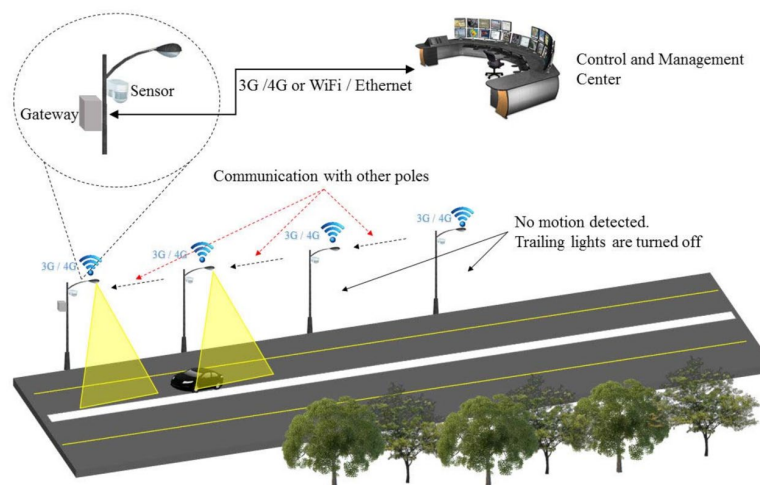


Σχήμα 2: Παραδείγματα Εφαρμογών IoT [5]



Σχήμα 3: Έξυπνο Ποντίκι Υπολογιστή με χρήση τεχνολογίας IoT [6]

Σημαντικός τομέας εφαρμογής της τεχνολογίας IoT είναι η συνεισφορά στην δημιουργία έξυπνων πόλεων. Αναμένεται ότι μέχρι το 2050 πάνω από το 70% του παγκόσμιου πληθυσμού θα διαμένει στις πόλεις και στα προάστια τους. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι μελλοντικές πόλεις πρέπει να είναι έξυπνες ούτως ώστε να μπορούν να επιτρέπουν την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική ευημερία. Έξυπνες πόλεις είναι αυτές που χρησιμοποιούν τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνίας (ICT – Information and Communication Technologies) ώστε να μετασχηματίσουν τις υπηρεσίες τους, καθιστώντας τις πιο διαδραστικές και αποδοτικές [7]. Η εφαρμογή για παράδειγμα ενός έξυπνου συστήματος οδοφωτισμού θα μειώσει τις ενεργειακές ανάγκες μιας πόλης, μειώνοντας την ένταση φωτισμού όπου οι δρόμοι και τα πεζοδρόμια δεν χρησιμοποιούνται από πεζούς και οχήματα [8].



Σχήμα 4: Έξυπνο Σύστημα Οδοφωτισμού [8]

## 1.2 Σκοπιμότητα Εργασίας

Ο φυσικός φωτισμός στα κτίρια παρέχει πολυδιάστατα οφέλη τα οποία έχουν παρατηρηθεί ευρέως στην σχετική βιβλιογραφία [9]. Η παροχή φωτός μέσω των διάφορων ανοιγμάτων εντός των κτιρίων προσφέρει οπτική άνεση [10], επιδρά θετικά στην ψυχολογία [11] και στην υγεία [12] και ακόμη, αυξάνει την παραγωγικότητα [13]. Επιπρόσθετα, ο βέλτιστος σχεδιασμός φυσικού φωτισμού μειώνει την εξάρτηση των κτιρίων σε τεχνητό φωτισμό με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται μείωση κατανάλωσης ενέργειας [14], [15]. Ωστόσο, αν και η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα είναι πιθανόν να οδηγήσει στην αυξημένη θάμβωση των χρηστών του κτιρίου αλλά και στην αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτό οδηγεί στην ανάγκη σχεδιασμού και ανάπτυξης έξυπνων συστημάτων σκίασης τα οποία θα αντισταθμίσουν την θάμβωση και την αύξηση της θερμοκρασίας εντός των κτιρίων [16].

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος το οποίο θα προσαρμόζεται αυτόματα στην αλλαγή της θέσης του ηλίου ούτως ώστε να σκιάζει αλλά και να μειώνει την θάμβωση και την θερμοκρασία. Παράλληλα δίνονται στον χρήστη πληροφορίες όπως θερμοκρασία, υγρασία, δείκτης UV, ένταση φωτισμού και κλίση σκιάστρου σε πραγματικό χρόνο. Πέραν της αυτόματης λειτουργίας θα υπάρχει και η επιλογή για χειροκίνητο απομακρυσμένο έλεγχο με χρήση τηλεχειριστηρίου με δυνατότητα προσαρμογής κλίσης στις απαιτήσεις του χρήστη. Τέλος, η εργασία παρέχει την ευκαιρία εμβάθυνσης στον σημαντικά εξελισσόμενο τομέα του IoT και στους διάφορους αισθητήρες που έχουν ευρεία εφαρμογή σε δεκάδες τομείς της τεχνολογίας.



Σχήμα 5: Περιστρεφόμενο Σύστημα Σκίασης, Κομισιόν, Βρυξέλλες [16]



## 1.3 Περιεχόμενο Κεφαλαίων

Η παρούσα διπλωματική οργανώνεται σε επτά κεφάλαια. Αρχικά, γίνεται εισαγωγή στην τεχνολογία IoT όπου επιδεικνύεται η σημαντικότητά της, αναφέροντας μερικά παραδείγματα εφαρμογής της. Κατόπιν, στο κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται η σκοπιμότητα της διπλωματικής καθώς και η σημασία αλλά και τα οφέλη κατασκευής ενός έξυπνου συστήματος σκίασης. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση παρόμοιων διατάξεων όπου αντλήθηκαν δεδομένα για την κατασκευή του ζητούμενου συστήματος. Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 3 επεξηγούνται διάφορες τεχνολογίες όπως τα Embedded Systems, η τεχνολογία των Μικροελεγκτών, Μικροεπεξεργαστών και των Πλακετών Ανάπτυξης αλλά και διάφορα πρωτόκολλα όπως το Bluetooth Low Energy (BLE) και το Near Field Communication (NFC). Το κεφάλαιο 4 αφορά την τεχνολογία διάφορων αισθητήρων όπως αισθητήρες φωτός και θερμοκρασίας ενώ στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται αναλυτικά η επιλογή των αισθητήρων και υλικών για την κατασκευή του συστήματος. Ακόμη, στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η πειραματική διαδικασία η οποία μεταξύ άλλων περιλαμβάνει τη διαδικασία προγραμματισμού, την τοποθέτηση και συνδεσμολογία των αισθητήρων του συστήματος και τέλος στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο μελετώνται τα συμπεράσματα και πιθανές επεκτάσεις του συστήματος.



# Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Αντίστοιχων Διατάξεων

Το παρόν κεφάλαιο παρέχει μια επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας όπου έχουν μελετηθεί και αναπτυχθεί παρόμοια συστήματα με χρήση της τεχνολογίας IoT. Εξετάζονται επιστημονικά άρθρα τα οποία πραγματεύονται την αυτοματοποίηση των συστημάτων σκίασης μέσω διαφόρων αισθητήρων και μικροελεγκτών αλλά και άρθρα τα οποία μελετούν αντίστοιχες διατάξεις όπως είναι τα συστήματα παρακολούθησης ηλίου (Solar Trackers - ST) που χρησιμοποιούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

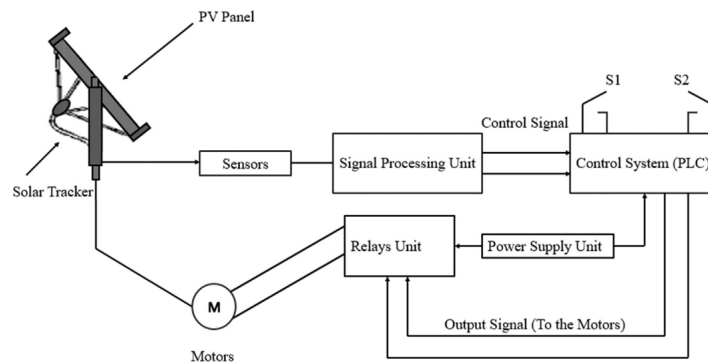
## 2.1 Συστήματα ακολουθίας ηλίου

Τα συστήματα ακολουθίας ηλίου ή αλλιώς ηλιακοί ιχνηλάτες κατέχουν σημαντικό ρόλο στις διάφορες εφαρμογές φωτοβολταϊκών (ΦΒ) συστημάτων αφού πλεονεκτούν έναντι των σταθερών συστημάτων παρέχοντας αυξημένη παραγωγή ισχύος αλλά και μείωση του συνολικού κόστους εγκατάστασης σε μεγάλης κλίμακας πάρκα [17]. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική επιτυγχάνεται από τα κλασσικά επίπεδα ΦΒ συστήματα αλλά και από τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα (Concentrating Solar Power – CSP) [18]. Ο ιδανικός ιχνηλάτης ωστόσο, επιτρέπει στα ΦΒ και στα CSP να κατευθύνονται με ακρίβεια προς τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία προσαρμόζοντας τα στην αλλαγή της θέσης του ηλίου σε αντίθεση με τα σταθερά ΦΒ συστήματα τα οποία παραμένουν πακτωμένα υπό κλίση από το έδαφος περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής τοποθέτησής τους [19]. Τα δύο κύρια είδη ST που υπάρχουν είναι τα συστήματα που περιστρέφουν τα ΦΒ γύρω από έναν άξονα (Single Axis Solar Trackers) και αυτά που περιστρέφουν τα ΦΒ γύρω από δύο άξονες (Dual Axis Solar Trackers) [20]. Η μελέτη εστιάστηκε κυρίως στα μονοαξονικά συστήματα εφόσον το σύστημα που μελετάται απευθύνεται στην περιστροφή λούβρων σκίασης γύρω από έναν άξονα.

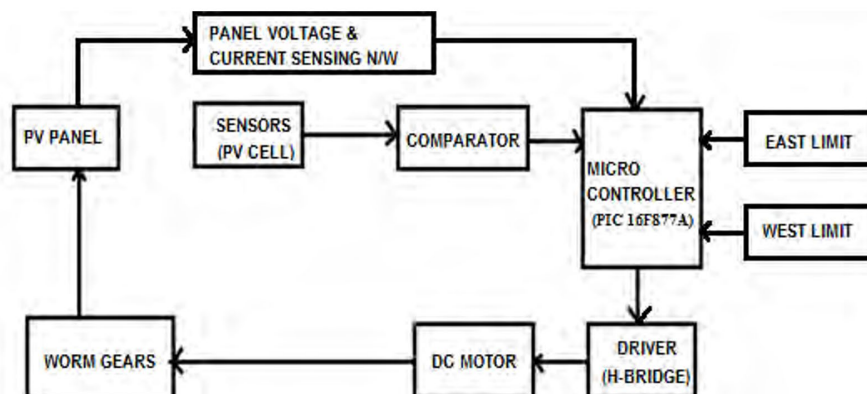
### 2.1.1 Σχεδιασμός και Εξαρτήματα

Όπως παρουσιάζεται στην μελέτη [20], τα ενεργά συστήματα ακολουθίας ηλίου (Active Trackers) αποτελούνται ως επί το πλείστον από αισθητήρες και κινητήρες. Οι δε αισθητήρες

ανιχνεύουν συνεχώς την θέση του ήλιου και με την βοήθεια των κινητήρων μετατοπίζονται αναλόγως τα ΦΒ. Στα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζονται γενικευμένοι σχεδιασμοί που ακολουθούνται σε τέτοιου είδους συστήματα. Παρατηρείται ότι και στις δύο περιπτώσεις ένας συγκριτής των εισόδων καθορίζει την κατεύθυνση και στη συνέχεια μέσω της γέφυρας οδηγείται ο κινητήρας. Μάλιστα, στο Σχήμα 6 υπάρχουν ακόμα δύο είσοδοι όπου ελέγχονται τα όρια της κίνησης του συστήματος (West Limit, East Limit).



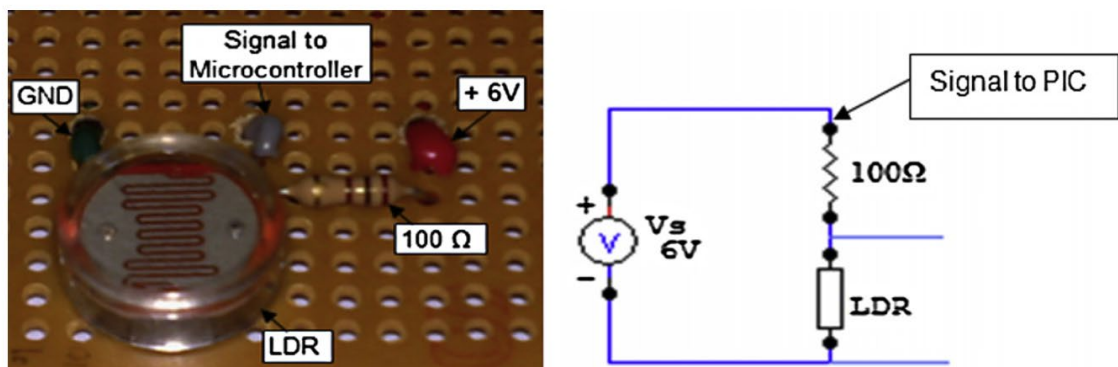
Σχήμα 6: Γενικευμένος Σχεδιασμός Συστήματος ST 1 [20]



Σχήμα 7: Γενικευμένος Σχεδιασμός Συστήματος ST 2 [21]

Συγκεκριμένα, όπως παρουσιάζεται σε μία μελέτη [22], για την κατασκευή ενός αυτόνομου μονοαξονικού ηλιακού ιχνηλάτη χρησιμοποιήθηκαν δύο φωτοαντιστάσεις LDR (Light Depended Resistor - LDR) σε συνδεσμολογία διαιρέτη τάσης (Σχήμα 8), ένας μικροελεγκτής PIC18F4520 για τον έλεγχο των εισόδων (LDR) και της κίνησης των σερβοκινητήρων και ένας ρυθμιστής τάσης ο οποίος υποβιβάζει την τάση στα επιθυμητά για τον μικροελεγκτή και τους αισθητήρες επίπεδα. Επίσης για να λειτουργεί το σύστημα αυτόνομα χωρίς να χρειάζεται τροφοδοτικό κατασκευάστηκε κατάλληλος ρυθμιστής

φόρτισης μιας μπαταρίας μολύβδου – οξέος (Lead – Acid) η οποία φορτίζεται μέσω ΦΒ και στη συνέχεια τροφοδοτεί τους σερβοκινητήρες.

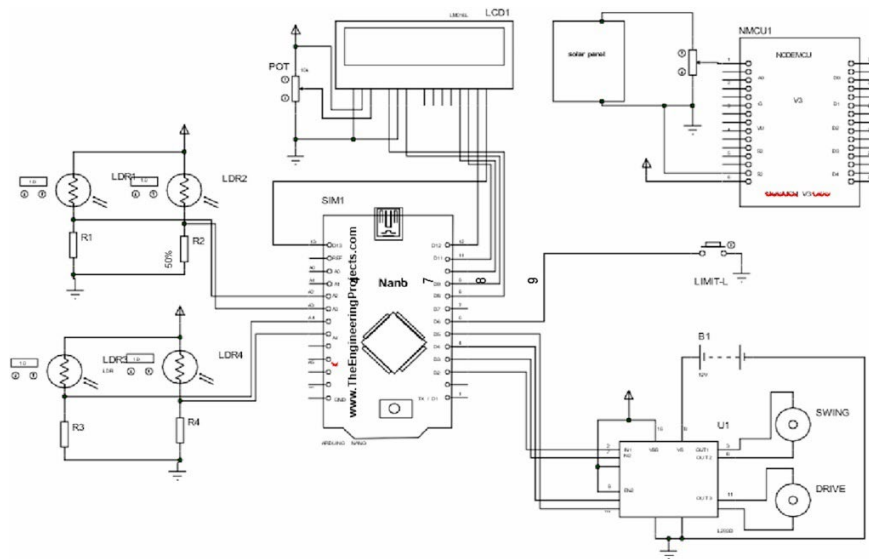


Σχήμα 8: Συνδεσμολογία LDR ως διαιρέτη τάσης [22]

Ένα παράδειγμα κατασκευής ηλιακού ιχνηλάτη που κινείται σε δύο άξονες (Dual Axis Solar Tracker – DAST) είναι η εργασία των Muthukumar, Manikandan κ.α. όπου με την χρήση μικροελεγκτή και δύο κινητήρων συνεχούς ρεύματος κατασκευάστηκε ο DAST. Επίσης με χρήση της τεχνολογίας IoT μέσω Wi-Fi αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων για διάρκεια 24 ωρών χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με το σύστημα όπως η παραγωγή ισχύος όπου στη συνέχεια αναλύονται ώστε να γίνεται διαπίστωση ότι το ΦΒ έχει συνεχώς την καλύτερη δυνατή παραγωγή. Συγκεκριμένα, για να γίνει εφικτή η ανίχνευση της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας σε δύο άξονες έγινε η χρήση τεσσάρων φωτοαντιστάσεων LDR σε αντίθεση με το προηγούμενο παράδειγμα που μελετήθηκε. Η κεντρική πλακέτα είναι μια Arduino Nano (με μικροελεγκτή ATmega 328P) ενώ για την σύνδεση στο Wi-Fi χρησιμοποιήθηκε μια πλακέτα της NODEMCU με μικροελεγκτή ESP-8266. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν και διακόπτες limit switch για την διακοπή του κινητήρα όταν το ΦΒ βρίσκεται στα άκρα κίνησής του καθώς και μια LCD οθόνη η οποία δείχνει την φορά κίνησης του κινητήρα [23]. Κατόπιν παρατηρείται το συνολικό κύκλωμα του συστήματος που κατασκευάστηκε όπου διακρίνεται το Arduino, η ESP8266 η γέφυρα οδήγησης των κινητήρων L293D, τα δύο κυκλώματα με τις φωτοαντιστάσεις και η οθόνη LCD (Σχήμα 9).

Ακόμη ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα κατασκευής ηλιακού ιχνηλάτη είναι με χρήση ψηφιακού αισθητήρα φωτός σε αντίθεση με τον αναλογικό LDR που μελετήθηκε προηγουμένως. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένας μικροελεγκτής STM32 ο οποίος διαθέτει 37 GPIO pins (General Purpose Input Output – GPIO) εκ των οποίων τα 12 είναι PWM

pins (Pulse Width Modulation – PWM). Για την ανίχνευση του φωτός αλλά και την μέτρηση της έντασης φωτισμού σε lux χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός αισθητήρας φωτός BH1750 ενώ για την μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκε ο DHT11. Αξίζει να σημειωθεί ότι για να αυξηθεί η απόκριση του ψηφιακού αισθητήρα φωτός BH1750 τοποθετήθηκε ένας θόλος από γαλακτώδες πολυκαρπονικό υλικό όπως παρατηρείται στην κάτωθι εικόνα (Σχήμα 10) [24].



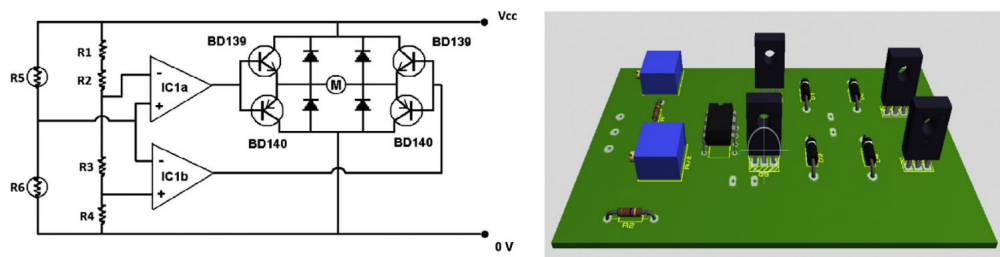
Σχήμα 9: Διάγραμμα Κυκλώματος Ηλιακού Ιχνηλάτη DAST [23]



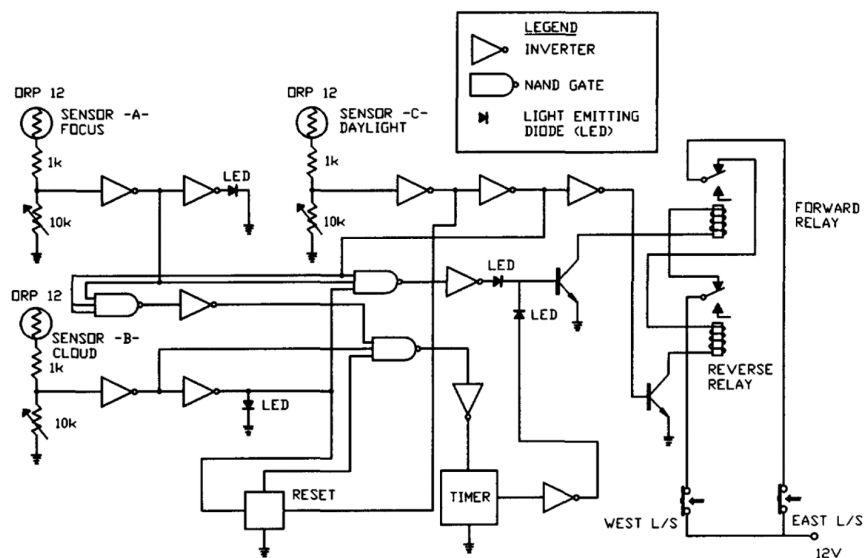
Σχήμα 10: Ηλιακός Ιχνηλάτης με BH1750 και STM32 [24]

Πέραν των κατασκευών που αφορούν τα ΦΒ συστήματα μελετήθηκαν επίσης και κάποια συστήματα ηλιακών ιχνηλατών που απευθύνονται σε συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα. Ενδιαφέρουσα είναι η προσέγγιση του Καλογήρου όπου σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα μονοαξονικό σύστημα συγκεντρωτικού ηλιακού συλλέκτη CSP με τρεις φωτοαντιστάσεις LDR. Ο πρώτος αισθητήρας ανιχνεύει αν ο συλλέκτης του συστήματος είναι

προσανατολισμένος προς τον ήλιο, ο δεύτερος LDR ανιχνεύει εάν έχει συννεφιά ενώ ο τρίτος καθορίζει αν είναι μέρα ή νύχτα. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα συστήματα που αναφέρθηκαν το συγκεκριμένο δεν χρησιμοποιεί μικροελεγκτή για τις λογικές διεργασίες του συστήματος αλλά ένα κλασσικό ηλεκτρονικό κύκλωμα ελέγχου το οποίο στη συνέχεια τροφοδοτεί κατάλληλα έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος 12V χαμηλών στροφών [25]. Ακόμη ένα σύστημα που κατασκευάστηκε χωρίς τη χρήση μικροελεγκτή είναι των Bentaher, Kaich κ.α. όπου με χρήση δύο συγκριτών και τεσσάρων τρανζίστορ έγινε η οδήγηση του κινητήρα. [26].



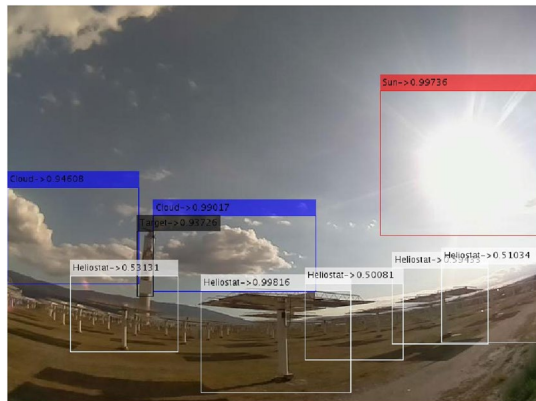
Σχήμα 11: Κύκλωμα με 2 συγκριτές και 4 τρανζίστορ [26]



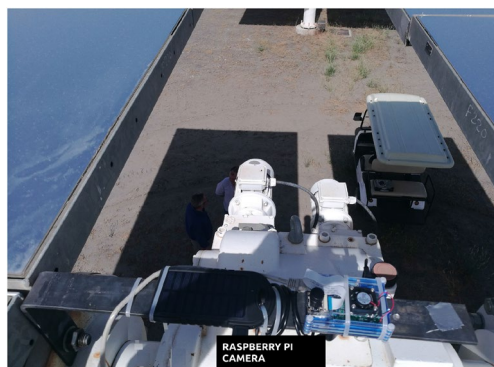
Σχήμα 12: Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Ελέγχου ST για CSP σύστημα [25]

Αξιοσημείωτη εφαρμογή η οποία αποτελεί εντελώς διαφορετική προσέγγιση από ό τι μελετήθηκε έως τώρα, έγινε στην Ισπανία στο μεγαλύτερο πάρκο έρευνας, ανάπτυξης και δοκιμής συγκεντρωτικής ηλιακής ενέργειας στην Ευρώπη, Solar Platform of Almeria (PSA) [27]. Η μέθοδος που προτείνεται έναντι των συμβατικών μεθόδων με αισθητήρες είναι η εκμετάλλευση τεχνικών όρασης υπολογιστών (Computer Vision) για την παρακολούθηση του

ήλιου περιλαμβάνοντας ανίχνευση αντικειμένων με χρήση Συνελκτικών Νευρωνικών Δικτύων (Convolutional Neural Networks – CNNs). Σημαντικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η δραστική μείωση κόστους του συνολικού συστήματος αντικαθιστώντας διάφορες συσκευές όπως GPS, limit switches και κωδικοποιητές με έναν υπολογιστή μεγέθους ίσου με πιστωτικής κάρτας, το γνωστό Raspberry Pi 3. Επίσης μειώνεται περαιτέρω το κόστος λόγω σχεδόν μηδενικής συρμάτωσης για σκοπούς μεταφοράς πληροφορίας χάρη στη χρήση πρωτοκόλλων επικοινωνίας όπως Wi-Fi και Bluetooth. Τέλος, για την αναγνώριση αντικειμένων χρησιμοποιήθηκε μια Raspicam ενώ όσον αφορά το λογισμικό χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες Computer Vision και MATLAB για Raspberry Pi [28].



Σχήμα 13: Παράδειγμα Ανάλυσης Εικόνας [28]



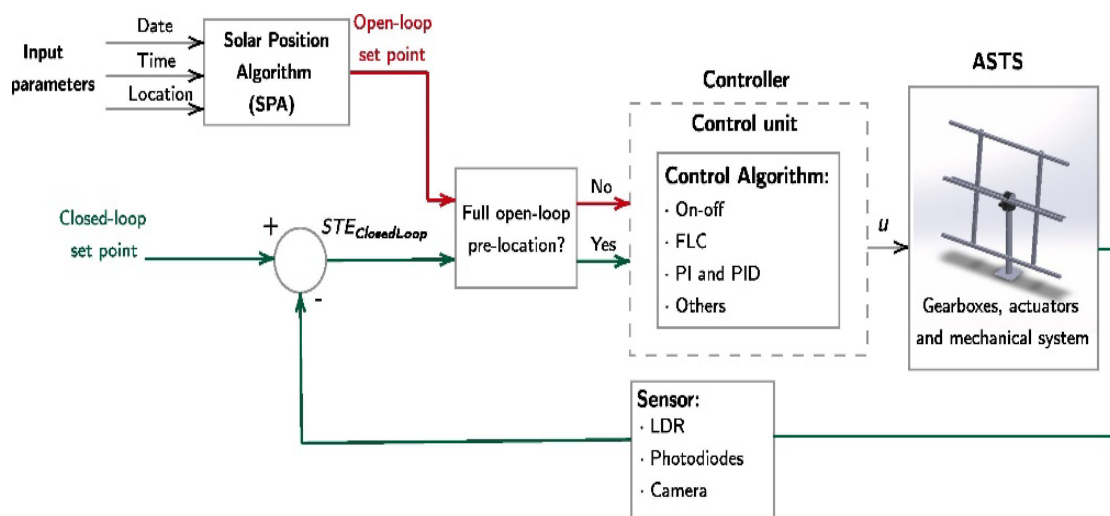
Σχήμα 14: Συναρμολόγηση Hardware [28]

## 2.1.2 Αλγόριθμοι ελέγχου

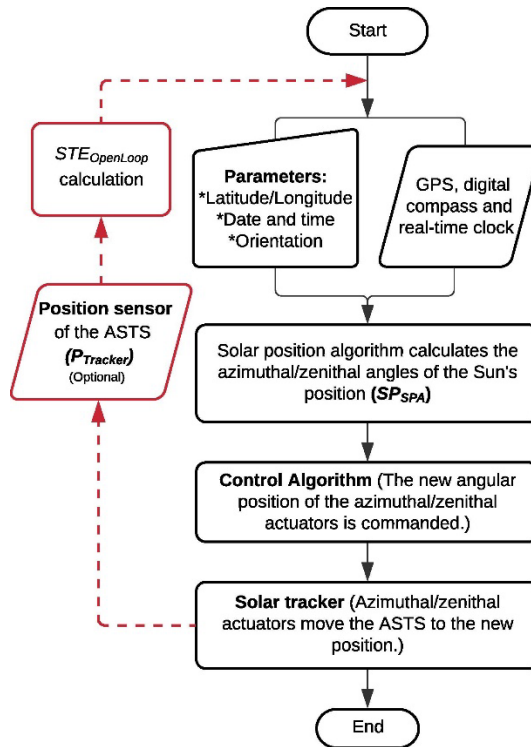
Οι στρατηγικές ελέγχου που διέπουν τέτοιους είδους συστήματα χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες αλγορίθμων : ανοικτού βρόχου (Open- Loop), κλειστού βρόχου (Closed –



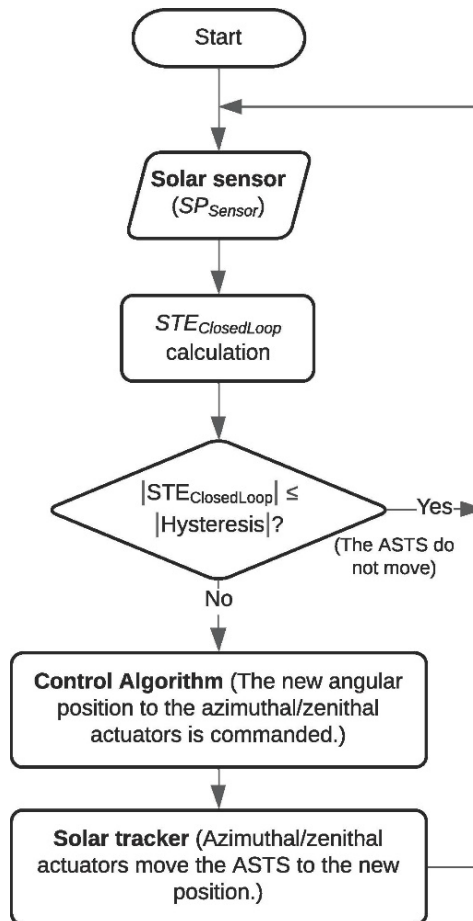
Loop) και οι υβριδικοί αλγόριθμοι (Hybrid – Loop). Η πρώτη κατηγορία παρατηρείται στα συστήματα όπου οι αποφάσεις ελέγχου προκαθορίζονται από τον Αλγόριθμο Θέσης Ηλίου (Sun Position Algorithm – SPA) ο οποίος αναπτύχθηκε από τους Reda I. και Andreas A. το 2003 και πλέον υιοθετήθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL) των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής [29], [30]. Συγκεκριμένα, ο SPA υπολογίζει με μεγάλη ακρίβεια μέσω εξισώσεων ηλιακής γεωμετρίας την αζιμούθια γωνία και το ύψος του ηλίου σύμφωνα με την μέρα, ώρα και γεωγραφική θέση του συστήματος. Επομένως δεν υπάρχει ανάδραση από κάποιον αισθητήρα όπως έναν αισθητήρα φωτός ούτως ώστε να αποφανθεί η κατεύθυνση του ΦΒ. Αυτή η μέθοδος αν και δεν απαιτεί την χρήση ηλιακών αισθητήρων εφαρμόζεται μόνο στο 30% των περιπτώσεων λόγω της αναγκαιότητας ύπαρξης αυστηρής ακρίβειας όσον αφορά τον χρόνο, την γωνία των ΦΒ αλλά και τη γεωγραφική θέση [31], [32]. Από την άλλη πλευρά η προσέγγιση των αλγορίθμων κλειστού βρόγχου (με ανάδραση) η οποία απαιτεί την χρήση αισθητήρων φωτός μπορεί να είναι απλή στην εφαρμογή αλλά η αξιοπιστία της πιθανόν να επηρεαστεί από μετατοπίσεις των αναλογικών αισθητήρων λόγω της αναγκαιότητας καθαριότητας τους και λόγω του περιορισμένου εύρους λειτουργίας τους [33]. Οι υβριδικοί αλγόριθμοι πάραυτα, έχουν τα πλεονεκτήματα και των δύο προαναφερθέντων προσεγγίσεων. Συνήθως, αυτή η στρατηγική βασίζεται σε δύο βρόχους ελέγχου: έναν γενικευμένο έλεγχο που εφαρμόζεται σε ανοιχτό βρόχο και έναν πιο ακριβή έλεγχο που εκτελείται σε κλειστό βρόχο [31]. Στη συνέχεια παρουσιάζονται γενικευμένα λογικά διαγράμματα τα οποία επεξηγούν την λειτουργία του κάθε ενός από τους τρεις αλγόριθμους που παρουσιάστηκαν (Σχήματα 15, 16, 17).



Σχήμα 15: Υβριδικός Αλγόριθμος (Hybrid - Loop) [31]

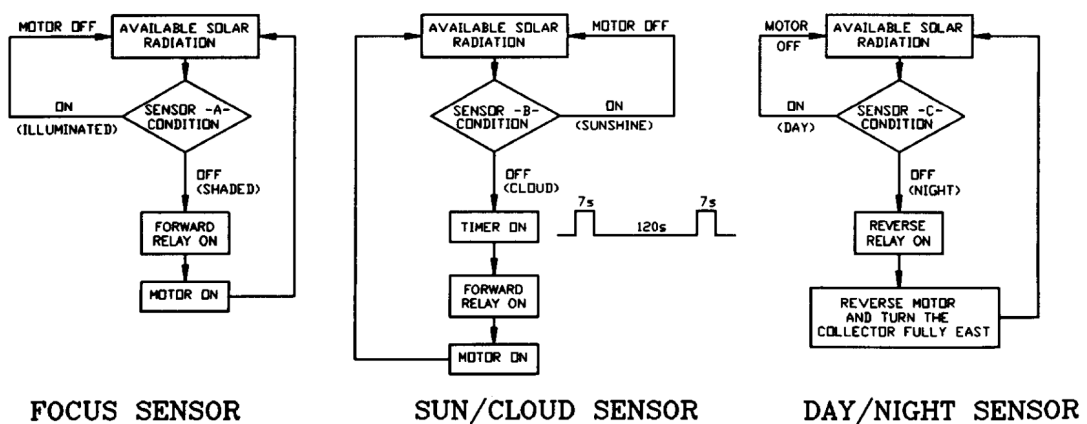


Σχήμα 16: Αλγόριθμος Ανοικτού Βρόγχου (Open - Loop) [31]



Σχήμα 17: Αλγόριθμος Κλειστού Βρόγχου (Closed - Loop) [31]

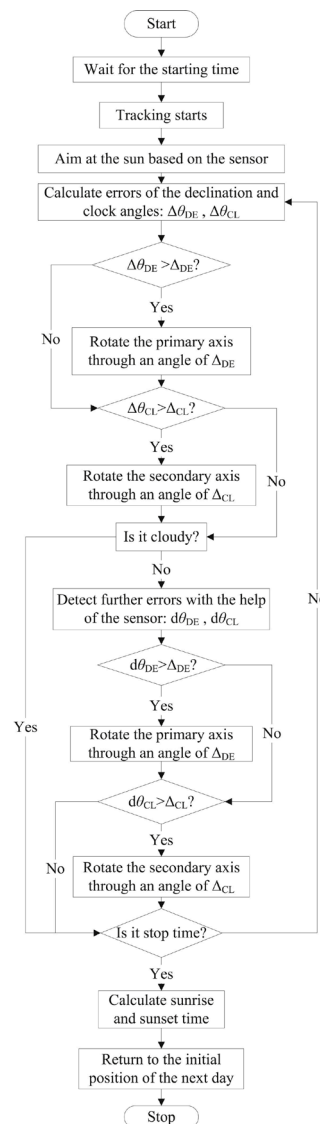
Στην εργασία του Καλογήρου χρησιμοποιήθηκε αλγόριθμος κλειστού βρόχου για τον έλεγχο του συστήματος. Όπως προαναφέρθηκε, στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν τρεις φωτοαντιστάσεις (LDRs) για τον έλεγχο τριών διαφορετικών συνθηκών: αναγνώριση σκότους, κατεύθυνσης συστήματος και εντοπισμός ύπαρξης συννεφιάς. Τα λογικά διαγράμματα ροής που αφορούν κάθε μια από τις τρεις συνθήκες φαίνονται κατόπιν. Παρατηρείται ότι στο διάγραμμα ροής που αφορά τον εντοπισμό ύπαρξης συννεφιάς ξεκινά η διαδικασία με τον έλεγχο ύπαρξης ηλιακής ακτινοβολίας. Στη συνέχεια, ελέγχεται εάν ικανοποιείται η συνθήκη του δεύτερου αισθητήρα δηλαδή εάν ανεβεί η αντίσταση του αισθητήρα πάνω από 15Ω (που είναι η σύνηθες αντίσταση όταν έχει άμεση ηλιακή ακτινοβολία) και μόνο τότε θα συνεχίσει η διαδικασία. Κατόπιν ξεκινάει ένας χρονοδιακόπτης τη λειτουργία του ο οποίος είναι υπεύθυνος για την εκκίνηση του κινητήρα κάθε δύο λεπτά για διάρκεια επτά δευτερολέπτων μέχρι να σταματήσει να ικανοποιείται η συνθήκη που προαναφέρθηκε [25].



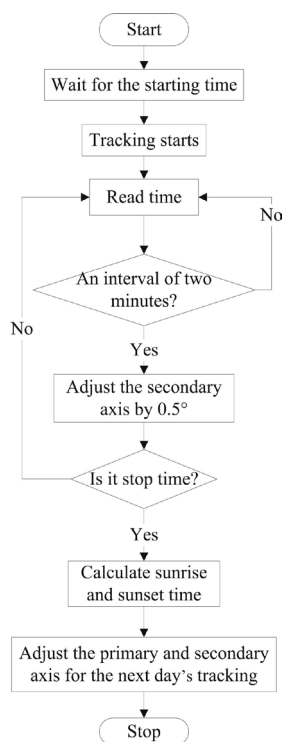
Σχήμα 18: Διαγράμματα ροής λειτουργίας αισθητήρων LDR [25]

Μια διαφορετική προσέγγιση είναι η εργασία των Yingxue Yao, Yeguang Hu κ.α, οι οποίοι πρότειναν δύο στρατηγικές ακολουθίας ηλίου μία κλασική στρατηγική ελέγχου που απευθύνεται σε ΦΒ συστήματα και μία στρατηγική ελέγχου η οποία προσαρμόζεται ανά ημέρα με μικρές διορθώσεις όπου αφορά συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα. Συγκεκριμένα, στην πρώτη περίπτωση ο ιχνηλάτης στοχεύει τον ήλιο υπό την οδήγηση ενός αισθητήρα ανίχνευσης θέσης του ηλίου. Κατόπιν το σύστημα υπολογίζει συνεχώς με εξισώσεις ηλιακής γεωμετρίας τα σφάλματα τόσο της γωνίας απόκλισης όσο και της γωνίας του ρολογιού και εάν διαπιστωθεί ότι έστω και ένα από τα σφάλματα ότι υπερβαίνει την προκαθορισμένη τιμή τότε το σύστημα προσαρμόζει τον άξονα κίνησης για να διορθωθεί το σφάλμα. Αυτή η

διαδικασία συνεχίζεται μέχρι και τη δύση του ηλίου υπολογίζοντας συνεχώς σφάλματα απόκλισης και προσαρμόζοντας κάθε φορά κατάλληλα τον άξονα. Στη συνέχεια ο μικροεπεξεργαστής του συστήματος θα προβλέψει την ώρα ανατολής και δύσης του ηλίου της επόμενης μέρας και θα δώσει εντολή να κινηθεί το σύστημα στη θέση ανατολής. Το διάγραμμα ροής αυτής της στρατηγικής φαίνεται πιο κάτω (Σχήμα 19). Η δεύτερη στρατηγική που προτείνεται για συστήματα CSP προσαρμόζει τον κύριο άξονα μία φορά την ημέρα ενώ ο δευτερεύον άξονας ο οποίος κινείται με σταθερή ταχύτητα  $15^\circ/h$  προσαρμόζεται κάθε δύο λεπτά. Στο τέλος της ημέρας το σύστημα υπολογίζει την ώρα ανατολής και δύσης ώστε να προσαρμόσει την κίνηση κατάλληλα και παράλληλα κινείται ο άξονας στην αρχική θέση του συστήματος. Παρατηρείται στη συνέχεια το διάγραμμα ροής της δεύτερης στρατηγικής (Σχήμα 20) [34].



Σχήμα 19: Στρατηγική ελέγχου για συστήματα ΦΒ [34]

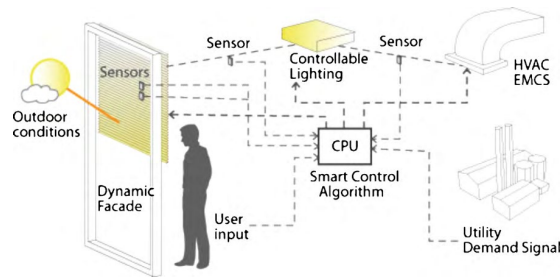


Σχήμα 20: Στρατηγική Ελέγχου για συστήματα CSP [34]

## 2.2 Ενεργά Συστήματα Σκίασης

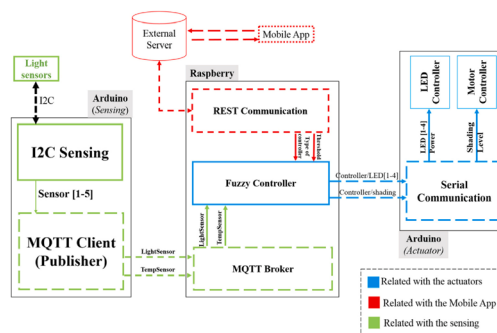
Τα ενεργά συστήματα σκίασης (Active Shading Systems) περιγράφονται ως συστήματα τα οποία επιτρέπουν στα κτίρια να μειώσουν τις ανάγκες φωτισμού και θέρμανσης τους ενώ παράλληλα επηρεάζουν την οπτική άνεση των χρηστών με αποτέλεσμα ο σχεδιασμός τους να είναι περίπλοκος και απαιτητικός [35]. Η παρούσα μελέτη εστιάζεται στα περιστρεφόμενα συστήματα των οποίων τα κινητά μέρη περιστρέφονται γύρω από έναν κατακόρυφο ή οριζόντιο άξονα αναλόγως της χρήσης για την οποία προορίζονται [36]. Κατόπιν παρουσιάζονται εργασίες οι οποίες ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη ή και την κατασκευή ενεργών συστημάτων σκίασης.

Η εργασία των Fawwaz Hammad και Bassam Abu-Hijleh εστίαστηκε κυρίως σε δεδομένα προσομοιώσεων μέσω του προγράμματος IES – VR με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα για την μείωση κατανάλωσης ενέργειας που μπορεί να προσφέρει η χρήση τέτοιων συστημάτων. Συγκεκριμένα, το προτεινόμενο δυναμικό σύστημα λούβρων με στρατηγική ελέγχου έντασης φωτισμού πέτυχε 10% περίπου αύξηση στα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας σε σύγκριση με ένα κλασσικό αντίστοιχο σύστημα [37]. Η γενική ιδέα χρησιμοποίησης του συστήματος αναπαρίσταται στο πιο κάτω σχήμα (Σχήμα 21).

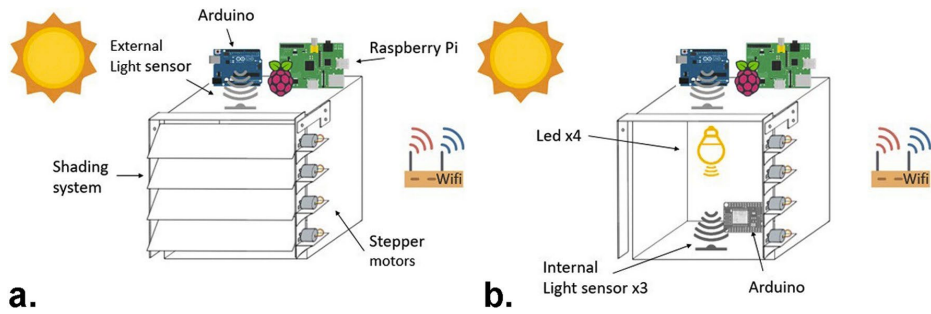


Σχήμα 21: Γενική Ιδέα Δυναμικής Τεχνολογίας Λούβρων [37]

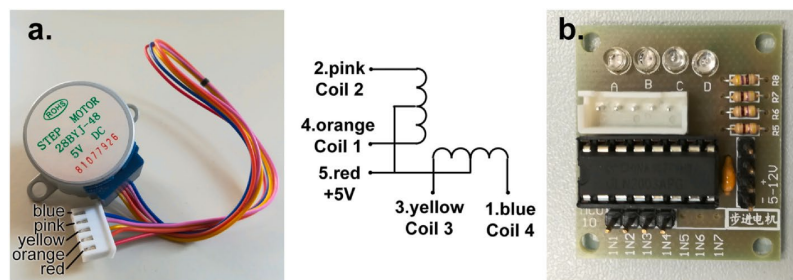
Ενδιαφέρουσα είναι η μελέτη των Giacomo Chiesa, Daniel Di Vita κ.α όπου αναπτύχθηκε ένα σύστημα ελέγχου τεχνητού και φυσικού φωτισμού σε συνδυασμό με ένα δυναμικό σύστημα σκίασης με χρήση της τεχνολογίας IoT. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν τρία υποσυστήματα: η κύρια μονάδα επεξεργασίας, το υποσύστημα αισθητήρων και το υποσύστημα ενεργοποίησης όπου αντίστοιχα για το κάθε σύστημα χρησιμοποιήθηκαν οι εξής πλακέτες : Raspberry Pi 3 B+, ESP8266 και Arduino Uno R3 (Σχήματα 22, 23). Για την περιστροφή των περσίδων τοποθετήθηκε σε κάθε μία από ένας βηματικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος (stepper motor) λόγω της ικανότητας τους να κινούνται σε συγκεκριμένες αποστάσεις η αλλιώς βήματα. Για την οδήγηση των κινητήρων χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα οδήγησης ULN2003A οι οποία διακρίνεται στη συνέχεια (Σχήμα 24). Αξίζει να σημειωθεί ότι αναπτύχθηκε μια εφαρμογή με στόχο να επιτρέπει στον χρήστη τον έλεγχο τόσο του συστήματος φωτισμού όσο και των περσίδων και να μπορεί να επιλέξει μεταξύ άλλων αυτοματοποιημένη ή χειροκίνητη λειτουργία (Σχήμα 25). Για τον έλεγχο του συστήματος αναπτύχθηκε μια ασαφής λογική ελέγχου (Fuzzy Logic Control) η οποία σε αντίθεση με την δυαδική λογική περιέχει αρκετές καταστάσεις αληθείας μεταξύ του 0 και του 1. Αυτό οδήγησε σε απλοποιημένη μορφή του αλγορίθμου ελέγχου επειδή μπορεί να περιγραφεί με λίγα δεδομένα χωρίς να απαιτεί υπερβολική μνήμη και υπολογιστική ισχύ [38].



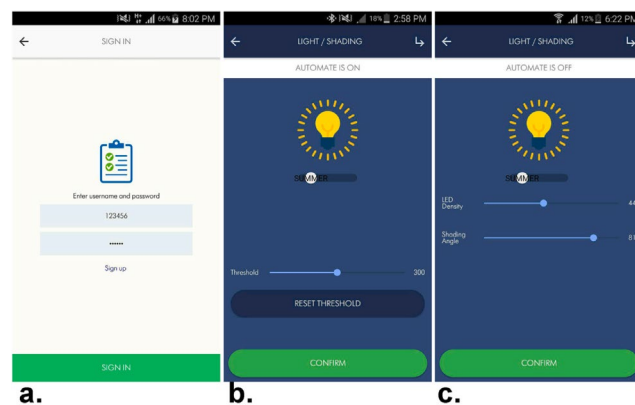
Σχήμα 22: Σχηματικό Διάγραμμα Τριών Υποσυστημάτων [38]



Σχήμα 23: Απεικόνιση εξωτερικών (a) & εσωτερικών (b) στοιχείων του προτεινόμενου συστήματος [38]



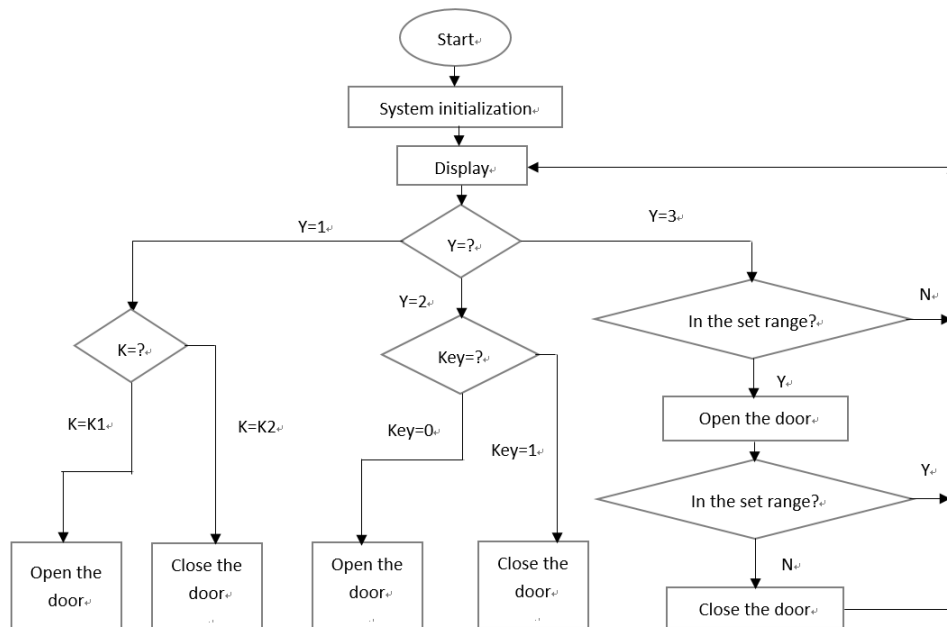
Σχήμα 24: Βηματικός Κινητήρας (a) και Πλακέτα Οδήγησης Κινητήρα [38]



Σχήμα 25: Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο του συστήματος [38]

Μια παρεμφερής κατασκευή είναι μια έξυπνη κουρτίνα που μελετήθηκε και κατασκευάστηκε από τους Yanfei Zhai, Wen Sha και Xiaochao Tang η οποία παρουσιάστηκε το 2021 στο Παγκόσμιο Συνέδριο Μηχανικής Μάθησης και Έξυπνων Συστημάτων (MLISE). Οι μελετητές χρησιμοποίησαν ένα μικροεπεξεργαστή STM32 σαν κεντρική μονάδα επεξεργασίας, έναν ψηφιακό αισθητήρα φωτός BH1750FVI για μέτρηση έντασης φωτισμού σε lux, έναν βηματικό κινητήρα μαζί με το κύκλωμα οδήγησης του, ένα κύκλωμα για αναγνώριση φωνής του οποίου η καρδιά είναι ένα LD3320 τσιπ και μία οθόνη LCD η οποία απεικονίζει την τοπική ώρα και την ένταση φωτισμού. Το σύστημα μπορεί να ενεργοποιείται χειροκίνητα μέσω ενός τηλεχειριστηρίου, με φωνητική εντολή ή αυτοματοποιημένα με βάση

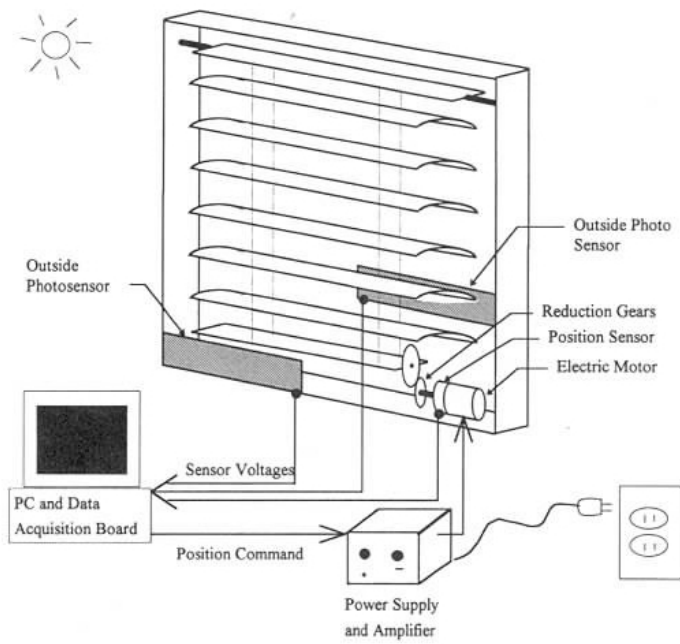
την ένταση φωτισμού που μετράει ο αισθητήρας BH1750FVI σύμφωνα με το αποδεκτό εύρος που ορίστηκε στον προγραμματισμό του συστήματος. Ο προγραμματισμός του STM32 έγινε μέσω του προγράμματος Keil χρησιμοποιώντας την γλώσσα προγραμματισμού C. Το διάγραμμα ροής του συστήματος φαίνεται κατόπιν (Σχήμα 26) [39].



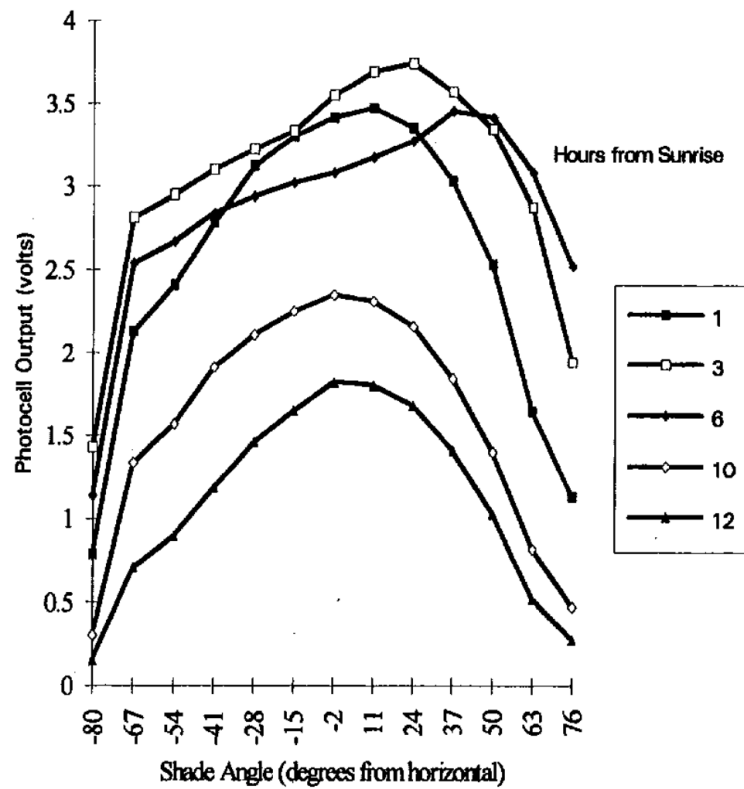
Σχήμα 26: Διάγραμμα ροής συστήματος έξυπνης κουρτίνας [39]

Εναλλακτική προσέγγιση αποτελεί η μελέτη των G.R.Luecke και J.Slaughter όπου κατασκευάστηκε ένα σύστημα το οποίο προσαρμόζει την κλίση των περσίδων με απώτερο σκοπό τον περιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και την μεγιστοποίηση της κατά τους χειμερινούς μήνες. Για την κίνηση των περσίδων χρησιμοποιήθηκε ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος 12V μαζί με κιβώτιο ταχυτήτων αναλογίας 300:1 για μείωση των στροφών και παράλληλα αύξηση της ροπής. Σε αντίθεση με τις προαναφερθείσες μελέτες στην παρούσα χρησιμοποιήθηκαν δύο φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου (Thin Film PV) ένα στον εσωτερικό χώρο και έναν στον εξωτερικό τα οποία αντικαθιστούν τον αισθητήρα φωτός και είναι υπεύθυνα για τον καθορισμό της κλίσης του σκιάστρου σύμφωνα με την τάση στα άκρα του εκάστοτε στοιχείου (Σχήμα 27). Με χρήση αυτής της λογικής ο αλγόριθμος ελέγχου είναι ανεξάρτητος από τον προσανατολισμό του παραθύρου, το γεωγραφικό πλάτος και την ώρα. Συγκεκριμένα, για να καθοριστεί η χειμερινή και καλοκαιρινή λειτουργία μετρήθηκαν οι αποκρίσεις των ΦΒ κατά τη διάρκεια μιας ημέρας σε βάθος χρόνου 12 μηνών όπως φαίνεται στο Σχήμα 28 [40].





Σχήμα 27: Σύστημα Ελέγχου κλίσης περσίδων με χρήση ΦΒ [40]



Σχήμα 28: Τάση εξόδου ΦΒ στοιχείου συναρτήσει γωνίας σκιάστρου [40]



# Κεφάλαιο 3: Τεχνολογίες και Πρωτόκολλα

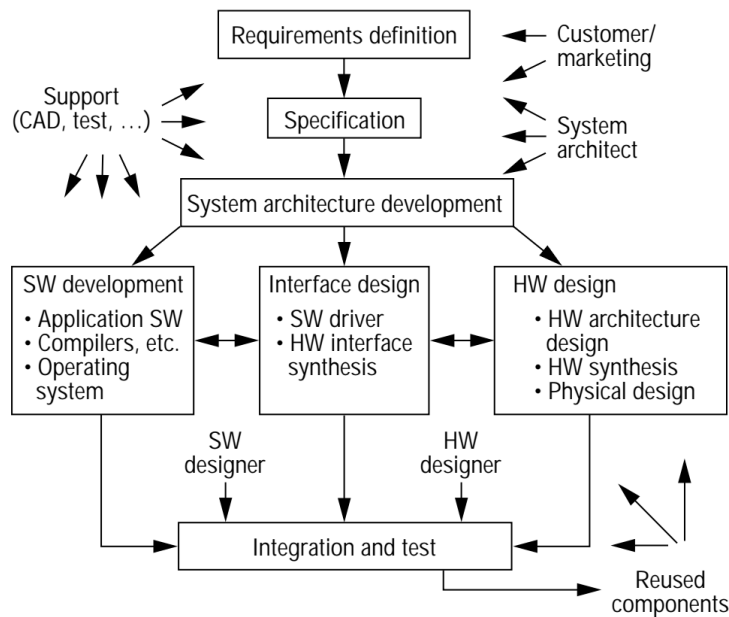
## 3.1 Ενσωματωμένα Συστήματα (Embedded Systems)

Σύμφωνα με τον ορισμό του Noergaard T. Ενσωματωμένο Σύστημα (Embedded System) αποτελεί ένα εφαρμοσμένο υπολογιστικό σύστημα, το οποίο διαχωρίζεται από άλλα είδη υπολογιστικών συστημάτων όπως οι Προσωπικοί Υπολογιστές (Personal Computers – PCs) και οι Υπερυπολογιστές (Super Computers) [41]. Επομένως τα Ενσωματωμένα Συστήματα μπορεί να αποτελούνται από έναν συνδυασμό hardware και software με σκοπό την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης λειτουργίας τα οποία επίσης μπορεί να λειτουργούν σαν μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος. Μπορούν να προγραμματίζονται ή να έχουν μια συγκεκριμένη λειτουργικότητα αναλόγως χρήσης και ως προς το γραφικό περιβάλλον ποικίλλουν από περίπλοκο γραφικό περιβάλλον χρήστη (Graphical User Interface – GUI) μέχρι καθόλου γραφικό περιβάλλον κυρίως στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται για έναν μοναδικό σκοπό [42]. Μερικά παραδείγματα Ενσωματωμένων Συστημάτων αναλόγως αγοράς στην οποία εντοπίζονται παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Παραδείγματα Ενσωματωμένων Συστημάτων και οι αγορές τους [41]

<b>Αγορά</b>	<b>Ενσωματωμένο Σύστημα</b>
Αυτοκινητοβιομηχανία	Σύστημα Ανάφλεξης (Ignition System)
	Έλεγχος Κινητήρα (Engine Control)
	Σύστημα Πέδησης (πχ. Σύστημα Αντιμπλοκαρίσματος Φρένων – ABS)
Βιομηχανικός Έλεγχος	Ρομποτικά & Συστήματα Ελέγχου
Networking	Δρομολογητές (Routers)
	Hubs
	Πύλη Δικτύου (Gateways)
Ηλεκτρονικά Είδη	GPS (Global Positioning System)
	Κάμερες
	Είδη Κουζίνας (πχ. Ψυγεία, Φούρνοι Μικροκυμάτων)
Ιατρική	Αντλίες Έγχυσης (Infusion Pumps)
	Μηχανήματα Αιμοκάθαρσης
	Καρδιολογικά Μόνιτορ

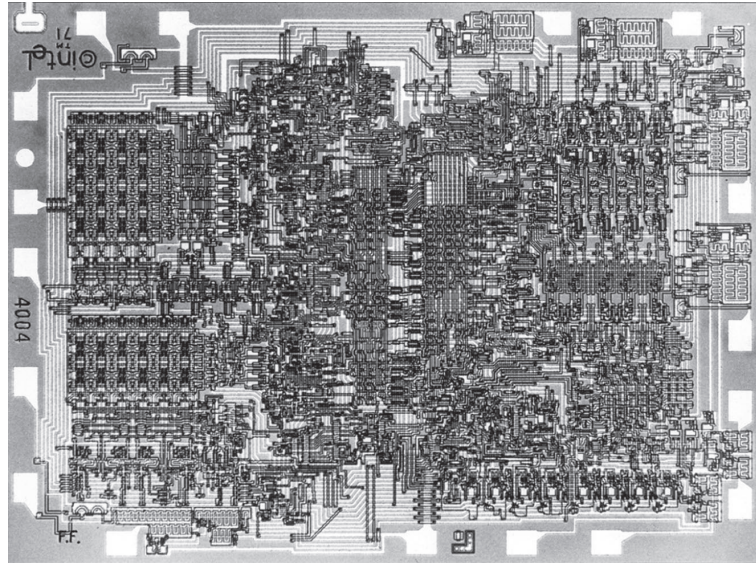
Ως προς την αρχιτεκτονική τους πολλά Ενσωματωμένα Συστήματα αποτελούνται από ένα περίπλοκο, ετερογενές σύνολο τυπικών επεξεργαστών, ASIP (Application Specific Instruction set Processor), συνεπεξεργαστών, μνημών και περιφερειακών στοιχείων. Ο κατασκευαστής του συστήματος συνήθως προεπιλέγει την αρχιτεκτονική ώστε να μειωθεί ο χώρος σχεδιασμού. Μπορεί επίσης να κωδικοποιηθεί ως πρότυπο σύνθεσης όπως για παράδειγμα οι VLIW ASIPs ή οι μεμονωμένοι δίαυλοι με κοινόχρηστη μνήμη [43].



Σχήμα 29: Διαδικασία Σχεδιασμού ενός Ενσωματωμένου Συστήματος [43]

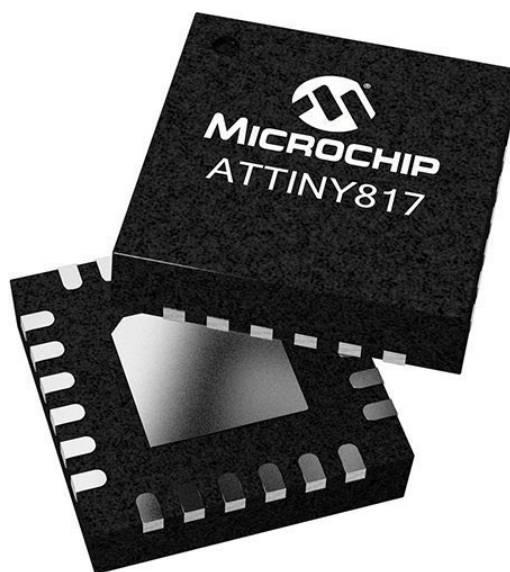
### 3.2 Μικροελεγκτές και Μικροεπεξεργαστές

Μια μονάδα μικροεπεξεργαστή (Micro Processing Unit - MPU) αποτελεί ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο απαρτίζεται από έναν επεξεργαστή ή αλλιώς από μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit – CPU). Οι μικροεπεξεργαστές δεν αποτελούν υπολογιστές από μόνοι τους εφόσον στερούνται μνήμη και έλεγχο εισόδων εξόδων ωστόσο εκτελούν λογικές και υπολογιστικές τυπικές διαδικασίες [44], [45]. Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής ήταν ένας 4 – bit Intel 4004 ο οποίος εμφανίστηκε το 1971. Ακολούθησαν την επόμενη δεκαετία οι 8 – bit επεξεργαστές όπως οι οικογένειες των Intel 8080, Zilog Z80, Motorola 6800 and Rockwell 6502. Κατόπιν παρουσιάζεται ο πρώτος μικροεπεξεργαστής της Intel ο οποίος απαρτιζόταν από 2300 τρανζίστορ ενώ στις μέρες μας υπάρχουν μικροεπεξεργαστές που αποτελούνται από 19 δις τρανζίστορ όπως ο AMD Epyc [46].



*Σχήμα 30: Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής Intel 4004 [47]*

Από την άλλη ένας μικροελεγκτής (Micro Controller Unit – MCU) είναι ένα μικρό ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο αποτελείται από μία ή περισσότερες κεντρικές μονάδες επεξεργασίας (CPUs), μνήμη (Random Access Memory – RAM, Flash Memory), θύρες εισόδου - εξόδου (I/O Interfaces), ρολόι (timer), μία ή περισσότερες μονάδες για μετατροπή Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό (Analog to Digital Converters – ADC) ή και το ανάποδο (DAC) και θύρες σειριακής επικοινωνίας (Serial Communication Interfaces) [48]. Μερικοί κοινοί MCUs είναι ο MCS – 51 ή ο 8051 της Intel ο οποίος αναπτύχθηκε το 1985, ο AVR της Atmel του 1996, ο PIC της Microchip Technology και πολλοί άλλοι [49].



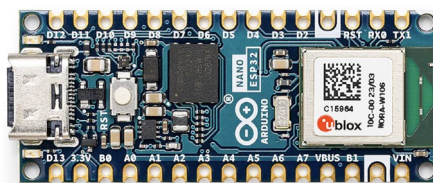
*Σχήμα 31: Ο Μικροελεγκτής (MCU) ATtiny817 της Microchip Technology [49]*

### 3.3 Πλακέτες Ανάπτυξης (Development Boards)

Οι πλακέτες ανάπτυξης (Development Boards) έχουν την ικανότητα να προσθέτουν κάποια χαρακτηριστικά σε έναν μικροελεγκτή όπως περισσότερες υποδοχές, ενδείξεις λειτουργίας, κυκλώματα προστασίας συσκευής (πχ. από πιθανόν βραχυκύκλωμα), προσθήκη ασύρματων πρωτοκόλλων επικοινωνίας (πχ. Wi-Fi, Bluetooth), χρήση μιας πιο απλοποιημένης γλώσσας προγραμματισμού (C, C++, Micro Python) και άλλα πολλά με αποτέλεσμα να γίνονται αυτές οι συσκευές πιο προσιτές και φιλικές στον χρήστη. Οι πλακέτες ανάπτυξης αποτελούν κύριο συστατικό στην εξέλιξη του τομέα του IoT εφόσον ένα σύστημα IoT βασίζεται σε συσκευές οι οποίες μπορούν να αισθάνονται και να ενεργούν με βάση κάποιες προϋποθέσεις αναλόγως προγραμματισμού [50]. Μερικές από τις πιο γνωστές πλακέτες ανάπτυξης είναι το Arduino, Esp32 και Raspberry Pi 3 οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

#### 3.3.1 Η οικογένεια Arduino

Το Arduino είναι μια πλακέτα ανάπτυξης ανοικτού κώδικα (open – source) η οποία πρωτοεμφανίστηκε το 2005 από τους Banzai M., Cuartielles D., Igoe T., Martino G. και Mellis D., όπου αρχικά προοριζόταν σε μαθητές και φοιτητές για ενασχόληση με την ηλεκτρονική. Μαζί με την πλακέτα δημιουργήθηκε και το λογισμικό ανάπτυξης (Integrated Development Environment – IDE) το Arduino IDE το οποίο δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να προγραμματίσει εύκολα την πλακέτα μέσω μιας εύκολης γλώσσας προγραμματισμού η οποία αποτελεί μια παραλλαγή της γνωστής C++ [51], [52]. Το πρώτο Arduino ονομάστηκε Arduino UNO και έχει ενσωματωμένο έναν μικροελεγκτή ATmega328 (Πίνακας 2). Στη συνέχεια ακολούθησαν αρκετές εκδόσεις όπως οι οικογένειες Arduino Nano, MKR και Mega όπως το Arduino Mega 2560Rev3 το οποίο χρησιμοποιεί τον μικροελεγκτή ATmega2560 και μια από τις νεότερες πλακέτες η Arduino Nano ESP32 η οποία έρχεται εξοπλισμένη με Wi-Fi, BLE (Bluetooth Low Energy) και πολλά άλλα (Σχήμα 32, Πίνακας 3).



Σχήμα 32: Η πλακέτα ανάπτυξης Arduino Nano ESP32 [53]

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Arduino UNO [54]

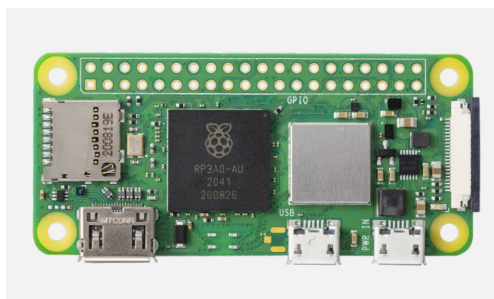
Μικροελεγκτής	ATmega328
Τάση Λειτουργίας (Μικροελεγκτή)	5V
Τάση Λειτουργίας (Πλακέτας)	7 – 12V
Όρια Τάσης Λειτουργίας (Πλακέτας)	6 – 20V
Ψηφιακές I/O	14 (6 PWM έξοδοι)
Αναλογικές Είσοδοι	6
Όριο Συνεχούς Έντασης (DC) ανά I/O	40mA
Όριο Συνεχούς Έντασης (DC)(θύρα των 3.3V)	50mA
Flash Memory	32kB
SRAM	2kB
EEPROM	1kB
Συχνότητα Λειτουργίας	16MHz

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Arduino Nano ESP32 [55]

Μικροελεγκτής	ESP32-S3(u-blox NORA-W106, 32 - bit)
Τάση Λειτουργίας (Μικροελεγκτή)	3.3V
Τάση Λειτουργίας (Πλακέτας)	5V (USB Type – C)
Όρια Τάσης Λειτουργίας (Πλακέτας)	6 – 21V (Vin pin)
Ψηφιακές I/O	14
Αναλογικές Είσοδοι	8 (12 – bit)
PWM Έξοδοι	5 (13 – bit)
UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)	2 (D0, D1)
I2C (Inter – Integrated Circuit)	1 (A4 → SDA, A5 → SCL)
SPI (Serial Peripheral Interface)	3 (D11 – D13)
Όριο Συνεχούς Έντασης (DC) ανά I/O	40mA
Όριο Συνεχούς Έντασης (DC)(θύρα των 3.3V)	50mA
Flash Memory	16MB
SRAM	512kB
ROM	384kB
Συχνότητα Λειτουργίας	240MHz

### 3.3.2 Raspberry Pi

Τα Raspberry Pi's χαρακτηρίζονται ως υπολογιστές ενσωματωμένοι σε μία πλακέτα (Single Board Computers - SBC) δηλαδή έχουν την ικανότητα να τρέξουν ένα πλήρες λειτουργικό σύστημα, διαθέτοντας επαρκή περιφερειακά (μνήμη, CPU, ρύθμιση ισχύος) ώστε να ξεκινήσει η εκτέλεση χωρίς την προσθήκη υλικού (hardware). Η πρώτη έκδοση εμφανίστηκε το 2012 με μονοπύρηνου 700MHz CPU και 256 MB RAM ενώ σήμερα αναπτύχθηκαν σε οκταπύρηνου 1.5GHz CPU με 4GB RAM. Κατασκευάστηκαν από την μη κερδοσκοπική οργάνωση Raspberry Pi Foundation στην Αγγλία η οποία έχει ως στόχο την διάδοση της μελέτης της Θεωρίας των Υπολογιστών και την δημιουργία ευκολότερης πρόσβασης στην εκπαίδευσή της όπου και είναι ο βασικός λόγος που οι τιμές των πρώτων πλακετών κυμαίνονταν γύρω στα \$35 [56]. Μερικά μοντέλα αποτελούν το Pi 1 Model A+ (είναι η νέα έκδοση του αρχικού μοντέλου με ARM11 επεξεργαστή), Pi 1 Model B+ καθώς και οι φτηνότερες εκδόσεις που είναι η οικογένεια των Raspberry Pi Pico. Κατόπιν παρουσιάζεται η φτηνότερη επιλογή για SBC η Raspberry Pi Zero 2W (Σχήμα 33, Πίνακας 4).



Σχήμα 33: Η πλακέτα Raspberry Pi Zero 2W [57]

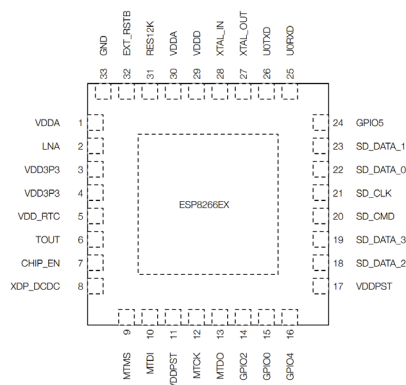
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Πλακέτας Raspberry Pi Zero 2W [57]

<b>CPU</b>	Broadcom BCM2710A1, Quad – Core, 64 - bit
<b>Μνήμη</b>	512 MB
<b>Συχνότητα Λειτουργίας</b>	1 GHz
<b>Ισχύς Εισόδου</b>	5V DC 2.5A
<b>Συνδεσιμότητα</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 2.4GHz IEEE 802.11b/g/n wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE, onboard antenna</li><li>• 1 × USB 2.0 interface with OTG</li><li>• 40-pin I/O header footprint</li><li>• Mini HDMI port</li><li>• CSI-2 camera connector</li></ul>

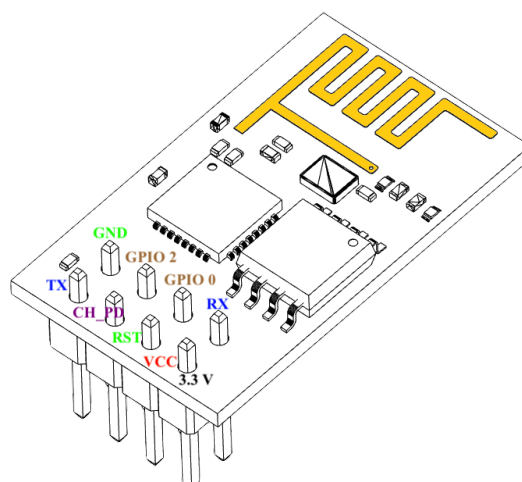


### 3.3.3 ESP8266 & ESP32

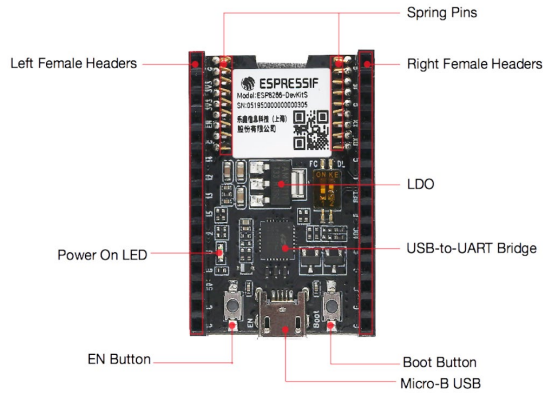
Το ESP8266 αποτελεί ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα Wi-Fi το οποίο δημιουργήθηκε από την Espressif το 2013 όπου σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ειδικά για IoT συσκευές. Το WLAN (Wireless Local Area Network) του τσιπ διαθέτει έναν ανεπτυγμένο αλγόριθμο ελέγχου ισχύος ο οποίος επιτρέπει την λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας ώστε να ανταποκρίνεται στις ψηλές απαιτήσεις κατανάλωσης μπαταριών και συσκευών ισχύος [58]. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα είναι εξοπλισμένο με έναν Tensilica L106 32-bit RISC επεξεργαστή με συχνότητα λειτουργίας 160MHz και διαθέτει 17 γενικού σκοπού θύρες εισόδου – εξόδου (GPIO) [59]. Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν πλακέτες ανάπτυξης οι οποίες έχουν σαν καρδιά το ESP8266 με την πρώτη να αποτελεί την ESP – 01 της Ai Thinker της οποίας το Pinout Διάγραμμα φαίνεται στη συνέχεια αλλά και πολλές άλλες όπως η ESP8266 Devkit της NodeMCU, η D1 της WeMos κ.α.



Σχήμα 34: Διάγραμμα Θυρών ESP8266EX [59]



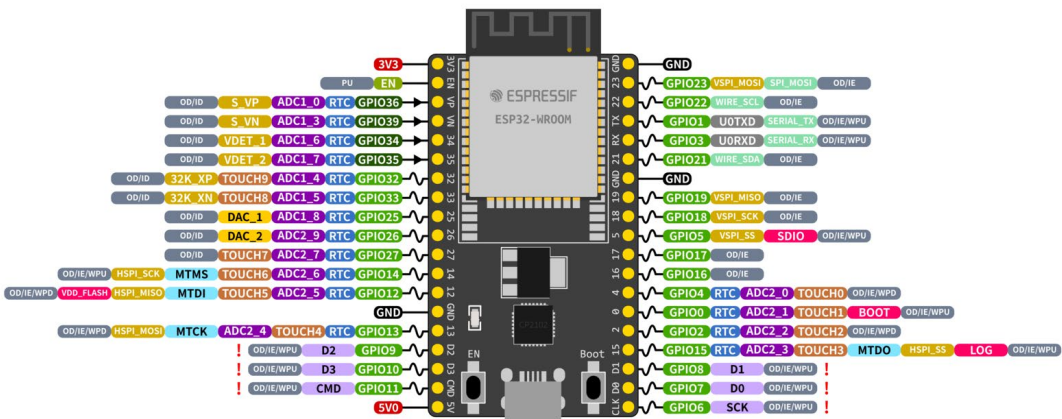
Σχήμα 35: Pinout Διάγραμμα ESP - 01 της Ai Thinker [60]



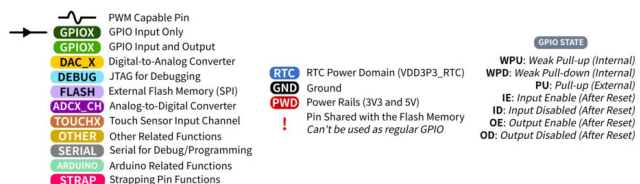
Σχήμα 36: Η πλακέτα ανάπτυξης ESP8266 – DevKitS [61]

Η ESP32 αποτελεί την εξέλιξη της ESP8266 η οποία έχει δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας και μέσω Bluetooth και όχι μόνο Wi-Fi όπως τον προκάτοχό της. Συγκεκριμένα η ESP32 έχει περισσότερες GPIOs, έναν επιπλέον επεξεργαστή, ταχύτερο Wi-Fi και υποστηρίζει Bluetooth 4.2 και BLE. Επιπρόσθετα, η ESP32 περιλαμβάνει έναν ενσωματωμένο αισθητήρα Hall, θύρες αφής, καθώς και αισθητήρα θερμοκρασίας. Κατόπιν παρουσιάζεται το Pinout Διάγραμμα μιας δημοφιλούς πλακέτας ανάπτυξης, της ESP32 – DevKitC η οποία περιλαμβάνει μεταξύ άλλων 34 GPIOs, 32-bit Xtensa 240MHz επεξεργαστή, 520kB SRAM, 448kB ROM, 12 – bit ADC, υποστήριξη Ethernet και πολλά άλλα [62].

## ESP32-DevKitC



**ESP32 Specs**  
 32-bit Xtensa® dual-core @240MHz  
 Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n 2.4GHz  
 Bluetooth 4.2 BR/EDR and BLE  
 520 KB SRAM (16 KB for cache)  
 448 KB ROM  
 34 GPIOs, 4x SPI, 3x UART, 2x I2C,  
 2x I2S, RMT, LED PWM, 1 host SD/eMMC/SDIO,  
 1 slave SDIO/SPI, TWAI®, 12-bit ADC, Ethernet



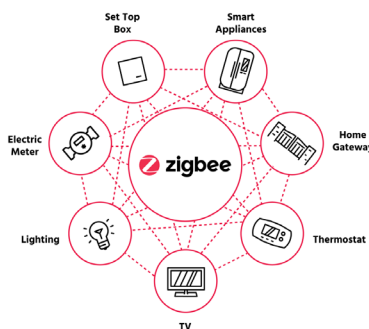
Σχήμα 37: Pinout Διάγραμμα της ESP32 - DevKitC της Espressif [62]

## 3.4 Ασύρματα Πρωτόκολλα Επικοινωνίας

Όπως αναφέρθηκε αρχικά το Διαδίκτυο Των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) αποτελείται από έξυπνες συσκευές οι οποίες έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους ασύρματα ή ενσύρματα κάτι που τους επιτρέπει την συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων. Σχετικά με την ασύρματη επικοινωνία πολλές τεχνολογίες και πρωτόκολλα επικοινωνίας χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ αυτών των συσκευών όπως το ZigBee, BLE και το NFC (Near Field Communication) [63].

### 3.4.1 ZigBee

Το ZigBee αποτελεί μια μικρού μεγέθους, χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ασύρματη προδιαγραφή που μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές τοπολογίες δικτύου (π.χ. πλέγματος, αστέρα). Προσφέρει ένα μεγάλο εύρος μετάδοσης, αναλόγως ισχύος εξόδου. Αν και το ZigBee έχει καθιερωθεί σε ορισμένες βιομηχανικές εφαρμογές και κόμβους WSN (Wireless Sensor Network), αντιμετωπίζει ορισμένα εμπόδια στην αγορά, ειδικά με την εμφάνιση ελκυστικότερων λύσεων όπως το BLE που παρέχει υψηλότερο εύρος ζώνης με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας [64].

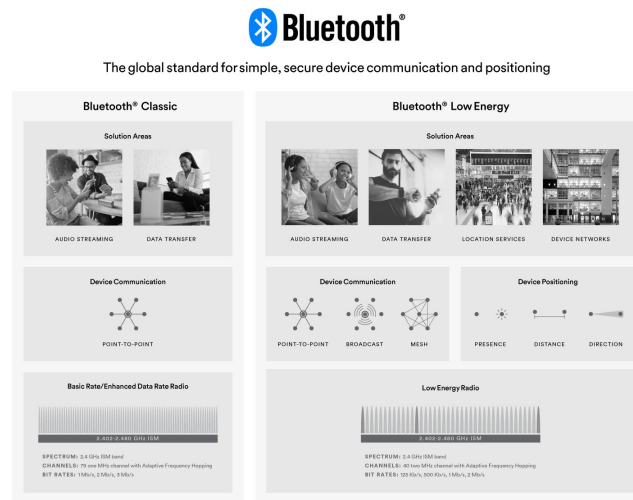


Σχήμα 38: Το λογότυπο και μερικές εφαρμογές του πρωτόκολλου ZigBee [65]

### 3.4.2 Bluetooth Low Energy (BLE)

Το Bluetooth Low Energy (BLE) ασύρματο πρωτόκολλο επικοινωνίας αποτελεί μια παραλλαγή του κλασσικού Bluetooth. Έχει σχεδιασθεί και αναπτυχθεί για εφαρμογές IoT οι οποίες έχουν μικρή εμβέλεια, χαμηλό εύρος ζώνης και απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων (latency). Το BLE μπορεί να καταναλώσει 10 φορές χαμηλότερη ισχύ έναντι του κλασσικού πρωτοκόλλου και μπορεί να επιτύχει μέχρι και 15 φορές γρηγορότερη

μετάδοση δεδομένων. Ακόμη, είναι πιο εύκολο στην εγκατάσταση και μπορεί να υποστηρίξει τοπολογία αστέρα με απεριόριστο αριθμό κόμβων [64], [66].



Σχήμα 39: Οι κύριες διαφορές Bluetooth και BLE [67]

### 3.4.3 Near Field Communication (NFC)

Η τεχνολογία NFC (Near Field Communication) αναπτύχθηκε και τυποποιήθηκε στο τέλος του 20<sup>ου</sup> αιώνα για την χρήση στην αγορά μεταφορών έχοντας κεντρική ιδέα την δημιουργία ενός συστήματος ηλεκτρονικών εισιτηρίων η τροφοδότηση των οποίων θα γινόταν μέσω επαγωγικής σύζευξης [68]. Το NFC αποτελεί ένα πρωτόκολλο πολύ μικρής εμβέλειας το οποίο επιτρέπει την ασύρματη μετάδοση δεδομένων μεταξύ συσκευών οι οποίες βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους, συνήθως σε απόσταση μερικών χιλιοστών. Υπάρχουν τρεις τρόποι λειτουργίας για το NFC : η λειτουργία εξομοίωσης κάρτας (παθητική λειτουργία), λειτουργία ανάγνωσης/εγγραφής (ενεργή) και η λειτουργία peer to peer. Παρατηρείται εκτενώς σε κινητά τηλέφωνα, συστήματα ανέπαφων συναλλαγών και ακόμη σε βιομηχανικές εφαρμογές [69].



Σχήμα 40: Μερικές από τις εφαρμογές του NFC [70]

## Κεφάλαιο 4: Τεχνολογία Αισθητήρων

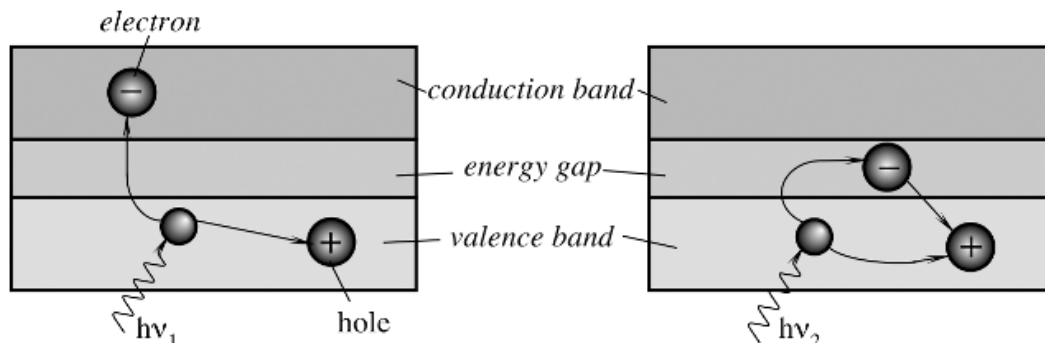
Σύμφωνα με τον Fowler K. αισθητήρες περιγράφονται ως εκείνες όλες οι συσκευές οι οποίες έχουν την ικανότητα να μετρούν ένα φυσικό μέγεθος όπως - μετατόπιση, κίνηση, θερμοκρασία, φως, πίεση, ροή κ.α – και ακολούθως να το μετατρέπουν σε ένα αντιπροσωπευτικό (ως συνήθως ηλεκτρικό) σήμα [71]. Κατόπιν παρουσιάζονται κάποια βασικά μετρούμενα μεγέθη και οι αντίστοιχοι τύποι αισθητήρων που τα μετρούν (Πίνακας 5).

Πίνακας 5: Μετρούμενα Μεγέθη ανά τύπο Αισθητήρα [71]

Μέγεθος	Τύπος Αισθητήρα
Μετατόπιση	<ul style="list-style-type: none"><li>• Μετρητές Μηχανικής Τάσης (Strain Gauge)</li><li>• Γραμμικός Μεταβλητός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT)</li></ul>
Κίνηση	<ul style="list-style-type: none"><li>• Αισθητήρας Hall (Hall Effect Sensor)</li><li>• Οπτικοηλεκτρονικοί</li></ul>
Επιτάχυνση και Δύναμη	<ul style="list-style-type: none"><li>• Strain Gauge</li><li>• LVDT</li><li>• Πιεζοηλεκτρικοί (Piezoelectric)</li></ul>
Θερμοκρασία	<ul style="list-style-type: none"><li>• Θερμοστοιχεία (Thermocouples)</li><li>• Θερμίστορ</li><li>• Resistance Temperature Detector (RTD)</li><li>• Ημιαγωγός Πυριτίου (Silicon Semiconductor)</li></ul>
Φως	<ul style="list-style-type: none"><li>• Φωτοτρανζίστορ</li><li>• Φωτοδίοδος</li><li>• Φωτοαντίσταση</li></ul>

## 4.1 Αισθητήρες Φωτός

Οι αισθητήρες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στη φασματική περιοχή του υπεριώδους (100 – 400nm) μέχρι τη περιοχή του υπέρυθρου (780nm – 1mm) ονομάζονται αισθητήρες ή αλλιώς ανιχνευτές φωτός. Η απορρόφηση φωτονίων από ένα αισθητήριο υλικό μπορεί να οδηγήσει σε κβαντική ή θερμική απόκριση και έτσι γίνεται ο διαχωρισμός των συγκεκριμένων αισθητήρων σε δύο αντίστοιχες κατηγορίες, κβαντικούς (100nm – 1300nm) και θερμικούς ανιχνευτές φωτός (1300nm – 1mm). Οι κβαντικοί ανιχνευτές βασίζονται στην αλληλεπίδραση προσπιπτόντων φωτονίων σε κρυσταλλικό πλέγμα ημιαγωγίου υλικού. Η λειτουργία τους είναι βασισμένη στη θεωρία του A.Einstein η οποία περιγράφει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και διατυπώθηκε το 1905. Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται οι φωτοαντιστάσεις, οι φωτοдиодοι και τα φωτοτρανζίστορ. Οι θερμικοί ανιχνευτές ωστόσο, έχουν ως αρχή λειτουργίας μια διαδοχική μετατροπή θερμικής ακτινοβολίας σε θερμότητα και κατόπιν γίνεται μετατροπή του επιπέδου θερμότητας σε ηλεκτρικό σήμα χρησιμοποιώντας συμβατικές μεθόδους ανίχνευσης θερμότητας. Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται τα θερμοστοιχεία και τα θερμίστορ [72].

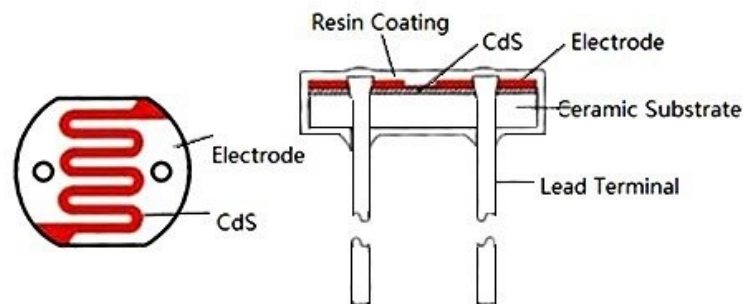


Σχήμα 41: Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σε ημιαγωγό [72]

### 4.1.1 Φωτοαντίσταση

Οι φωτοαντιστάσεις ή αλλιώς LDR (Light Depended Resistors) είναι αισθητήριες συσκευές των οποίων η αντίσταση μεταβάλλεται καθώς το φως εισέρχεται στην επιφάνειά τους. Κατασκευάζονται κυρίως με υλικά τα οποία έχουν ως βάση το κάδμιο (Cd) όπως το θειούχο κάδμιο (CdS), σεληνιούχο κάδμιο (CdSe) και το τελλουριούχο κάδμιο (CdTe) τα οποία ανταποκρίνονται στο φάσμα του ορατού (400nm – 700nm). Για το υπέρυθρο φάσμα (1.4μm – 3μm) χρησιμοποιούνται υλικά με βάση τον μόλυβδο (Pb) και όμοιες προσμίξεις

όπως PbS, PbSe και PbTe. Για το μακρινό υπέρυθρο (3μm – 1mm) χρησιμοποιείται ως βάση το ίνδιο (In) όπως το αντιμονίδιο του ινδίου (InSb) και το αρσενιούχο ίνδιο (InAs) και ακόμη ντοπαρισμένα υλικά πυριτίου (Si) και γερμανίου (Ge) είναι κατάλληλα. Οι φωτοαντιστάσεις μπορούν να χαρακτηριστούν και σαν φωτο – πολλαπλασιαστές εφόσον αποδεικνύεται ότι ένα φωτόνιο μπορεί να ελευθερώσει περίπου 900 ηλεκτρόνια [73]. Η γέννηση της φωτοαντίστασης συνδέεται με τον Willoughby Smith ο οποίος το 1873 ανακάλυψε την φωτοαγωγιμότητα του σεληνίου (Se) [74], [75].

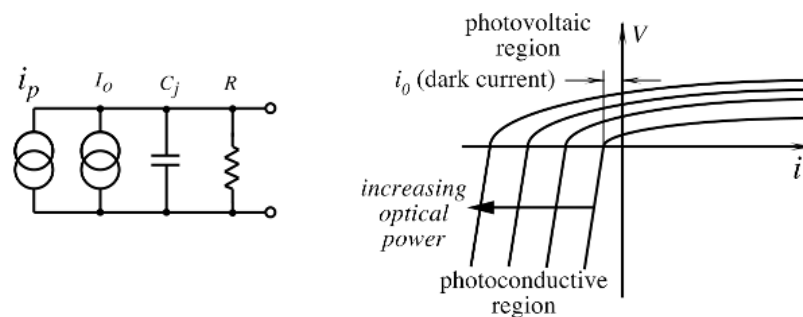


Σχήμα 42: Κάτοψη και τομή φωτοαντίστασης θειούχου καδμίου CdS [76]

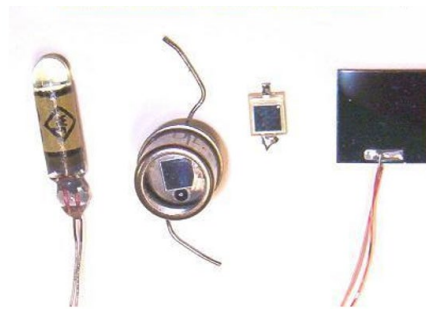
## 4.1.2 Φωτοδίοδος

Η φωτοδίοδος είναι ημιαγωγική οπτική αισθητήρια συσκευή η οποία εάν πολωθεί ανάστροφα, δηλαδή σε μία δίοδο p-n να ισχύει  $V_n > V_p$ , και εκτεθεί σε φως κατάλληλης συχνότητας τότε θα διαρρέεται από ρεύμα σημαντικά μεγαλύτερης έντασης απ' ότι εάν πολωνόταν αρχικά ορθά. Η πρόσπτωση φωτονίων στην επιφάνεια του ημιαγωγού προκαλεί την δημιουργία ζευγών ηλεκτρονίων – οπών και στις δύο περιοχές (n και p) του ημιαγωγού. Όταν τα ηλεκτρόνια εισέλθουν στην ζώνη αγωγιμότητας τότε κινούνται προς την θετική τάση ενώ οι οπές ρέουν προς το αρνητικό άκρο της εφαρμοζόμενης τάσης. Έτσι δημιουργείται ένα φωτο - ρεύμα το οποίο διαρρέει το κύκλωμα. Σε συνθήκες σκότους παρατηρείται ένα ρεύμα διαρροής το οποίο ωστόσο είναι ανεξάρτητο από την εφαρμοζόμενη τάση στα άκρα της διόδου. Έτσι, το ισοδύναμο κύκλωμα μιας ανάστροφα πολωμένης φωτοδίοδου αποτελείται από 2 πηγές ρεύματος και ένα κύκλωμα RC όπως παρατηρείται στο Σχήμα 43. Το δεύτερο είδος λειτουργίας μιας φωτοδίοδου είναι η φωτοβολταϊκή λειτουργία της όπου σε αντίθεση με την φωτοαγωγιμη δεν εφαρμόζεται τάση στα άκρα της [73]. Για να επιτευχθεί η μείωση του χρόνου απόκρισης μιας φωτοδίοδου (απόκριση σε μερικά ns) δημιουργήθηκαν οι PIN

φωτοдиодοι όπου μεταξύ της ένωσης p-n προστίθεται ένα στρώμα I υψηλής αντίστασης. Η απόκριση στο φάσμα για την εκάστοτε φωτοδιόδο εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένη. Για τις περιπτώσεις όπου υπάρχει σαν βάση το πυρίτιο (Si) μπορεί να υπάρξει απόκριση από το υπεριώδες (UV) μέχρι και το κοντινό υπέρυθρο (IR) (190nm–1100nm) ενώ για αποκρίσεις μέχρι το μεσαίο υπέρυθρο χρησιμοποιούνται προσμίξεις με βάση το γερμάνιο (Ge) (800nm-1700nm) ή το ίνδιο-αρσενικούχο γάλλιο (InGaAs) (900nm-1700nm) [77]. Στο σχήμα 44 παρουσιάζονται κάποιες τυπικές φωτοδιόδοι γερμανίου (Ge) και πυριτίου (Si).



Σχήμα 43: Ισοδύναμο κύκλωμα και χαρακτηριστική μιας ανάστροφα πολωμένης φωτοδιόδου [72]



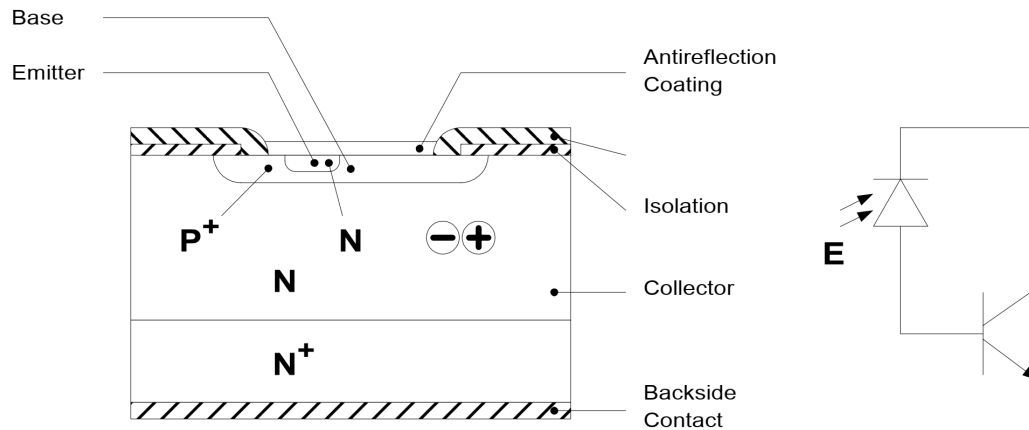
Σχήμα 44: Φωτοδιόδοι Ge (1η αριστερά) και Si (3 δεξιά) [78]

### 4.1.3 Φωτοτρανζίστορ

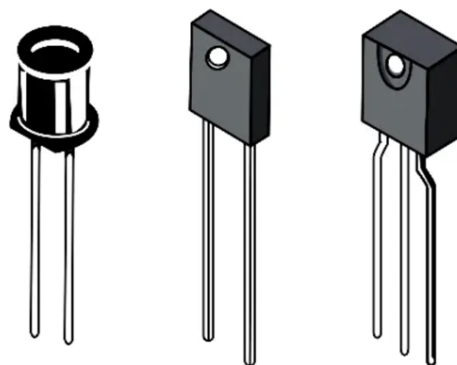
Το φωτοτρανζίστορ λειτουργεί σαν συνδυασμός μιας ανάστροφα πολωμένης φωτοδιόδου και ενός τυπικού τρανζίστορ. Σε ένα n-p-n φωτοτρανζίστορ καθώς το φως προσπίπτει στην ένωση συλλέκτη – βάσης δημιουργούνται ζεύγη οπών – ηλεκτρονίων. Έπειτα τα ηλεκτρόνια της περιοχής συλλέκτη – βάσης ρέουν προς τη θετική τάση και επιστρέφουν στον συλλέκτη μέσω του εκπομπού λόγω έλξης του ηλεκτρικού του πεδίου. Το φωτο - ρεύμα δε στη βάση υπόκειται ενίσχυση (περίπου 1000 φορές μεγαλύτερη από τη



φωτοδίοδο) μέσω του τρανζίστορ κάνοντας το φωτοτρανζίστορ έναν πολύ ευαίσθητο ανιχνευτή φωτός που διαθέτει ωστόσο μικρότερο εύρος ζώνης από μια τυπική φωτοδίοδο [73], [79].



Σχήμα 45: Η δομή και το σύμβολο ενός φωτοτρανζίστορ [73]



Σχήμα 46: Τυπικές συσκευασίες φωτοτρανζίστορ [80]

## 4.2 Αισθητήρες Θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία είναι το μέτρο της μέσης κινητικής ενέργειας των μορίων ενός αερίου, υγρού ή στερεού. Ένας αισθητήρας θερμότητας αποτελεί μια συσκευή η οποία χρησιμοποιείται ειδικά για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Με αυτόν τον τρόπο, οι αισθητήρες θερμοκρασίας μπορούν να μας δώσουν έναν μετρήσιμο τρόπο για να περιγράψουμε την θερμοκρασία, είτε πρόκειται για αντικείμενο, είτε για το περιβάλλον στο οποίο τοποθετείται ένα αντικείμενο είτε για το περιβάλλον στο οποίο κατανέμεται ένα αντικείμενο [81]. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας συγκαταλέγονται σε τρεις κατηγορίες τους

μηχανικούς (π.χ. διμεταλλικά ελάσματα), τους ηλεκτρονικούς (π.χ. αισθητήρες με βάση το πυρίτιο ή τα θερμοζεύγη) και τους αισθητήρες αντίστασης (π.χ. θερμίστορ ή RTDs) [82]. Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο ευρέως χρησιμοποιούμενα είδη αισθητήρων θερμοκρασίας: τα RTDs και τα θερμίστορ.

### 4.2.1 Resistive Temperature Detectors (RTDs)

Η λειτουργία των αισθητήρων θερμοκρασίας τύπου αντίστασης (RTDs) βασίζεται στο φαινόμενο που επικρατεί σε μεταλλικά υλικά όπου καθώς παρατηρείται μεταβολή στη θερμοκρασία του υλικού ( $T$ ), τότε μεταβάλλεται συναρτήσει της πιο κάτω εξίσωσης (4.1) και η αντίστασή του ( $R$ ).

$$R = R_0 (1 + a_1 T + a_2 T^2 + \dots + a_n T^n) \quad (4.1)$$

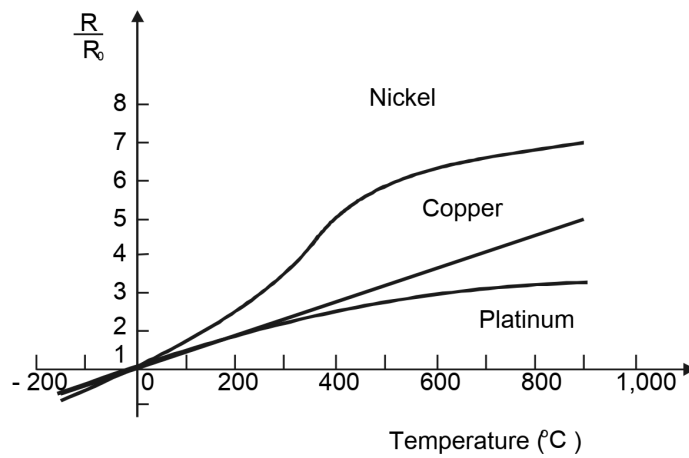
όπου  $R_0$ : η αντίσταση του υλικού στους  $0^\circ\text{C}$ ,  $T$ : η θερμοκρασία του, και  $a$ : ο θερμικός συντελεστής αντίστασης του υλικού.

Ο ακριβής αριθμός όρων που πρέπει να χρησιμοποιηθεί στην εκάστοτε μέτρηση χρησιμοποιώντας την πιο πάνω εξίσωση εξαρτάται από το υλικό και την ακρίβεια που απαιτείται. Ο λευκόχρυσος (Pt), το νικέλιο (Ni) και ο χαλκός (Cu) αποτελούν τα ευρέως διαδεδομένα υλικά κατασκευής RTDs και στην περίπτωση τους συνήθως απαιτούνται 2 ή 3 τιμές θερμικού συντελεστή  $a$  για επίτευξη μεγάλης ακρίβειας. Η ακόλουθη γραφική (Σχήμα 47) μπορεί να δώσει τις διάφορες τιμές του συντελεστή  $a$  για τον λευκόχρυσο, το νικέλιο και τον χαλκό από το αποτέλεσμα της πιο κάτω εξίσωσης (4.2).

$$\alpha_n = \frac{T_n}{R} \quad (4.2)$$

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά κατασκευής RTDs με τα χαρακτηριστικά τους όπως το εύρος λειτουργίας τους και η απόκλιση θερμοκρασίας  $0-100^\circ\text{C}$ . Ο λευκόχρυσος (Pt) που αποτελεί και το πιο κοινό υλικό έχει πολύ μεγάλο εύρος, μικρή απόκλιση και σχετικά καλή γραμμικότητα. Ο χαλκός (Cu) αν και σχεδόν απόλυτα γραμμικός έχει πολύ μικρή ειδική αντίσταση με αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγάλα μήκη υλικού για

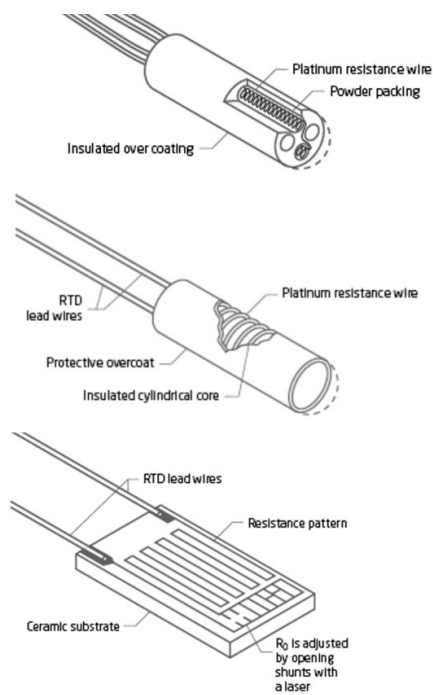
να γίνει σωστή μέτρηση. Το δε νικέλιο (Ni) αν και το πιο φθινό και ευαίσθητο διαθέτει πολύ μικρό εύρος και για ψηλές θερμοκρασίας δεν είναι καθόλου γραμμικό [73].



Σχήμα 47: Αντίσταση ( $R/R_0$ ) συναρτήσει θερμοκρασίας ( $T$ ) για Pt, Cu, Ni [73]

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά υλικών κατασκευής RTD [73]

Υλικό	Εύρος θερμοκρασιών [°C]	Απόκλιση στο εύρος 0-100°C [°C]
Λευκόχρυσος (Pt)	-260 – 750	0.38
Χαλκός (Cu)	-200 – 260	0.00
Νικέλιο (Ni)	-80 - 300	3.2



Σχήμα 48: Διάφορα είδη αντιστάσεων RTD [83]

## 4.2.2 Θερμίστορ

Τα θερμίστορ αποτελούν αισθητήρες θερμοκρασίας κατασκευασμένες από μέταλλα οξειδίου υπό τη μορφή σταγόνων, ράβδων, κυλίνδρων και χοντρών υμενίων. Αποτελούν τους πιο ευαίσθητους αισθητήρες μεταξύ αυτών που αναφέρονται με την ικανότητα μέτρησης πολύ μικρών μεταβολών στην θερμοκρασία. Υπάρχουν δύο είδη θερμίστορ: τα PTC (Positive Temperature Coefficient) και τα NTC (Negative Temperature Coefficient) όπου η δεύτερη κατηγορία είναι και η πιο κοινή. Τα NTC όπως αναφέρεται και στην ονομασία τους έχουν την ιδιότητα μείωσης της αντίστασης τους καθώς η θερμοκρασία τους αυξάνεται. Ωστόσο τα θερμίστορ έχουν ως κύριο μειονέκτημα την μη γραμμικότητά τους εν αντιθέσει με τα RTDs [73]. Μέσω της ακόλουθης πολυωνυμικής συνάρτησης (4.3) μπορεί να εξαχθεί ο λογάριθμος της αντίστασης  $S$  ενός θερμίστορ. Η επίλυση της συνάρτησης μπορεί να επιτευχθεί μέσω τριών υπολογιστικών μοντέλων: το απλό στο οποίο αγνοούνται οι δύο τελευταίοι όροι της 4.3 με αποτέλεσμα να χαθεί αρκετή ακρίβεια στη μέτρηση, το μοντέλο Fraden όπου χρησιμοποιεί την χαρακτηριστική θερμοκρασία υλικού  $\beta$  σαν συνάρτηση και όχι σαν σταθερό όρο και τέλος το μοντέλο Steinhart – Hart το οποίο επεξηγείται στη συνέχεια.

$$\ln S = A_0 + \frac{A_1}{T} + \frac{A_2}{T^2} + \frac{A_3}{T^3} \quad (4.3)$$

όπου  $S$  η προς μέτρηση αντίσταση,  $A_0 - A_3$  σταθερές και  $T$  η εκάστοτε θερμοκρασία.

Το μοντέλο Steinhart – Hart προτάθηκε το 1968 και μπορεί να δώσει μέτρηση θερμοκρασίας με ακρίβεια χιλιοστού στο εύρος  $0^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}$ . Βασίζεται στην εξίσωση 4.4 η οποία ωστόσο μπορεί να απλοποιηθεί στην εξίσωση 4.5 (με αφαίρεση του τετραγωνικού όρου) χωρίς να χαθεί σημαντική ακρίβεια [72].

$$T = [a_0 + a_1 \ln S + (a_2 \ln S)^2 + (a_3 \ln S)^3]^{-1} \quad (4.4)$$

η οποία απλοποιείται:

$$T = [a_0 + a_1 \ln S + (a_3 \ln S)^3]^{-1} \quad (4.5)$$

όπου  $a_0 - a_3$  συντελεστές οι οποίοι υπολογίζονται με σύστημα 3 εξισώσεων (4.6) αφού το θερμίστορ βαθμονομηθεί σε 3 θερμοκρασίες, και  $S$  η εκάστοτε μετρούμενη αντίσταση.

$$a_3 = \left( G - \frac{ZH}{F} \right) \left[ (\ln S_1^3 - \ln S_2^3) - \frac{Z}{F} (\ln S_1^3 - \ln S_3^3) \right]^{-1} \quad (4.6)$$

$$a_1 = Z^{-1} [G - a_3 (\ln S_1^3 - \ln S_2^3)]$$

$$a_0 = T_1^{-1} - a_3 \ln S_1^3 - a_1 \ln S_1$$

$$Z = \ln S_1 - \ln S_2, F = \ln S_1 - \ln S_3$$

$$H = T_1^{-1} - T_3^{-1}, G = T_1^{-1} - T_2^{-1}$$



Σχήμα 49: Διάφορα είδη θερμίστορ [84]

### 4.3 Αισθητήρες Υγρασίας

Η μέτρηση της υγρασίας καθορίζει την ποσότητα υδρατμών που υπάρχει σε ένα αέριο που μπορεί να είναι ένα μείγμα, όπως ο αέρας, ή ένα καθαρό αέριο, όπως το άζωτο (N) ή το αργό (Ar). Οι πιο σύνηθες μονάδες μέτρησης της υγρασίας είναι η σχετική υγρασία (Relative Humidity – RH) η οποία εκφράζεται ποσοστιαία, το σημείο δρόσου και ψύξης (Dew/Frost Point – D/F PT) που εκφράζεται σε °C και τα ppm (Parts Per Million – ppm) τα οποία εκφράζονται αριθμητικά. Σύμφωνα με τις μονάδες μέτρησης οι αισθητήρες υγρασίας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους αισθητήρες μέτρησης σχετικής υγρασίας (RH) και τους αισθητήρες μέτρησης απόλυτης υγρασίας (υγρόμετρα). Οι δε αισθητήρες RH κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε κεραμικούς, ημιαγωγικούς και πολυμερείς αισθητήρες υγρασίας ενώ για την μέτρηση της απόλυτης υγρασίας κατηγοριοποιούνται σε αισθητήρες μέτρησης υγρασίας στερεών και τα υγρόμετρα τύπου παγωμένου καθρέφτη (chilled mirror) τα οποία χρησιμεύουν στην μέτρηση του σημείου δρόσου [85]. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εξισώσεις υπολογισμού της απόλυτης και σχετικής υγρασίας:

$$RH = \frac{P_v}{P_s} \times 100\% \quad (4.7)$$

όπου **RH** η σχετική υγρασία, **P<sub>v</sub>** η πίεση ατμού και **P<sub>s</sub>** η πίεση κορεσμού σε bar η kPa.

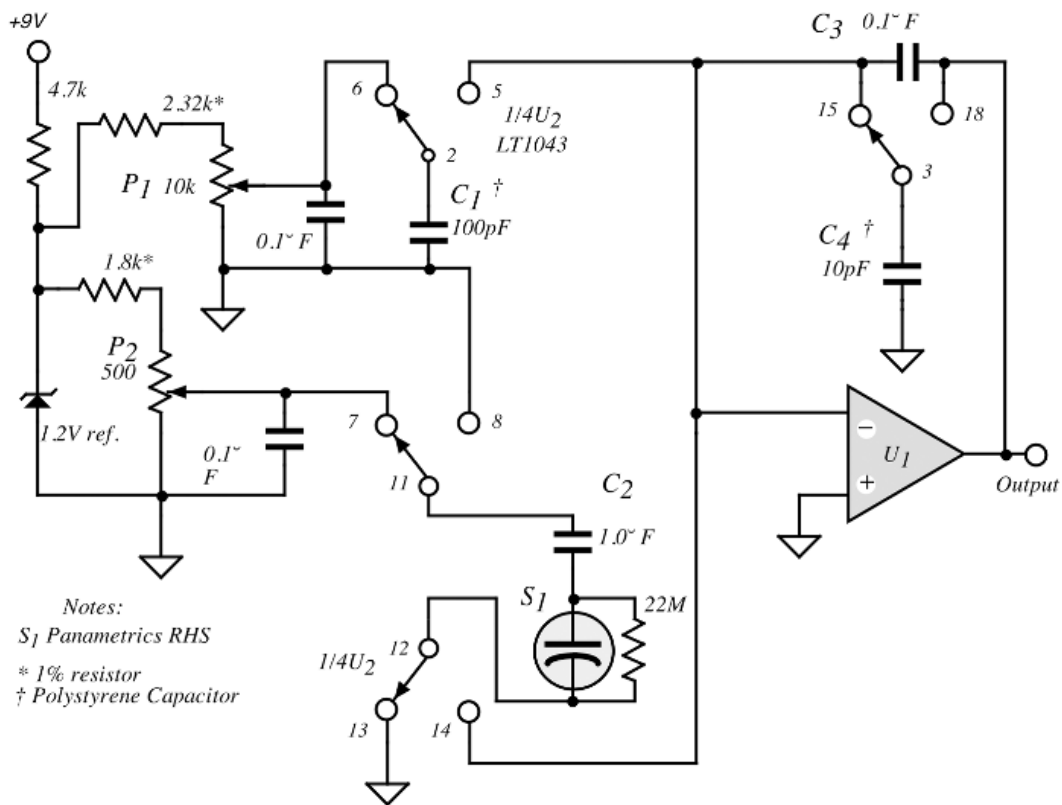
$$AB = \frac{m_w}{v} \quad (4.8)$$

όπου **AB** η απόλυτη υγρασία σε g/m<sup>3</sup>, **m<sub>w</sub>** η μάζα ατμοποιημένου νερού σε g και **v** ο όγκος του αέρα σε m<sup>3</sup>[86].

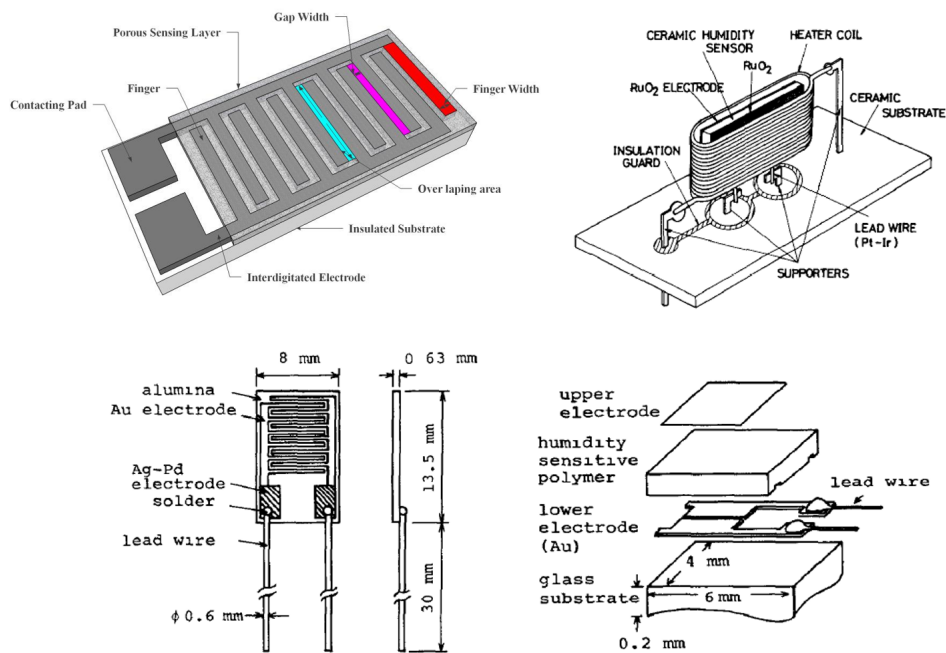
Ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο είδος αισθητήρα υγρασίας είναι οι χωρητικοί αισθητήρες στην περίπτωση των οποίων ένας πυκνωτής αποτελούμενος από αέρα στο εσωτερικό του εξυπηρετεί στην μέτρηση σχετικής υγρασίας λόγω του φαινομένου επιρροής της υγρασίας στην ηλεκτρική διαπερατότητα σύμφωνα με τον κάτωθι τύπο:

$$\kappa = 1 + \frac{211}{T} \left( P + \frac{48P_s}{T} H \right) 10^{-6} \quad (4.9)$$

όπου **κ** η ηλεκτρική διαπερατότητα του αέρα, **T** η απόλυτη θερμοκρασία σε K, **P** η πίεση του υγροποιημένου αέρα σε mm Hg, **P<sub>s</sub>** η πίεση κορεσμένου ατμού νερού σε θερμοκρασία T σε mm Hg και **H** η σχετική υγρασία [72].



Σχήμα 50: Απλοποιημένο κύκλωμα μέτρησης σχετικής υγρασίας με χωρητικό αισθητήρα [72]



Σχήμα 51: Διάφοροι τύποι αισθητήρων υγρασίας [87]

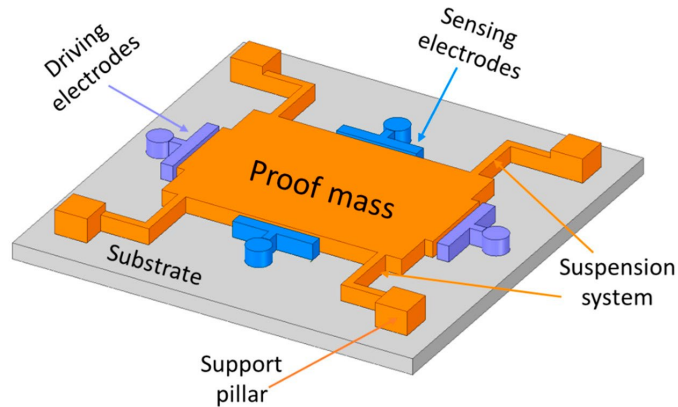
## 4.4 Γυροσκόπια

Γυροσκόπια ονομάζονται οι αισθητήρες οι οποίοι έχουν την ικανότητα μέτρησης του ρυθμού περιστροφής ή της γωνιακής ταχύτητας ενός σώματος. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τον προσανατολισμό και την μέτρηση γωνιακής ταχύτητας γύρω από τους τρεις άξονες  $x'$ ,  $y'$  και  $z'$  με ευρεία χρήση σε διάφορους τεχνολογικούς τομείς με παραδείγματα να αποτελούν συστήματα προσανατολισμού αυτοκινήτων, τηλεχειριστήρια ηλεκτρονικών κονσόλων, έλεγχος ρομποτικών συσκευών, drones ή UAVs (Unmanned Aerial Vehicles – UAVs) και πολλά άλλα [88]. Τα γυροσκόπια μπορούν να καταταχθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: τα μηχανικά γυροσκόπια, τα δονούμενα γυροσκόπια ή αλλιώς MEMS (Micro Electro Mechanical Systems - MEMS) και τα οπτικά γυροσκόπια [89]. Στα μηχανικά γυροσκόπια εμπίπτουν όλες αυτές οι συσκευές στις οποίες μια μάζα περιστρέφεται σταθερά ως προς έναν ελεύθερο άξονα. Στα δονούμενα γυροσκόπια ή MEMS γίνεται εφαρμογή του φαινομένου Coriolis κατά το οποίο οι δονήσεις που δημιουργούνται από την γωνιακή ταχύτητα προκαλούν μια δύναμη η οποία είναι ανάλογη της γωνιακής ταχύτητας ενώ στα οπτικά γυροσκόπια γίνεται χρήση του φαινομένου Sagnac το οποίο δηλώνει ότι η διαφορά φάσης μεταξύ δύο κυμάτων τα οποία διαδίδονται αντίθετα σε μια διάταξη περιστρεφόμενου δακτυλιοειδούς συμβολόμετρου ή αλλιώς συμβολόμετρο Sagnac, είναι ανάλογη της

γωνιακής ταχύτητας του [90]. Το φαινόμενο Coriolis εκφράζεται από την εξίσωση 4.10 ενώ το Sagnac από την εξίσωση 4.11 οι οποίες φαίνονται ακολούθως.

$$\vec{F} = 2m\vec{\omega} \times \vec{v}_r \quad (4.10)$$

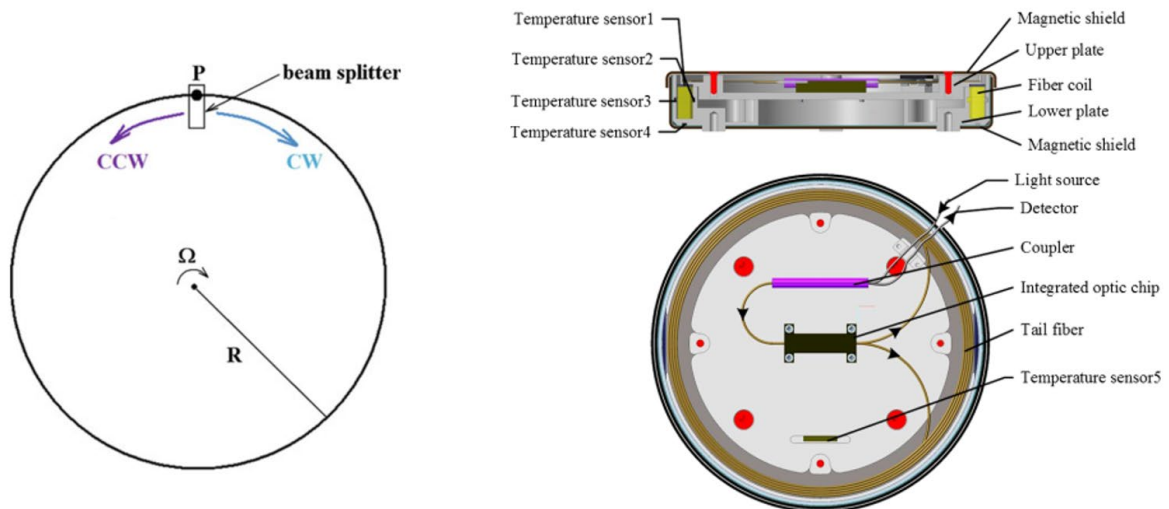
όπου  $\vec{F}$  η δύναμη Coriolis που εμφανίζεται,  $m$  η μάζα του σώματος στο οποίο ασκείται η δύναμη,  $\vec{\omega}$  και  $\vec{v}_r$  η γωνιακή και γραμμική ταχύτητα του σώματος [73].



Σχήμα 52: Αρχιτεκτονική ενός δονούμενου γυροσκοπίου MEMS [91]

$$\Delta\varphi = \frac{8\pi A\Omega}{\lambda c} \quad (4.11)$$

όπου  $\Delta\varphi$  η διαφορά φάσης των δύο κυμάτων,  $A$  το εμβαδόν του συμβολόμετρου,  $\Omega$  η γωνιακή συχνότητα,  $\lambda$  το μήκος κύματος και  $c$  η ταχύτητα του φωτός [92].



Σχήμα 53: Η διάταξη Sagnac (αριστερά) και η δομή ενός οπτικού γυροσκοπίου (δεξιά) [90], [93]



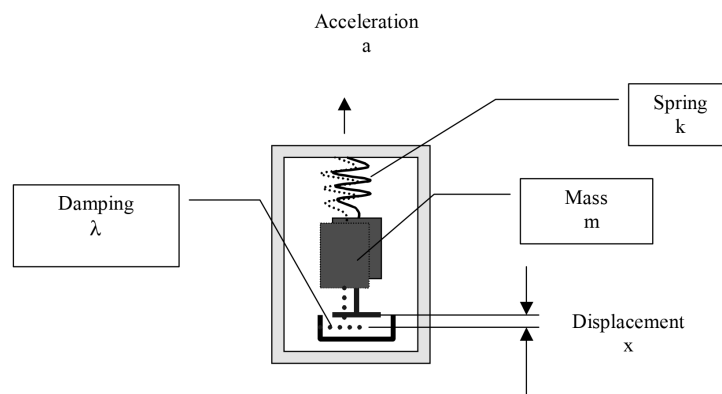
## 4.5 Επιταχυνσιόμετρα

Τα επιταχυνσιόμετρα αποτελούν συσκευές τύπου MEMS οι οποίες έχουν την ικανότητα μέτρησης γραμμικής επιτάχυνσης και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με τους Rirka και Tirka σε δύο κατηγορίες σύμφωνα με τη φυσική αρχή την οποία χρησιμοποιούν: τα επιταχυνσιόμετρα που έχουν μια άμεση μέτρηση της δύναμης και οι συσκευές οι οποίες μετρούν τη δύναμη έμμεσα, μέσω μετατόπισης ή και παραμόρφωσης του αισθητήριου στοιχείου. Τα διάφορα είδη επιταχυνσιομέτρου φαίνονται πιο κάτω (Πίνακας 7).

Πίνακας 7: Διάφορες οικογένειες επιταχυνσιόμετρων [73]

Τύπος Μέτρησης	Επιταχυνσιόμετρα
Άμεση Μέτρηση Δύναμης	Πιεζοηλεκτρικά (Piezoelectric)
	Πιεζο-αντίστασης (Piezoresistive)
Έμμεση Μέτρηση Δύναμης (μέσω μετατόπισης ή παραμόρφωσης)	Χωρητικά (Capacitive)
	Επαγωγικά (Inductive)
	Οπτικά (Optical)

Η αδρανειακή μάζα μέσα στο περίβλημα του αισθητήρα αναρτάται μέσω ενός ελατηρίου. Καθώς ο αισθητήρας υπόκειται σε επιτάχυνση  $\vec{a}$  η μάζα μετατοπίζεται κατά  $X$  λόγω αδράνειας. Η μετατόπιση  $X$  στη συνέχεια εντοπίζεται από έναν αισθητήρα όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα [73].

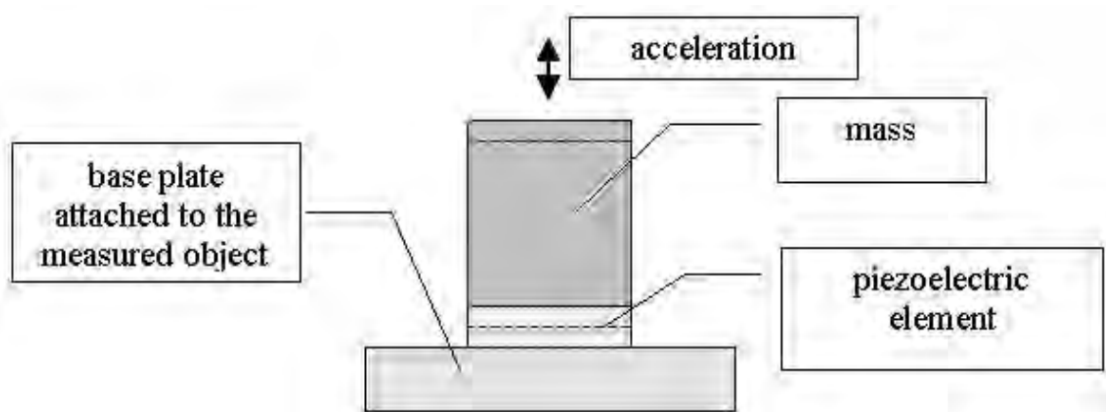


Σχήμα 54: Αρχή λειτουργίας επιταχυνσιομέτρου [73]

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας και η δομή τριών ειδών επιταχυνσιομέτρου τα πιεζοηλεκτρικά, τύπου πιεζο-αντίστασης και τα χωρητικά.

### 4.5.1 Πιεζοηλεκτρικά Επιταχυνσιόμετρα (Piezoelectric)

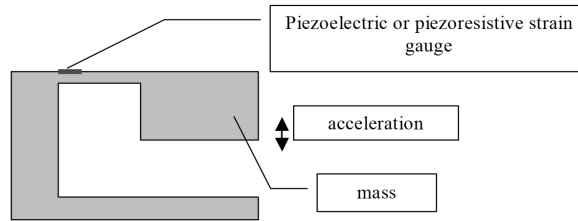
Ο πιεζοηλεκτρισμός ορίζεται ως η ηλεκτρική πόλωση ορισμένων κρυστάλλων που προκαλείται από μια μηχανική καταπόνηση [73]. Το φαινόμενο αποτελεί μια άμεση μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική που εφαρμόζεται σε κρυσταλλικό υλικό αποτελούμενο από ηλεκτρικά δίπολα. Αυτοί οι αισθητήρες λειτουργούν από συχνότητες τόσο χαμηλές όσο 2 Hz έως περίπου 5 kHz ενώ παράλληλα διαθέτουν καλή απόρριψη θορύβου εκτός άξονα, υψηλή γραμμικότητα και μεγάλο εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας (έως 120°C). Αν και οι κρύσταλλοι χαλαζία ( $\text{SiO}_2$ ) χρησιμοποιούνται περιστασιακά ως αισθητήρια στοιχεία, τα πιο δημοφιλή είναι τα κεραμικά πιεζοηλεκτρικά υλικά, όπως το τιτανικό βάριο ( $\text{BaTiO}_3$ ), το τιτανικό ζirkόνιο (PZT) και ο μετανιοβικός μόλυβδος. Σε αυτό το είδος επιταχυνσιομέτρων, το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο τοποθετείται με τέτοιο τρόπο ώστε όταν ο αισθητήρας δονείται τότε μια αδρανειακή μάζα να ασκεί δύναμη στο στοιχείο ανάλογη με την επιτάχυνση όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα [73].



Σχήμα 55: Αρχή λειτουργίας πιεζοηλεκτρικών επιταχυνσιομέτρων [73]

### 4.5.2 Επιταχυνσιόμετρα πιεζο-αντίστασης (Piezoresistive)

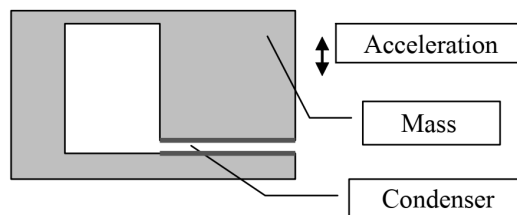
Τα επιταχυνσιόμετρα τύπου πιεζο-αντίστασης είναι εξοπλισμένα με μετρητές καταπόνησης οι οποίοι σε συνδεσμολογία γέφυρας Wheatstone μετρούν την καταπόνηση σε ελατήρια στα οποία αναρτάται η αδρανειακή μάζα και έπειτα την μετατρέπουν σε αντιπροσωπευτικό ηλεκτρικό σήμα. Η παραμόρφωση κατόπιν μπορεί να συσχετιστεί άμεσα με το μέτρο και τον ρυθμό μετατόπισης της αδρανειακής μάζας και επομένως με την επιτάχυνση [72], [73].



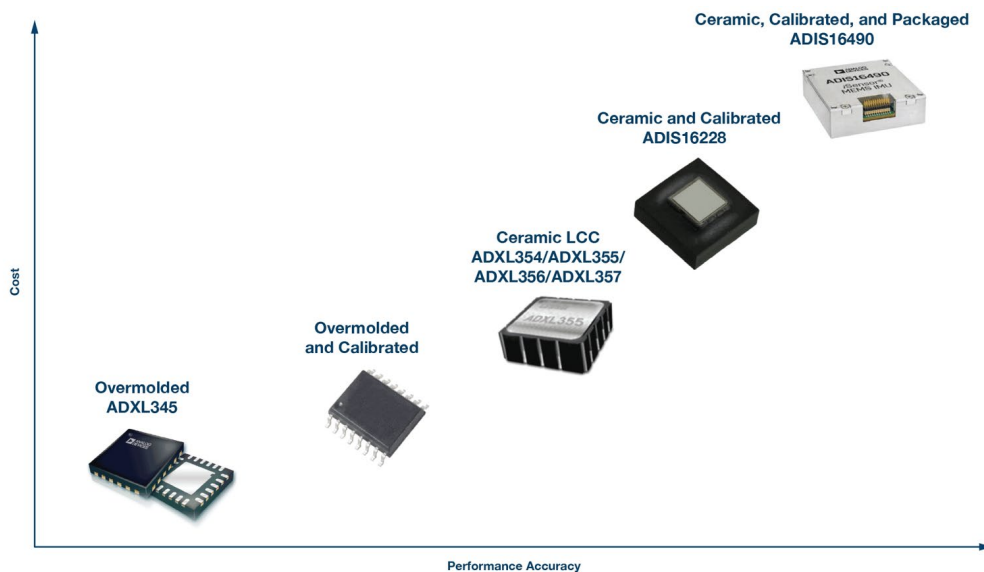
Σχήμα 56: Αρχή λειτουργίας επιταχυνσιόμετρων τύπου πιεζο-αντίστασης [73]

### 4.5.3 Χωρητικά Επιταχυνσιόμετρα (Capacitive)

Στην περίπτωση των χωρητικών επιταχυνσιόμετρων η αδρανειακή μάζα αναρτάται στα δύο άκρα της από δύο μεμβράνες ή ελατήρια και κινείται σύμφωνα με την επιτάχυνση. Το ένα άκρο ενός πυκνωτή είναι συνδεδεμένο στην μάζα ενώ το άλλο είναι συνδεδεμένο σε ακίνητο σημείο. Επομένως καθώς ο αισθητήρας επιταχύνεται η χωρητικότητα του πυκνωτή αλλάζει σύμφωνα με την κίνηση της αδρανειακής μάζας. Κατόπιν η χωρητικότητα μπορεί να μετρηθεί με ενσωματωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα [73].



Σχήμα 57: Αρχή λειτουργίας χωρητικού επιταχυνσιόμετρου [73]



Σχήμα 58: Σύγκριση επιταχυνσιόμετρων με βάση το κόστος και την ακρίβεια μέτρησης [94]



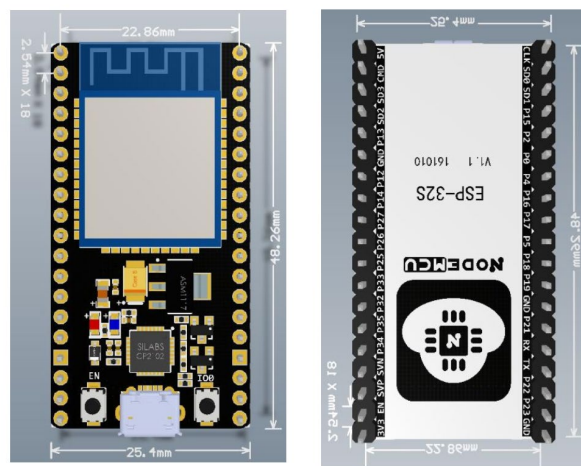
# Κεφάλαιο 5: Επιλογή Αισθητήρων και Υλικών Πειραματικής Διάταξης

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας όπως ειπώθηκε αρχικά έγινε η ανάπτυξη και κατασκευή ενός έξυπνου συστήματος σκίασης. Έμπνευση της κατασκευής υπήρξαν διάφορα παρόμοια συστήματα αλλά και συστήματα ακολουθίας ηλίου που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά (Solar Trackers) τα οποία μελετήθηκαν και παρουσιάστηκαν εκτενώς στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Το υλοποιημένο σύστημα μέσω διαφόρων αισθητήρων και ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος ενσωματωμένων σε αυτό έχει την ικανότητα να ανοιγοκλείνει τις περσίδες του σκιάστρου ακολουθώντας την κατεύθυνση της μέγιστης φωτεινότητας. Παράλληλα, παρέχεται η δυνατότητα παράκαμψης της αυτοματοποιημένης λειτουργίας ώστε να δίνεται η επιλογή ρύθμισης της κλίσης του σκιάστρου στο χρήστη. Αυτή η λειτουργία υλοποιήθηκε με χρήση ενός διακόπτη, ενός αισθητήρα υπερύθρων και ενός τηλεχειριστηρίου. Το σύστημα δύναται να προσφέρει προστασία των περσίδων από κραδασμούς μέσω χρήσης επιταχυνσιομέτρου και ακόμη γίνεται αυτόματο κλείσιμο και άνοιγμα των περσίδων καθώς νυχτώνει και ξημερώνει αντίστοιχα. Επίσης, μέσω αισθητήρα υπεριώδους ακτινοβολίας γίνεται ενημέρωση του δείκτη UV index. Όλη η πληροφόρηση καταλήγει στην οθόνη του χρήστη μέσω κινητού τηλεφώνου ή υπολογιστή με τη βοήθεια διαδικτυακής πλατφόρμας η οποία δίνει την δυνατότητα δημιουργίας μιας γραφικής διεπαφής χρήστη (Graphical User Interface - GUI).

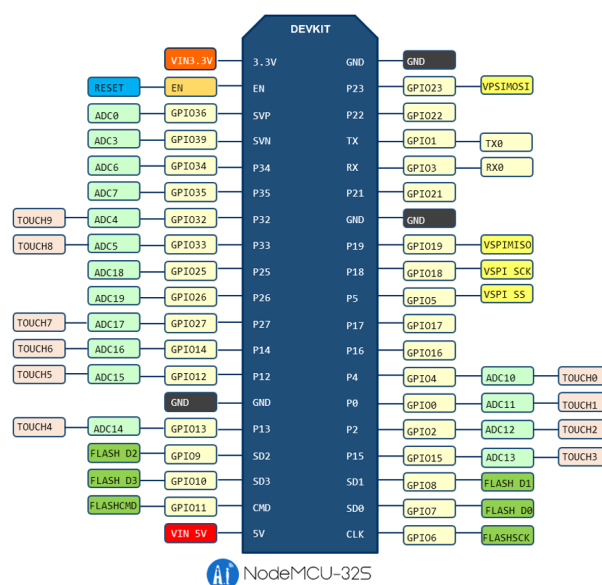
## 5.1 Η πλακέτα ανάπτυξης NodeMCU-32S ESP32

Η καρδιά της πλακέτας ανάπτυξης του συστήματος είναι ο μικροελεγκτής ESP32-S ο οποίος αποτελεί μια ισχυρή μονάδα MCU με ενσωματωμένο Wi-Fi, Bluetooth (BT) και Bluetooth Low Energy (BLE) η οποία ανταποκρίνεται σε μεγάλο εύρος εφαρμογών από μικρής κατανάλωσης δίκτυα αισθητήρων μέχρι απαιτητικές εργασίες όπως κωδικοποίηση φωνής, ροή μουσικής (streaming) και αποκωδικοποίηση MP3. Ο μικροελεγκτής αποτελείται από 2 CPU με συχνότητα 80MHz-240MHz ενώ περιλαμβάνει πλούσιο σετ περιφερειακών όπως αισθητήρα Hall, χωρητικούς αισθητήρες αφής, δυνατότητα σύνδεσης κάρτας SD, Ethernet και θύρες επικοινωνίας που υποστηρίζουν διάφορα πρωτόκολλα όπως SDIO/SPI, UART, I2S και I2C. Αποτελεί ιδανική λύση για εφαρμογές μπαταριών εφόσον σε λειτουργία

αναμονής η ESP32-S έχει κατανάλωση μικρότερη από 5μΑ. Σε επίπεδο προγραμματισμού η πλακέτα ανάπτυξης NodeMCU-32S είναι συμβατή με αρκετές γλώσσες προγραμματισμού όπως C/C++, Arduino (παραλλαγή C++), Micropython και Lua όπου ο προγραμματισμός της γίνεται άμεσα μέσω διαφόρων περιβαλλόντων όπως το Arduino IDE και το VSCode με το extension Platform IO [95]. Πέραν των καλών χαρακτηριστικών και το μεγάλο εύρος δυνατοτήτων της πλακέτας ακόμη ένας λόγος επιλογής της ήταν η άμεση εύρεσή της στην αγορά σε πολύ χαμηλό κόστος (≈€9). Κατόπιν παρουσιάζονται οι διαστάσεις, το διάγραμμα Pinout των θυρών, αναλυτικός πίνακας των χαρακτηριστικών (Πίνακας 8), και το σχηματικό διάγραμμα της πλακέτας ανάπτυξης NodeMCU-32S.



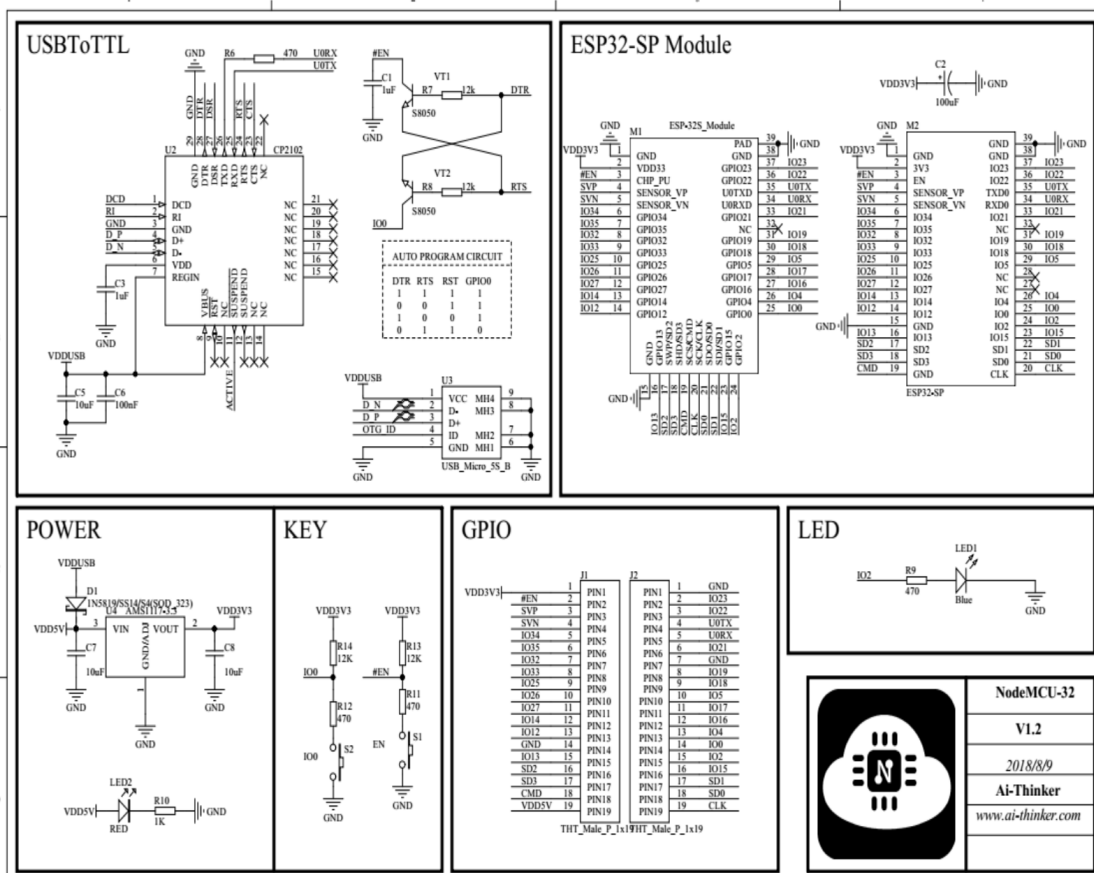
Σχήμα 59: Η πλακέτα ανάπτυξης NodeMCU-32S [96]



Σχήμα 60: Pinout Διάγραμμα της πλακέτας NodeMCU-32S [96]

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά πλακέτα ανάπτυξης NodeMCU-32S [96]

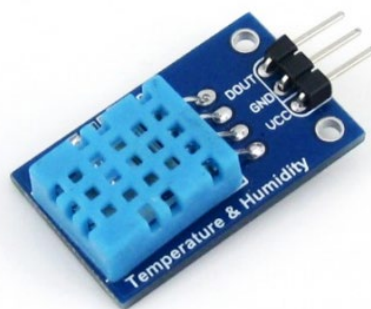
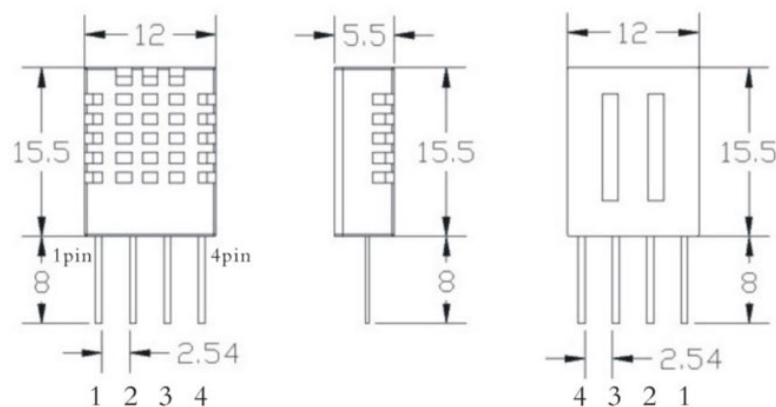
Στοιχεία MCU	Μικροελεγκτής	ESP-WROOM-32S
	Συχνότητα Λειτουργίας	240MHz
	SPI Flash	4MB
Τάσεις Λειτουργίας	Τάση Λειτουργίας (Μικροελεγκτή)	3.3V
	Τάση Λειτουργίας (Πλακέτας)	5V (Micro-USB)
Είσοδοι – Έξοδοι (32 Συνολικά)	Ψηφιακές Είσοδοι / Έξοδοι (GPIO)	28 (όλες υποστηρίζουν PWM 16 - bit)
	Αναλογικές Είσοδοι (ADC)	16 (12 – bit)(10 για αισθητήρες αφής)
	Ψηφιακές Θύρες αποκλειστικά για Είσοδο	4
	Υπόλοιπα Περιφερειακά	UART/SDIO/SD card/I2C/I2S
Συνδεσιμότητα	Wi-Fi (Πρωτόκολλο, Συχνότητα Λειτουργίας)	802.11b/g/n, (150Mbps),2.4-2.5GHz
	Bluetooth	Bluetooth 4.2
	BLE (Bluetooth Low Energy)	Εφαρμογές χαμηλής ισχύος – μικρών αποστάσεων



Σχήμα 61: Σχηματικό Διάγραμμα NodeMCU-32S [96]

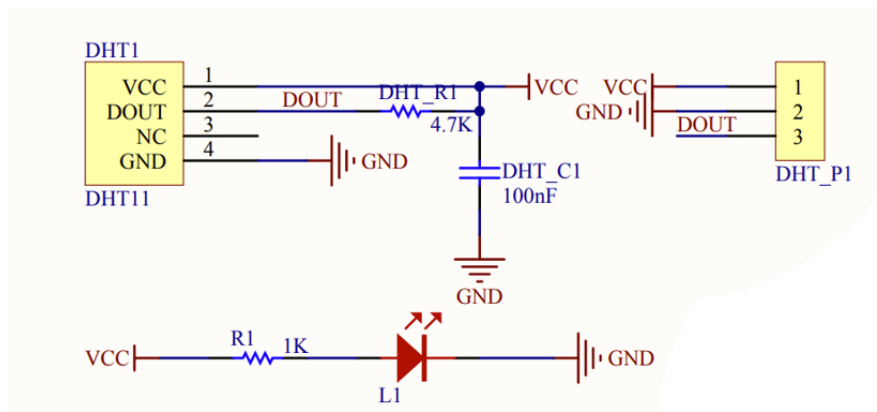
## 5.2 Αισθητήρας Θερμοκρασίας – Υγρασίας DHT11

Για την μέτρηση θερμοκρασίας – υγρασίας εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες DHT11 οι οποίοι βαθμονομούνται από τον κατασκευαστή. Για την μέτρηση της υγρασίας χρησιμοποιείται αισθητήρας τύπου αντίστασης ενώ για την μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται η χρήση ενός θερμίστορ τύπου NTC όπου συνδέονται σε έναν 8-bit μικροελεγκτή ο οποίος μετατρέπει το αναλογικό σήμα εισόδου σε ψηφιακό σήμα εξόδου. Πέραν της πολύ καλής ακρίβειάς τους, οι συγκεκριμένοι αισθητήρες χαρακτηρίζονται από χαμηλή κατανάλωση, διάδοση σήματος σε μεγάλες αποστάσεις, ταχεία απόκριση και χαμηλό κόστος ( $\approx \text{€}4$ ). Για πιο εύκολη χρήση ο αισθητήρας παρέχεται διασυνδεδεμένος σε πλακέτα με 3 Pins (VCC, GND, DOUT) η οποία αποτελείται από αντίσταση προστασίας ( $4.7\text{k}\Omega$ ) και led για ένδειξη λειτουργίας. Η επικοινωνία του αισθητήρα από το pin DOUT επιτυγχάνεται με απλοποιημένο πρωτόκολλο μονού διαύλου [97]. Ο αισθητήρας, το σχηματικό διάγραμμα καθώς και τα χαρακτηριστικά του φαίνονται κατόπιν.



Σχήμα 62: Ο αισθητήρας θερμοκρασίας - υγρασίας DHT11 [97], [98]





Σχήμα 63: Σχηματικό διάγραμμα DHT11 [99]

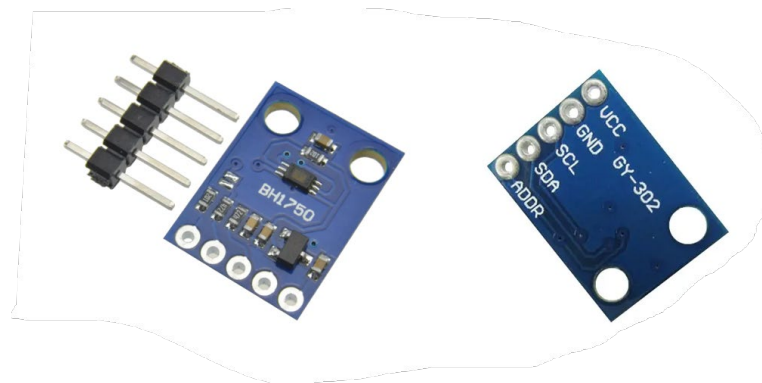
Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά αισθητήρα θερμοκρασίας - υγρασίας DHT11 [98]

Χαρακτηριστικά Μετρήσεως Υγρασίας	Ανάλυση	16bit
	Ακρίβεια μέτρησης	$\pm 5\% \text{ RH } (0^{\circ}\text{C}-50^{\circ}\text{C})$
	Όρια Μέτρησης	20%RH - 90%RH (25°C)
Χαρακτηριστικά Μετρήσεως Θερμοκρασίας	Ανάλυση	16bit
	Ακρίβεια μέτρησης	στους $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
	Όρια Μέτρησης	$0^{\circ}\text{C}-50^{\circ}\text{C}$
Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά	Τάση Τροφοδοσίας	DC 3.3-5.5V
	Ρεύμα Τροφοδοσίας	0.3mA/60μA (λειτουργία/αναμονή)
Συνδεσιμότητα	Πρωτόκολλο Επικοινωνίας	Απλοποιημένο μονού διαύλου (single-bus)

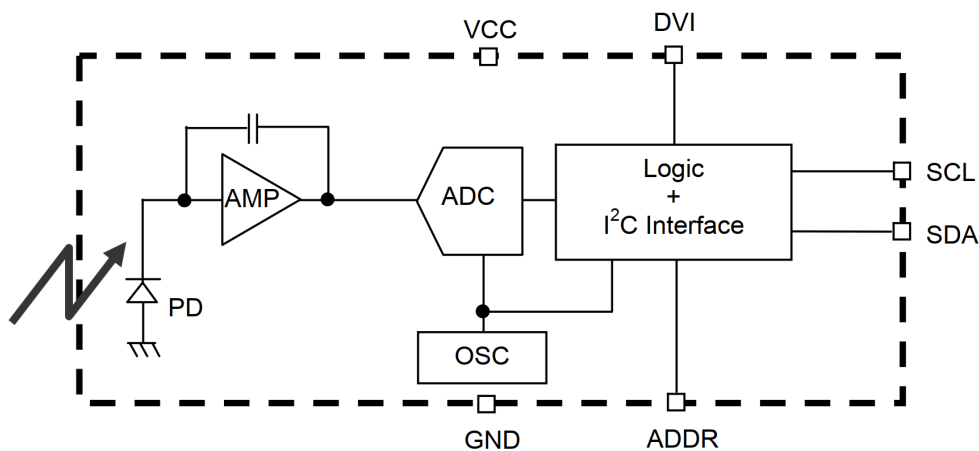
### 5.3 Αισθητήρας Έντασης Φωτισμού BH1750FVI

Για την μέτρηση της έντασης φωτισμού χρησιμοποιήθηκαν δύο ψηφιακοί αισθητήρες BH1750FVI. Ο αισθητήρας φωτισμού περιβάλλοντος (ambient light sensor) όπως χαρακτηρίζεται από τον κατασκευαστή αποτελεί ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο υποστηρίζει το I2C πρωτόκολλο επικοινωνίας και έχει μεγάλη ακρίβεια μέτρησης της έντασης φωτισμού από 1 – 65535lx και πολύ χαμηλό κόστος (€3). Το εύρος μέτρησης μπορεί να αυξηθεί μέχρι 100000lx μέσω κατάλληλου προγραμματισμού μειώνοντας ωστόσο την ακρίβεια μέτρησης. Η μέτρηση της έντασης φωτισμού γίνεται χάρη στη χρήση μιας φωτοδιόδου η οποία έχει απόκριση κοντά στο ανθρώπινο μάτι. Στη συνέχεια το ρεύμα της φωτοδιόδου κατευθύνεται σε έναν τελεστικό ενισχυτή (OPAMP) για την μετατροπή του σε αναλογική τάση η οποία κατόπιν μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα μέσω 16bit μετατροπέα. Ο

αισθητήρας αποτελείται από 5 pins, 2 για τροφοδοσία (VDD,GND), 2 για επικοινωνία (SCL,SDA) και 1 για αλλαγή ατομικής διεύθυνσης του αισθητήρα (ADDR). Εάν το pin ADDR τροφοδοτηθεί με  $V_{addr} > 0.7V_{cc}$  τότε η ατομική διεύθυνση του αισθητήρα είναι η 1011100 στο δυαδικό ή η 0x5C στο δεκαεξαδικό. Εάν όμως ισχύει ότι  $V_{addr} < 0.3V_{cc}$  τότε η ατομική διεύθυνση του αισθητήρα θα είναι η 0100011 στο δυαδικό ή η 0x23 στο δεκαεξαδικό (όπου  $V_{cc}$  η τάση τροφοδοσίας) [100]. Ο αισθητήρας, η δομή και τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στη συνέχεια.



Σχήμα 64: Ο αισθητήρας έντασης φωτισμού BH1750FVI [101]



Σχήμα 65: Διάγραμμα δομής αισθητήρα BH1750FVI [101]

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά αισθητήρα έντασης φωτισμού BH1750FVI [100]

<b>Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά</b>	<b>Τάση Λειτουργίας</b>	DC 2.4-4.5V (3.0V τυπική τάση)
	<b>Κατανάλωση Ισχύος (max)</b>	260 mW
<b>Χαρακτηριστικά Μέτρησης</b>	<b>Ανάλυση</b>	16bit
	<b>Όρια Μέτρησης</b>	1-65535lx
	<b>Ακρίβεια Μέτρησης</b>	0.5/1/4 lx (επιλογή ανάλυσης)

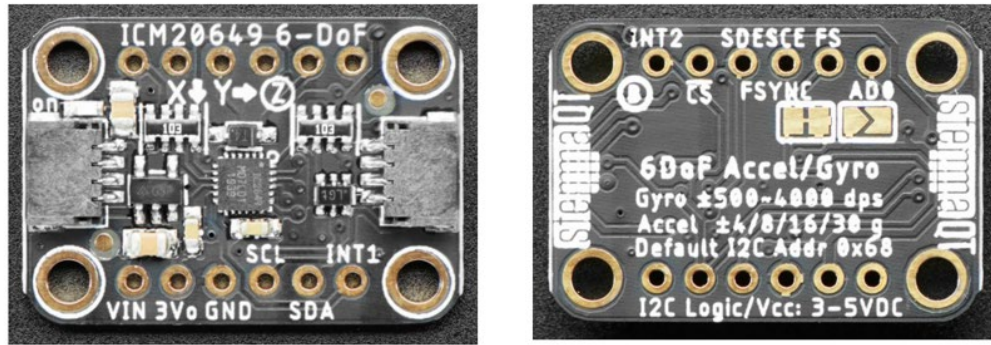


Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά αισθητήρα UV Sensor (B) [104]

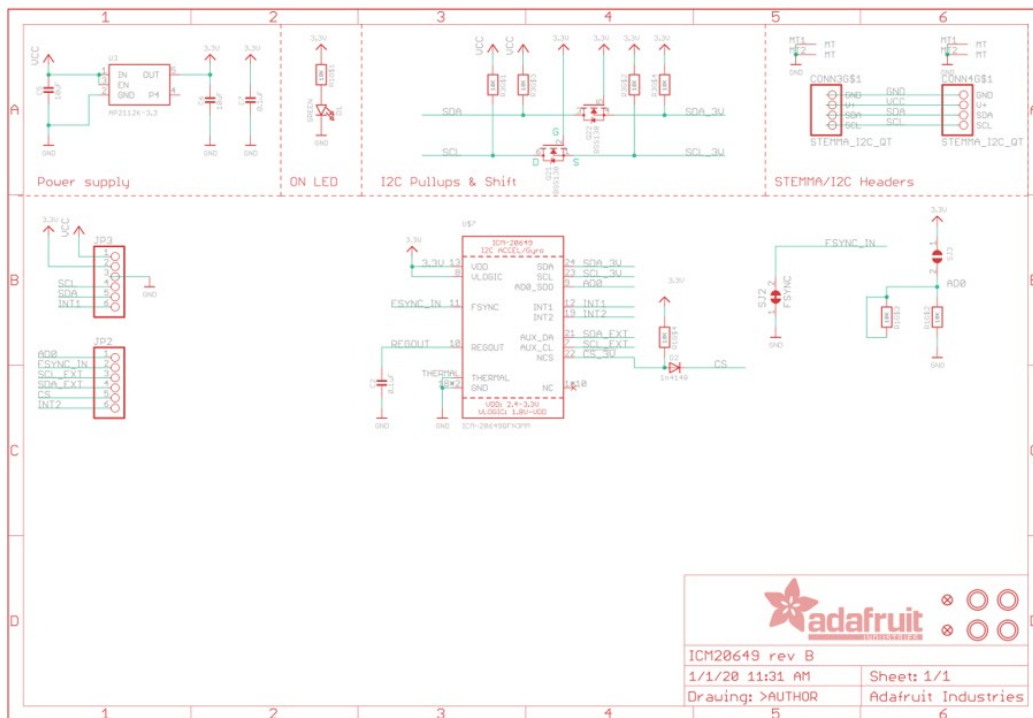
<b>Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά</b>	<b>Τάση Λειτουργίας</b>	DC 3.3-5V
	<b>Κατανάλωση Ισχύος (max)</b>	198 mW (για $V_{cc}=3.3V$ )
<b>Χαρακτηριστικά Μέτρησης</b>	<b>Ανάλυση</b>	16bit
	<b>Όρια Μέτρησης Έντασης φωτισμού</b>	1-128000lx
	<b>Ακρίβεια Μέτρησης Έντασης φωτισμού</b>	100mlx
	<b>Όρια Μέτρησης UV Index</b>	UVA, UVB (280nm-400nm) (1-11+) [102]

## 5.5 Επιταχυνσιόμετρο – Γυροσκόπιο ICM20649

Για τον υπολογισμό της κλίσης του σκιάστρου σε πραγματικό χρόνο καθώς και τον εντοπισμό απότομης κίνησης των περσίδων για αποτροπή καταστροφής της κατασκευής από πιθανές κακοκαιρίες επιλέχθηκε η χρήση της πλακέτας ICM20649 της Adafruit. Η πλακέτα ενσωματώνει το ολοκληρωμένο κύκλωμα αισθητήρα ICM20649 της InvenSense το οποίο αποτελεί ένα από τα πρώτα μεγάλου εύρους – 6 αξόνων IMU (Inertial Measurement Unit - IMU) στο είδος του. Με ενσωματωμένο γυροσκόπιο 3 αξόνων το οποίο μπορεί να μετρήσει μέχρι και  $\pm 4000\text{dps}$  (degrees per second) και επιταχυνσιόμετρο 3 αξόνων με ικανότητα μέτρησης μέχρι και  $\pm 30\text{g}$  αποτελεί μια μονάδα IMU η οποία μπορεί να μετρήσει επιτάχυνση και γωνιακή ταχύτητα με ακρίβεια σε απαιτητικές εφαρμογές όπως αθλήματα. Για επικοινωνία χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο I2C όπου με χρήση μετατροπέα ADC (16-bit) διαβάζονται στην έξοδο με ψηφιακό τρόπο οι τιμές επιτάχυνσης και γωνιακής ταχύτητας. Ακόμη ο ICM20649 είναι εξοπλισμένος με ψηφιακό αισθητήρα θερμοκρασίας. Η πλακέτα ICM20649 της Adafruit απαρτίζεται από 12 pins: 3 για τροφοδοσία ( $V_{IN}$ , GND και  $3V_0$  για παροχή τάσης dc 3.3V μέχρι 100mA), 4 για επικοινωνία I2C (SCL, SDA, StemmaQT, ADO) και 5 για εξειδικευμένες λειτουργίες (CS, INT1, INT2, FSYNC\_IN, SDE\_SCE). Αξιοσημείωτη είναι η επιλογή αλλαγής ατομικής διεύθυνσης του IMU από 0x68 σε 0x69 όταν ισχύει η συνθήκη για το pin ADO  $V_{ADO} = V_{cc}$  [107], [108]. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η πλακέτα IMU ICM20649 της Adafruit, το σχηματικό της διάγραμμα και διάφορα χαρακτηριστικά λειτουργίας της.



Σχήμα 68: Η πλακέτα ICM20649 [107]



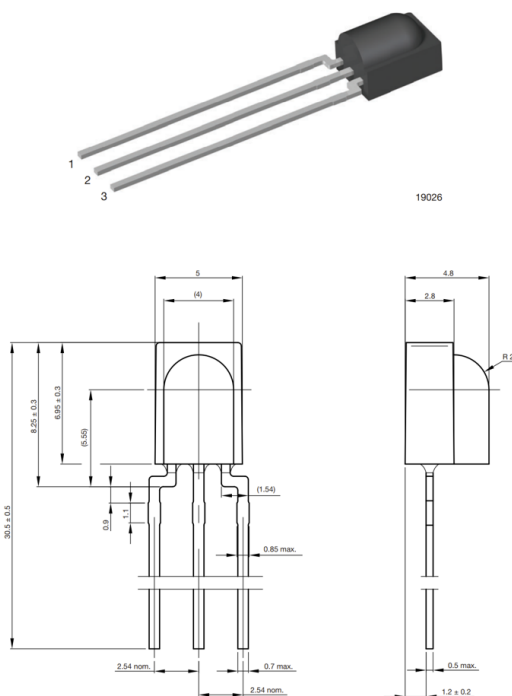
Σχήμα 69: Σχηματικό διάγραμμα ICM20649 Adafruit [109]

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά πλακέτας ICM20649 [107]

<b>Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά</b>	<b>Τάση Λειτουργίας</b>	DC 3.3-5V
	<b>Κατανάλωση Ισχύος (max)</b>	9.63 mW (για $V_{cc}=3.3V$ )
<b>Χαρακτηριστικά Μέτρησης</b>	<b>Ανάλυση</b>	16bit
	<b>Όρια Μέτρησης Γυροσκοπίου</b>	$\pm 500/1000/2000/4000$ dps
	<b>Ακρίβεια Μέτρησης Γυροσκοπίου</b>	$\pm 0.5\%$
	<b>Όρια Μέτρησης Επιταχυνσιομέτρου</b>	$\pm 4/8/16/30g$ ( $g \approx 9.81m/s^2$ )
	<b>Ακρίβεια Μέτρησης Επιταχυνσιομέτρου</b>	$\pm 0.5\%$

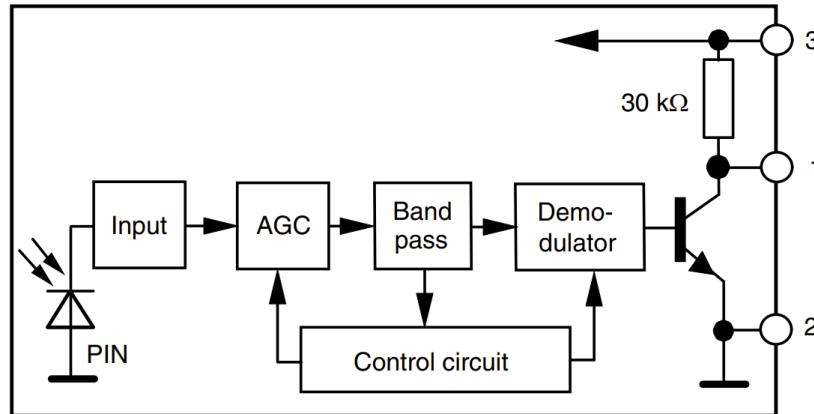
## 5.6 Αισθητήρας Υπέρυθρης Ακτινοβολίας

Για την υλοποίηση της χειροκίνητης λειτουργίας μέσω τηλεχειριστηρίου χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας υπέρυθρης ακτινοβολίας TSOP38238 της Vishay Semiconductors. Ο αισθητήρας αποτελείται από μια φωτοδίοδο τύπου P-I-N όπου σε διαφοροποίηση από μια τυπική δίοδο τοποθετείται μεταξύ της ένωσης p-n ένα στρώμα υψηλής αντίστασης I με αποτέλεσμα να μειώνεται δραστικά ο χρόνος απόκρισής της (μερικά ns). Η φωτοδίοδος μαζί με έναν ενισχυτή σήματος είναι συναρμολογημένα σε ένα πλαίσιο μολύβδου και είναι πακεταρισμένα σε εποξικού τύπου συσκευασία η οποία λειτουργεί ως φίλτρο υπέρυθρων. Ο αισθητήρας είναι πολύ εύχρηστος καθώς το αποδιαμορφωμένο σήμα εξόδου του μπορεί να αποκωδικοποιηθεί απευθείας από κάθε μικροελεγκτή και ακόμη η συχνότητα απόκρισής του είναι στα 38kHz με αποτέλεσμα να είναι συμβατό με τα πλείστα τηλεχειριστήρια υπέρυθρων. Ο αισθητήρας αποτελείται από 3 pins 2 για τροφοδοσία ( $V_s, GND$ ) και 1 για την ψηφιακή έξοδο (OUT). Μπορεί να τροφοδοτηθεί από 2.5-5.5V DC κάνοντας τον ιδανικό για όλου του τύπου πλακετών ανάπτυξης (Arduino, ESP32 κλπ.), έχει πολύ χαμηλό ρεύμα τροφοδοσίας, καλή προστασία έναντι ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (Electromagnetic Interference – EMI) και πολύ χαμηλό κόστος ( $\approx \text{€}1$ ) [110]. Κατόπιν παρουσιάζεται ο αισθητήρας TSOP38238, η εσωτερική δομή και τα χαρακτηριστικά του.



Σχήμα 70: Ο αισθητήρας υπέρυθρων TSOP38238 (38kHz) [110]

16833-13



Σχήμα 71: Η εσωτερική δομή του TSOP38238 [110]

Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά αισθητήρα TSOP38238 [110]

<b>Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά</b>	<b>Τάση Τροφοδοσίας (DC)</b>	2.5-5.5V
	<b>Ένταση ρεύματος τροφοδοσίας (DC)</b>	3mA
	<b>Κατανάλωση Ισχύος</b>	9.9 mW (για $V_s=3.3V$ )
	<b>Τάση Εξόδου</b>	$\leq(V_s + 0.3)V$
	<b>Ένταση Ρεύματος Εξόδου</b>	$\leq 5mA$
<b>Χαρακτηριστικά Μέτρησης</b>	<b>Μέγιστη Απόκριση</b>	950nm
	<b>Απόσταση Απόκρισης</b>	$\leq 24m$
	<b>Όρια Συχνοτήτων Απόκρισης</b>	$38kHz \pm 5\%$ (36.1 – 39.9kHz)

## 5.7 Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος - Γέφυρα οδήγησης L298N

Για την κίνηση των περιόδων επιλέχθηκε η χρησιμοποίηση ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος (DC) ενώ παράλληλα επιλέχθηκε και η γέφυρα οδήγησής του καθώς και ένα τροφοδοτικό. Ο κινητήρας που επιλέχθηκε μπορεί να τροφοδοτηθεί στα 9 -12V DC και έχει χαμηλές στροφές και ψηλή ροπή με αποτέλεσμα να αποτελεί ιδανική επιλογή για την μικρή κατασκευή η οποία έγινε για προσομοίωση του σκιάστρου. Ως εκ τούτου επιλέχθηκε κατάλληλη γέφυρα οδήγησης του κινητήρα η οποία έχει ως καρδιά το τσιπ L298N της ST Microelectronics και ένα τροφοδοτικό για την μετατροπή 240V AC σε 12V DC για την τροφοδοσία της γέφυρας η οποία κατόπιν οδηγεί τον κινητήρα. Η γέφυρα L298N αποτελεί μια ιδανική λύση καθώς είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα διπλής πλήρους γέφυρας

(ικανότητα τροφοδοσίας δύο κινητήρων) υψηλής τάσης, υψηλής έντασης φορτίου η οποία μπορεί να τροφοδοτήσει επαγωγικά φορτία όπως ρελέ, σωληνοειδή, DC ή και βηματικούς (stepper) κινητήρες. Η γέφυρα παρέχει δύο εισόδους ενεργοποίησης/απενεργοποίησης για τον έλεγχο της ανεξαρτήτως σημάτων εισόδου καθώς και προστασία υπερθέρμανσης. Η πλακέτα που χρησιμοποιήθηκε η οποία απαρτίζεται από την L298N έρχεται με βοηθητικές κλέμες για εύκολη σύνδεση του τροφοδοτικού και του κινητήρα σε αυτή. Ακόμη για την σύνδεση στον μικροελεγκτή που αφορά τις λογικές διεργασίες η πλακέτα απαρτίζεται από 6 pins 3 για κάθε κινητήρα. Τα 2 εκ των οποίων έχουν την ένδειξη INT1 και INT2 όπου καθορίζεται η κατεύθυνση περιστροφής του κινητήρα και το 3<sup>ο</sup> pin EN, το οποίο είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση του κινητήρα αλλά και για τον έλεγχο των στροφών του μέσω PWM (Pulse Width Modulation – PWM). Η πλακέτα μπορεί να τροφοδοτηθεί από 5 – 35V DC και σε κάθε κανάλι μπορεί να τροφοδοτήσει μέχρι και 2A ένταση φορτίου [111], [112], [113]. Ο κινητήρας, η γέφυρα και το τροφοδοτικό μαζί με τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται κατόπιν.



Σχήμα 72: Ο κινητήρας DC, το τροφοδοτικό 12V και η πλακέτα γέφυρας L298N [113]–[115]



Πίνακας 14: Χαρακτηριστικά κινητήρα συνεχούς ρεύματος (DC) [113]

<b>Τάση Τροφοδοσίας (DC)</b>	9-12V
<b>Ένταση ρεύματος τροφοδοσίας (stall current) (DC)</b>	2A
<b>Στροφές</b>	100RPM $\pm$ 5%
<b>Ροπή Άξονα</b>	9kg·cm $\approx$ 0.9 Nm
<b>Αναλογία Κιβωτίου Ταχυτήτων</b>	75:1

Πίνακας 15: Χαρακτηριστικά πλακέτας οδήγησης κινητήρα L298N [112]

<b>Τάση Τροφοδοσίας (DC) (κινητήρα)</b>	5-35V
<b>Ένταση ρεύματος τροφοδοσίας (κινητήρα) (DC)</b>	2A/κανάλι
<b>Λογική Τάση Τροφοδοσίας (L298N) (DC)</b>	4.5-5.5V
<b>Ένταση ρεύματος L298N</b>	0-36mA
<b>Μέγιστη κατανάλωση ισχύος</b>	20W

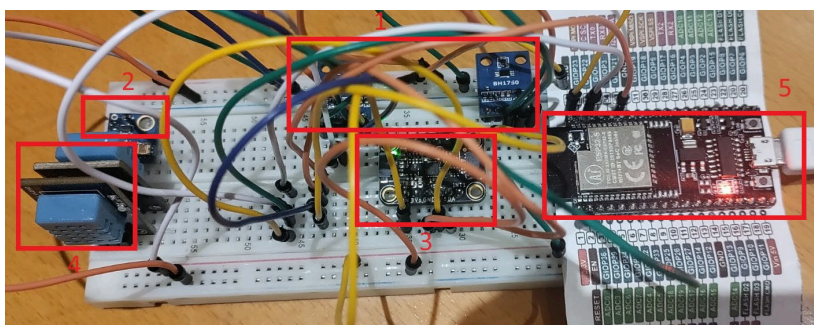
Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά τροφοδοτικού [115]

<b>Τάση Τροφοδοσίας (AC) (εισόδου)</b>	100-240V
<b>Τάση Εξόδου (ανορθωμένη) (DC)</b>	12V
<b>Ένταση συνεχούς ρεύματος εξόδου (DC)</b>	2A
<b>Τύπος βύσματος εξόδου</b>	Jack 5.5x2.1



# Κεφάλαιο 6: Πειραματική Διαδικασία

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η ολοκληρωτική παρουσίαση της πειραματικής διαδικασίας όπου παρουσιάζεται αναλυτικά η συναρμολόγηση των διαφόρων αισθητήρων και υλικών (hardware). Ακόμη θα παρουσιαστεί η κατασκευή που έγινε για σκοπούς προσομοίωσης πραγματικού σκιάστρου, αλλά και ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή ESP32-S για επικοινωνία με τους αισθητήρες και λήψη αποφάσεων (software) μέσω του Arduino IDE. Τέλος, παρουσιάζεται η δημιουργία του Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη (GUI) για άμεση πληροφόρηση σε πραγματικό χρόνο μέσω cloud σχετικά με την θερμοκρασία – υγρασία, δείκτη UV, κλίση σκιάστρου και ένταση φωτισμού. Κατόπιν παρουσιάζεται ο τελικός έλεγχος σε πλακέτα δοκιμών των αισθητήρων φωτός (1), UV (2), επιτάχυνσης (3), θερμοκρασίας – υγρασίας (4) και η πλακέτα ανάπτυξης (5).

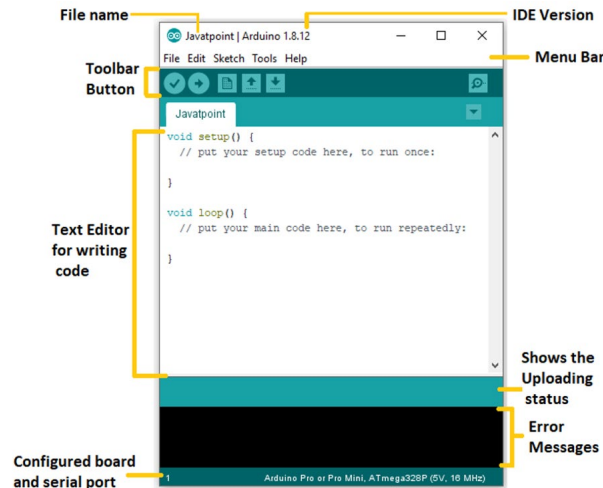


Σχήμα 73: Έλεγχος και προγραμματισμός αισθητήρων σε breadboard

## 6.1 Το Arduino IDE

Το Arduino IDE αποτελεί ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα ή αλλιώς ένα Ολοκληρωμένο Περιβάλλον Ανάπτυξης (Integrated Development Environment – IDE) το οποίο χρησιμοποιείται για τη σύνταξη κώδικα και τη μεταφόρτωση (upload) του μετέπειτα σε πλακέτες ανάπτυξης όπως είναι το Arduino UNO και η ESP-32 καθώς και για τη συνεχή επικοινωνία με τον μικροελεγκτή. Μπορεί να εγκατασταθεί δωρεάν σε διάφορα λειτουργικά συστήματα όπως Windows, Linux και Mac OS. Υποστηρίζει τις γλώσσες προγραμματισμού C και C++ καθώς και την Arduino η οποία αποτελεί μια παραλλαγή της C++ ενώ υποστηρίζεται από ευρεία κοινότητα και χιλιάδες βιβλιοθήκες οι οποίες διευκολύνουν την διαδικασία προγραμματισμού. Το πρόγραμμα που γράφεται στο Arduino IDE ονομάζεται sketch και έχει την κατάληξη .ino ενώ αποτελείται από 2 βασικές συναρτήσεις την void setup {} και void loop

{}. Η πρώτη εκ των δύο καλείται για μία φορά όπου μεταξύ άλλων ορίζεται ο ρυθμός επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή (baudrate , στην περίπτωση μας 115200 bits per second – bps) ενώ η δεύτερη συνάρτηση αποτελεί το κύριο μέρος κώδικα η οποία θα καλείται συνεχώς ενόσω τροφοδοτείται η πλακέτα ανάπτυξης [116]. Κατόπιν παρουσιάζεται ένα sketch του Arduino IDE όπου διακρίνονται τα βασικά μέρη του λογισμικού.



Σχήμα 74: Το Arduino IDE [116]

## 6.2 Προγραμματισμός Αισθητήρων

Αφού έγινε η προμήθεια όλων των προαναφερθέντων αισθητήρων και υλικών της διάταξης ξεκίνησε ο σχεδιασμός της κατασκευής και η διασύνδεση αισθητήρων με τον μικροελεγκτή ESP32-S. Αρχικά, για τον κάθε αισθητήρα έγινε μεμονωμένος έλεγχος της λειτουργίας του αφού συνδεσμολογήθηκε σε πλακέτα δοκιμών (breadboard) και στη συνέχεια προγραμματίστηκε κατάλληλα με χρήση του λογισμικού Arduino IDE . Ακολούθως, παρουσιάζονται αναλυτικά ο προγραμματισμός αλλά και η συνδεσμολογία των αισθητήρων DHT11, BH1750, ICM20649, UV Sensor (B) (Si1145) και IR TSOP38238 μαζί με το κύκλωμα επιλογής χειροκίνητης λειτουργίας μέσω ενός SPDT switch.

### 6.2.1 DHT11

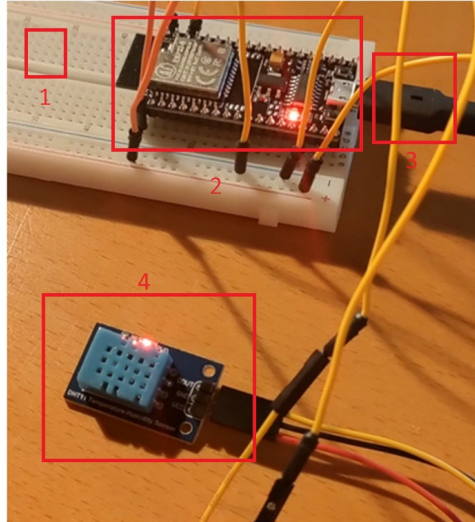
Στη συνέχεια παρουσιάζεται και επεξηγείται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό και έλεγχο του αισθητήρα θερμοκρασίας – υγρασίας **DHT11**. Αρχικά καλείται η βιβλιοθήκη DHT.h η οποία περιέχει τις εντολές που θα χρησιμοποιηθούν για τη λήψη των τιμών του αισθητήρα. Στη συνέχεια ορίζεται η έξοδος του αισθητήρα στο ψηφιακό

pin 14 ως σταθερά ακέραια μεταβλητή (const int) υπό το όνομα dht11\_pin ενώ στη 3<sup>η</sup> γραμμή ενσωματώνεται στην κλάση DHT η οποία θα καλείται με την χρήση του όρου dht11. Ακόμη, ορίζονται σαν μεταβλητές κινητής υποδιαστολής (float) οι temperature1, humidity1 όπου θα αποθηκεύονται οι μετρήσεις του αισθητήρα. Στη συνάρτηση void setup() η οποία καλείται για μία φορά ορίζεται ως ο ρυθμός επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή τα 115200bps ενώ παράλληλα αρχικοποιείται ο αισθητήρας DHT11. Στη συνάρτηση void loop() η οποία καλείται συνεχώς και συγκεκριμένα στις γραμμές 15-16 ξεκινά η αποθήκευση των τιμών θερμοκρασίας – υγρασίας στις αντίστοιχες μεταβλητές οι οποίες στη συνέχεια τυπώνονται μέσω της εντολής Serial.println() στο Serial Monitor κάθε 1s (delay (1000);).

```
dht11.ino
1  #include <DHT.h> // Required for DHT11
2  const int dht11_pin = 14; // Data pin for DHT11 temperature and humidity sensor 1
3  DHT dht11(dht11_pin, DHT11); // DHT11 temperature and humidity sensor 1
4  float temperature1; // Temperature from DHT11 temperature and humidity sensor 1
5  float humidity1; // Humidity from DHT11 temperature and humidity sensor 1
6
7  void setup() {
8  | // put your setup code here, to run once:
9  Serial.begin(115200); // start the communication with 115200 baudrate
10 dht11.begin(); // initialization of dht11 sensor
11 }
12
13 void loop() {
14 | // put your main code here, to run repeatedly:
15 temperature1 = dht11.readTemperature(); // start to read temperature
16 humidity1 = dht11.readHumidity(); // start to read humidity
17
18 Serial.println(temperature1); // printing of temp values
19 Serial.println(humidity1); // printing of hum values
20
21 delay(1000);
22 }
```

*Σχήμα 75: Κώδικας προγραμματισμού αισθητήρα DHT11*

Στην πιο κάτω εικόνα (Σχήμα 75) διακρίνεται η συνδεσμολογία που έγινε για τον προγραμματισμό και έλεγχο του DHT11. Παρατηρείται η πλακέτα δοκιμών breadboard (1) όπου τοποθετήθηκε η πλακέτα ανάπτυξης NodeMCU-ESP32s (2) η οποία τροφοδοτείται και επικοινωνεί με το Arduino IDE μέσω καλωδίου τύπου micro-usb (3). Ο αισθητήρας DHT11 (4) συνδέεται στην τροφοδοσία (κόκκινο καλώδιο – 3.3V) και στο GND (μαύρο καλώδιο – 0V) ενώ διαβάζονται τα δεδομένα μέσω του κίτρινου καλωδίου (OUT) το οποίο συνδέεται στο pin14 της πλακέτας.



Σχήμα 76: Συνδεσμολογία αισθητήρα DHT11 – ESP32s σε breadboard

## 6.2.2 BH1750, ICM20649

Ακολούθως έγινε ο έλεγχος και προγραμματισμός των 2 αισθητήρων έντασης φωτισμού **BH1750** καθώς και του επιταχυνσιόμετρου – γυροσκοπίου **ICM20649**. Οι 3 αυτοί αισθητήρες επικοινωνούν μέσω του πρωτοκόλλου I2C. Για να γίνει η εφικτή η επιτυχής επικοινωνία ήταν αναγκαία συνθήκη και οι 3 να έχουν διαφορετική ατομική διεύθυνση. Ως εκ τούτου ο ένας εκ των δύο BH1750 τροφοδοτήθηκε με τάση 3.3V DC ούτως ώστε να αλλάξει η ατομική του διεύθυνση από τη προκαθορισμένη (0x23) στην 0x5C. Επομένως ο δεύτερος BH1750 αισθητήρας έχει ατομική διεύθυνση την 0x23 ενώ ο ICM20649 έχει ατομική διεύθυνση 0x68. Ο αισθητήρας ICM20649 όπως εξηγήθηκε δίνει στην έξοδό του τιμές επιτάχυνσης και γωνιακής ταχύτητας κατά μήκος και γύρω από κάθε άξονα αντίστοιχα. Ως εκ τούτου με χρήση του πιο κάτω τύπου (6.1) έγινε εφικτή η μέτρηση της κλίσης του σκιάστρου [117].

$$Roll = \hat{\varphi} = \left( \arctan \frac{\bar{a}_y}{\bar{a}_z} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (6.1)$$

όπου **Roll** η  $\hat{\varphi}$  η γωνία γύρω από τον άξονα  $xx'$  σε μοίρες, και  $\bar{a}_y$ ,  $\bar{a}_z$  οι επιταχύνσεις κατά μήκος των αξόνων  $yy'$  και  $zz'$  αντίστοιχα.

Κατόπιν, φαίνεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τον έλεγχο και τον προγραμματισμό των 3 αυτών αισθητήρων αλλά και η συνδεσμολογία που έγινε στην breadboard. Σχετικά με τον κώδικα (Σχήματα 77-79) αρχικά παρατηρείται ο ορισμός των βιβλιοθηκών, η ονομασία και ο ορισμός των pins για κάθε μεταβλητή, η διευθυνσιοδότηση

και ορισμός των BH1750 και ICM20649 και ο ορισμός των μεταβλητών έντασης φωτισμού, επιτάχυνσης και γωνιακής ταχύτητας σε κάθε άξονα. Στο σχήμα 78 παρουσιάζεται η συνάρτηση setup() όπου μεταξύ άλλων αρχικοποιείται η σειριακή επικοινωνία, ο δίαυλος I2C, γίνεται ορισμός του εύρους μετρήσεως του ICM20649 και ξεκινά η μέτρηση των BH1750. Στη συνέχεια παρατηρείται η συνάρτηση loop() όπου καλούνται ξεχωριστά οι συναρτήσεις readSensors(), updateICMVars() και κατόπιν τυπώνονται στο Serial Monitor οι μετρήσεις. Στο σχήμα 80 παρατηρούνται οι συναρτήσεις getAngle() και readSensors() ως προς το περιεχόμενό τους μεταξύ των οποίων φαίνεται και ο υπολογισμός της κλίσης του σκιάστρου μέσω της εξίσωσης που αναφέρθηκε νωρίτερα (6.1). Σχετικά με τη συνδεσμολογία (Σχήμα 81) στα πλαίσια 1 και 2 παρατηρούνται οι αισθητήρες BH1750 ενώ στο πλαίσιο 3 το επιταχυνσιόμετρο-γυροσκόπιο ICM20649. Κεντρικά βρίσκεται η NodeMCU-32s (4).

```

1  #include <Wire.h> // Required for the communication of the MCU with I2C devices
2  #include <Adafruit_Sensor.h> // Required for ICM20649
3  #include <Adafruit_ICM20649.h>
4  #include <BH1750.h> // Required for BH1750 light sensors
5
6  // Pin definitions
7  const int bh1750_sda_pin = 21; // SDA pin for BH1750 light sensor 1
8  const int bh1750_scl_pin = 22; // SCL pin for BH1750 light sensor 1
9  const int bh1750_2_sda_pin = 21; // SDA pin for BH1750 light sensor 2
10 const int bh1750_2_scl_pin = 22; // SCL pin for BH1750 light sensor 2
11 const int icm20649_sda_pin = 21; //sda pin for ICM20649
12 const int icm20649_scl_pin = 22; //scl pin for icm
13 // Object definitions
14 BH1750 lightSensor1(0x23); // BH1750 light sensor 1 addressed to 0x23
15 BH1750 lightSensor2(0x5C); // BH1750 light sensor 2 addressed to 0x5C (ADD pin to +3.3V)
16 Adafruit_ICM20649 icm; // ICM20649 gyroscope and accelerometer (address 0x68)
17 // Global variables for easier interfacing
18 int lightIntensity1; // Light intensity from BH1750 light sensor 1
19 int lightIntensity2; // Light intensity from BH1750 light sensor 2
20 // icm vars
21 sensors_event_t accel;
22 sensors_event_t gyro;
23 sensors_event_t temp;
24 int x, y, z;
25 double y_buff, z_buff, y_angle;

```

Σχήμα 77: Προγραμματισμός BH1750, ICM20649 (1)

```

27 void setup() {
28   // put your setup code here, to run once:
29   Serial.begin(115200); // start the communication with 115200 baudrate
30   Wire.begin(21, 22); // I2C Bus for IMU unit, 2bh1750 sensors and for UV sensor
31   // Initialize ICM20649
32   bool icmInitSuccess = icm.begin_I2C(0x68);
33   while (!icmInitSuccess) {
34     Serial.println("Failed to find ICM20649 chip");
35     delay(10);
36     icmInitSuccess = icm.begin_I2C(0x68);
37   }
38   // icm initializations
39   icm.setAccelRange(ICM20649_ACCEL_RANGE_4_G); //accelerometer range to 4g
40   icm.setGyroRange(ICM20649_GYRO_RANGE_500_DPS); //gyroscope range to 500dps
41   uint16_t accel_divisor = icm.getAccelRateDivisor();
42   float accel_rate = 1125 / (1.0 + accel_divisor);
43   uint8_t gyro_divisor = icm.getGyroRateDivisor();
44   float gyro_rate = 1100 / (1.0 + gyro_divisor);
45
46   // Initialize BH1750 Sensors
47   lightSensor1.begin(BH1750::CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE,0x23,&Wire); // Command so the light sensor begins to read data
48   lightSensor2.begin(BH1750::CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE,0x5C,&Wire);
49 }

```

Σχήμα 78: Προγραμματισμός BH1750, ICM20649 (2)

```

50 void loop() {
51     // put your main code here, to run repeatedly:
52     readSensors();
53     updateICMVars();
54     Serial.println(accelAvg);
55     Serial.println(lightIntensity1);
56     Serial.println(lightIntensity2);
57     Serial.println(previous_angle);
58 }
59 // update the accel, gyro, temp vars of icm as well as the x, y, z from accel
60 void updateICMVars() {
61     icm.getEvent(&accel, &gyro, &temp);
62     x = accel.acceleration.x;
63     y = accel.acceleration.y;
64     z = accel.acceleration.z;
65     int accelAvg = (x + y + z) / 3; //calc avg acceleration
66 }

```

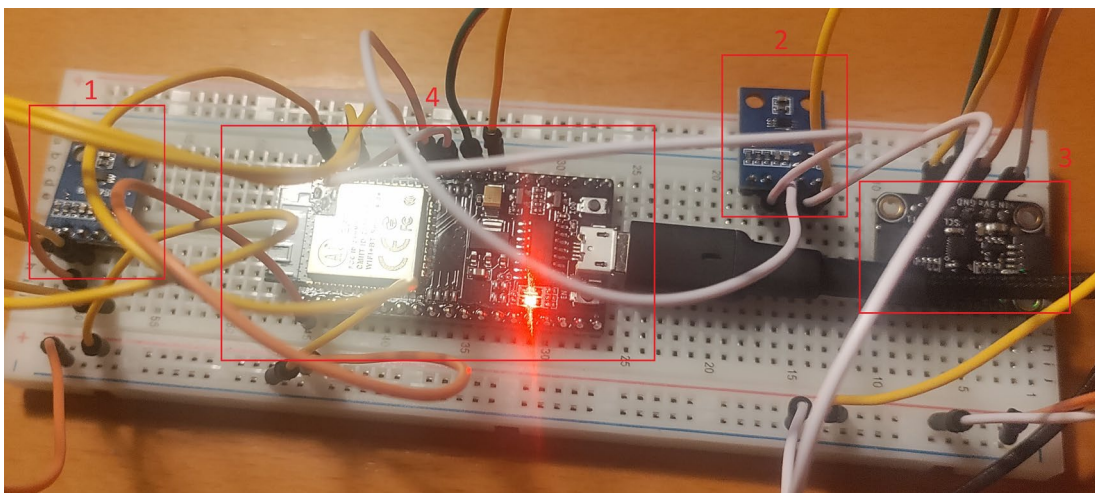
Σχήμα 79: Προγραμματισμός BH1750, ICM20649 (3)

```

67 // get the angle
68 float getAngle() {
69     float angle = 0;
70
71     updateICMVars();
72
73     y_buff = float(y); //acceleration of y
74     z_buff = float(z); // acceleration of z
75
76     y_angle = ((atan2(y_buff , z_buff)) * (180 / PI)); // equation to calculate roll angle
77 //y_angle ==> (movement to yy axis)
78     angle = y_angle * (-1);
79
80     return angle;
81 }
82 void readSensors(){
83     // read light intensities
84     lightIntensity1 = lightSensor1.readLightLevel();
85     lightIntensity2 = lightSensor2.readLightLevel();
86
87     // get previous angle
88     previous_angle = getAngle();
89
90 }

```

Σχήμα 80: Προγραμματισμός BH1750, ICM20649 (4)



Σχήμα 81: Συνδεσμολογία BH1750 (1,2), ICM20649 (3) και NodeMCU-32s (4)

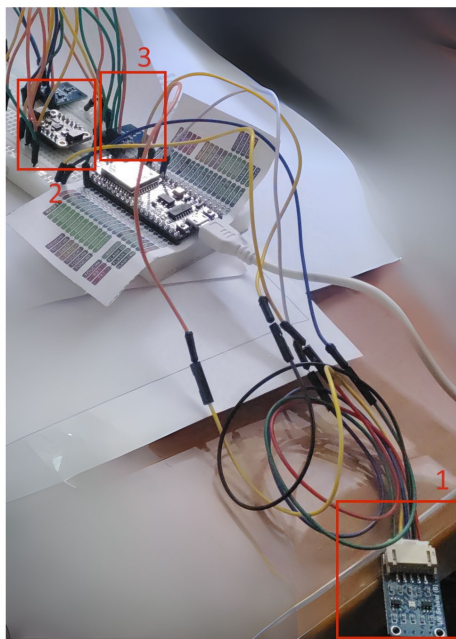


## 6.2.3 UV Sensor (B) (Si1145)

Ο έλεγχος λειτουργίας και ο προγραμματισμός του αισθητήρα ένδειξης του δείκτη υπέρυθρης ακτινοβολίας UV Index παρουσιάζεται κατόπιν. Όπως παρατηρείται προστέθηκε η βιβλιοθήκη `Adafruit_Si1145.h` η οποία περιέχει τις εντολές που θα χρησιμοποιήσουμε στην συνέχεια. Σαν global μεταβλητές ορίζονται τα `uv_sda_pin` και `uv_scl_pin` στις θύρες 21 και 22 που αποτελούν τον δίαυλο επικοινωνίας I2C της κατασκευής. Επειδή έχουμε ακόμη 3 αισθητήρες που επικοινωνούν με το ίδιο πρωτόκολλο είναι αναγκαίο ο αισθητήρας UV να έχει διαφορετική ατομική διεύθυνση από τους άλλους τρεις που όπως φαίνεται στην 4<sup>η</sup> γραμμή έχει την ατομική διεύθυνση 0x60. Στη συνάρτηση `setup()` ξεκινά η σειριακή επικοινωνία για το serial monitor και η επικοινωνία με τη συσκευή μέσω του πρωτοκόλλου I2C (`Wire.begin`) η οποία και ελέγχεται στις γραμμές 11-16. Στο `loop()` καλείται μια συνάρτηση η `notifyUVindex` η οποία ξεκινάει το διάβασμα των τιμών του αισθητήρα οι οποίες πρέπει να διαιρεθούν /100 ούτως ώστε να λαμβάνονται σωστά σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή [118]. Η συνάρτηση ελέγχει κατόπιν σε πιο όριο βρίσκεται η ένδειξη UV και ειδοποιεί αναλόγως στο serial monitor τον χρήστη αν η ένδειξη είναι Low, Moderate, High, Very High ή Extreme σύμφωνα με τα όρια που θέτει ο ΠΟΥ [102]. Στη συνέχεια παρουσιάζεται στο Σχήμα 83 η καλωδίωση του αισθητήρα UV (1) μαζί με τους αισθητήρες επιτάχυνσης (2) και φωτός (3).

```
1 #include "Adafruit_Si1145.h"
2 const int uv_sda_pin = 21; // SDA pin for UV sensor
3 const int uv_scl_pin = 22; // SCL pin for UV sensor
4 Adafruit_Si1145 uv = Adafruit_Si1145(); // UV sensor as uv (address 0x60)
5 // uv vars
6 int UVindex; // UV index from Si1145 UV sensor (UV SENSOR B)
7 void setup() {
8     Serial.begin(115200); // start the communication with 115200 baudrate
9     Wire.begin(21, 22); // I2C Bus for IMU unit, 2bh1750 sensors and for UV sensor
10 // Initialization of UV sensor - retry in case of failure @FIXED
11 bool uvInitSuccess = uv.begin();
12 while (!uvInitSuccess) {
13     Serial.println("Failed to initialize Si1145! Retrying...");
14     delay(1000);
15     uvInitSuccess = uv.begin();
16 }
17 void loop() {
18     notifyUVindex();
19 void notifyUVindex() {
20     UVindex = uv.readUV(); // read uv sensor
21     UVindex /= 100.0; // divide uv index with 100
22     // depending on the uv index limits print the respective result according to WHO instructions
23     // https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-ultraviolet-(uv)-index
24     if (UVindex >= 0 && UVindex < 3.0) Serial.println("Low");
25     else if (UVindex >= 3.0 && UVindex < 6) Serial.println("Moderate");
26     else if (UVindex >= 6.0 && UVindex < 8) Serial.println("High");
27     else if (UVindex >= 8.0 && UVindex < 11) Serial.println("Very High");
28     else Serial.println("Extreme");
}
```

Σχήμα 82: Κώδικας προγραμματισμού αισθητήρα UV



Σχήμα 83: Καλωδίωση αισθητήρα UV, φωτός και επιτάχυνσης σε breadboard

## 6.2.4 TSOP38238 IR

Για να υπάρχει η επιλογή διακοπής της αυτοματοποιημένης λειτουργίας του σκιάστρου και να γίνεται χειροκίνητος χειρισμός του από τον χρήστη ήταν αναγκαία η χρησιμοποίηση ενός αισθητήρα υπερύθρων σε συνδυασμό με ένα τυπικό τηλεχειριστήριο υπερύθρων μαζί με ένα διακόπτη ο οποίος αφού ενεργοποιηθεί τότε το σύστημα μεταβαίνει σε χειροκίνητη λειτουργία και ελέγχεται μόνο από το τηλεχειριστήριο έως ότου ο χρήστης να γυρίσει τον διακόπτη ξανά στην αυτοματοποιημένη λειτουργία. Ο κώδικας που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο αυτής της λειτουργίας φαίνεται κατόπιν. Αρχικά, στο Σχήμα 84 παρουσιάζεται ο κώδικας που αναπτύχθηκε και ένα τυπικό τηλεχειριστήριο υπερύθρων που χρησιμοποιήθηκε. Ο συγκεκριμένος κώδικας εξυπηρετεί στην αποκωδικοποίηση του τηλεχειριστηρίου με απώτερο σκοπό να τοποθετηθούν οι συγκεκριμένοι κωδικοί για αναγνώριση στη τελική μορφή του. Οι κωδικοί τυπώνονται στο serial monitor σε δεκαεξαδική μορφή όπως παρουσιάζεται στην 16<sup>η</sup> γραμμή και σημειώνεται ότι χρησιμοποιήθηκαν τα κουμπιά ελέγχου έντασης φωνής ενός τυπικού τηλεχειριστηρίου όπου διακρίνονται τα βελάκια πάνω κάτω για εύκολη συσχέτιση με το άνοιγμα και κλείσιμο του σκιάστρου. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η καλωδίωση σε breadboard του IR αισθητήρα (1), της πλακέτας ανάπτυξης (2) αλλά και του διακόπτη τύπου SPDT (3) συνδεδεμένου με μια αντίσταση 10kΩ (4) για προστασία της πλακέτας.

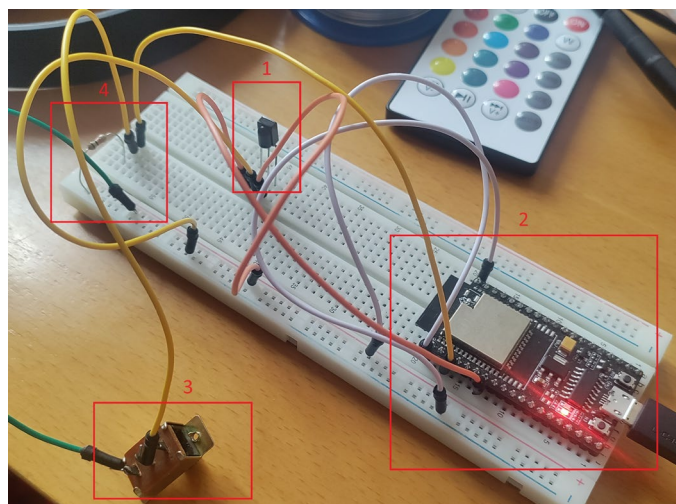
```

IR_decode.ino
1  #include <IRremoteESP8266.h> //libraries for IR receiver
2  #include <IRrecv.h>
3
4
5  IRrecv irrecv(32); //object definition
6  decode_results results; //for storing the code of the IR remote
7
8  void setup() {
9      irrecv.enableIRIn(); // enabling the object irrecv
10     Serial.begin(115200);
11 }
12
13 void loop() {
14     if (irrecv.decode(&results)) //returns true when receives a code
15     {
16         Serial.println(results.value, HEX); // value in Hexadecimal
17         delay(1000); //for easier reading of the codes
18         irrecv.resume(); // reabling the object irrecv so can read the next code
19     }
20 }

```



Σχήμα 84: Κώδικας αποκωδικοποίησης IR και το τηλεχειριστήριο

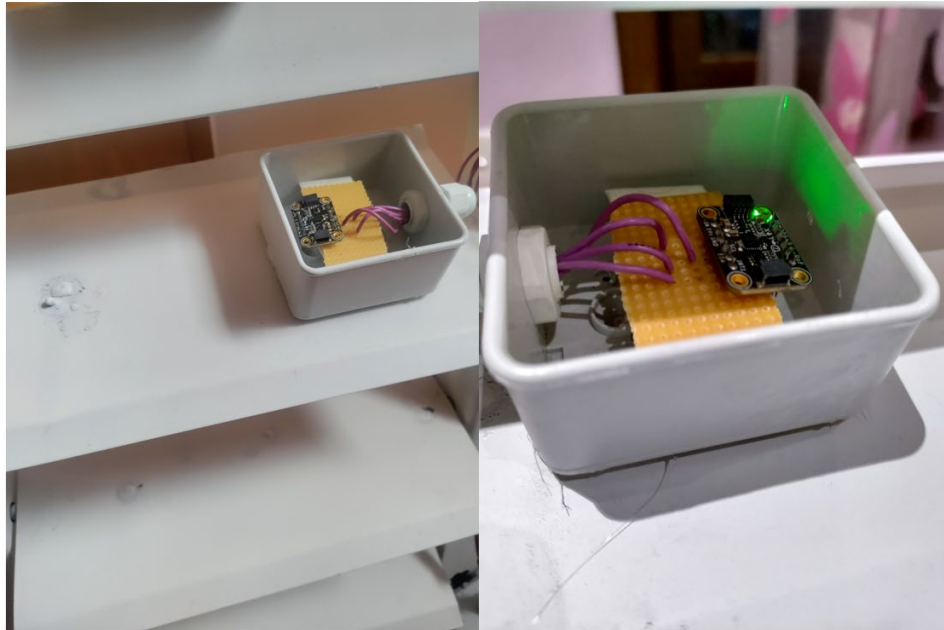


Σχήμα 85: Συνδεσμολογία κυκλώματος SPDT switch, IR και 10kΩ αντίστασης στην NodeMCU-32s

### 6.3 Τοποθέτηση και Συνδεσμολογία Αισθητήρων

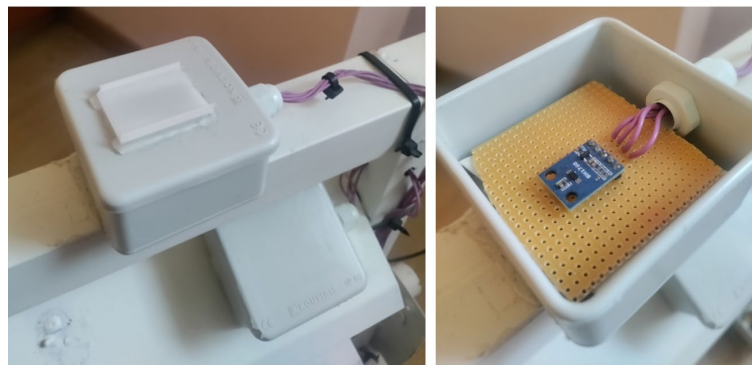
Όπως έχει αναφερθεί νωρίτερα για την προσομοίωση ενός σκιάστρου έγινε μια μικρή μεταλλική κατασκευή σκιάστρου με περσίδες στην οποία τοποθετήθηκε το μοτέρ και οι διάφοροι αισθητήρες οι οποίοι κολλήθηκαν με κολλητήρι και καλά πάνω σε διάτρητες πλακέτες μετά από μελέτη και καλωδιώθηκαν κατάλληλα ούτως ώστε να μην επηρεάζεται η κίνηση του σκιάστρου. Συγκεκριμένα επάνω σε ένα φύλο περσίδας τοποθετήθηκε το επιταχυνσιόμετρο - γυροσκόπιο **ICM20649** ούτως ώστε να μπορεί να μετράει συνεχώς την

κλίση του σκιάστρου αλλά και να μπορεί να εντοπίσει μια απότομη διαταραχή στις περιόδους (Σχήμα 86).

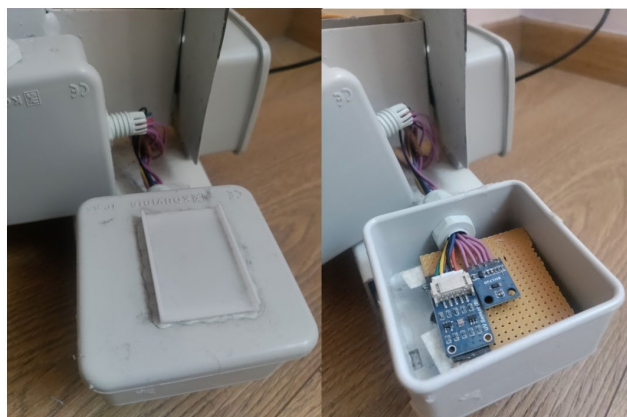


Σχήμα 86: Ο αισθητήρας ICM20649 τοποθετημένος σε περιόδα στην κατασκευή

Οι δύο αισθητήρες φωτός **BH1750** τοποθετήθηκαν στο πάνω και κάτω μέρος της κατασκευής αντίστοιχα ώστε να είναι εφικτή η μέτρηση της διαφοράς έντασης φωτισμού μεταξύ τους και να κινείται το σκιάστρο ανάλογα. Για πρακτικούς λόγους στο κουτί προστασίας του κάτω αισθητήρα φωτός τοποθετήθηκε και ο αισθητήρας υπεριώδους ακτινοβολίας **UV Sensor (B)** (Σχήμα 88). Σημειώνεται ότι για να μπορούν οι τρεις αυτοί αισθητήρες να φωτίζονται ενώ παράλληλα να είναι προστατευμένοι από την υγρασία έγινε μια μετατροπή του κουτιού προστασίας τους όπως φαίνεται πιο κάτω (Σχήματα 87, 88) όπου τοποθετήθηκε ένα γαλακτώδες πολυκαρπονικό.

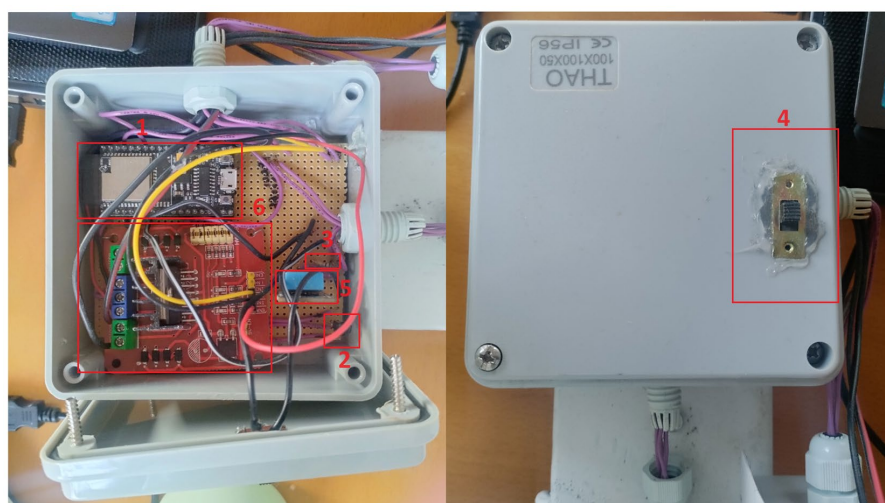


Σχήμα 87: Ο αισθητήρας BH1750 στο πάνω μέρος της κατασκευής

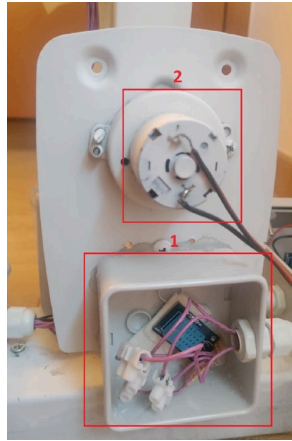


Σχήμα 88: Οι αισθητήρες UV και BH1750 σε κοινό κουτί προστασίας στο κάτω μέρος

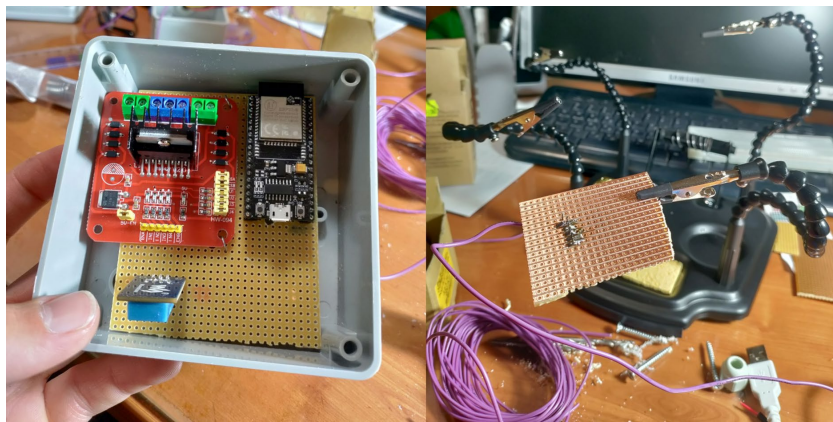
Σε κοινό κουτί προστασίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 89 τοποθετήθηκαν επίσης η πλακέτα ανάπτυξης **NodeMCU -ESP32s** (1), ο αισθητήρας υπεριώθρων **TSOP38238** (2) μαζί με την αντίσταση προστασίας **10kΩ** (3) και τον διακόπτη **SPDT** (4), ένας εκ των δύο αισθητήρων θερμοκρασίας – υγρασίας **DHT11** (5) και η πλακέτα γέφυρας οδήγησης κινητήρα **L298N** (6). Όπως και πριν έτσι και σε αυτό το κουτί προστασίας έγινε κατάλληλη τροποποίηση ώστε να τοποθετηθεί ο διακόπτης στο εξωτερικό του μέρος για να μπορεί ο χρήστης να επιλέγει μεταξύ αυτόματης ή χειροκίνητης λειτουργίας. Στο σχήμα 90 παρατηρείται ο δεύτερος αισθητήρας **DHT11** (1) που τοποθετήθηκε σε ξεχωριστό προστατευτικό κουτί για πρακτικούς λόγους αλλά και ο **κινητήρας συνεχούς ρεύματος** (2). Στο Σχήμα 91 παρουσιάζονται στάδια της κατασκευής όπως συγκόλληση με καλάνι ενός αισθητήρα σε διάτρητη πλακέτα και η διάταξη αισθητήρων σε κουτί προστασίας. Τέλος, στο Σχήμα 92 παρουσιάζεται ολοκληρωμένη η κατασκευή.



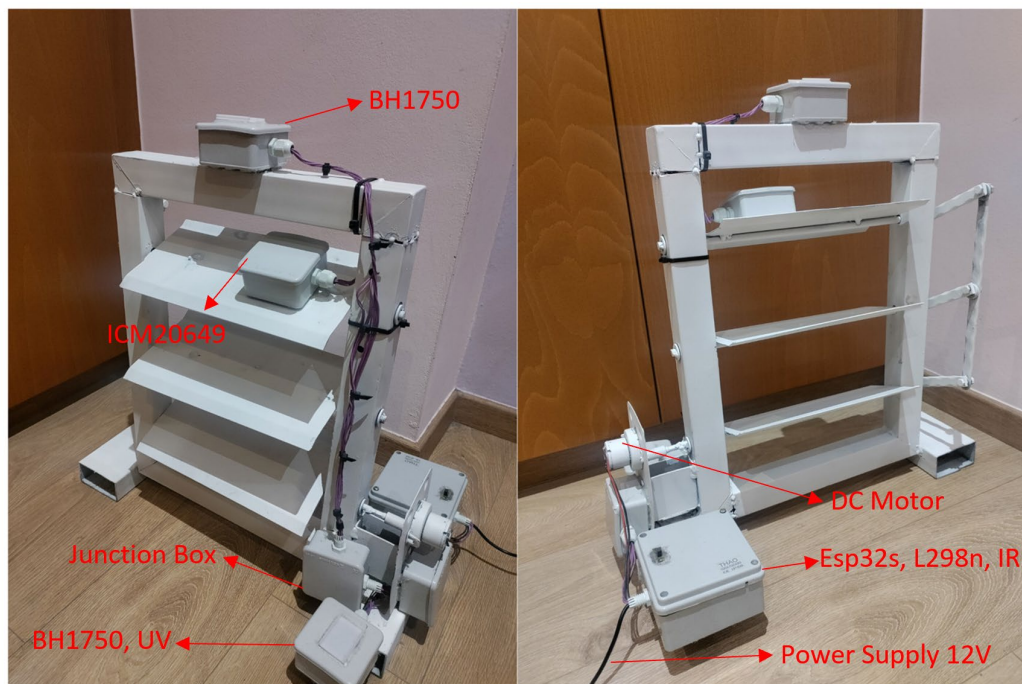
Σχήμα 89: NodeMCU - ESP32s, L298N, DHT11, TSOP38238 και αντίσταση 10kΩ



Σχήμα 90: Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος και ο αισθητήρας DHT11



Σχήμα 91: Τοποθέτηση αισθητήρων σε κουτί προστασίας και συγκόλληση σε διάτρητη πλακέτα



Σχήμα 92: Η κατασκευή προσομοίωσης έξυπνου σκιάστρου

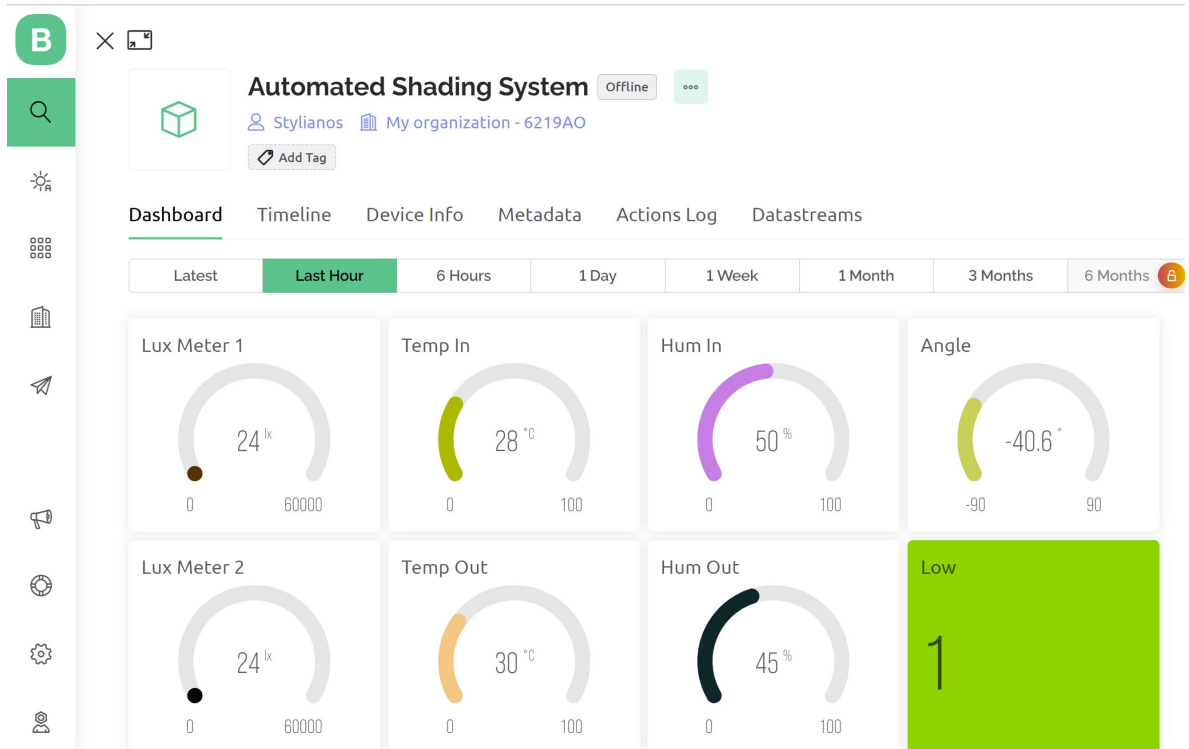
## 6.4 Υλοποίηση Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήστη (GUI)

Για να γίνει εφικτή η μετάδοση των μετρήσεων των αισθητήρων μέσω cloud και να μπορεί ο χρήστης να τα επιτηρεί απομακρυσμένα χρησιμοποιήθηκε η διαδικτυακή πλατφόρμα Blynk. Η πλατφόρμα Blynk είναι μια IoT πλατφόρμα συμβατή με iOS και Android για κινητά τηλέφωνα αλλά και με λειτουργικά συστήματα όπως Windows και MacOS η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο και την επιτήρηση πλακετών ανάπτυξης όπως Arduino, ESP32, Raspberry Pi κ.α μέσω του διαδικτύου. Ο χρήστης με απλή διαδικασία drag and drop μπορεί να δημιουργήσει το γραφικό περιβάλλον που επιθυμεί χρησιμοποιώντας την ευρεία γκάμα προκατασκευασμένων Widget χωρίς να είναι απαραίτητη η ανάπτυξη κώδικα για την δημιουργία ενός Γραφικού Περιβάλλοντος (GUI).

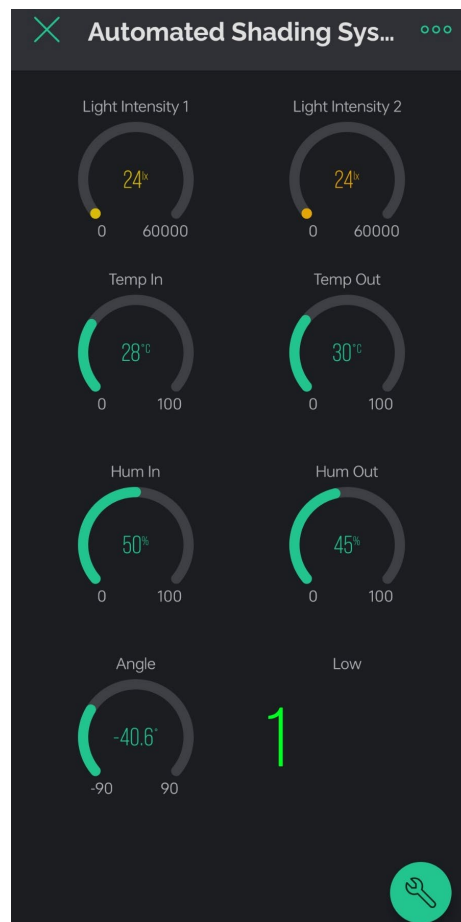
Από πλευράς προγραμματισμού της πλακέτας ανάπτυξης είναι αναγκαία η χρήση της βιβλιοθήκης BlynkSimpleEsp32.h αλλά και η προμήθεια μέσω της πλατφόρμας των εξής: Template ID, Device Name και Auth Token τα οποία ταυτοποιούν την πλακέτα ανάπτυξης που θα χρησιμοποιηθεί και τα οποία πρέπει να βρίσκονται στις πρώτες γραμμές του κώδικα. Μετέπειτα, το κάθε Widget ορίζεται σαν εικονικό pin (Virtual Pin) παίρνοντας ένα νούμερο μέσω του παραθύρου Datastreams στην πλατφόρμα Blynk. Ακόμη, στο παράθυρο Datastreams διαμορφώνεται το είδος του κάθε Widget πχ για το Widget που θα δείχνει θερμοκρασία ορίστηκαν ως μονάδες μέτρησης οι °C και εύρος θερμοκρασιών 0 – 100 °C. Έτσι, για να στείλουμε τις μετρήσεις στο Blynk χρησιμοποιούμε την εντολή Blynk.virtualWrite() βάζοντας το pin που ορίσαμε για την εκάστοτε μέτρηση.

Πιο κάτω παρουσιάζεται το dashboard δηλαδή το Γραφικό Περιβάλλον Χρήστη που δημιουργήθηκε τόσο για Android όσο και για Windows στα πλαίσια της διπλωματικής όπου διακρίνονται οι μετρήσεις των 2 θερμοκρασιών – υγρασιών, η κλίση του σκιάστρου, ο δείκτης UV αλλά και η προειδοποίηση αναλόγως ορίου UV (από Low μέχρι Extreme) και τέλος οι 2 μετρήσεις έντασης φωτισμού σε lux.

Στη συνέχεια (Σχήμα 95) παρουσιάζεται μέρος του κώδικα που αναπτύχθηκε σχετικά με το Blynk όπου διακρίνονται τα: Template ID, Device Name και Auth Token που πρέπει να ταυτοποιηθούν αλλά και η σύνδεση στο Wi-Fi μέσω των ssid και pass τα οποία χρησιμοποιούνται με την εντολή Blynk.begin(auth,ssid,pass). Στο Σχήμα 96 μέσω της συνάρτησης sendBlynk() αποστέλλονται οι μετρήσεις των αισθητήρων στην πλατφόρμα.



Σχήμα 93: GUI κατασκευής μέσω Windows



Σχήμα 94: GUI σε Android



```

1  #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL59GLWfb5"
2  #define BLYNK_DEVICE_NAME "Automated Shading System"
3  #define BLYNK_AUTH_TOKEN "xQBxm1rn_uXSL8dDm9gQhfk3uMHQ2ivz"
4
5  #include <BlynkSimpleEsp32.h> // Required for Blynk
6  #include <WiFi.h>
7
8  // Blynk app auth token and WiFi credentials
9  char auth[] = "xQBxm1rn_uXSL8dDm9gQhfk3uMHQ2ivz"; // Auth Token from the Blynk App
10 char ssid[] = "AndroidAP65AC"; // WiFi credentials
11 char pass[] = "rnsd1342";
12
13 void setup() {
14 // Initialize Blynk app
15 Blynk.begin(auth, ssid, pass); //auth,ssid and pass of blynk were given earlier
16 }

```

Σχήμα 95: Ταυτοποίηση Blynk και σύνδεση στο Wi-Fi

```

330 void sendBlynk(){
331     Blynk.virtualWrite(V1, lightIntensity1);
332     Blynk.virtualWrite(V2, lightIntensity2);
333     Blynk.virtualWrite(V3, temperature1);
334     Blynk.virtualWrite(V4, humidity1);
335     Blynk.virtualWrite(V5, temperature2);
336     Blynk.virtualWrite(V6, humidity2);
337     Blynk.virtualWrite(V7, UVindex);
338     Blynk.virtualWrite(V8, UVindex);
339     Blynk.virtualWrite(V12, shadeIsClosed);
340     Blynk.virtualWrite(V14, previous_angle);
341 }

```

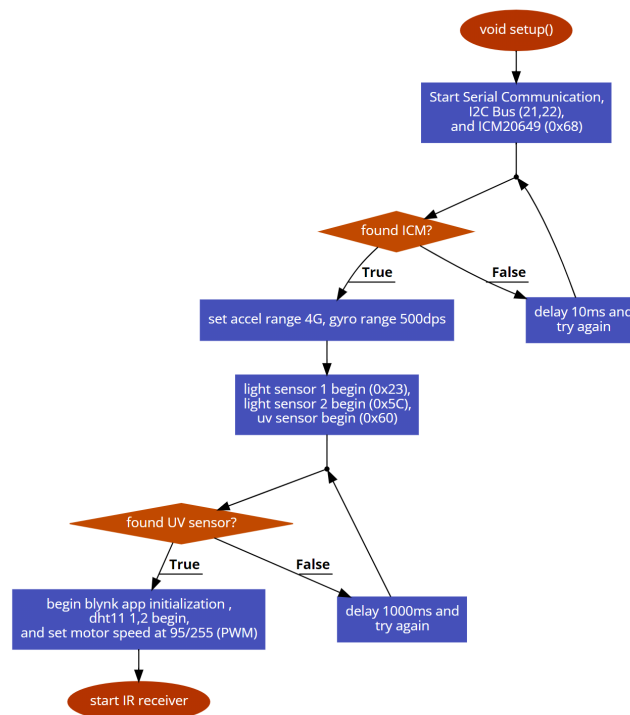
Σχήμα 96: Η συνάρτηση sendBlynk() η οποία στέλνει στο Blynk τις μετρήσεις των αισθητήρων

## 6.5 Διάγραμμα Ροής Κώδικα που Αναπτύχθηκε

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του κώδικα που αναπτύχθηκε ούτως ώστε να είναι πιο ευνόητος και να επεξηγηθεί πιο απλά η λειτουργικότητά του. Το διάγραμμα ροής χωρίστηκε σε μέρη ξεκινώντας με τη συνάρτηση void setup() η οποία καλείται για μια φορά, συνεχίζοντας με τη void loop() η οποία καλείται επ' αόριστο ενόσω η ESP32s είναι σε λειτουργία και τέλος παρουσιάζονται ξεχωριστά οι global συναρτήσεις με την βοήθεια των οποίων επιτεύχθηκαν οι απαραίτητες διαδικασίες για τη λειτουργία του σκιάστρου.

Αρχικά, στο Σχήμα 97 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του κώδικα της συνάρτησης void setup(). Όπως φαίνεται αρχικά ξεκινά η σειριακή επικοινωνία (με baudrate 115200bps), η επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου I2C (pins 21, 22) και η λειτουργία του ICM20649 με ατομική διεύθυνση 0x68. Για το ICM20649 όπως παρατηρείται γίνεται έλεγχος εάν υπάρχει

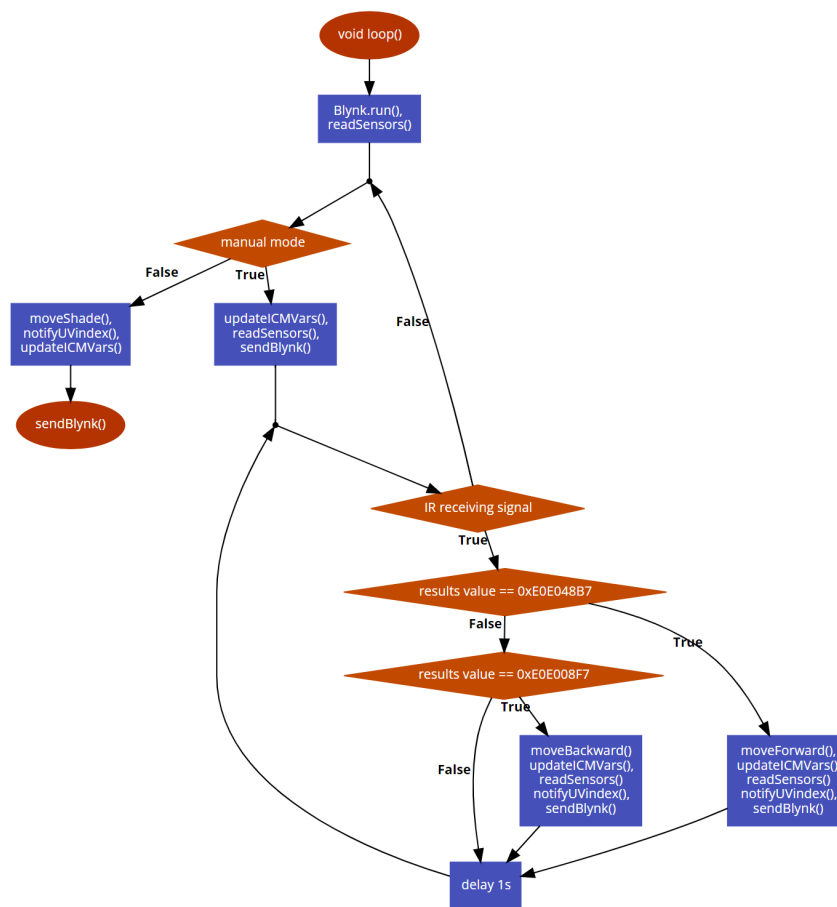
επικοινωνία μεταξύ του αισθητήρα και του μικροελεγκτή. Ο έλεγχος επαναλαμβάνεται κάθε 10ms έως ότου επιτευχθεί επικοινωνία όπου καθορίζονται τα εύρη λειτουργίας του επιταχυνσιόμετρου σε 4G και του γυροσκοπίου σε 500dps τα οποία για την εφαρμογή μας είναι αρκετά. Κατόπιν, αρχικοποιούνται οι 2 αισθητήρες φωτός με ατομικές διευθύνσεις 0x23 και 0x5C αντίστοιχα καθώς και ο αισθητήρας UV με διεύθυνση 0x60. Όπως και με το ICM20649 έτσι και στην περίπτωση του UV αισθητήρα γίνεται έλεγχος επικοινωνίας. Ο έλεγχος επαναλαμβάνεται κάθε 1s και μόλις επιτευχθεί αρχικοποιείται η εφαρμογή Blynk και οι δύο αισθητήρες θερμοκρασίας – υγρασίας DHT11 ενώ καθορίζεται η ταχύτητα περιστροφής του DC κινητήρα στα 95/255 (PWM). Τέλος, ξεκινάει η λειτουργία του αισθητήρα υπερύθρων.



Σχήμα 97: Διάγραμμα ροής void setup()

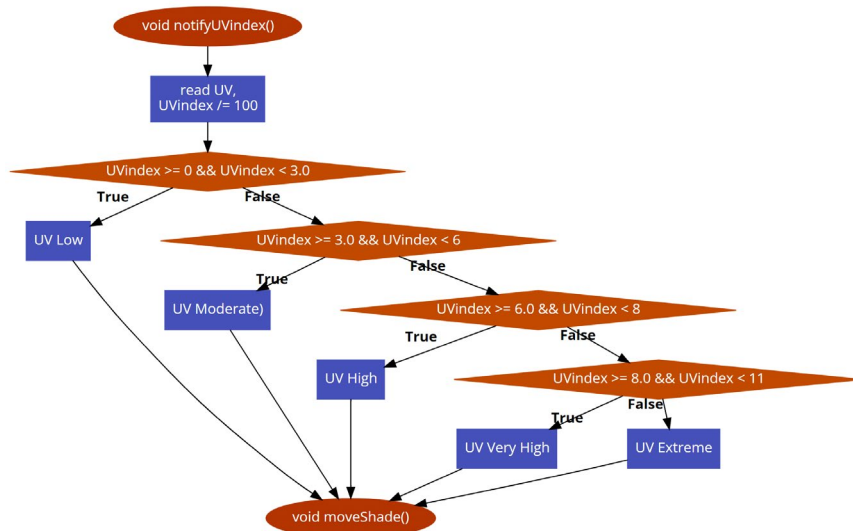
Στο Σχήμα 98 παρατηρούμε το διάγραμμα ροής του κώδικα που αναπτύχθηκε για την συνάρτηση void loop(). Η συνάρτηση αυτή αρχικά ξεκινάει την εφαρμογή Blynk επαληθεύοντας τα στοιχεία που γράφτηκαν στις πρώτες 3 γραμμές του κώδικα (Σχήμα 95) και έπειτα καλείται η συνάρτηση readSensors() η οποία περιέχει τις εντολές για το διάβασμα των τιμών των αισθητήρων. Στη συνέχεια ελέγχεται εάν ο διακόπτης SPDT είναι γυρισμένος στην αυτόματη ή στην χειροκίνητη επιλογή. Εάν ισχύει το πρώτο τότε ο κώδικας συνεχίζει στις συναρτήσεις moveShade(), notifyUVindex() και updateICMVars() οι οποίες θα

αναλυθούν ακολούθως. Εάν όμως ο διακόπτης είναι στην χειροκίνητη λειτουργία τότε ελέγχεται εάν λαμβάνεται σήμα στον αισθητήρα υπεριώθρων και εάν επαληθεύεται ένας από τους δύο δεκαεξαδικούς κωδικούς του τηλεχειριστηρίου. Αναλόγως ποιος λαμβάνεται από τους δύο κωδικούς τότε το σκίαστρο κινείται μπροστά ή πίσω και παράλληλα καλούνται και οι συναρτήσεις `updateCMVars()`, `readSensors()`, `notifyUVindex()` και `sendBlynk()`. Κάθε 1s γίνεται έλεγχος εάν λαμβάνεται σήμα και εάν όχι τότε γίνεται έλεγχος εάν ο διακόπτης είναι ακόμη στην χειροκίνητη λειτουργία.

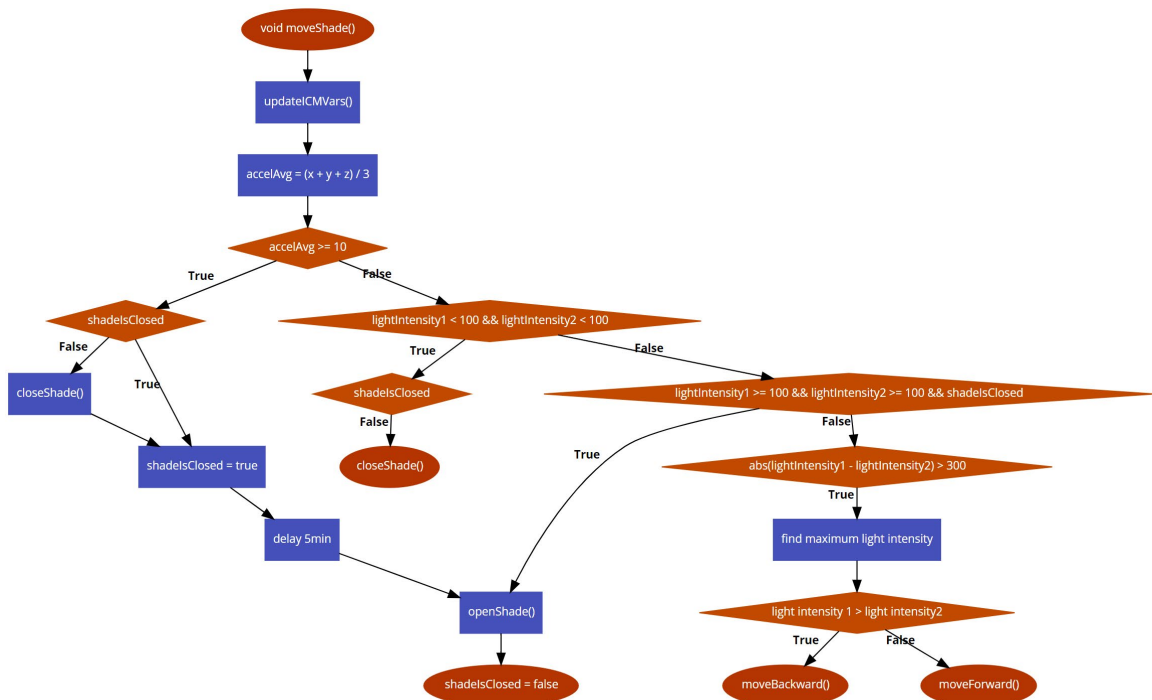


Σχήμα 98: Διάγραμμα ροής `void loop()`

Κατόπιν φαίνεται το διάγραμμα ροής μερικών συναρτήσεων οι οποίες βρίσκονται έξω από τη συνάρτηση `loop` για καλύτερη σύνταξη και οργάνωση του κώδικα. Στο Σχήμα 99 φαίνεται η συνάρτηση `notifyUVindex()` η οποία διαβάζει τις τιμές του αισθητήρα UV και τις διαιρεί /100 σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή για ορθή μέτρηση και κατόπιν ακολουθώντας τον κανονισμό του ΠΟΥ στέλνει στην πλατφόρμα Blynk τον δείκτη UV αλλά και το σχόλιο αναφορικά με τον δείκτη που βρίσκεται στην κλίμακα Low, Moderate, High, Very High και Extreme.



Σχήμα 99: Διάγραμμα ροής συνάρτησης notifyUVindex()

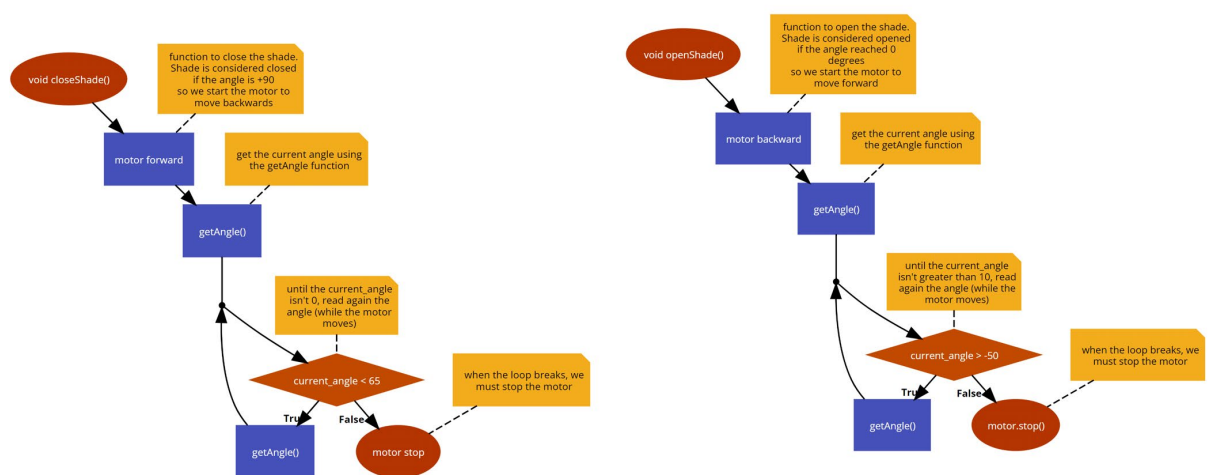


Σχήμα 100: Διάγραμμα ροής συνάρτησης moveShade()

Στη συνέχεια ο κώδικας προχωράει στη συνάρτηση moveShade() η οποία αποτελεί την κυριότερη συνάρτηση απ' όλες αφού εδώ καθορίζεται η αυτοματοποιημένη λειτουργία. Το διάγραμμα ροής της συνάρτησης αυτής φαίνεται στο Σχήμα 100 όπου αρχικά ανανεώνονται οι τιμές του ICM20649. Κατόπιν ορίζεται ο υπολογισμός της μέσης επιτάχυνσης και στη συνέχεια ελέγχεται αν έχει φτάσει ή ξεπεράσει τα  $10\text{m/s}^2$  ούτως ώστε να προστατευθεί το σκίαστρο από απότομους κραδασμούς. Εάν η συνθήκη είναι αληθής τότε φροντίζεται το

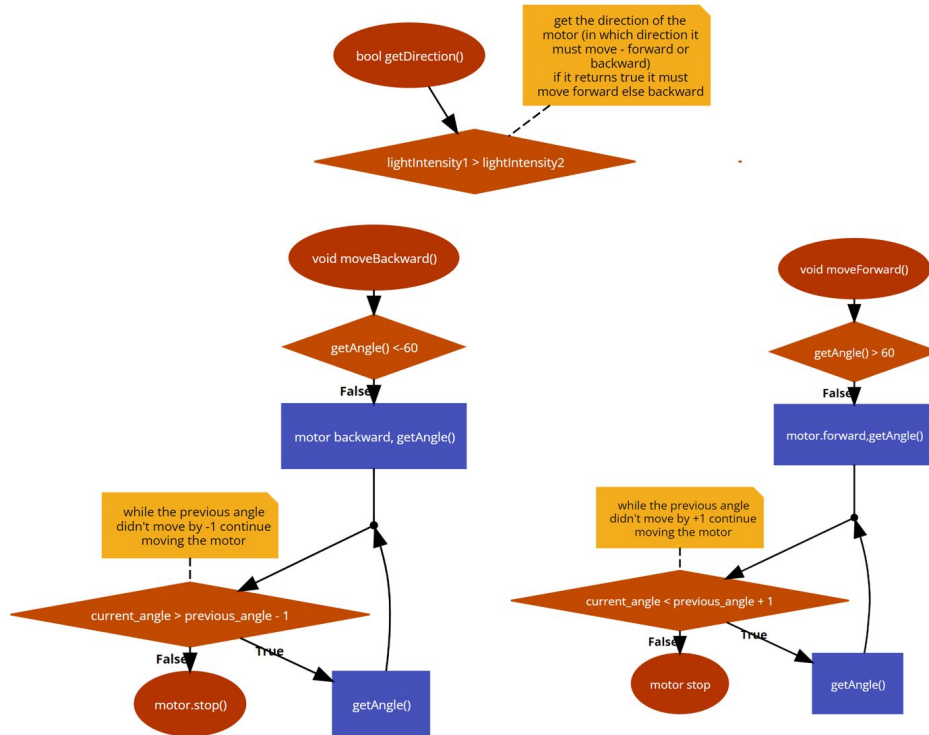
σκίαστρο αν είναι ανοιχτό να κλείσει και να παραμείνει κλειστό για 5min όπου και επαναλαμβάνεται ο έλεγχος. Όταν η συνθήκη είναι ψευδής τότε ελέγχεται εάν η φωτεινότητα είναι αρκετά χαμηλή ώστε το σκίαστρο να κλείσει αυτόματα λόγω σκοταδιού όπου θα ξανανοίξει όταν και οι δύο αισθητήρες φωτιστούν με περισσότερα από 100lux. Εάν ισχύει αυτό τότε ελέγχεται εάν η διαφορά ανάμεσα στους δύο αισθητήρες BH1750 είναι μεγαλύτερη από 300lux. Τότε εντοπίζεται ποιος από τους δύο αισθητήρες καταγράφει την μεγαλύτερη ένταση φωτισμού ώστε να κινηθεί σε αυτή την κατεύθυνση το σκίαστρο.

Στη συνέχεια (Σχήμα 101) παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής των συναρτήσεων closeShade() και openShade() όπου στην πρώτη περίπτωση όταν καλείται η συνάρτηση ξεκινάει η κίνηση του κινητήρα και παράλληλα παρατηρείται η γωνία κλίσης του σκιάστρου. Όταν αυτή ξεπεράσει τις 65° τότε το σκίαστρο θεωρείται ότι έχει κλείσει και σταματά άμεσα ο κινητήρας. Όμοια διαδικασία ακολουθείται και για το άνοιγμα του σκιάστρου.

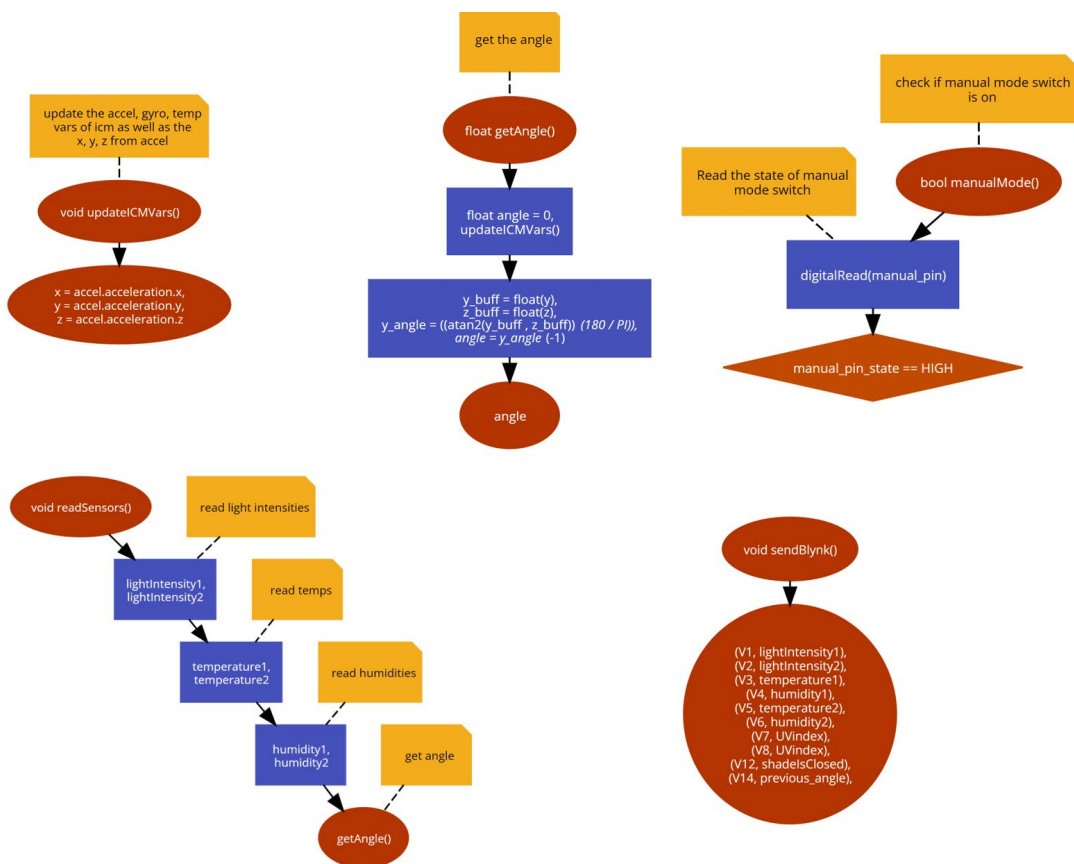


Σχήμα 101: Διαγράμματα ροής `closeShade()` και `openShade()`

Κατόπιν παρατηρούνται τα διαγράμματα ροής τριών συναρτήσεων. Η πρώτη, `getDirection()` επιστρέφει true εάν η ένταση φωτισμού του αισθητήρα BH1750 1 είναι μεγαλύτερη από αυτή του BH1750 2. Οι άλλες δύο, είναι οι συναρτήσεις που κινούν το σκίαστρο μπρος ή πίσω σύμφωνα με την έκβαση του αλγορίθμου της συνάρτησης `moveShade()`. Πρώτα ελέγχεται η κλίση του σκιάστρου για ασφάλεια και έπειτα ο κινητήρας κινείται μπροστά ή πίσω αναλόγως κατά 1 μοίρα κάθε επανάληψη και σταματάει. Ο κώδικας συνεχίζει στις επόμενες συναρτήσεις και εάν χρειαστεί ξανακαλούνται για να ρυθμιστεί η κλίση ξανά.



Σχήμα 102: Διαγράμματα ροής `getDirection()`, `moveForward()` και `moveBackward()`



Σχήμα 103: Διαγράμματα ροής `updateICMVars()`, `getAngle()`, `manualMode()`, `readSensors()` και `sendBlynk()`

Τέλος, στο Σχήμα 103 παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής των υπόλοιπων συναρτήσεων `updateICMVars()`, `getAngle()`, `manualMode()`, `readSensors()` και `sendBlynk()`. Ξεκινώντας από την πρώτη διαβάζονται οι τιμές επιτάχυνσης από το ICM20649 και αποθηκεύονται στις μεταβλητές ενώ στην δεύτερη διαβάζεται η τιμή της κλίσης του σκιάστρου όπου παρατηρείται και ο υπολογισμός της μέσω της εξίσωσης που αναφέρθηκε νωρίτερα. Κατόπιν στην `manualMode()` εάν ο διακόπτης είναι HIGH τότε επιστρέφει `true` ενώ στην `readSensors()` διαβάζονται οι τιμές των υπόλοιπων αισθητήρων και αποθηκεύονται στις αντίστοιχες μεταβλητές. Όλες οι τιμές των αισθητήρων πριν ξαναρχίσει το επόμενο κάλεσμα της συνάρτησης `loop()` στέλνονται στην πλατφόρμα Blynk για ενημέρωση του χρήστη.





# Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα, Μελλοντικές Επεκτάσεις

## 7.1 Συνολική Αξιολόγηση Εργασίας και Αποτελεσμάτων

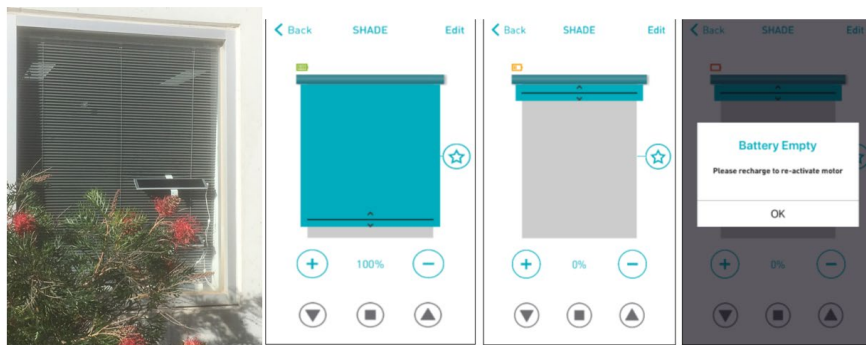
Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας όπως έχει ήδη αναφερθεί ήταν η ανάπτυξη και κατασκευή ενός έξυπνου συστήματος ελέγχου ηλεκτρικού σκιάστρου το οποίο μεταξύ άλλων παρέχει και τη δυνατότητα χειροκίνητου ελέγχου μέσω τηλεχειριστηρίου. Το σύστημα μπορεί να μετρήσει θερμοκρασία υγρασία εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, δείκτη UV, την κλίση του σκιάστρου, ένταση φωτισμού, αυτόματο κλείσιμο και άνοιγμα περσίδων κατά τη δύση και ανατολή του ηλίου αντίστοιχα και εντοπισμό βίαιης κίνησης των φύλλων για την άμεση προστασία τους. Όλες οι μετρήσεις των αισθητήρων μπορούν ανά πάσα στιγμή και απομακρυσμένα να παρατηρηθούν είτε μέσω εφαρμογής κινητού τηλεφώνου ή μέσω διαδικτύου με τη χρήση της διαδικτυακής πλατφόρμας που αναπτύχθηκε μέσω του Blynk. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι οι μετρήσεις των αισθητήρων συγκρίθηκαν με δεδομένα της τοπικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και παρατηρήθηκε πολύ μικρή απόκλιση.

Το σύστημα πλεονεκτεί έναντι των σταθερών συστημάτων σκίασης καθώς μπορεί να προσαρμοστεί αυτόματα στην αλλαγή της θέσης του ηλίου σκιάζοντας το κτίριο και μειώνοντας παράλληλα τη θερμοκρασία του αλλά και τη πιθανή θάμβωση των χρηστών. Ακόμη ο χρήστης μπορεί να το ρυθμίσει στην κλίση της αρεσκείας του κάνοντας το ακόμα πιο ευέλικτο και εύχρηστο. Η σημαντική πληροφόρηση όπως ο δείκτης υπεριώδους ακτινοβολίας UV Index προειδοποιεί τα άτομα εντός των κτιρίων για χρήση αντηλιακής προστασίας και τον περιορισμό τους σε σκιερά σημεία.

## 7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις Συστήματος

Το σύστημα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μπορεί να επεκταθεί ώστε να επιτυγχάνεται ακόμη περισσότερη εξοικονόμηση ενέργειας κάνοντας το ουσιαστικά ενεργειακά αυτόνομο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη ΦΒ πλαισίων τα οποία μπορούν να τροφοδοτούν αποκλειστικά το σύστημα με χρήση μπαταριών. Τα ΦΒ

πλαίσια μπορούν να τοποθετηθούν επάνω στις περσίδες ή ακόμη και να τις αντικαταστήσουν. Αυτές οι ιδέες μελετώνται από αρκετούς ερευνητές. Οι Alirio Guerra, Peter Young κ.α. σε εργασία τους που παρουσιάστηκε το 2019 στο International Conference of Internet of Things and Intelligence System (IoTais) αναφέρονται στην κατασκευή ενός αυτόνομου μηχανοκίνητου σκίαστρου του οποίου οι μπαταρίες φορτίζονται μέσω ΦΒ πλαισίου. Για αυξημένη απόδοση του ΦΒ πλαισίου χρησιμοποιήθηκε αλγόριθμος MPPT (Maximum Power Point Tracking) ενώ για τον έλεγχο του έγινε ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος (Σχήμα 104) [119]. Στο Σχήμα 120 παρουσιάζεται ένα παρόμοιο σύστημα το οποίο ωστόσο αντικαθιστά τα φύλλα των περσίδων με ΦΒ πλαίσια κάνοντας το ακόμη πιο αποδοτικό [120].



Σχήμα 104: Μηχανοκίνητο Αυτόνομο Σύστημα Σκίασης με χρήση ΦΒ [119]



Σχήμα 105: Σύστημα σκίασης με ενσωματωμένα ΦΒ πλαίσια [120]

# Βιβλιογραφία

- [1] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm," *Ad Hoc Networks*, vol. 56, pp. 122–140, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.adhoc.2016.12.004.
- [2] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A Literature Review," *Journal of Computer and Communications*, vol. 03, no. 05, pp. 164–173, 2015, doi: 10.4236/jcc.2015.35021.
- [3] O. Bhat, P. Gokhale, and S. Bhat, "Introduction to IOT," *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology ISO*, vol. 3297, no. 1, 2007, doi: 10.17148/IARJSET.2018.517.
- [4] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.
- [5] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- [6] T. Androutsou, S. Angelopoulos, I. Kouris, E. Hristoforou, and D. Koutsouris, "A smart computer mouse with biometric sensors for unobtrusive office work-related stress monitoring," in *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 7256–7259. doi: 10.1109/EMBC46164.2021.9630602.
- [7] J. Bélissent, "Making Leaders Successful Every Day Getting Clever About Smart Cities: New Opportunities Require New Business Models," 2010. [Online]. Available: [www.forrester.com](http://www.forrester.com).
- [8] A. Gharaibeh *et al.*, "Smart Cities: A Survey on Data Management, Security, and Enabling Technologies," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 19, no. 4. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 2456–2501, Oct. 01, 2017. doi: 10.1109/COMST.2017.2736886.
- [9] P. Boyce, C. Hunter, and O. Howlett, "The Benefits of Daylight through Windows Sponsored by: Capturing the Daylight Dividend Program," 2003.
- [10] L. Edwards and P. Torcellini, "A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants," 2002. [Online]. Available: <http://www.osti.gov/bridge>
- [11] "The Physiological and Psychological Effects of Windows, Daylight, and View at Home: Review and Research Agenda", doi: 10.4224/20375039.
- [12] J. A. Veitch and R. Gifford, "Assessing beliefs about lighting effects on health, performance, mood, and social behavior," *Environ Behav*, vol. 28, no. 4, pp. 446–470, 1996, doi: 10.1177/0013916596284002.
- [13] M. Figueiro, "Daylight and Productivity: A Field Study," 2002. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/283327416>

- [14] M. Krarti, P. M. Erickson, and T. C. Hillman, "A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting," *Build Environ*, vol. 40, no. 6, pp. 747–754, Jun. 2005, doi: 10.1016/j.buildenv.2004.08.007.
- [15] J. Mardaljevic, L. Heschong, and E. Lee, "Daylight metrics and energy savings," *Lighting Research and Technology*, vol. 41, no. 3, pp. 261–283, 2009, doi: 10.1177/1477153509339703.
- [16] J. Al Dakheel and K. T. Aoul, "Building applications, opportunities and challenges of active shading systems: A state-of-the-art review," *Energies*, vol. 10, no. 10. MDPI AG, Oct. 01, 2017. doi: 10.3390/en10101672.
- [17] A. Z. Hafez, A. M. Yousef, and N. M. Harag, "Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types – A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91. Elsevier Ltd, pp. 754–782, Aug. 01, 2018. doi: 10.1016/j.rser.2018.03.094.
- [18] Y. Yao, Y. Hu, S. Gao, G. Yang, and J. Du, "A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies," *Renew Energy*, vol. 72, pp. 88–98, 2014, doi: 10.1016/j.renene.2014.07.002.
- [19] Κ. Δέρβος, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα: από τη Θεωρία στην Πράξη*. Αθήνα: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Ε.Μ.Π, 2013.
- [20] W. Nsengiyumva, S. G. Chen, L. Hu, and X. Chen, "Recent advancements and challenges in Solar Tracking Systems (STS): A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81. Elsevier Ltd, pp. 250–279, 2018. doi: 10.1016/j.rser.2017.06.085.
- [21] K. J. #1 and A. Joseph, "Solar Tracking for Maximum and Economic Energy Harvesting."
- [22] C. S. Chin, A. Babu, and W. McBride, "Design, modeling and testing of a standalone single axis active solar tracker using MATLAB/Simulink," *Renew Energy*, vol. 36, no. 11, pp. 3075–3090, Nov. 2011, doi: 10.1016/j.renene.2011.03.026.
- [23] P. Muthukumar, S. Manikandan, R. Muniraj, T. Jarin, and A. Sebi, "Energy efficient dual axis solar tracking system using IOT," *Measurement: Sensors*, p. 100825, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.measen.2023.100825.
- [24] N. Soedjarwanto, V. Widiawati, N. Purwasih, and G. F. Nama, "Developing a Prototype of Solar Tracking for Solar Cell Energy Optimization with Internet of Things (IoT) Technology," in *Proceedings - ICCTEIE 2021: 2021 International Conference on Converging Technology in Electrical and Information Engineering: Converging Technology for Sustainable Society*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 31–35. doi: 10.1109/ICCTEIE54047.2021.9650635.
- [25] S. A. Kalogirou, "DESIGN AND CONSTRUCTION OF A ONE-AXIS SUN-TRACKING SYSTEM," 1996.
- [26] H. Bentaher, H. Kaich, N. Ayadi, M. Ben Hmouda, A. Maalej, and U. Lemmer, "A simple tracking system to monitor solar PV panels," *Energy Convers Manag*, vol. 78, pp. 872–875, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2013.09.042.
- [27] "Plataforma Solar de Almeria (PSA)."
- [28] J. A. Carballo, J. Bonilla, M. Berenguel, J. Fernández-Reche, and G. García, "New approach for solar tracking systems based on computer vision, low cost hardware and

- deep learning,” *Renew Energy*, pp. 1158–1166, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.08.101.
- [29] I. Reda and A. Andreas, “Solar position algorithm for solar radiation applications,” *Solar Energy*, vol. 76, no. 5, pp. 577–589, 2004, doi: 10.1016/j.solener.2003.12.003.
- [30] I. Reda and A. Andreas, “Solar Position Algorithm (SPA),” National Renewable Energy Laboratory (NREL). Accessed: Sep. 09, 2023. [Online]. Available: <https://midcdmz.nrel.gov/spa/>
- [31] R. F. Fuentes-Morales *et al.*, “Control algorithms applied to active solar tracking systems: A review,” *Solar Energy*, vol. 212. Elsevier Ltd, pp. 203–219, Dec. 01, 2020. doi: 10.1016/j.solener.2020.10.071.
- [32] Jāmi’ah al-Lubnānīyah. Faculty of Technology and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *SENSET 2017 : Sensors, Networks, Smart & Emerging Technologies : 12-14 September 2017, Beriut, Lebanon*.
- [33] M. Blanco-Muriel, D. C. Alarcón-Padilla, T. López-Moratalla, and M. Lara-Coira, “Computing the solar vector,” *Solar Energy*, vol. 70, no. 5, pp. 431–441, Jan. 2001, doi: 10.1016/S0038-092X(00)00156-0.
- [34] Y. Yao, Y. Hu, S. Gao, G. Yang, and J. Du, “A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies,” *Renew Energy*, vol. 72, pp. 88–98, 2014, doi: 10.1016/j.renene.2014.07.002.
- [35] E. S. Lee *et al.*, “High Performance Building Façade Solutions PIER Final Project Report,” 2009.
- [36] “FixedExternalShadingDeviceandDaylightQuality”.
- [37] F. Hammad and B. Abu-Hijleh, “The energy savings potential of using dynamic external louvers in an office building,” *Energy Build*, vol. 42, no. 10, pp. 1888–1895, Oct. 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.05.024.
- [38] G. Chiesa, D. Di Vita, A. Ghadirzadeh, A. H. Muñoz Herrera, and J. C. Leon Rodriguez, “A fuzzy-logic IoT lighting and shading control system for smart buildings,” *Autom Constr*, vol. 120, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103397.
- [39] Y. Zhai, W. Sha, and X. Tang, “Design of intelligent curtain based on single chip microcomputer,” in *Proceedings - 2021 International Conference on Machine Learning and Intelligent Systems Engineering, MLISE 2021*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 440–443. doi: 10.1109/MLISE54096.2021.00092.
- [40] “Design, Development and Testing of an automated window shade controller”.
- [41] Noergaard and Tammy, “Embedded Systems Architecture : A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers,” 2005. Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: [http://www.csit-sun.pub.ro/~cpop/Documentatie\\_SMP/Sisteme\\_incorporate/Embedded%20Systems%20Architecture%20-%20A%20Comprehensive%20Guide%20for%20Engineers%20and%20Programmers.pdf](http://www.csit-sun.pub.ro/~cpop/Documentatie_SMP/Sisteme_incorporate/Embedded%20Systems%20Architecture%20-%20A%20Comprehensive%20Guide%20for%20Engineers%20and%20Programmers.pdf)

- [42] Ben Lutkevich, "What is an Embedded System?," Dec. 2020, Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/embedded-system>
- [43] R. Ernst, "Codesign of Embedded Systems: Status and Trends," 1998. Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=521fc07a6ca4fd53d73630e6ffc275b666c1c768>
- [44] L. Warnes, "Electronic and Electrical Engineering," 1998.
- [45] Margaret Rouse, "What does Microprocessor Mean? ," Jun. 2012, Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/2874/microprocessor>
- [46] "Microprocessor," *PCmag*, Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/microprocessor>
- [47] F. Faggin, "The Making of the first microprocessor," *IEEE Solid-State Circuits Magazine*, vol. 1, no. 1, pp. 8–21, Jan. 2009, doi: 10.1109/MSSC.2008.930938.
- [48] L. R. Carlos, Z. R. V. Manuel, O. L. V. del Rocio, and M. L. Gerardo, "Wireless sensor networks applications for monitoring environmental variables using evolutionary algorithms," in *Intelligent Data Sensing and Processing for Health and Well-being Applications*, Elsevier, 2018, pp. 257–281. doi: 10.1016/B978-0-12-812130-6.00014-7.
- [49] B. Lutkevich, "Microcontroller (MCU) ," *TechTarget*, Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/microcontroller#:~:text=A%20microcontroller%20is%20a%20compact,peripherals%20on%20a%20single%20chip>.
- [50] P. Patnaikuni, "A Comparative Study of Arduino, Raspberry Pi and ESP8266 as IoT Development Board," *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 8, no. 5, Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <http://www.ijarcs.info/index.php/ijarcs/article/view/3959/3721>
- [51] Ben L, "What is an Arduino?," *SparkFun*, Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all>
- [52] "Arduino," *Wikipedia*. Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [53] "Arduino Nano ESP32." Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/collections/new-products/products/nano-esp32>
- [54] "Arduino UNO Datasheet." Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>
- [55] "Arduino® Nano ESP32."
- [56] S. J. Johnston and S. J. Cox, "The raspberry Pi: A technology disrupter, and the enabler of dreams," *Electronics (Switzerland)*, vol. 6, no. 3. MDPI AG, Sep. 01, 2017. doi: 10.3390/electronics6030051.
- [57] "Raspberry Pi Zero 2W." Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpizero2/raspberry-pi-zero-2-w-product-brief.pdf>

- [58] "Internet of Things Wi-Fi 802.11b/g/n integrated SoC for mass production." Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20150402133249/http://article.liepin.com/20140701/365564.shtml>
- [59] P. By ALLDATASHEETCOM, "ESP8266EX ESPRESSIF | Alldatasheet," 2018. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/subscribe>.
- [60] "ESP8266," Wikipedia. Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP8266#:~:text=The%20ESP8266%20is%20a%20low,Manufacturer>
- [61] "ESP8266-DevKitS User Guide," 2020. [Online]. Available: [www.espressif.com](http://www.espressif.com)
- [62] "ESP32 DevKitC." Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html#get-started-esp32-devkitc-board-front>
- [63] Jāmi'at al-Zaytūnah al-Urdunīyah, Universiti Sains Malaysia, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *ICIT 2017 : the 8th International Conference on Information Technology : Internet of Things IoT : conference proceedings : May 17th - 18th, 2017, Amman, Jordan*. Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8079928>
- [64] F. Samie, L. Bauer, and J. Henkel, "IoT technologies for embedded computing: A survey," in *2016 International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis, CODES+ISSS 2016*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2016. doi: 10.1145/2968456.2974004.
- [65] "ZigBee ." Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/>
- [66] T. Salman, "Networking Protocols and Standards for Internet of Things." [Online]. Available: [http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse570-15/ftp/iot\\_prot/index.html1](http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse570-15/ftp/iot_prot/index.html1)
- [67] "Bluetooth and Bluetooth LE." Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>
- [68] A. Bin and A. Rahman, "Comparison of Internet of Things (IoT) Data Link Protocols." [Online]. Available: [http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse570-15/ftp/iot\\_dlc/index.html](http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse570-15/ftp/iot_dlc/index.html)
- [69] Jāmi'at al-Zaytūnah al-Urdunīyah, Universiti Sains Malaysia, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *ICIT 2017 : the 8th International Conference on Information Technology : Internet of Things IoT : conference proceedings : May 17th - 18th, 2017, Amman, Jordan*.
- [70] "NFC ." Accessed: Sep. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/what-is-near-field-communication/>
- [71] K. Fowler, "Part 6: Interfacing to Real-Time Systems," 2001. doi: 10.1109/MIM.2003.1200285.
- [72] J. Fraden, "HANBOOK OF MODERN SENSORS: Physics, Designs and Applications," 2004.
- [73] P. Ripka and A. Tipek, "Modern Sensors Handbook."

- [74] J. Haus, "Optical Sensors Basics and Applications," 2010.
- [75] Jeremy M. Norman, "Willoughby Smith Discovers the Photoconductivity of Selenium." Accessed: Oct. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?entryid=1349>
- [76] UTMEL, "Photoresistor Basics: Types, Principles and Applications." Accessed: Oct. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.utmel.com/blog/categories/resistor/photoresistor-basics-types-principles-and-applications>
- [77] NIKOLAI V. TKACHENKO, "Optical measurements," 2006. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-044452126-2/50028-9>.
- [78] "Photodiode," Wikipedia. Accessed: Oct. 18, 2023. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Photodiode>
- [79] I. Sinclair, "Passive Components for Circuit Design," 2001. doi: 10.1016/B978-0-7506-4933-9.50008-X.
- [80] Editorial Staff of Inst Tools, "Phototransistor Working Principle." Accessed: Oct. 19, 2023. [Online]. Available: <https://instrumentationtools.com/phototransistor-working-principle/>
- [81] C. Mohan Jha, "Thermal Sensors Principles and Applications for Semiconductor Industries," New York, 2015.
- [82] J. Wilson, "Sensor Technology Handbook," 2005. Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/book/9780750677295/sensor-technology-handbook#book-info>
- [83] "RTD Sensor Technology." Accessed: Oct. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.prelectronics.com/the-fundamentals-of-rtd-temperature-sensors/>
- [84] "What is a Thermistor? Types of Thermistors and Applications." Accessed: Oct. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.electricaltechnology.org/2021/11/thermistor.html>
- [85] Z. Chen and C. Lu, "Humidity sensors: A review of materials and mechanisms," *Sensor Letters*, vol. 3, no. 4. pp. 274–295, Dec. 2005. doi: 10.1166/sl.2005.045.
- [86] C. Y. Lee and G. Bin Lee, "Humidity sensors: A review," *Sens Lett*, vol. 3, no. 1, pp. 1–15, Mar. 2005, doi: 10.1166/sl.2005.001.
- [87] H. Farahani, R. Wagiran, and M. N. Hamidon, "Humidity sensors principle, mechanism, and fabrication technologies: A comprehensive review," *Sensors (Switzerland)*, vol. 14, no. 5. MDPI AG, pp. 7881–7939, Apr. 30, 2014. doi: 10.3390/s140507881.
- [88] M. Javaid, A. Haleem, S. Rab, R. Pratap Singh, and R. Suman, "Sensors for daily life: A review," *Sensors International*, vol. 2. KeAi Communications Co., Jan. 01, 2021. doi: 10.1016/j.sintl.2021.100121.
- [89] V. M. N. Passaro, A. Cuccovillo, L. Vaiani, M. De Carlo, and C. E. Campanella, "Gyroscope technology and applications: A review in the industrial perspective," *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 10. MDPI AG, Oct. 21, 2017. doi: 10.3390/s17102284.



- [90] M. N. Armenise, C. Ciminelli, F. Dell’Olio, and V. M. N. Passaro, *Advances in gyroscope technologies*, vol. 9783642154935. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. doi: 10.1007/978-3-642-15494-2.
- [91] W. A. Gill, I. Howard, I. Mazhar, and K. McKee, “A Review of MEMS Vibrating Gyroscopes and Their Reliability Issues in Harsh Environments,” *Sensors*, vol. 22, no. 19. MDPI, Oct. 01, 2022. doi: 10.3390/s22197405.
- [92] C. S. Adams, O. Carnal, and J. Mlynek, “Atom interferometry,” in *Advances in Atomic, Molecular and Optical Physics*, vol. 34, no. C, 1994, pp. 1–33. doi: 10.1016/S1049-250X(08)60073-7.
- [93] Z. Zhang, F. Yu, and Q. Sun, “Thermal-induced rate error of a fiber-optic gyroscope considering various defined factors,” *Optical Engineering*, vol. 56, no. 09, p. 1, Sep. 2017, doi: 10.1117/1.OE.56.9.097103.
- [94] “Choosing the Most Suitable MEMS Accelerometer for Your Application—Part 1.” Accessed: Oct. 24, 2023. [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/choosing-the-most-suitable-mems-accelerometer-for-your-application-part-1.html>
- [95] “ESP-32S Datasheet,” 2016. [Online]. Available: <http://www.ai-thinker.com>
- [96] “Nodemcu-32s WIFI MODULE V1 Nodemcu-32s Datasheet,” 2019.
- [97] “Temperature and humidity module DHT11 Product Manual.” Accessed: Oct. 25, 2023. [Online]. Available: [https://files.waveshare.com/upload/c/c7/DHT11\\_datasheet.pdf](https://files.waveshare.com/upload/c/c7/DHT11_datasheet.pdf)
- [98] “DHT11 Temperature-Humidity Sensor.” Accessed: Oct. 25, 2023. [Online]. Available: [https://www.waveshare.com/wiki/DHT11\\_Temperature-Humidity\\_Sensor](https://www.waveshare.com/wiki/DHT11_Temperature-Humidity_Sensor)
- [99] “Schematic of DHT11.” Accessed: Oct. 25, 2023. [Online]. Available: <https://files.waveshare.com/upload/1/14/Temperature-Humidity-Sensor-Schematic.pdf>
- [100] “Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC BH1750FVI,” 2011. [Online]. Available: [www.rohm.com](http://www.rohm.com)
- [101] “BH1750FVI.” Accessed: Oct. 25, 2023. [Online]. Available: <https://opencircuit.shop/product/bh1750fvi-digital-light-sensor-module-gy-302>
- [102] World Health Organization, “Radiation : The ultraviolet (UV) Index”, Accessed: Oct. 26, 2023. [Online]. Available: [https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-ultraviolet-\(uv\)-index](https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-the-ultraviolet-(uv)-index)
- [103] “UV Sensor (B) User Manual UV Sensor (B) User Manual OVERVIEW.”
- [104] “Si1145/46/47 P ROXIMITY/ UV/AMBIENT LIGHT SENSOR IC WITH I 2 C INTERFACE Features Applications Description,” 2014.
- [105] “UV Sensor (B) Waveshare.” Accessed: Oct. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.waveshare.com/uv-sensor-b.htm>
- [106] “UV\_Sensor\_(B)\_Schematic”.

- [107] "Adafruit ICM20649 Wide-Range 6-DoF IMU Accelerometer and Gyro." [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/adafruit-icm20649-wide-range-6-dof-imu-accelerometer-and-gyro>
- [108] "ICM-20649 Datasheet." Accessed: Oct. 26, 2023. [Online]. Available: <https://octopart.com/datasheet/icm-20649-invensense-74726616>
- [109] "Schematic of ICM20649." Accessed: Oct. 26, 2023. [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/assets/87714>
- [110] "TSOP382., TSOP384.. IR Receiver Modules for Remote Control Systems." Accessed: Oct. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.vishay.com/docs/82491/tsop382.pdf>
- [111] "DC Motor Driver Breakout with L298." Accessed: Oct. 27, 2023. [Online]. Available: <https://grobotronics.com/dc-motor-driver-breakout-with-l298.html>
- [112] P. By ALLDATASHEETCOM, "L298 STMICROELECTRONICS | Alldatasheet," 2000.
- [113] "Metal Gearmotor." Accessed: Oct. 27, 2023. [Online]. Available: <https://grobotronics.com/metal-gearmotor-25mm-100rpm-9-12v.html>
- [114] "Dual H Bridge L298N." Accessed: Oct. 27, 2023. [Online]. Available: <https://electropeak.com/l298n-dual-h-bridge-motor-driver>
- [115] "Power Supply 12VDC." Accessed: Oct. 27, 2023. [Online]. Available: <https://grobotronics.com/power-supply-12vdc-2a-psu-1602.html>
- [116] "Arduino IDE." Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.javatpoint.com/arduino-ide#:~:text=The%20Arduino%20IDE%20is%20an,languages%20C%20and%20C%2B%2B>
- [117] M. Wrona, "Roll and Pitch Angles From Accelerometer Sensors." Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://mwrona.com/posts/accel-roll-pitch/>
- [118] "UV Sensor (B) Code." Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: [https://www.waveshare.com/wiki/File:UV\\_Sensor\\_\(B\)\\_Code.7z](https://www.waveshare.com/wiki/File:UV_Sensor_(B)_Code.7z)
- [119] B. Hu and P. Young, *2019 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IoT&IS)*. IEEE, 2019.
- [120] T. Hong *et al.*, "A preliminary study on the 2-axis hybrid solar tracking method for the smart photovoltaic blind," in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, Jun. 2016, pp. 484–490. doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.067.