



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

Σχεδίαση και κατασκευή πρότυπης πλακέτας λήψης  
μετρήσεων για Raspberry pi

---

Αλέξανδρος Γάστας

A.M.: HN07003

Επιβλέπων: Χριστοφορίδης Γεώργιος, Καθηγητής  
Συνεπιβλέπων: Φιλιππίδης Σταύρος, Υποψήφιος Διδάκτωρ

**Αλέξανδρος Γάστης**

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Τ.Ε., Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

© 2022 – All rights reserved

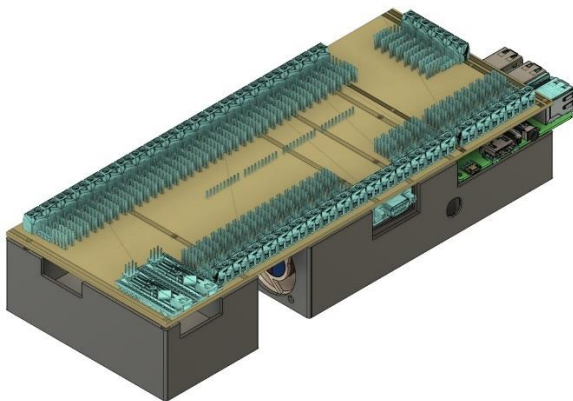
## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί μια πρότυπη πλακέτα λήψης μετρήσεων για Raspberry Pi για τις ανάγκες του εργαστηρίου υπεραγωγιμότητας του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Στην εργασία, παρουσιάζονται αναλυτικά ο τρόπος σχεδίασης, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε καθώς και η τελική κατασκευή της πλακέτας.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια εισαγωγή στους κανόνες σχεδίασης πλακετών και στους διαφορετικούς τύπους τους, καθώς και στους τρόπους κατασκευής τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για να κατασκευαστεί συνολικά η πλακέτα της εργασίας και τα χαρακτηριστικά αυτού.

Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η υλοποίηση της πλακέτας, ξεκινώντας από το σχεδιασμό έως την τελική υλοποίησή της. Η ολοκληρωμένη πλακέτα μαζί με τη βάση στερέωσής της παρουσιάζεται στις παρακάτω δύο εικόνες.



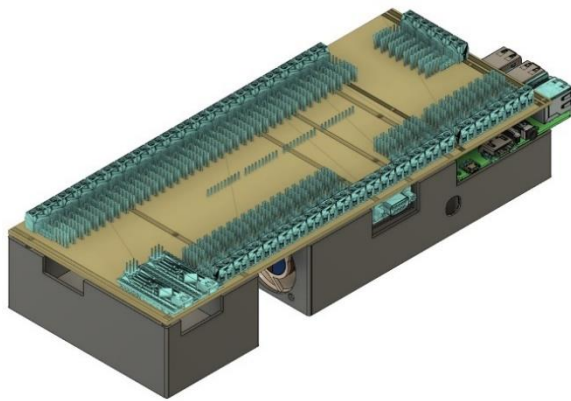
## ABSTRACT

The purpose of this thesis is to design and implement a prototype measurement board for Raspberry Pi for the needs of the superconductivity laboratory of the University of Western Macedonia. In this thesis, the design method, the equipment used and the final construction of the board are presented in detail.

In the first chapter of the thesis an introduction to the design rules, the different types of boards on the market and the way of their construction is given.

The second chapter presents the equipment used and its characteristics.

Finally, the last chapter presents the implementation of the board from thought and design to the final implementation. The completed board together with its mounting base is shown in the following two figures.



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου, κ. Σταύρο Φιλίππιδη και κ. Χριστοφορίδη Γεώργιο για την εξαιρετική τους συνεργασία και άμεση επικοινωνία όποτε αυτή ήταν απαραίτητη.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT .....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	6
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στη σχεδίαση ηλεκτρονικών πλακετών (PCB).....	3
1.1 Ηλεκτρολογικό διάγραμμα και ανατομία πλακετών PCB.....	4
1.2 Διαφορετικοί τύποι πλακετών PCB.....	7
1.2.1 Πλακέτες PCB ενός στρώματος .....	7
1.2.2 Πλακέτες PCB δύο στρωμάτων.....	8
1.2.3 Πλακέτες PCB πολλών στρωμάτων (πολυστρωματικές).....	11
1.3 Γενικοί κανόνες σχεδιασμού PCB.....	13
1.4 Κατασκευή πλακετών PCB .....	14
1.4.1 Τοποθέτηση στοιχείων .....	14
1.4.2 Κανόνες για τον σχεδιασμό οδεύσεων .....	18
Κεφάλαιο 2: Ο εξοπλισμός της παρούσας πτυχιακής εργασίας.....	21
2.1 Μικροϋπολογιστής Raspberry Pi .....	21
2.2 ARDUINO.....	22
2.3 ADS1115 I2C 16-Bit 4 Channel ADC .....	23
2.4 MAX3232 RS232 to TTL Serial Port Converter Module DB9 Connector MAX232... ..	24
2.5 Raspberry pi HAT από την εταιρεία DAQc2Plate .....	24
Κεφάλαιο 3 Σχεδίαση και κατασκευή πρωτοτυπου pcb ληψης μετρησεων.....	26
3.1 Σχεδίαση πρωτότυπου PCB.....	26
3.1.2 Σχηματικό διάγραμμα PCB .....	26
3.1.2 Καταμερισμός στοιχείων στο PCB.....	30
3.2 Κατασκευή πρωτότυπου PCB .....	34
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	38

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Αναπαράσταση πλακέτας κυκλώματος πλακέτας που χρησιμοποιείται σε DVD player.....	3
Εικόνα 2 Αναπαράσταση πλακέτας PCB ενός στρώματος.....	8
Εικόνα 3 Αναπαράσταση πλακέτας διπλής όψης χωρίς επιμεταλλωμένη σύνδεση διαμπερούς οπής (i).....	9
Εικόνα 4 Αναπαράσταση πλακέτας διπλής όψης με επιμεταλλωμένη σύνδεση διαμπερούς οπής (ii).....	9
Εικόνα 5 Αναπαράσταση επιμεταλλωμένων τυχωμάτων οπών.....	10
Εικόνα 6 Αναπαράσταση τεχνικής σύνδεσης σε πλακέτες με μη επιμεταλλωμένες οπές.....	10
Εικόνα 7 Αναπαράσταση διάφορων τύπων οπών 1.....	10
Εικόνα 8 Τομή πλακέτας πολλαπλών στρώσεων με τέσσερα στρώματα.....	11
Εικόνα 9 Λεπτομέρειες πλακέτας τεσσάρων στρωμάτων (α). Λεπτομέρειες πλακέτας οχτώ στρωμάτων (b).....	12
Εικόνα 10 Αναπαράσταση πλακέτας PCB Raspberry pi.....	22
Εικόνα 11 Αναπαράσταση πλακέτας PCB Arduino UNO.....	23
Εικόνα 12 Αναπαράσταση πλακέτας ADS1115 i2c 16-Bit ADC τεσσάρων καναλιών.....	24
Εικόνα 13 Αναπαράσταση πλακέτας PCB ενός MAX3232 RS232 to TTL Serial Port Converter Module.....	24
Εικόνα 14 Αναπαράσταση πλακέτας PCB ενός Pi Hat από την εταιρία DAQ2plate.....	25
Εικόνα 15 Σχηματικό Διάγραμμα Raspberry Pi και οι συνδέσεις των εξόδων του.....	27
Εικόνα 16 Σχηματικό διάγραμμα Arduino No1 και οι συνδέσεις των εξόδων του.....	28
Εικόνα 17 Σχηματικό διάγραμμα Arduino No2 και οι συνδέσεις των εξόδων του.....	28
Εικόνα 18 Σχηματικό διάγραμμα και ηλεκτρικές συνδέσεις των ADC 1115.....	29
Εικόνα 19 Ηλεκτρικές συνδέσεις Dac2plate,RS232,Power delivery system.....	30
Εικόνα 20 Αρχική τοποθέτηση στοιχείων μετά την ολοκλήρωση του σχηματικού διαγράμματος V1.0 και προγραμματιστικό περιβάλλον του προγράμματος Easy EDA.....	30
Εικόνα 21 Πρώτη έκδοση κατανομής των στοιχείων πάνω στην πλακέτα V1.1.....	31
Εικόνα 22 Τελική έκδοση κατανομής στοιχείων πάνω στην πλακέτα V1.2 με όλες τις ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων.....	32
Εικόνα 23 Άνω και κάτω μέρος περιοχής χαλκού που συνδέει όλες τις γειώσεις μεταξύ τους. Με κόκκινο χρώμα αναπαρίσταται το πάνω μέρος και με μπλε χρώμα το κάτω μέρος της πλακέτας.....	33
Εικόνα 24 Δυσδιάστατη αναπαράσταση από το πρόγραμμα της Easy EDA (Αριστερά). Πάνω και κάτω μέρος της κατασκευασμένης πλακέτας (μέση και δεξιά αντίστοιχα).....	34
Εικόνα 25 Τρισδιάστατη απεικόνιση της πλακέτας από το πρόγραμμα της Easy EDA (άνω εικόνα) και φωτογραφία της κατασκευασμένης πλακέτας(κάτω εικόνα).....	35
Εικόνα 26 Τρισδιάστατη αναπαράσταση της βάσης στο πρόγραμμα Fusion 360 (αριστερά) και η εκτυπωμένη βάση (δεξιά).....	35
Εικόνα 27 Τρισδιάστατος εκτυπωτής με εκτυπωμένο κομμάτι της βάσης.....	36

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΠΛΑΚΕΤΩΝ (PCB)

Οι ηλεκτρικές συσκευές αποτελούν μια σύνθεση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων τα οποία εργάζονται μαζί για να παράγουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Παλαιότερα, όλες οι ηλεκτρικές συσκευές αποτελούνταν από κυκλώματα κατασκευασμένα με το χέρι. Τα καλώδια απογυμνώνονταν και συνδέονταν από σημείο σε σημείο για δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Επίσης, όλα τα διαφορετικά στοιχεία που αποτελούσαν το κύκλωμα τοποθετούνταν και συνδέονταν μεταξύ τους κατά αυτό τον τρόπο με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να είναι μεγάλο σε μέγεθος και πολύ συχνά επικίνδυνο για τον χρήστη, αφού ενυπήρχε ο κίνδυνος του ανθρώπινου λάθους. Αποτελούσε επομένως αναγκαιότητα αυτά τα προϊόντα να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις συγκεκριμένων εφαρμογών, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη, στον τομέα της υγείας, για οικιακές ανάγκες κα. Έτσι, παρουσιάστηκε η ανάγκη για την δημιουργία μικρότερων, συμπαγέστερων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, τα οποία έγιναν γνωστά ως Printed Circuit Boards (Εκτυπωμένα Κυκλώματα Πλακέτας).

Τα PCB είναι μία σκληρή, μη-αγώγιμη πλακέτα, στην οποία εναποθέτονται στρώματα χαλκού, τα οποία χαράζονται ώστε να σχηματίσουν οδεύσεις για το ηλεκτρικό ρεύμα. Στην εικόνα 1, παρουσιάζεται μία πλακέτα PCB από DVD player.



Εικόνα 1 Αναπαράσταση πλακέτας κυκλώματος πλακέτας που χρησιμοποιείται σε DVD player.



Τα PCB χρησιμοποιούνται κυρίως για παρέχουν ηλεκτρική διασύνδεση και μηχανική υποστήριξη στα ηλεκτρικά στοιχεία του κυκλώματος. Το μέγεθος και το σχήμα του PCB καθορίζεται κυρίως από τα χαρακτηριστικά που είναι επιθυμητά για την εκάστοτε εφαρμογή, δηλαδή την ένταση του ρεύματος που θα διαρρέει το PCB, το μέγεθος των εξαρτημάτων που θα κολληθούν σε αυτό κλπ. Οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων γίνονται με χάλκινες οδεύσεις, οι οποίες λειτουργούν ως συνδέσεις για την μεταφορά σημάτων και ηλεκτρικής ενέργειας. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά που εφαρμόζονται στον σχεδιασμό των PCB και εφαρμόστηκαν στο PCB που κατασκευάστηκε στην παρούσα εργασία.

### 1.1 Ηλεκτρολογικό διάγραμμα και ανατομία πλακετών PCB

Πριν από οποιαδήποτε ενέργεια σχετικά με την κατασκευή ενός PCB, πρέπει να σχεδιαστεί το ηλεκτρολογικό διάγραμμα το οποίο δείχνει πως συνδέονται τα επιμέρους στοιχεία-εξαρτήματα που θα τοποθετηθούν στο PCB. Το βήμα αυτό στην σχεδίαση ενός PCB είναι το σημαντικότερο καθώς ορίζει όλες τις ηλεκτρικές ενώσεις μεταξύ των στοιχείων.

Το ηλεκτρολογικό διάγραμμα, που ονομάζεται επίσης διάγραμμα κυκλώματος ή λογικό διάγραμμα, αναπαριστά όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία και τις συνδέσεις μεταξύ τους. Το σχηματικό διάγραμμα σχεδιάζεται λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές των εξαρτημάτων, την αλληλεπίδραση μεταξύ τους (ιδίως τον χρονισμό και τη φόρτιση), τις διαστάσεις τους και τη διάταξη των ακροδεκτών των συνδέσμων τους.

Τα σύγχρονα PCB σχεδιάζονται αποκλειστικά με τη βοήθεια σχεδιαστικών προγραμμάτων (CAD) στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Στο ηλεκτρολογικό διάγραμμα κάθε εξάρτημα στην πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος είναι μαρκαρισμένο με ένα αναγνωριστικό (π.χ. IC4) και αριθμούς ακροδεκτών για κάθε σύνδεση. Ένα καλό ηλεκτρολογικό διάγραμμα περιλαμβάνει όλες τις βασικές πληροφορίες που απαιτούνται για την κατανόηση της λειτουργίας του κυκλώματος και διαθέτει διακριτικά στις οδεύσεις και τους συνδέσμους, συμπεριλαμβανομένων όλων των εξαρτημάτων στην πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος. Για το σκοπό αυτό, το CAD της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος και το σχηματικό CAD συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός ελέγχου δικτύου. Εν ολίγοις, το τελικό ηλεκτρολογικό διάγραμμα, είναι το κύριο σημείο αναφοράς για το σχεδιασμό.

Τα εξαρτήματα και οι συνδέσεις στη διάταξη της πλακέτας προέρχονται από το διάγραμμα του κυκλώματος, τοποθετούνται πάνω στην πλακέτα από τον σχεδιαστή,

ώστε να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα όσον αφορά το μέγεθός και την δυνατότητα κατασκευής της. Η διάταξη του PCB καθορίζει την τελική φυσική μορφή του κυκλώματος.

Η παραγωγή μια πλακέτας γίνεται ως εξής. Αρχικά γίνεται η απεικόνιση κατά τη διάρκεια της οποίας, η εικόνα της πλακέτας δημιουργείται είτε σε φιλμ είτε απευθείας στην πλακέτα με λέιζερ. Για την απεικόνιση σε φιλμ, χρησιμοποιείται υπεριώδες φως για την έκθεση του φιλμ πάνω στο PCB. Θετικό για τα εξωτερικά στρώματα και αρνητικό για τα εσωτερικά στρώματα. Έπειτα, γίνεται το etching (χάραξη) του εσωτερικού στρώματος.

Το etching (χάραξη) είναι η διαδικασία αφαίρεσης της περίσσειας ποσότητας χαλκού από την πλακέτα (παντού εκτός από τα ίχνη και τα pads), συνήθως με τη χρήση διαλύματος με βάση το αμμώνιο. Το επόμενο βήμα ονομάζεται Layer (ευθυγράμμιση) το οποίο χρησιμοποιείται για πλακέτες πολλαπλών στρωμάτων, τα στρώματα ευθυγραμμίζονται και συγκολλούνται κατά τη διάρκεια αυτού του βήματος. Η διαδικασία περιλαμβάνει θέρμανση και συμπίεση των στρωμάτων μεταξύ τους και συνήθως ελέγχεται από υπολογιστή.

Ακολουθεί το βήμα της διάνοιξης των οπών κατά το οποίο ανοίγονται οπές (vias), οπές τοποθέτησης και άλλες οπές μέσω της πλακέτας (συνήθως σε στοιβάδες πάνελ, ανάλογα με το βάθος του τρυπανιού). Η ακρίβεια και τα καθαρά τοιχώματα των οπών είναι απαραίτητα. Όλα τα παραπάνω ελέγχονται από εξελιγμένα οπτικά συστήματα. Το επόμενο βήμα της διαδικασίας παραγωγής ενός PCB είναι η χάραξη των εξωτερικών στρωμάτων. Τα εξωτερικά στρώματα προ-επιχρίζονται με φιλμ χαλκού. Ο πλεονάζων χαλκός στη συνέχεια απομακρύνεται με την διαδικασία του etching. Συνήθως, τα στρώματα αυτά πρέπει να καθαριστούν για να αφαιρεθεί το μονωτικό στρώμα που καλύπτει το χαλκό.

Επόμενη είναι η διαδικασία της επιμετάλλωσης. Η επιμετάλλωση εξυπηρετεί δύο σκοπούς. Πρώτον δημιουργεί αγωγία τοιχώματα εντός των vias και δεύτερον συμβάλλει στη συγκόλληση των στρωμάτων. Ο χαλκός, ο οποίος είναι το τυπικό αγωγίμο υλικό, ρέει μέσα στις οπές και σχηματίζει τα τοιχώματα.

Στην συνέχεια γίνεται η κάλυψη της συγκόλλησης. Κατά τη διάρκεια αυτού του βήματος, μια λεπτή επίστρωση που αποτελείται από πολυμερή και διαλύτες εφαρμόζεται στις επιφάνειες του PCB για την αποτροπή της οξείδωσης. Παρέχει επίσης διαχωρισμό μεταξύ αγωγίμων στοιχείων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, πράγμα που μπορεί να σημαίνει ότι θα μπορούσε να λάβει χώρα ένα τόξο.

Λίγο πριν το τέλος γίνεται η εφαρμογή της μεταξοτυπίας - Πρόκειται για την εκτύπωση αναγνώσιμων στοιχείων αναγνώρισης, όπως αριθμοί εξαρτημάτων, αναγνωριστικά ακροδεκτών και άλλες σημάνσεις. Αυτά μπορούν να εκτυπωθούν με εκτυπωτή inkjet. Τελικό στάδιο της κατασκευής αποτελεί το φινίρισμα. Το φινίρισμα συμβάλει στην προστασία της πλακέτας από το περιβάλλον, ιδίως των περιοχών χαλκού από την οξείδωση. Υπάρχουν αρκετές βιώσιμες επιλογές για το τελικό φινίρισμα και η επιλογή εξαρτάται συνήθως από τον τύπο των εξαρτημάτων της πλακέτας και το περιβάλλον όπου θα χρησιμοποιηθεί η πλακέτα.

Τα βασικά συστατικά μιας πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος είναι δυο. Το πρώτο συστατικό είναι η βάση. Η βάση είναι μια λεπτή πλάκα από μονωτικό υλικό, άκαμπτη ή εύκαμπτη, η οποία περιέχει όλες τις οδεύσεις και στηρίζει τα στοιχεία που αποτελούν το κύκλωμα. Το δεύτερο στοιχείο είναι οι οδεύσεις. Συγκεκριμένα, οι οδεύσεις είναι συνήθως από χαλκό υψηλής καθαρότητας με τη μορφή λεπτών λωρίδων κατάλληλου σχήματος που συνδέονται με το υλικό της βάσης.

Η βάση παρέχει μηχανική στήριξη σε όλες τις περιοχές χαλκού και σε όλα τα ηλεκτρικά στοιχεία που είναι προσαρτημένα στο χαλκό. Οι ηλεκτρικές ιδιότητες του ολοκληρωμένου κυκλώματος εξαρτώνται από τις διηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού της βάσης και πρέπει συνεπώς να είναι γνωστές και να ελέγχονται κατάλληλα. Οι αγωγοί παρέχουν όχι μόνο τις ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων, αλλά και σημεία στερέωσης για τα ίδια μέσω συγκολλήσεων.

Η ολοκληρωμένη πλακέτα παρέχει μηχανική υποστήριξη και όλες τις απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις στα εξαρτήματα. Πρόκειται ουσιαστικά για μια πλακέτα τυπωμένης καλωδίωσης ή μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος. Ο όρος τυπωμένη έγινε δημοφιλής επειδή οι αγωγίμες περιοχές δημιουργούνται συνήθως μέσω μιας διαδικασίας εκτύπωσης, όπως η μεταξοτυπία ή η φωτοχάραξη, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως για την εκτύπωση σχεδίων ή επιγραφών.

Οι πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τα διάφορα χαρακτηριστικά τους, συχνά με διφορούμενα αποτελέσματα. Παραδοσιακά χωρίζονταν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση και τις εφαρμογές τους και συνήθως αναφέρονταν ως καταναλωτικές, επαγγελματικές και υψηλής αξιοπιστίας πλακέτες.

Οι καταναλωτικές πλακέτες στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν γενικά σε καταναλωτικά προϊόντα όπως το ραδιόφωνο, η τηλεόραση και ο φθηνός εξοπλισμός δοκιμών και μετρήσεων. Ακόμη, χρησιμοποιούσαν λιγότερο ακριβό βασικό υλικό και

επέτρεπαν μεγαλύτερες ανοχές στην κατασκευή, ώστε να παραμένει το κόστος χαμηλό. Δεν δινόταν μεγάλη σημασία στις καλές και σταθερές ηλεκτρικές ιδιότητες.

Οι επαγγελματικές πλακέτες κατασκευάζονταν από υλικό καλύτερης ποιότητας για την επίτευξη αυστηρότερων ηλεκτρικών και περιβαλλοντικών προδιαγραφών με τη χρήση ελεγχόμενων τεχνικών κατασκευής. Οι πλακέτες υψηλότερης αξιοπιστίας, που συνήθως χρησιμοποιούνταν σε στρατιωτικές εφαρμογές, είχαν ως στόχο να παρέχουν τις καλύτερες ηλεκτρικές ιδιότητες μέσω της χρήσης υψηλής ποιότητας βασικού υλικού και αυστηρά ελεγχόμενων διαδικασιών κατασκευής.

Η παραπάνω ταξινόμηση μπορεί να ήταν εφαρμόσιμη πριν από δύο ή τρεις δεκαετίες, αλλά σήμερα η διάκριση μεταξύ καταναλωτικών και επαγγελματικών αγορών έχει εξαφανιστεί. Πολλά καταναλωτικά προϊόντα, όπως τα κινητά τηλέφωνα, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οι τηλεοράσεις κα., έχουν γίνει πιο πολύπλοκα, αξιόπιστα και απαιτητικά. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας επιφανειακής τοποθέτησης και οι εξελίξεις στις τεχνικές αυτόματης συναρμολόγησης απαιτούν ότι οι πλακέτες ακόμη και για το φθηνότερο προϊόν πρέπει να κατασκευάζονται με αυστηρές μηχανικές ανοχές.

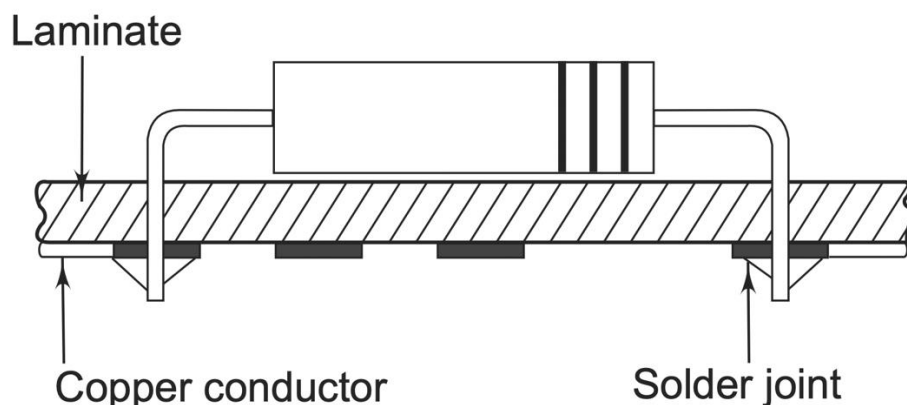
Σήμερα, πλέον χρησιμοποιείται μια πιο απλή και κατανοητή ταξινόμηση, η οποία βασίζεται στον αριθμό των επιπέδων ή στρωμάτων καλωδίωσης. Αναλυτικότερα, αυτά δημιουργούν το συνολικό κύκλωμα ή τις δομές καλωδίωσης, καθώς και την παρουσία ή απουσία επιμεταλλωμένων οπών. Αυτή η μέθοδος ταξινόμησης των πλακετών έχει το πλεονέκτημα ότι σχετίζεται άμεσα με τις προδιαγραφές της πλακέτας. Οι διαφορετικοί τύποι των πλακετών περιγράφονται λεπτομερώς παρακάτω.

## 1.2 Διαφορετικοί τύποι πλακετών PCB

### 1.2.1 Πλακέτες PCB ενός στρώματος

Ένα PCB "Ένός στρώματος" ή "μονής όψης" σημαίνει ότι η καλωδίωση είναι διαθέσιμη μόνο σε μία πλευρά του μονωτικού υποστρώματος. Η πλευρά που περιέχει το σχέδιο του κυκλώματος ονομάζεται "πλευρά συγκόλλησης". Η άλλη πλευρά καλείται "πλευρά εξαρτημάτων". Αυτοί οι τύποι πλακετών χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις απλών κυκλωμάτων, όπου το κόστος κατασκευής πρέπει να διατηρηθεί στο ελάχιστο. Παρ' όλα αυτά, αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο όγκο των τυπωμένων πλακετών που παράγονται σήμερα για επαγγελματικές και μη, κατηγορίες. Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται η διάταξη μιας πλακέτας μονής όψης. Οι πλακέτες μονής όψης

κατασκευάζονται κυρίως με τη μέθοδο "εκτύπωσης και χάραξης" η οποία έχει περιγράψει παραπάνω.



Εικόνα 2 Αναπαράσταση πλακέτας PCB ενός στρώματος.

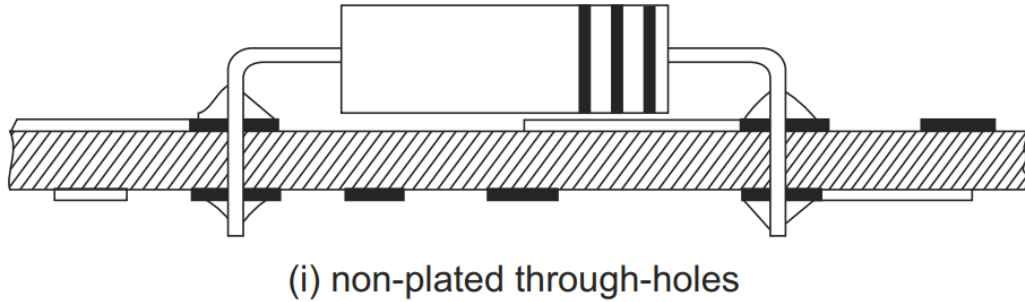
Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα εξαρτήματα χρησιμοποιούνται για να περάσουν πάνω από τις οδεύσεις των αγωγών. Όταν αυτό δεν είναι δυνατό, χρησιμοποιούνται καλώδια βραχυκύκλωσης. Ο αριθμός των καλωδίων βραχυκυκλωμάτων σε μια πλακέτα πρέπει να είναι μικρός για οικονομικούς λόγους, με αποτέλεσμα την λύση στο πρόβλημα να δίνει η χρήση πλακετών διπλών όψεων.

### 1.2.2 Πλακέτες PCB δύο στρωμάτων

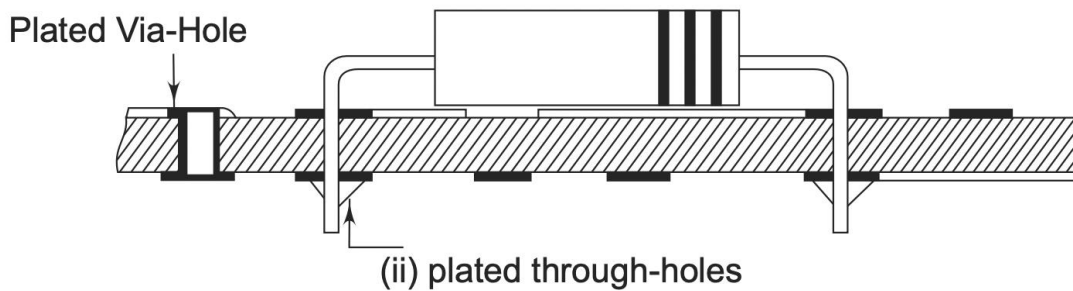
Οι πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων "δύο στρωμάτων" ή "διπλής όψης" έχουν τυπωμένο το σχέδιο του κυκλώματος και στις δύο πλευρές του μονωτικού υλικού. Συγκεκριμένα, αυτό είναι διαθέσιμο τόσο στην πλευρά των εξαρτημάτων όσο και στην πλευρά της συγκόλλησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η πυκνότητα των εξαρτημάτων και οι γραμμές αγωγών είναι μεγαλύτερες από αυτές στις πλακέτες μίας όψης. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο τύποι πλακετών διπλής όψης, οι οποίοι είναι οι εξής:

- I. Πλακέτα διπλής όψης με επιμεταλλωμένη σύνδεση διαμπερούς οπής (PTH) και
- II. Πλακέτα διπλής όψης χωρίς επιμεταλλωμένη σύνδεση διαμπερούς οπής (μη-PTH).

Στις εικόνες 3 και 4, παρουσιάζονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των δύο τύπων πλακετών διπλής όψης.



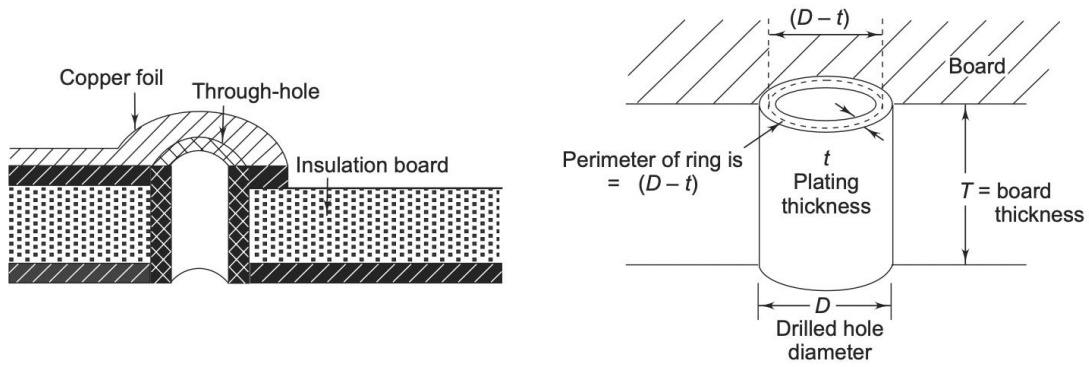
Εικόνα 3 Αναπαράσταση πλακέτας διπλής όψης χωρίς επιμεταλλωμένη σύνδεση διαμερούς οπής (i).



Εικόνα 4 Αναπαράσταση πλακέτας διπλής όψης με επιμεταλλωμένη σύνδεση διαμερούς οπής (ii).

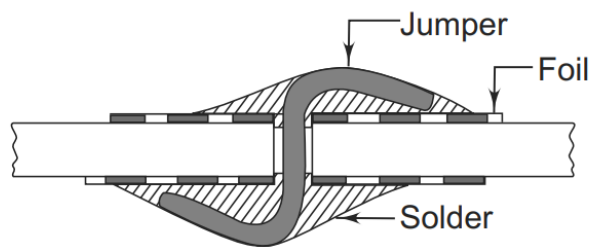
Η πλακέτα PTH διπλής όψης έχει κυκλώματα και στις δύο πλευρές του μονωτικού υποστρώματος, τα οποία συνδέονται με τη μεταλλοποίηση του τοιχώματος μιας οπής στο υπόστρωμα που τέμνει τα κυκλώματα και στις δύο πλευρές. Αυτή η τεχνολογία, η οποία αποτελεί τη βάση για τα περισσότερα παραγόμενα τυπωμένα κυκλώματα, είναι δημοφιλής σε περιπτώσεις όπου η πολυπλοκότητα και η πυκνότητα των κυκλωμάτων είναι υψηλή. Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται η διαμόρφωση μιας επιμεταλλωμένης διαμερούς οπής σε μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος.

Η πλακέτα διπλής όψης χωρίς PTH είναι απλώς μια επέκταση μιας πλακέτας μονής όψης. Το κόστος της είναι σημαντικά χαμηλότερο επειδή μπορεί να αποφευχθεί η επιμετάλλωση. Στην περίπτωση αυτή, οι διαμερείς επαφές πραγματοποιούνται με συγκόλληση των καλωδίων των εξαρτημάτων και στις δύο πλευρές της πλακέτας, όπου απαιτείται. Κατά το σχεδιασμό της διάταξης αυτών των πλακετών, ο αριθμός των συνδέσεων συγκόλλησης στην πλευρά των εξαρτημάτων πρέπει να διατηρείται στο ελάχιστο, ώστε να διευκολύνεται η αφαίρεση των εξαρτημάτων, εάν απαιτείται. Ενδείκνυται να πραγματοποιούνται όσο το δυνατόν περισσότεροι αγωγοί στην πλευρά των μη εξαρτημάτων και μόνο οι υπόλοιποι να τοποθετούνται στην πλευρά των εξαρτημάτων.



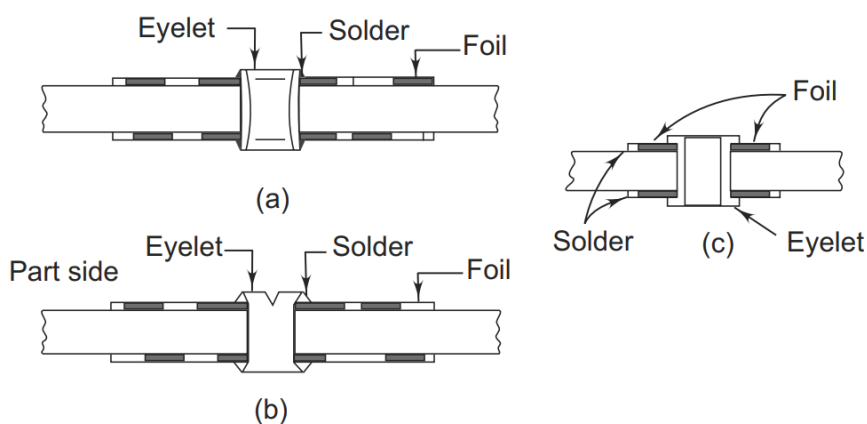
Εικόνα 5 Αναπαράσταση επιμεταλλωμένων τοιχωμάτων οπών.

Η τεχνική μη επιμετάλλωσης σε πλακέτες διπλής όψης παρουσιάζεται στην εικόνα 6 όπου η διασύνδεση γίνεται με σύρμα βραχυκυκλώματος. Ένα διαμορφωμένο μονωμένο συμπαγές καλώδιο μολύβδου τοποθετείται μέσω της οπής, και συγκολλάτε στην εκτεθειμένη περιοχή χαλκού της όδευσης σε κάθε πλευρά της πλακέτας.



Εικόνα 6 Αναπαράσταση τεχνικής σύνδεσης σε πλακέτες με μη επιμεταλλωμένες οπές.

Για τη διασύνδεση πλακετών διπλής όψης χρησιμοποιούνται επίσης διάφοροι τύποι οπών. Αυτοί απεικονίζονται στην εικόνα 7 .

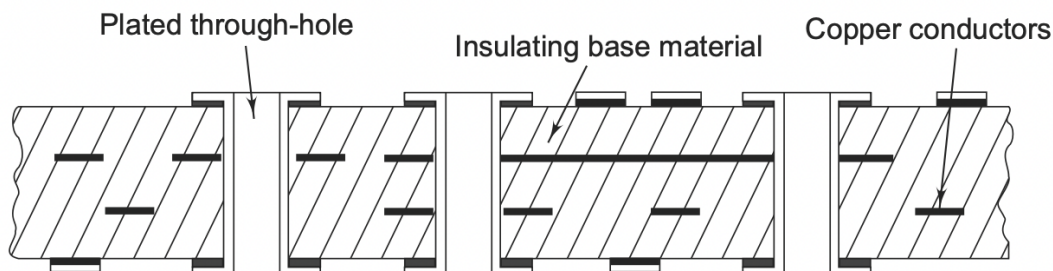


Εικόνα 7 Αναπαράσταση διάφορων τύπων οπών 1

### 1.2.3 Πλακέτες PCB πολλών στρωμάτων (πολυστρωματικές)

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας επιμεταλλωμένων διαμπερών οπών οδήγησε σε σημαντική μείωση των διασταυρώσεων αγωγών σε διαφορετικά επίπεδα. Επομένως, μειώθηκαν οι απαιτήσεις σε χώρο ενώ, αυξήθηκε η πυκνότητα τοποθέτησης των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Ωστόσο, οι σύγχρονες διατάξεις VLSI και οι άλλες διατάξεις διαμόρφωσης πολλαπλών ακροδεκτών έχουν αυξήσει ραγδαία την πυκνότητα συσκευασίας και, κατά συνέπεια, τη συγκέντρωση των γραμμών διασύνδεσης. Αυτό έχει προκαλέσει σύνθετα προβλήματα σχεδιασμού, όπως θόρυβος, διασταυρούμενη συνομιλία, αδέσποτες χωρητικότητες και απαράδεκτες πτώσεις τάσης λόγω παράλληλων γραμμών σήματος. Τα προβλήματα αυτά δεν ήταν εφικτό να επιλυθούν επαρκώς σε πλακέτες μίας ή δύο όψεων. Έτσι, έγινε αναγκαία η επέκταση της προσέγγισης των δύο επιπέδων στην πλακέτα κυκλωμάτων πολλαπλών στρώσεων. Μια πλακέτα πολλαπλών στρώσεων, επομένως, χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου η πυκνότητα των συνδέσεων που απαιτούνται είναι πολύ υψηλή για να αντιμετωπιστεί από δύο στρώματα ή όπου υπάρχουν άλλοι λόγοι, όπως ο ακριβής έλεγχος των αντιστάσεων της όδευσης ή για τη διαγράμμιση της γείωσης.

Η πλακέτα πολλαπλών στρώσεων χρησιμοποιεί περισσότερες από δύο πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων με ένα λεπτό στρώμα από το υλικό γνωστό ως "prepreg" που τοποθετείται μεταξύ κάθε στρώματος, δημιουργώντας έτσι μια διάταξη σάντουιτς, όπως φαίνεται στην εικόνα 8.

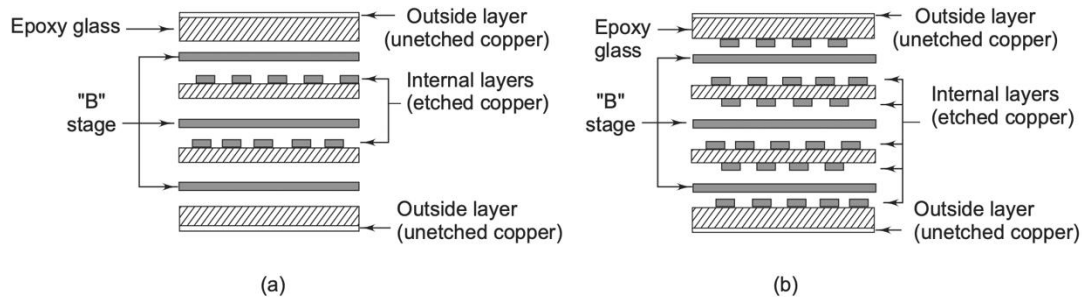


Εικόνα 8 Τομή πλακέτας πολλαπλών στρώσεων με τέσσερα στρώματα.

Το τυπωμένο κύκλωμα στην επάνω πλακέτα είναι παρόμοιο με ένα συμβατικό τυπωμένο κύκλωμα συναρμολόγησης της πλακέτας, εκτός από το ότι τα εξαρτήματα τοποθετούνται πολύ πιο κοντά για να αποφευχθεί η ύπαρξη πολλών ακροδεκτών. Αυτό το γεγονός καθιστά αναγκαία τη χρήση πρόσθετων στρωμάτων στην πλακέτα, για τις απαιτούμενες διασυνδέσεις. Το ηλεκτρικό κύκλωμα ολοκληρώνεται με τη διασύνδεση των διαφόρων στρωμάτων, με επιμεταλλωμένες διαμπερείς οπές, τοποθετημένες εγκάρσια στην πλακέτα σε κατάλληλα σημεία. Οι πλακέτες πολλαπλών στρωμάτων



έχουν τρία ή περισσότερα στρώματα κυκλώματος, ενώ ορισμένες πλακέτες έχουν ακόμη και πενήντα στρώματα. Στην εικόνα 9 παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες των δύο τύπων πλακετών πολλαπλών στρωμάτων, η μία με τέσσερα στρώματα και η άλλη με οκτώ στρώματα.



Εικόνα 9 Λεπτομέρειες πλακέτας τεσσάρων στρωμάτων (α). Λεπτομέρειες πλακέτας οχτώ στρωμάτων (β).

Χάρη στη δομή των αγωγών πολλαπλών στρώσεων, η τυπωμένη καλωδίωση πολλαπλών στρώσεων έχει διευκολύνει τη μείωση του βάρους και του όγκου των διασυνδέσεων ανάλογα με το μέγεθος και το βάρος των εξαρτημάτων που διασυνδέει.

Οι ακόλουθοι τομείς εφαρμογής καθιστούν αναγκαία τη χρήση τυπωμένων καλωδιώσεων πολλαπλών στρώσεων:

- Οπουδήποτε η εξοικονόμηση βάρους και όγκου στις διασυνδέσεις είναι ο πρωταρχικός γνώμονας, όπως σε στρατιωτικές και αερομεταφερόμενες πυραυλικές και διαστημικές εφαρμογές,
- Όταν η πολυπλοκότητα της διασύνδεσης σε υποσυστήματα απαιτεί περίπλοκη και δαπανηρή καλωδίωση.
- Όταν οι απαιτήσεις συχνότητας απαιτούν προσεκτικό έλεγχο και ομοιομορφία των κυματικών αντιστάσεων των αγωγών με ελάχιστες παραμορφώσεις και διάδοση του σήματος και όταν η ομοιομορφία αυτών των χαρακτηριστικών από πλακέτα σε πλακέτα είναι σημαντική.
- Όταν είναι απαραίτητη η σύζευξη ή η θωράκιση μεγάλου αριθμού συνδέσεων- η υψηλή χωρητικότητα που κατανέμεται μεταξύ των διαφόρων στρωμάτων παρέχει καλή αποσύνδεση της τροφοδοσίας που επιτρέπει την ικανοποιητική λειτουργία κυκλωμάτων υψηλής ταχύτητας,
- Με τις πολλαπλές στρώσεις, όλες οι διασυνδέσεις μπορούν να τοποθετηθούν στις εσωτερικές στρώσεις και στις εξωτερικές επιφάνειες μπορεί να τοποθετηθεί μια ψήκτρα από παχύ συμπαγή χαλκό. Με την τοποθέτηση των εξαρτημάτων απευθείας στις μεταλλικές επιφάνειες μπορεί να ελαχιστοποιηθεί

το πρόβλημα της κατανομής της θερμότητας και της απομάκρυνσης της θερμότητας στα συστήματα. Επίσης, η διάταξη των στοιχείων και ο σχεδιασμός απλοποιούνται σημαντικά λόγω της απουσίας των γραμμών τροφοδοσίας και γείωσης στα επίπεδα σήματος.

### 1.3 Γενικοί κανόνες σχεδιασμού PCB

Η βασική λειτουργία ενός τυπωμένου κυκλώματος είναι να παρέχει υποστήριξη για τα στοιχεία του κυκλώματος και να συνδέει ηλεκτρικά τα στοιχεία μεταξύ τους. Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων. Διαφέρουν ως προς το υλικό βάσης (έλασμα), τον τύπο του αγωγού, τον αριθμό των επιπέδων του αγωγού, την ακαμψία κ.λπ. Αναμένεται επομένως ότι οι σχεδιαστές τους είναι επαρκώς εξοικειωμένοι με τις παραλλαγές και την επίδρασή τους στο κόστος, την τοποθέτηση των εξαρτημάτων, την πυκνότητα των καλωδιώσεων, τους κύκλους παράδοσης και τη λειτουργική απόδοση. Κανένα τελικό προϊόν δεν είναι ποτέ καλύτερο από τον αρχικό του σχεδιασμό ή από το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται. Η διαδικασία κατασκευής, στην καλύτερη περίπτωση, μπορεί να αναπαράγει το σχέδιο. Το ίδιο ισχύει και για τις πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων. Η ανάγκη επισημοποίησης των μεθόδων και διαδικασιών σχεδιασμού και διάταξης είναι επομένως κρίσιμης σημασίας.

Ο σχεδιασμός και η διάταξη περιλαμβάνει σε γενικές γραμμές την οπτική του συνολικού υλικού του συστήματος, το οποίο περιλαμβάνει όχι μόνο το τυπωμένο κύκλωμα αλλά και κάθε εξάρτημα στην τελική του μορφή. Οι θεωρίες σχεδιασμού και διάταξης πρέπει επίσης να εξετάζουν τις σχέσεις και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εξαρτημάτων και των συγκροτημάτων σε όλο το σύστημα.

Οι τεχνικές απαιτήσεις που είναι πιθανό να επηρεάσουν το σχεδιασμό ενός ηλεκτρικού εξοπλισμού είναι οι μηχανικές, οι ηλεκτρικές, οι λειτουργικές και οι περιβαλλοντικές. Οι απαιτήσεις του μηχανικού σχεδιασμού περιλαμβάνουν το μέγεθος, το σχήμα και το βάρος, τη θέση των εξαρτημάτων και την τοποθέτησή τους, τις ανοχές διαστάσεων, τη θωράκιση και τη σήμανση του εξοπλισμού. Οι απαιτήσεις ηλεκτρολογικού σχεδιασμού έχουν παραμέτρους όπως η λειτουργία του κυκλώματος και η κατανομή της καλωδίωσης, η επιλογή εξαρτημάτων σε σχέση με τις ηλεκτρικές ονομαστικές τιμές, το μέγεθος και την ανοχή, οι εσωτερικές και εξωτερικές διασυνδέσεις.

Οι παράμετροι λειτουργικού σχεδιασμού περιλαμβάνουν την αξιοπιστία, την ικανότητα να μπορούν να συντηρηθούν, την προσβασιμότητα και την ανθρώπινη διαδραστικότητα (οθόνες, χειριστήρια). Ο μηχανικός σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως οι μηχανικοί κραδασμοί και οι δονήσεις, οι ακραίες θερμοκρασίες, η προστασία από αλατούχο νέφος και μύκητες και η λειτουργία στο διάστημα ή η υποβρύχια λειτουργία. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες δεν είναι απαραίτητα εγγενείς στις πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, αλλά με προσεκτικό σχεδιασμό, κατάλληλη επιλογή υλικών και τεχνικές κατασκευής, είναι δυνατή η βελτιστοποίηση των περισσότερων από τις παραπάνω παραμέτρους. Οι ακόλουθοι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων, συμπεριλαμβανομένων των πλακετών πολλαπλών στρώσεων.

## 1.4 Κατασκευή πλακετών PCB

### 1.4.1 Τοποθέτηση στοιχείων

Ο σχεδιασμός των PCB είναι 90% τοποθέτηση και 10% δρομολόγηση των οδύσεων. Η τοποθέτηση των στοιχείων είναι μακράν η πιο σημαντική πτυχή της διάταξης μιας πλακέτας. Η καλή τοποθέτηση των στοιχείων θα κάνει τη διαδικασία της δρομολόγησης των οδύσεων ευκολότερη και θα δώσει την καλύτερη ηλεκτρική απόδοση. Η κακή τοποθέτηση των στοιχείων μπορεί να δυσχεραίνει την διαδικασία της δρομολόγησης και να οδηγήσει σε κακή ηλεκτρική απόδοση. Μπορεί ακόμη και να καταστήσει μια πλακέτα μη κατασκευάσιμη. Επομένως, υπάρχουν πολλά που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την τοποθέτηση των στοιχείων.

Κάθε σχεδιαστής έχει τη δική του μέθοδο τοποθέτησης εξαρτημάτων, και αν δοθεί το ίδιο κύκλωμα (όσο απλό και αν είναι) σε εκατό διαφορετικούς έμπειρους σχεδιαστές θα δοθούν εκατό διαφορετικές διατάξεις PCB. Επομένως, δεν υπάρχει απόλυτος σωστός τρόπος τοποθέτησης των στοιχείων. Υπάρχουν όμως αρκετοί βασικοί κανόνες που βοηθούν στη βελτίωση της δρομολόγησής, προσφέρουν καλύτερη ηλεκτρική απόδοση και απλοποιούν μεγάλα και πολύπλοκα σχέδια.

Παρακάτω παρατίθενται τα βασικά βήματα που απαιτούνται για την τοποθέτηση των στοιχείων πάνω στην πλακέτα:

1. Ορισμός του πλέγματος συμπληρωματικών στοιχείων, του ορατού πλέγματος και τα προεπιλεγμένα μεγέθη τροχιάς/πεδίων.
2. Τοποθέτηση όλων των στοιχείων στην πλακέτα.

3. Διαχωρισμός και τοποθέτηση των στοιχείων σε λειτουργικά "δομικά στοιχεία" όπου αυτό είναι δυνατόν. Τα "δομικά στοιχεία" είναι συστοιχίες εξαρτημάτων που συνδυάζονται μεταξύ τους για να φτιάξουν για παράδειγμα ένα φίλτρο LC διέλευσης ζώνης συχνοτήτων.
4. Προσδιορισμός των κρίσιμων κομματιών της διάταξης στο κύκλωμά σας και δρομολόγηση τους.
5. Τοποθέτηση και δρομολόγηση κάθε "δομικού στοιχείου" ξεχωριστά, εκτός της πλακέτας.
6. Μετακίνηση των ολοκληρωμένων "δομικών στοιχείων" στη θέση τους στην κύρια πλακέτα.
7. Δρομολόγηση των υπολοίπων συνδέσεων, σήματος και ισχύος μεταξύ των "δομικών στοιχείων".
8. Σύμπτυξη των κενών χώρων της πλακέτας, και τοποθέτηση των στοιχείων στην καλύτερη δυνατή θέση πάνω στην πλακέτα ώστε να απλοποιούνται οι συνδέσεις μεταξύ των "δομικών στοιχείων".
9. Πραγματοποίηση ελέγχου κανόνων σχεδίασης.

Τα παραπάνω αποτελούν έναν πολύ καλό οδηγό για την παραγωγή μιας επαγγελματικής κατασκευής. Δεν είναι όμως ένας καθολικός κανόνας που μπορεί να ακολουθηθεί για όλα τα κυκλώματα. Παρακάτω εξηγείται αναλυτικότερα η διαδικασία τοποθέτησης των στοιχείων.

Αρχικά, θα πρέπει να εξεταστούν τα πλέγματα και τα μεγέθη των γραμμών και των "δομικών στοιχείων". Πολλοί σχεδιαστές ξεκινούν κατευθείαν με την τοποθέτηση των στοιχείων στην θέση στην οποία θεωρούν ως βέλτιστη. Αυτό μπορεί να είναι λειτουργικό για την δημιουργία μικρών κυκλωμάτων, όμως, σε κυκλώματα με δεκάδες, εκατοντάδες ή ίσως και χιλιάδες στοιχεία δεν είναι τόσο αποτελεσματικό. Ο λόγος είναι ότι ο σχεδιαστής μπορεί να μην έχει αρκετό χώρο δρομολόγησης οδεύσεων. Στην περίπτωση που αυτός προσπαθήσει να συμπτύξει την πλακέτα όσο το δυνατόν περισσότερο, δεν θα μείνει χώρος δρομολόγησης ενώ εάν τα στοιχεία διασκορπιστούν πάνω στην πλακέτα, θα καταλήξει με χώρους πάνω στην πλακέτα που δεν χρησιμοποιούνται κάνοντας την αχρείαστα μεγάλη, αναποτελεσματική και ακριβή.

Ένας άπειρος σχεδιαστής μπορεί πολύ εύκολα να σχεδιάσει μία πλακέτα στην οποία όλα τα στοιχεία να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα και στην συνέχεια να υπάρχουν χιλιάδες διαδρομές οδεύσεων που διασχίζουν την πλακέτα καθώς και συνδετικές οπές μεταξύ των δύο πλευρών της. Πιθανώς, η πλακέτα να είναι

λειτουργική αλλά το πιο πιθανό είναι το τελικό προϊόν να είναι άσχημο, αναποτελεσματικό, μεγαλύτερο και ακριβότερο.

Πολλοί σχεδιαστές ξεκινούν κατευθείαν με την τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων, στις θέσεις που θεωρούν βέλτιστες. Ενώ αυτό μπορεί να λειτουργήσει για μικρά κυκλώματα, στα πιο σύνθετα κυκλώματα με εκατοντάδες εξαρτήματα που κατανέμονται σε πολλά λειτουργικά μπλοκ κυκλωμάτων, αυτή η τεχνική δεν αποδίδει. Αναλυτικότερα είναι πολύ εύκολο να μην υπάρχει επιπλέον "χώρος δρομολόγησης", δηλαδή χώρος για να τοποθετηθούν όλα τα κομμάτια. Εάν όλες οι θέσεις των εξαρτημάτων καθοριστούν και στη συνέχεια γίνει προσπάθεια για την εκτέλεση των υπόλοιπων βημάτων, είναι πιθανό να περιοριστεί ο χώρος. Εναλλακτικά, αν τοποθετηθούν τα εξαρτήματα σε πολύ μεγάλο διάστημα, το τελικό αποτέλεσμα θα είναι μια μεγάλη πλακέτα που δεν μεγιστοποιεί την αξιοποίηση του χώρου.

Ο καλύτερος τρόπος για να ξεκινήσει η διάταξη των στοιχείων είναι να τοποθετηθούν πρώτα όλα τα στοιχεία στην οθόνη. Εάν είναι διαθέσιμο ένα συνοδευτικό πακέτο σχηματικών σχεδίων, τότε ο απλούστερος τρόπος για να γίνει αυτό είναι να βάλουμε το πρόγραμμα σχεδίασης να εισάγει το σχηματικό σχέδιο και να επιλέξει αυτόματα όλα τα στοιχεία, η διαδικασία αυτή αναλύεται διεξοδικότερα στην συνέχεια. Στην περίπτωση που το μόνο που μπορεί να αξιοποιηθεί είναι το πρόγραμμα σχεδίασης, χωρίς πακέτο σχηματικών σχεδίων, τότε κάθε στοιχείο που θέλουμε να αξιοποιηθεί θα πρέπει να επιλεγεί από την βιβλιοθήκη του προγράμματος και να τοποθετηθεί χειροκίνητα για την διαμόρφωση του σχηματικού διαγράμματος.

Όταν όλα τα στοιχεία έχουν εισαχθεί στο επίπεδο, φαίνεται το αν αυτά θα χωρέσουν εύκολα στο μέγεθος (και το σχήμα) της πλακέτας που σχεδιάζεται. Αν η τοποθέτησή τους καθίσταται δύσκολη, τότε θα πρέπει να καταβληθεί επιπλέον προσπάθεια για να παραμείνουν οι αποστάσεις των στοιχείων όσο το δυνατόν μικρότερες και η δρομολόγηση των οδεύσεων αποτελεσματική. Εάν φαίνεται ότι υπάρχει άφθονος χώρος, τότε μπορεί κανείς να είναι πιο ελεύθερος στη διάταξη. Φυσικά, αν φαίνεται ότι υπάρχουν μικρές πιθανότητες να τοποθετηθούν τα στοιχεία στην πλακέτα, θα πρέπει να επιστρέψουμε στο σχέδιο και να κάνουμε τις απαραίτητες μετατροπές.

Στα επόμενα βήματα ο σχεδιαστής μπορεί να αναλύσει το σχηματικό και να καθορίσει ποια μέρη του σχεδίου μπορούν να χωριστούν σε "δομικά στοιχεία". Συχνά αυτό είναι αρκετά προφανές. Για παράδειγμα, αν υπάρχει ένα πολύπλοκο ενεργό φίλτρο στο κύκλωμά, αυτό τυπικά θα έχει μία μόνο γραμμή εισόδου και μία μόνο

γραμμή εξόδου, αλλά θα έχει πολλά στοιχεία και συνδέσεις ως μέρος του φίλτρου. Αυτό είναι ένα κλασικό κύκλωμα "δομικού στοιχείου" και ένα κύκλωμα που προσφέρεται για να συνδυάσει όλα αυτά τα στοιχεία μαζί στην ίδια θέση. Έτσι, ο σχεδιαστής θα επιλέξει όλα αυτά τα εξαρτήματα και θα αρχίσει να τα αναδιατάσσει σε μια πλευρά της πλακέτας σας.

Συνεχίζοντας ο σχεδιαστής θα χρειαστεί να χωρίσει τα ηλεκτρικά ευαίσθητα μέρη του σχεδίου σε μεγαλύτερα "δομικά στοιχεία". Ένα σημαντικό παράδειγμα είναι τα μικτά ψηφιακά και αναλογικά κυκλώματα. Το ψηφιακό και το αναλογικό απλά δεν συνδυάζονται και θα πρέπει να διαχωριστούν σε φυσικό και ηλεκτρικό επίπεδο. Ένα άλλο παράδειγμα είναι με κυκλώματα υψηλής συχνότητας και υψηλού ρεύματος, δεν μπορεί να συνδυαστεί με ευαίσθητα κυκλώματα χαμηλής συχνότητας και χαμηλού ρεύματος.

Ως γενικός κανόνας, τα στοιχεία θα πρέπει να είναι σωστά κατανομημένα. Έχοντας ολοκληρωμένα κυκλώματα στην ίδια κατεύθυνση, αντιστάσεις σε τακτοποιημένες στήλες, πολωμένους πυκνωτές γύρω-γύρω με τον ίδιο τρόπο και συνδέσεις στην άκρη της πλακέτας. Εδώ οφείλει κανείς να προσέχει μήπως αυτό λειτουργήσει εις βάρος μιας ηλεκτρικά κακής διάταξης ή μιας υπερβολικά μεγάλης πλακέτας. Οι ηλεκτρικές παράμετροι θα πρέπει πάντα να υπερισχύουν των σωστά ευθυγραμμισμένων εξαρτημάτων.

Η συμμετρία είναι πραγματικά ωραία στο σχεδιασμό πλακετών, είναι αισθητικά ευχάριστη. Αν διαταχθούν δύο πανομοιότυπα κυκλώματα με δομικά στοιχεία δίπλα-δίπλα και το ένα είναι τοποθετημένο ελαφρώς διαφορετικά, αυτό αυτομάτως ξεχωρίζει.

Αν έχουν τοποθετηθεί τα στοιχεία με σύνεση, το 90% της δουλειάς θα έχει ολοκληρωθεί. Το υπόλοιπο 10% είναι τετριμμένες διαδικασίες. Η καλή τοποθέτηση αποτελεί την βάση του τελικού αποτελέσματος.

Μόλις ο σχεδιαστής είναι ικανοποιημένος με τις τοποθετήσεις των στοιχείων, μπορεί να αρχίσει να δρομολογεί όλα τα διαφορετικά δομικά στοιχεία ξεχωριστά. Όταν τελειώσει με τα παραπάνω, μένει μόνο να μετακινηθούν και να τακτοποιηθούν τα δομικά στοιχεία στο υπόλοιπο σχέδιο.

Ο έλεγχος κανόνων σχεδίασης (DRC) θα καλυφθεί αργότερα, αλλά είναι ένα βασικό βήμα για να διασφαλίσει κανείς ότι η πλακέτα είναι σωστή πριν από την κατασκευή. Ο DRC ελέγχει τη σωστή συνδεσιμότητα των διαδρομών, καθώς και τα σωστά πλάτη και αποστάσεις.

Μπορεί να ακούγεται σαν μια υπερβολικά μονότονη διαδικασία, αλλά είναι πραγματικά ένα σημαντικό βήμα. Ανεξάρτητα από το πόσο έμπειρος είναι ο σχεδιαστής PCB, πάντα είναι πιθανό να έχει παραβλέψει κάτι. Μία δεύτερη γνώμη και μια διαφορετική νοοτροπία θα εντοπίσει προβλήματα που θα περνούσαν απαρατήρητα.

#### 1.4.2 Κανόνες για τον σχεδιασμό οδεύσεων

Η δρομολόγηση είναι η διαδικασία τοποθέτησης των διαδρομών για τη σύνδεση των στοιχείων στην πλακέτα. Μια ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ δύο ή περισσότερων στοιχείων ονομάζεται "όδευση".

- Τα κυκλώματα των οδεύσεων πρέπει να διατηρούνται όσο το δυνατόν συντομότερα. Όσο μεγαλύτερο είναι το συνολικό μήκος της διαδρομής, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση, η χωρητικότητα και η αυτεπαγωγή της. Όλα αυτά μπορεί να είναι ανεπιθύμητοι παράγοντες.
- Οι διαδρομές πρέπει να έχουν γωνίες μόνο 45 μοιρών. Η αποφυγή στη χρήση ορθών γωνιών είναι επιθυμητή και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται γωνίες μεγαλύτερες από 90 μοίρες. Αυτό είναι σημαντικό για να δοθεί μια επαγγελματική εμφάνιση στην πλακέτα. Τα προγράμματα για την κατασκευή πλακετών έχουν λειτουργίες για να επιβάλουν διαδρομές των 45 μοιρών που μπορεί ο σχεδιαστής να χρησιμοποιήσει. Αντίθετα με τη δημοφιλή πεποίθηση, οι απότομες γωνίες ορθής γωνίας στα κομμάτια δεν παράγουν μετρήσιμη ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή ή άλλα προβλήματα. Οι λόγοι για την αποφυγή των ορθών γωνιών είναι πολύ πιο απλοί. Δεν φαίνεται αισθητικά καλό και μπορεί να έχει κάποιες κατασκευαστικές επιπτώσεις.
- Οι στρογγυλεμένες γωνίες μπορεί να φαίνονται αισθητικά ευχάριστες όμως είναι πιο δύσκολο και αργό να τοποθετηθούν και δεν έχουν κανένα πραγματικό πλεονέκτημα. Οι στρογγυλεμένες γωνίες στον σχεδιασμό των οδεύσεων ανήκουν στην εποχή πριν από τα λογισμικά σχεδίασης CAD, στην εποχή σχεδίασης κυκλωμάτων σε film.
- Η δρομολόγηση των οδεύσεων συνιστάται να περικλείει ολόκληρη την πλακέτα και μην πηγαίνει απλά από σημείο σε σημείο. Η δρομολόγηση από σημείο σε σημείο μπορεί να φαίνεται πιο αποτελεσματική σε έναν αρχάριο στην αρχή, αλλά υπάρχουν μερικοί λόγοι για τους οποίους δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Ο πρώτος είναι ότι είναι αισθητικά ευχάριστο, πάντα ένας σημαντικός παράγοντας στη σχεδίαση PCB, ο δεύτερος είναι ότι δεν είναι πολύ αποδοτικό

σε χώρο όταν θέλετε να περάσουμε περισσότερες διαδρομές σε άλλα στρώματα.

- Με την ενεργοποίηση του ηλεκτρικού πλέγματος, το οποίο μερικές φορές αναφέρεται ως επιλογή "σύνδεση στο κέντρο" ή "σύνδεση στο κοντινότερο", επιτρέπουμε στο λογισμικό να βρει αυτόματα το κέντρο των επιχαλκωμένων εκτεθειμένων πεδίων (pads) και τα άκρα των οδεύσεων αυτόματα. Αυτό είναι χρήσιμο στην περίπτωση που έχουμε επιχαλκωμένα εκτεθειμένα πεδία και κομμάτια που δεν είναι ευθυγραμμισμένα με το τρέχον πλέγμα. Εάν αυτές επιλογές δεν είναι ενεργοποιημένες, τότε μπορεί να χρειαστεί να μειωθεί το πλέγμα συμπληρωματικών στοιχείων σας μέχρι να βρεθεί ένα που να ταιριάζει πράγμα που προσθέτει πολλά περισσότερα βήματα και είναι χρονοβόρο.
- Η όδευση πρέπει να συνδέεται πάντα με το κέντρο του πεδίου που αναπαριστά την το σημείο σύνδεσης και όχι να τελειώνει στην άκρη του. Αρχικά είναι ότι είναι πρόχειρο και αντιεπαγγελματικό. Έπειτα το σχεδιαστικό πρόγραμμα μπορεί να μην αναγνωρίζει ότι το κομμάτι κάνει ηλεκτρική σύνδεση με το πεδίο.
- Η χρησιμοποίηση μιας ενιαίας διαδρομής και όχι πολλών συνδεδεμένων μεταξύ τους είναι επιθυμητή. Μπορεί να μην έχει καμία διαφορά στην εμφάνιση της τελικής σας πλακέτας, αλλά μπορεί να είναι δυσχερές για τη μελλοντική επεξεργασία. Συχνά η διαδρομή θα πρέπει να επεκταθεί. Σε αυτή την περίπτωση είναι καλύτερο να διαγραφεί η προηγούμενη και να τοποθετηθεί μια καινούργια. Το βήμα αυτό μπορεί να είναι χρονοβόρο αλλά κάνει το σχέδιο να φαίνεται πιο επαγγελματικό και να ξεχωρίζει.
- Η δρομολόγηση οδεύσεων μεταξύ των "pads" με απόσταση μικρότερη των 2.54 mm πρέπει να αποφεύγεται εκτός αν είναι απολύτως απαραίτητο. Μόνο σε μεγάλα και πολύ πυκνά σχέδια θα πρέπει να εξετάζετε το ενδεχόμενο αυτό. Τρεις οδεύσεις μεταξύ των pads δεν είναι σπάνιο φαινόμενο, αλλά οι ανοχές σε αυτό το επίπεδο γίνονται πολύ μικρές. Ως pads αναφέρονται απογυμνωμένες περιοχές χαλκού που λειτουργούν σαν βάσεις, οι οποίες συνδέονται με τις οδεύσεις, για την κόλληση των στοιχείων και την σύνδεσή τους με το κύκλωμα.
- Για υψηλά ρεύματα, χρησιμοποιούνται πολλαπλές επιχαλκωμένες οπές που συνδέουν τα δυο ή περισσότερα στρώματα του PCB (vias). Αυτό μειώνει τη σύνθετη αντίσταση της όδευσης και θα βελτιώνει την αξιοπιστία της. Αυτός



είναι ένας γενικός κανόνας όποτε χρειάζεται να μειωθεί την αντίσταση της όδευσης ή του επιπέδου ισχύος.

- Η όπου είναι δυνατόν μπορεί να υπάρχει μείωση στην διατομή της όδευσης μεταξύ των pads, για παράδειγμα μία όδευση 0.254 mm που δρομολογείται ενδιάμεσα από 2 pads του 1.524 mm έχει ένα εύλογο διάκενο των 0.381 mm though μεταξύ των δύο.
- Εάν οι οδεύσεις ισχύος και γειώσεως θεωρούνται κρίσιμες, τότε τοποθετούνται πρώτες. Επίσης, οι οδεύσεις ισχύος πρέπει να γίνονται όσο το δυνατόν μεγαλύτερες.
- Οι γραμμές τροφοδοσίας και γείωσης πρέπει να παραμένουν σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, όπου αυτό είναι δυνατόν, και να μην βρίσκονται σε διαφορετικές μεριές της πλακέτας. Αυτό μειώνει την αυτεπαγωγή βρόγχου του συστήματος τροφοδοσίας και επιτρέπει την αποτελεσματική παράκαμψη.
- Οι μη συνδεδεμένες χάλκινες οπές είναι ανεπιθύμητες, αυτές πρέπει είτε να γειωθούν είτε να αφαιρεθούν.

Στην περίπτωση κατασκευής μια μη επιμεταλλωμένη πλακέτας διπλής όψης, υπάρχουν ορισμένα επιπλέον πράγματα που πρέπει να επιληφθούν. Οι μη επιμεταλλωμένες διαμπερείς οπές απαιτούν έναν σύνδεσμο μέσω της πλακέτας τόσο στο επάνω όσο και στο κάτω μέρος της.

- Η τοποθέτηση οπών "vias" στο κάτω μέρος των στοιχείων είναι μη επιθυμητή. Μόλις το στοιχείο συγκολληθούν στη θέση τους, η πρόσβαση στην ένωση για να συγκολληθεί μια διέλευση καθίσταται αδύνατη. Η ένωση συγκόλλησης για τη διέλευση μπορεί επίσης να παρεμποδίσει το εξάρτημα.
- Η χρησιμοποίηση στοιχείων με μακρύτερα σημεία σύνδεσης είναι επιθυμητή καθώς αυτό ελαχιστοποιεί την χρήση οπών σύνδεσης "vias". Η χρήση αυτών των οπών προσθέτει σημεία συγκόλλησης στην πλακέτα πράγμα που μειώνει την αξιοπιστία της.

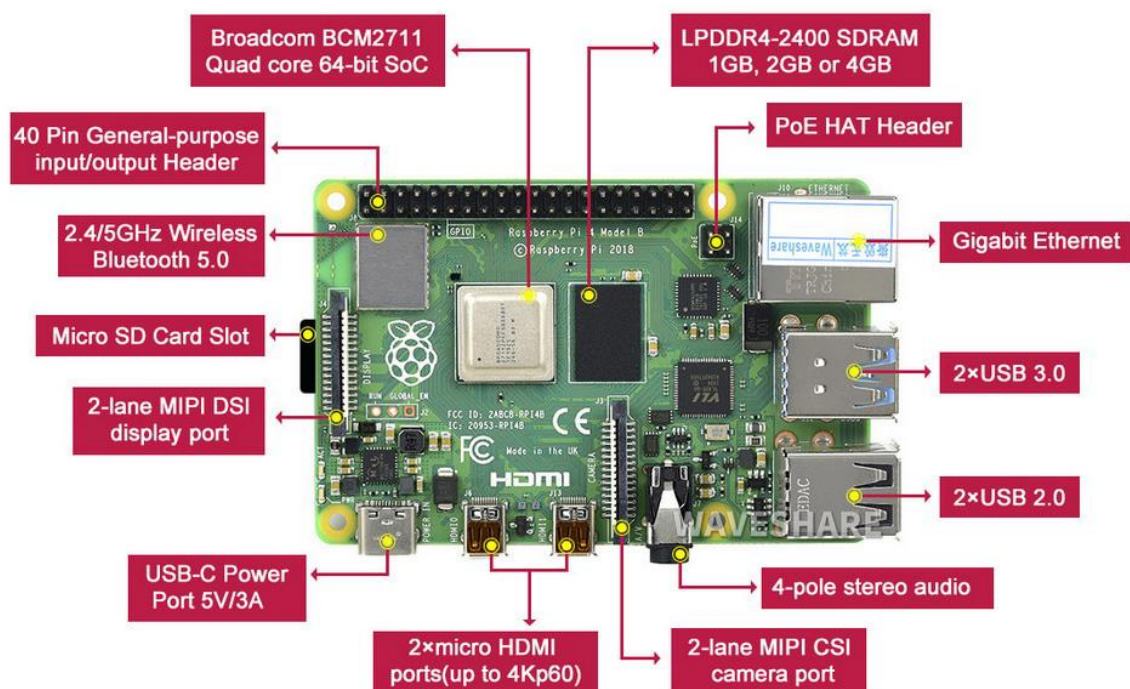
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα επιμέρους εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της τελικής πλακέτας. Τα εξαρτήματα που παρουσιάζονται εδώ συναρμολογούν πάνω στο PCB που σχεδιάστηκε για τους σκοπούς της εργασίας και θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο.

### 2.1 Μικροϋπολογιστής Raspberry Pi

Το Raspberry Pi είναι μία σειρά μικρο-υπολογιστών που αναπτύχθηκε στην Αγγλία από την Raspberry Pi Foundation σε συνεργασία με την Broadcom. Αναλυτικότερα, η πλακέτα αποτελείται από ένα μόνο κύκλωμα, έχει μεγάλη υπολογιστική ικανότητα και ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις. Το λειτουργικό σύστημα που προτείνεται από τον κατασκευαστή της πλακέτας είναι το Raspbian που πρόκειται για ένα Linux λειτουργικό σύστημα το οποίο βασίζεται στο Debian. Παράλληλα μπορεί να αξιοποιηθεί και με άλλα λειτουργικά συστήματα όπως Windows 10 IoT Core, Ubuntu, RISC OS κα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Raspberry Pi 4B+ για την λήψη μετρήσεων.

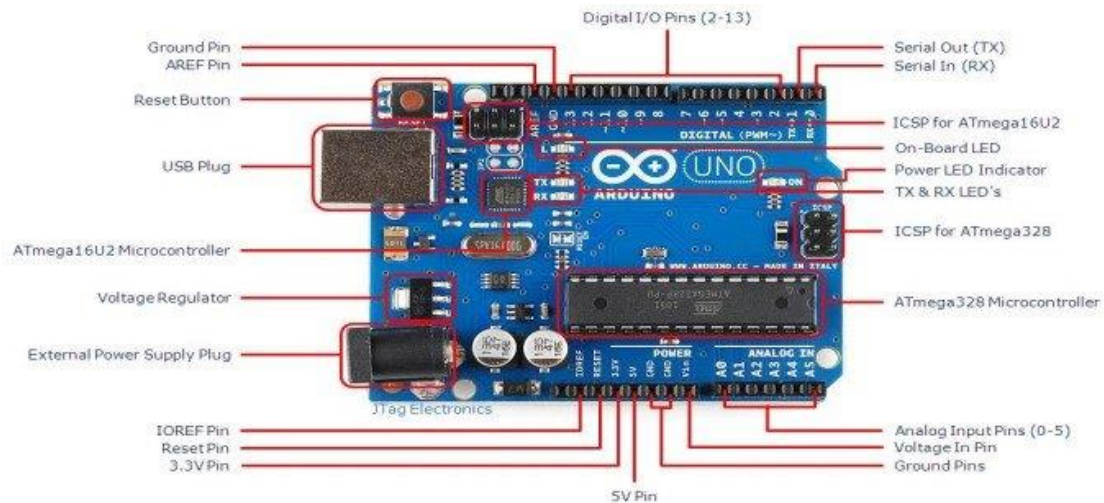
Το Raspberry Pi 4B+ αποτελεί ένα από τα τελευταία μοντέλα των Raspberry Pi's που έχουν κυκλοφορήσει. Αναλυτικότερα διαθέτει CPU Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC χρονισμένη στα 1.5GHz, διατίθεται σε μοντέλα με μνήμη 1GB, 2GB, 4GB, 8GB LPDDR4-3200 SDRAM, 2.4 GHz and 5.0 GHz IEEE 802.11ac wireless, Bluetooth 5.0, BLE, θύρα Ethernet με ικανότητα 1 Gigabit, 2 USB 3.0 ports, 2 USB 2.0 ports, Raspberry Pi standard 40 pin GPIO header (πλήρως αμφίδρομα συμβατό με προηγούμενα μοντέλα), 2 micro-HDMI ports (ικανής μετάδοσης εικόνας έως 4K60), 2-lane MIPI DSI port, 2-lane MIPI CSI camera port, 4-pole stereo audio and composite video port, H.265 (4kp60 decode), H264 (1080p60 decode, 1080p30 encode), OpenGL ES 3.1, Vulkan 1.0, Micro-SD card slot για φόρτωση λειτουργικού συστήματος και αποθήκευση δεδομένων, 5V DC via USB-C connector (minimum 3A), 5V DC via GPIO header (minimum 3A), παροχή ενέργειας μέσω Ethernet (PoE) ενεργοποιημένο (απαιτείται ξεχωριστό PoE HAT) και η ασφαλής θερμοκρασία λειτουργίας του προτείνεται να είναι μεταξύ 0-50 βαθμούς Κελσίου.



Εικόνα 10 Αναπαράσταση πλακέτας PCB Raspberry pi.

## 2.2 ARDUINO

Η δημιουργία του Arduino χρονολογείται το 2005. Πρωταρχικός σκοπός του ήταν η δημιουργία μιας οικονομικής ανταγωνιστικής εκπαιδευτικής πλακέτας της οποίας ο προγραμματισμός γίνεται με την χρησιμοποίηση της γλώσσας C ή η C++ μέσω του προγραμματιστικού περιβάλλοντος Arduino Integrated Development Environment (IDE). Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε το Arduino Nano V3 τόσο για το μέγεθος του, όσο και για το ότι οι δυνατότητές του δεν υστερούν στο ελάχιστο έναντι του Arduino UNO. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται το Arduino Uno, το οποίο έχει ακριβώς ίδιες δυνατότητες με το Arduino Nano V3. Το Arduino Nano V3 έχει δώδεκα ψηφιακές εξόδους στους ακροδέκτες 5-16 και οχτώ αναλογικές στους ακροδέκτες 19-26.



Εικόνα 11 Αναπαράσταση πλακέτας PCB Arduino UNO.

### 2.3 ADS1115 I2C 16-Bit 4 Channel ADC

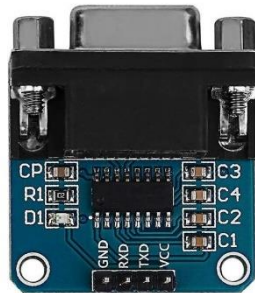
Για τη μέτρηση αναλογικών σημάτων με τη χρήση του μικροϋπολογιστή Raspberry pi, απαιτούνται μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό σήμα. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ο ADS 1115. Ο ADS 1115 είναι ένας μικρός, χαμηλής κατανάλωσης, δεκαέξι bit μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα, ο οποίος είναι συμβατός με το πρωτόκολλο επικοινωνίας I2C. Για να μπορέσει να επικοινωνήσει ένας μικροελεγκτής ή μικροεπεξεργαστής με κάποιο περιφερειακό ολοκληρωμένο κύκλωμα, όπως για παράδειγμα έναν Αναλογικό – Ψηφιακό Μετατροπέα, είναι απαραίτητη η διασύνδεση των δύο μέσω ενός πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Τα δύο κυριότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται είναι η Μονάδα Σειριακής Περιφερειακής Επικοινωνίας (Serial Peripheral Interface – SPI) και ο Διάυλος Διασύνδεσης Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων (Inter-Integrated Circuit – I2C). Η διεπαφή μέσω πρωτοκόλλου επικοινωνίας I2C περιλαμβάνει τη σύνδεση τεσσάρων διαφορετικών ακροδεκτών του μικροϋπολογιστή με την περιφερειακή συσκευή μέσω καλωδίων. Συγκεκριμένα, ένα καλώδιο συνδέεται με την τάση τροφοδοσίας (3.3V ή 5V), ένα με τη γείωση (GND), ενώ τα δύο εναπομείναντα SCL και SDA, τα οποία είναι χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου I2C, συνδέονται στις αντίστοιχες θέσεις SCL και SDA της συσκευής. Η γραμμή SCL είναι υπεύθυνη για το χρονισμό της μεταφοράς δεδομένων, ενώ η γραμμή SDA αποτελεί τη γραμμή μεταφοράς δεδομένων.



Εικόνα 12 Αναπαράσταση πλακέτας ADS1115 i2c 16-Bit ADC τεσσάρων καναλιών.

## 2.4 MAX3232 RS232 to TTL Serial Port Converter Module DB9 Connector MAX232

Για την επικοινωνία του μικροϋπολογιστή Raspberry Pi με συσκευές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο RS232, επιλέχθηκε το MAX3232 RS232 to TTL Serial Port Converter Module DB9 Connector MAX232 τον οποίο βλέπουμε στην εικόνα . Διαθέτει μία τετρατραπλή κεφαλή με πιν (GND/ RXD / TXD / VCC) και τροφοδοτείται μέσω αυτών με 3.0-5.5 V.

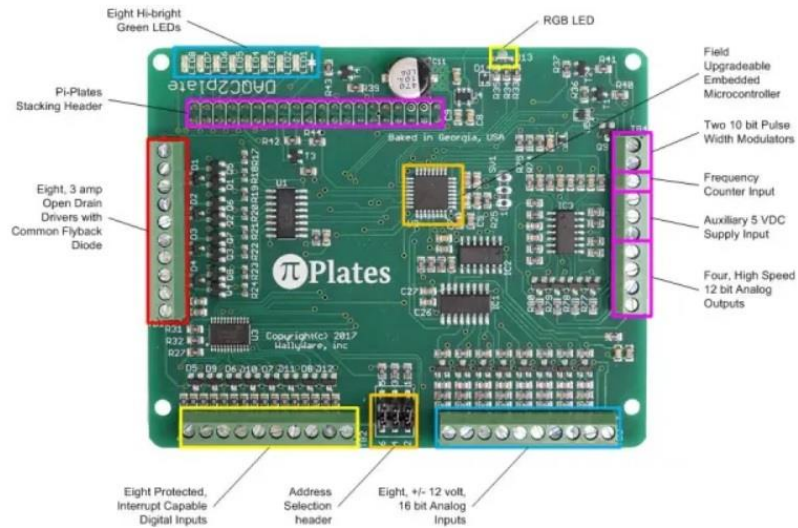


Εικόνα 13 Αναπαράσταση πλακέτας PCB ενός MAX3232 RS232 to TTL Serial Port Converter Module.

## 2.5 Raspberry pi HAT από την εταιρεία DAQC2Plate

Επιπρόσθετα, σε ακροδέκτες που συνδέονται με μικροϋπολογιστή Raspberry pi θα συνδεθεί ένα HAT από την εταιρεία DAQC2Plate, το οποίο περιλαμβάνει 8 εξαιρετικά ισχυρές ψηφιακές εξόδους για την σύνδεση εξωτερικών συσκευών, όπως ρελέ και LED υψηλού ρεύματος, καθώς και οκτώ αναλογικές προς ψηφιακές εισόδους 16 bit,  $\pm 12$  Volt για μετρήσεις ακριβείας της θερμοκρασίας, της τάσης, της υγρασίας κα. Επιπλέον, υπάρχουν οκτώ ψηφιακές εισοδοι, τέσσερις αναλογικές έξοδοι υψηλής ταχύτητας 12 bit (DAC), δύο διαμορφωτές εύρους παλμών 10 bit, μια ειδική είσοδο για τη μέτρηση της συχνότητας και οκτώ ενδεικτικές λυχνίες LED γενικής χρήσης. Λόγω της ταχύτητας του DAQC2plate, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βασικός

ψηφιακός παλμογράφος ή γεννήτρια συναρτήσεων δύο καναλιών. Λόγω της ακρίβειάς του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κλιμακούμενος καταγραφέας δεδομένων. Και, λόγω της ισχύος του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ελεγκτής διπλού βηματικού κινητήρα. Όλο το λογισμικό που παρέχει αυτές τις εφαρμογές είναι δωρεάν για λήψη.



Εικόνα 14 Αναπαράσταση πλακέτας PCB ενός Pi Hat από την εταιρία DAQ2plate.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ PCB ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται το κυρίως μέρος της παρούσας εργασίας, το οποίο είναι η σχεδίαση και κατασκευή ενός πρωτότυπου PCB, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τη λήψη μετρήσεων και τον έλεγχο συσκευών με το πρωτόκολλο RS232. Αρχικά παρουσιάζεται ο σχεδιασμός, έπειτα παραπείθονται οι εικόνες και τελικά οι πληροφορίες για το πως έγινε η κατασκευή.

### 3.1 Σχεδίαση πρωτότυπου PCB

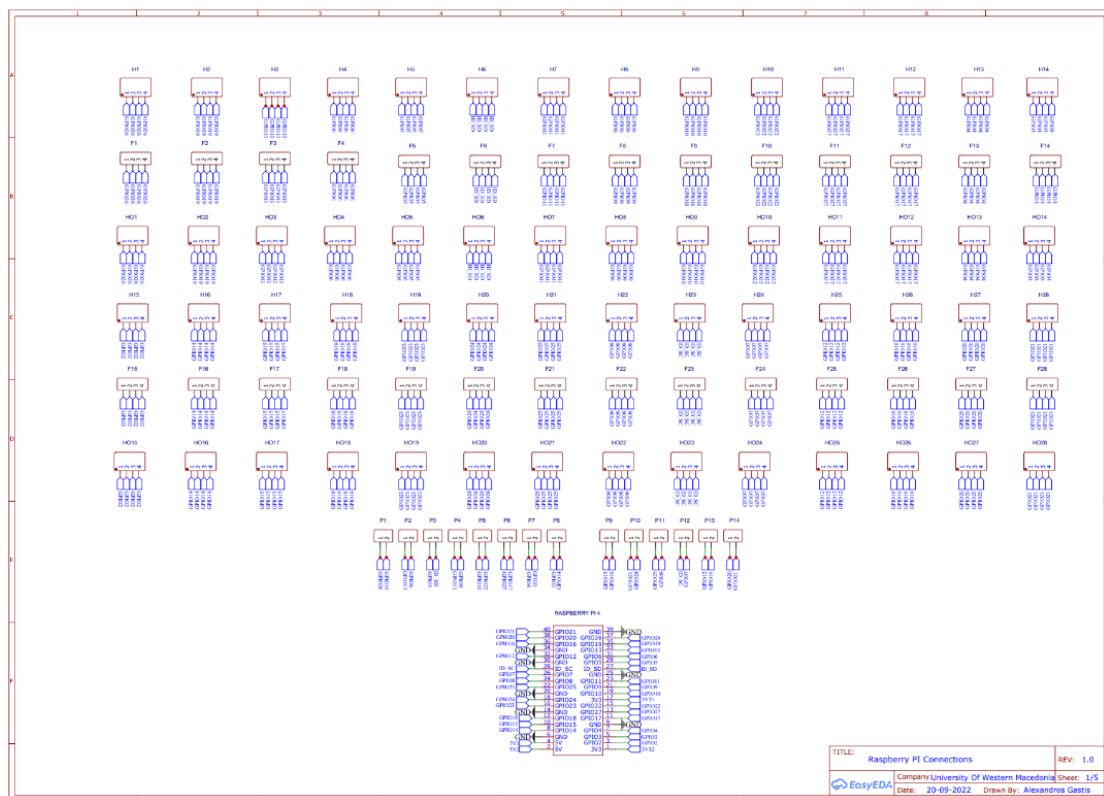
Για τον σχεδιασμό της πλακέτας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό EasyEDA. Το EasyEDA είναι ένα εύκολο, δωρεάν και πολύ ικανό πρόγραμμα για τον σχεδιασμό πλακετών. Το πρόγραμμα παρέχει σε μηχανικούς, μαθητές, εφευρέτες και γενικούς χρήστες που θέλουν να δημιουργήσουν μια πλακέτα, την δυνατότητα να σχεδιάσουν, υλοποιήσουν και μοιραστούν τα σχέδιά τους. Το λογισμικό αυτό περιέχει κατάλογο στοιχείων από το site ηλεκτρονικών LCSC καθώς και μοιρασμένα στοιχεία από απλούς χρήστες. Η έκδοση του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε είναι η Standard Version 6.5.5 η οποία κατέβηκε και εγκαταστάθηκε από την επίσημη ιστοσελίδα της Easy EDA, [easyeda.com](http://easyeda.com). Επιπρόσθετα, διαθέτει κατασκευαστικές υπηρεσίες από το JLCPCB, απ' όπου τελικά αγοράστηκε η πλακέτα, που σχεδιάστηκε στην παρούσα εργασία. Ένα σχέδιο στο EasyEDA χωρίζεται σε τρία μέρη. Αναλυτικότερα, το πρώτο μέρος ονομάζεται σχηματικό, το δεύτερο μέρος είναι το αποτύπωμα και το τρίτο μέρος είναι η τρισδιάστατη και δισδιάστατη αποτύπωση των στοιχείων.

#### 3.1.2 Σχηματικό διάγραμμα PCB

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία τόσο από την βιβλιοθήκη του LCSC όσο και από την βιβλιοθήκη των χρηστών. Το Easy EDA περιλαμβάνει μια πληθώρα εργαλείων τα οποία μας βοηθούν τόσο στο φτιάξουμε ένα σχέδιο πιο γρήγορα όσο και στο να είναι ευανάγνωστο και εύκολο να διορθωθεί αν προκύψουν τυχών λάθη ή επιθυμητές αλλαγές. Ένα από αυτά τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι το Net Port. Το συγκεκριμένο εργαλείο μας επιτρέπει να συνδέουμε τα στοιχεία πολύ εύκολα και γρήγορα αφού η σύνδεση γίνεται απλώς δίνοντας το ίδιο όνομα στα Net Port τα οποία θέλουμε να συνδέσουμε. Αυτό μας

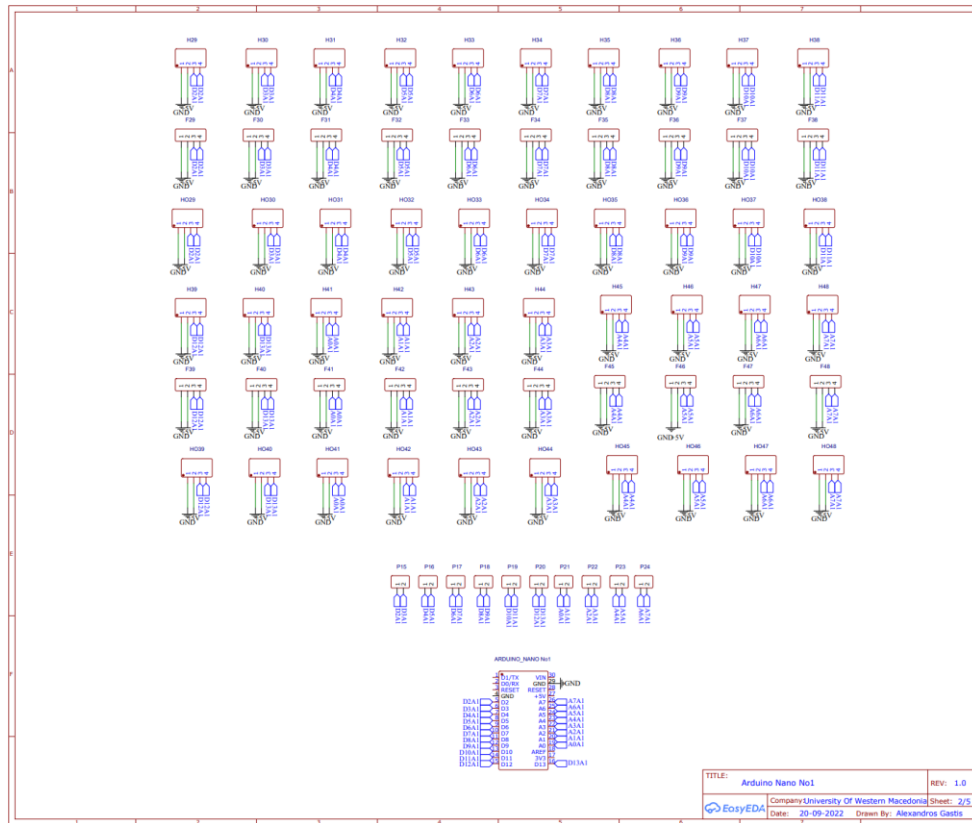
εξοικονομεί χρόνο καθώς και μας αποτρέπει από το να κάνουμε λάθη συνδέοντας τα με γραμμές που μπορεί να συμπίπτουν και να δημιουργούν λάθος συνδέσεις. Κάθε στοιχείο στο σχηματικό διάγραμμα μπορεί να μετονομαστεί για να μπορεί να ξεχωρίσει με ευκολία από τα υπόλοιπα το οποίο είναι πάρα πολύ χρήσιμο στα επόμενα βήματα καθώς όσο αυξάνεται ο αριθμός των στοιχείων τόσο πιο εύκολο είναι να δημιουργηθούν λάθη και το αποτέλεσμα να μην είναι το επιθυμητό.

Όπως φαίνεται στις εικόνες 15,16,17 στις εξόδους του Raspberry Pi καθώς και των Arduino χρησιμοποιήθηκαν τερματικοί με σφικτήρες, αρσενικά και θηλυκά dupond καθώς και απλές οπές για να υπάρχει πληθώρα επιλογών ως προς τον τρόπο συλλογής των μετρήσεων. Το Raspberry Pi θα τροφοδοτείται από εξωτερική πηγή ενέργειας. Στις εξόδους των Arduino τοποθετήθηκαν επίσης παροχές για 5V και Gnd. Η τροφοδοσία τους γίνεται μέσω USB καλωδίου το οποίο θα είναι συνδεδεμένο με το Raspberry Pi.

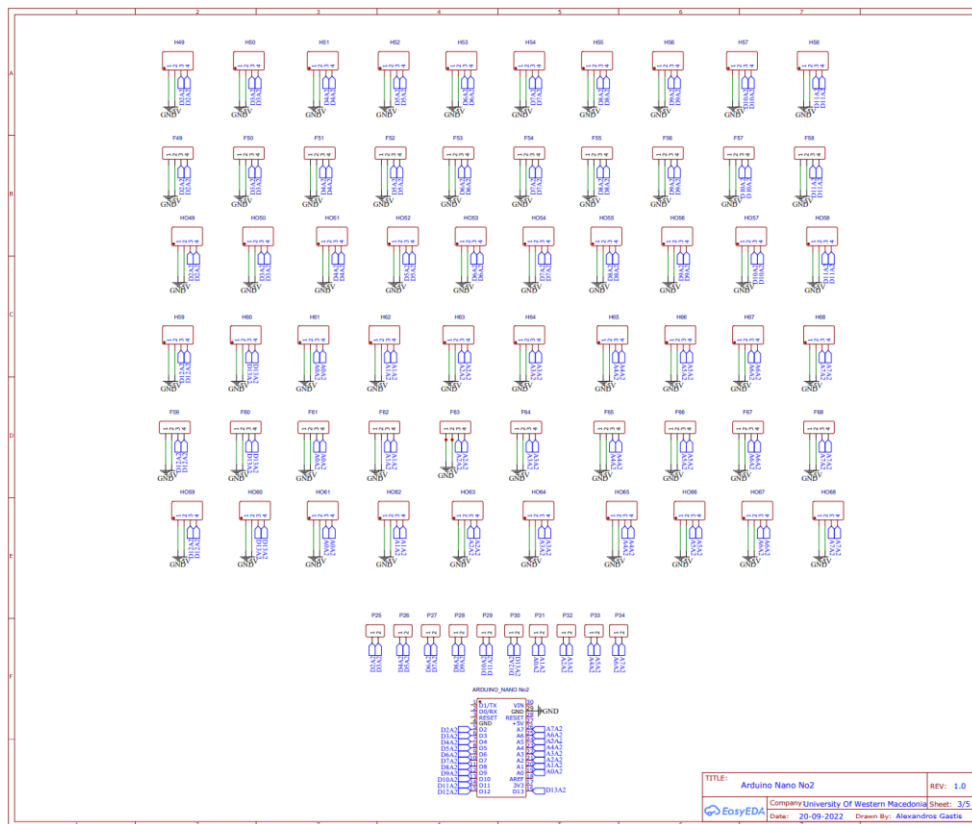


Εικόνα 15 Σχηματικό Διάγραμμα Raspberry Pi και οι συνδέσεις των εξόδων του.



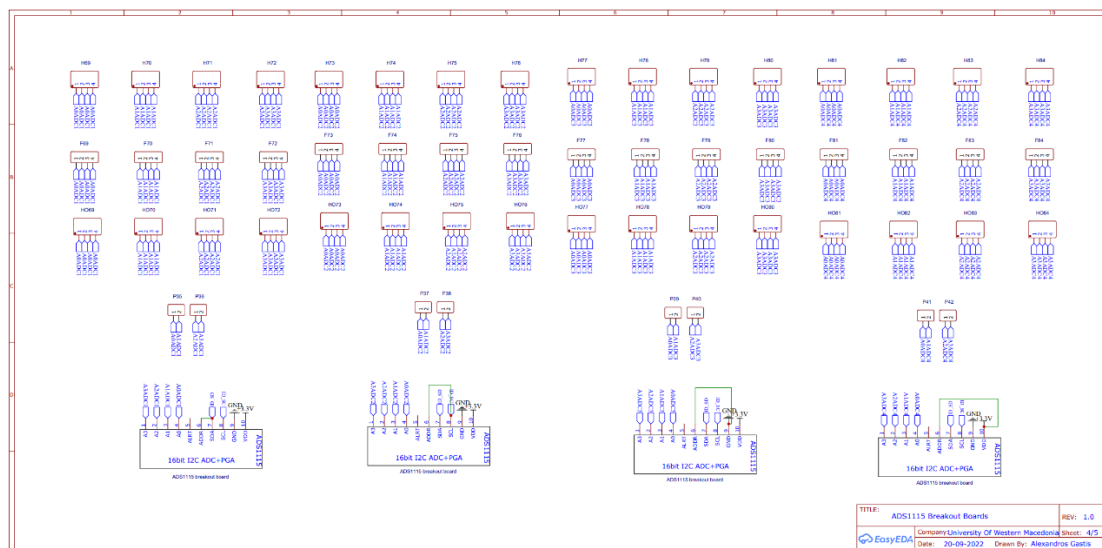


Εικόνα 16 Σχηματικό διάγραμμα Arduino No1 και οι συνδέσεις των εξόδων του.



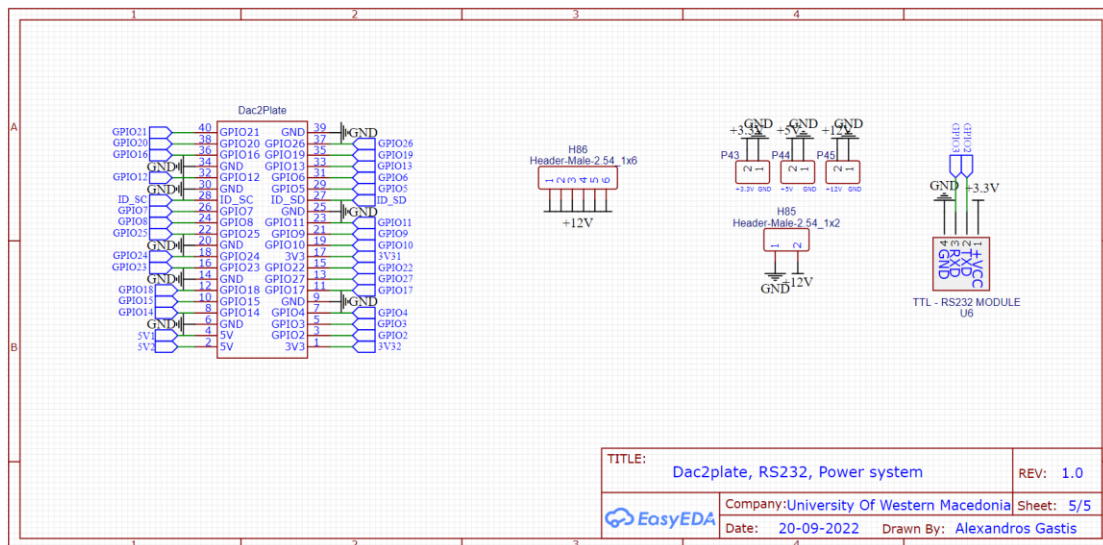
Εικόνα 17 Σχηματικό διάγραμμα Arduino No2 και οι συνδέσεις των εξόδων του.

Στην εικόνα 18 απεικονίζονται οι τέσσερις ADC1115 οι οποίοι τροφοδοτούνται από το εσωτερικό κύκλωμα της πλακέτας το οποίο οδηγεί σε μία εξωτερική πηγή ενέργειας 3.3V. Οι ακροδέκτες στην έβδομη και όγδοη θέση όλων των ADC οδηγούνται μέσω των οδεύσεων στο εικοστό-όγδοο και εικοστό-έβδομο ακροδέκτη του raspberry pi και αυτό γιατί οι υποδοχές αυτές υποστηρίζουν το πρωτόκολλο επικοινωνίας I2C που είναι απαραίτητο για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των δύο. Για να πάρει ο κάθε ADC μία διαφορετική address πρέπει ο έκτος ακροδέκτης (ADDR) να συνδεθεί διαδοχικά για κάθε έναν από τους ADC, με τον έβδομο (SDA), τον όγδοο (SCL), τον ένατο (GND) και τον δέκατο (+3.3V) ακροδέκτη. Αναλυτικότερα, στον πρώτο ADC συνδέεται ο έκτος ακροδέκτης (ADDR) με τον έβδομο (SDA) του, στον δεύτερο ADC συνδέεται ο έκτος (ADDR) με τον όγδοο (SCL), στον τρίτο ADC ο έκτος (ADDR) με τον ένατο (GND) και στον τέταρτο ADC ο έκτος ακροδέκτης (ADDR) με τον δέκατο (+3.3V).



Εικόνα 18 Σχηματικό διάγραμμα και ηλεκτρικές συνδέσεις των ADC 1115.

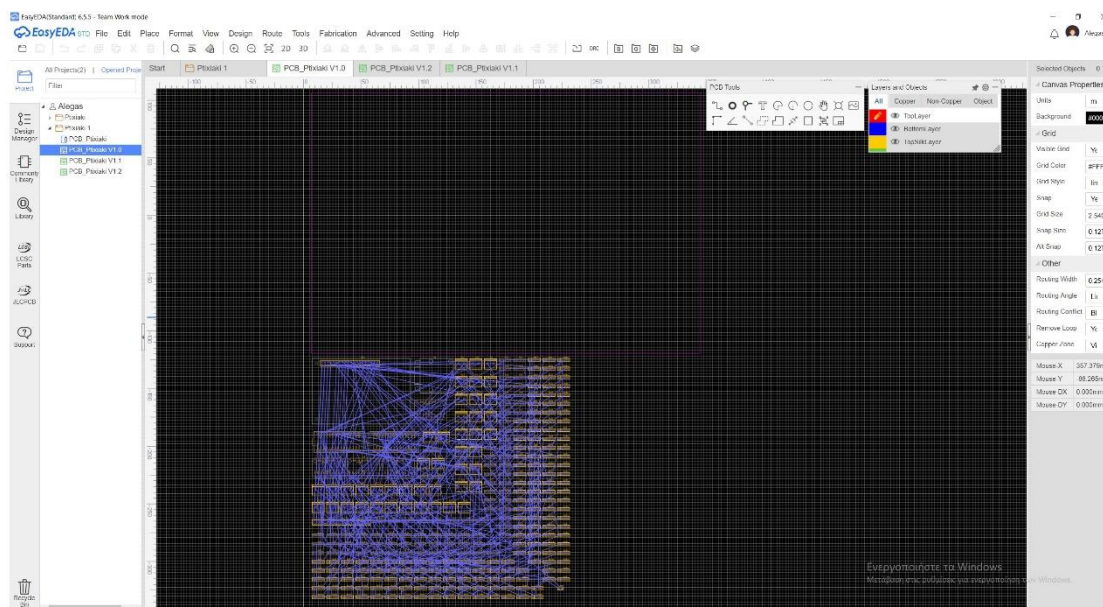
Παρακάτω στην εικόνα 19 διακρίνονται οι συνδέσεις του Dac2plate οι οποίες είναι σε πλήρη αντιστοιχία και αντικατοπτρίζουν αυτές του Raspberry Pi μία προς μία. Ο RS232 συνδέεται στον πρώτο ακροδέκτη του με GND, στον δεύτερο ακροδέκτη του με το πέμπτο ακροδέκτη (GPIO3) του Raspberry Pi, στον τρίτο ακροδέκτη του με τον τρίτο ακροδέκτη (GPIO2) του Raspberry Pi και τέλος στον τέταρτο ακροδέκτη του με τα +3.3 V. Τοποθετήθηκαν επίσης έξοδοι +12V και GND για την τοποθέτηση ανεμιστήρα, ο οποίος θα ψήξει τον επεξεργαστή του Raspberry Pi καθώς και επιπλέον έξοδοι +12V για εφεδρικούς σκοπούς.



Εικόνα 19 Ηλεκτρικές συνδέσεις Dac2plate, RS232, Power delivery system.

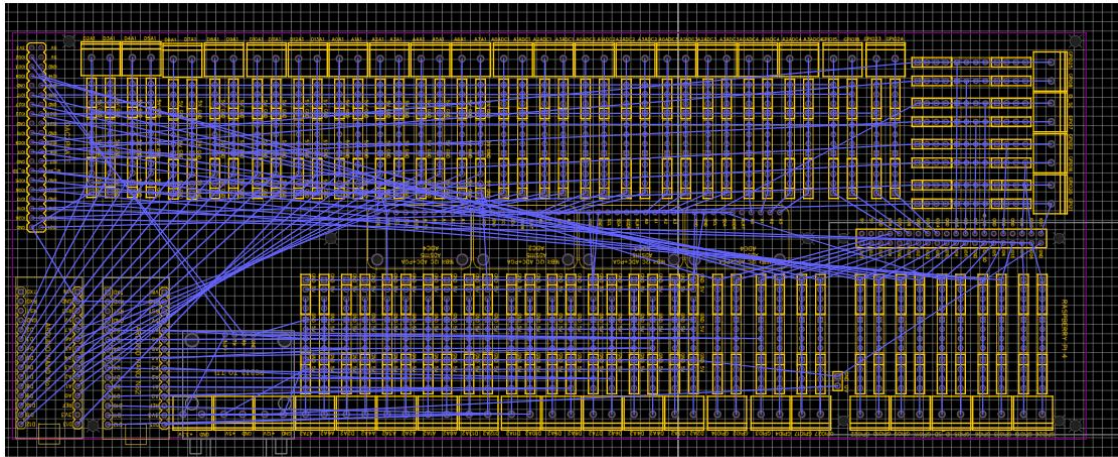
### 3.1.2 Καταμερισμός στοιχείων στο PCB

Με το πέρας του σχηματικού μέρους του σχεδιασμού, ακολουθεί ο καταμερισμός των στοιχείων πάνω σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο, το οποίο εκπροσωπεί την περίμετρο της πλακέτας. Εκεί, καθορίζεται η διάταξη των στοιχείων πάνω σε αυτή. Στην περίπτωση μας ο καταμερισμός των στοιχείων έγινε τόσο για την εξοικονόμηση χώρου όσο και για την ευκολία στις συνδέσεις μεταξύ τους. Στην παρακάτω εικόνα 20 διακρίνουμε το προγραμματιστικό περιβάλλον της Easy EDA.



Εικόνα 20 Αρχική τοποθέτηση στοιχείων μετά την ολοκλήρωση του σχηματικού διαγράμματος V1.0 και προγραμματιστικό περιβάλλον του προγράμματος Easy EDA.

Αρχικά τα στοιχεία τοποθετούνται από το πρόγραμμα άτακτα στο επίπεδο. Η ανακατανομή τους γίνεται επιλέγοντάς τα και με τον κέρσορα μεταφέροντας τα εντός του μωβ πλαισίου που αναπαριστά το σχήμα της πλακέτας.



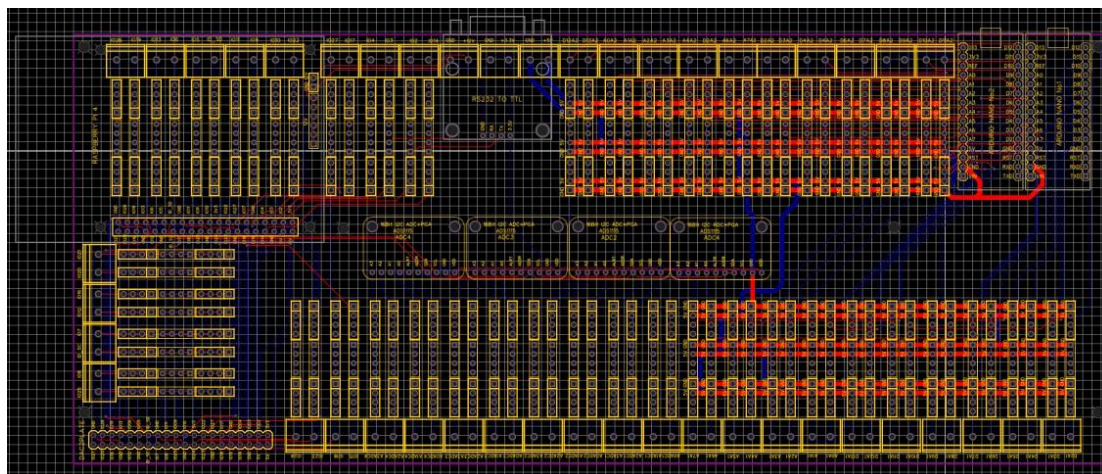
Εικόνα 21 Πρώτη εκδοχή κατανομής των στοιχείων πάνω στην πλακέτα V1.1.

Στην πρώτη εκδοχή του σχεδίου τα στοιχεία τοποθετήθηκαν ώστε να ελαχιστοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο τα κενά μεταξύ τους. Στην συνέχεια, ευθυγραμμίστηκαν οι τερματικοί με σφικτήρες μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια ομοιόμορφη συστοιχία. Τα αρσενικά, τα θηλυκά dupont και οι οπές ευθυγραμμίστηκαν με τις οπές των τερματικών ώστε να είναι ευδιάκριτο ότι κάθε σειρά αντιπροσωπεύει το ίδιο σήμα εξόδου. Τοποθετήθηκαν οπές στις τέσσερις γωνίες της πλακέτας καθώς και στο κέντρο για να τοποθετηθεί υποστηρικτική κατασκευή που συγκρατεί την πλακέτα.

Στην συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο του προγράμματος που είναι η αυτόματη καλωδίωση (auto routing). Το εργαλείο αυτό είναι ένα από τα σημαντικότερα που διαθέτει το πρόγραμμα καθώς αφαιρεί τον πιο μεγάλο και δύσκολο φόρτο εργασίας από τον χρήστη που είναι η σύνδεση των στοιχείων μεταξύ τους, με πραγματικές οδεύσεις. Αξιοποιώντας το σχηματικό διάγραμμα το πρόγραμμα ρυθμίζει την διαδρομή που θα ακολουθήσουν οι οδεύσεις καθώς και σε ποια μεριά της πλακέτας θα τοποθετηθούν για να μην συμπίπτουν μεταξύ τους. Όλες οι οδεύσεις που δημιουργήθηκαν είχαν πάχος 0.2 mm καθώς μεταφέρουν σήματα. Οι οδεύσεις που υπάρχουν για την μεταφορά ρεύματος των παροχών των 3V και 12V παρέμειναν και αυτές στα 0.2 mm, καθώς η διατομή αυτή ικανοποιεί τις ανάγκες του ρεύματος που τις διαρρέει. Όμως για την ικανοποίηση των αναγκών της εργασίας οι οδεύσεις των 5V και GND που υπάρχουν στις εξόδους των Arduino έπρεπε να διευρυνθούν στα 1.24 mm για να μπορούν να διοχετεύουν ρεύματα της τάξης των τριών ampere.

Κατά την διαδικασία του auto-routing, παρατηρήθηκε ότι κάποια από τα στοιχεία ήταν εσφαλμένα τοποθετημένα πάνω στην πλακέτα καθώς οι οδεύσεις δεν

είχαν αρκετό χώρο και έτσι συνέπιπταν η μία πάνω στην άλλη. Αυτό οδήγησε στην τελική έκδοση της πλακέτας (Εικόνα 22) η οποία ήταν και η τελική.

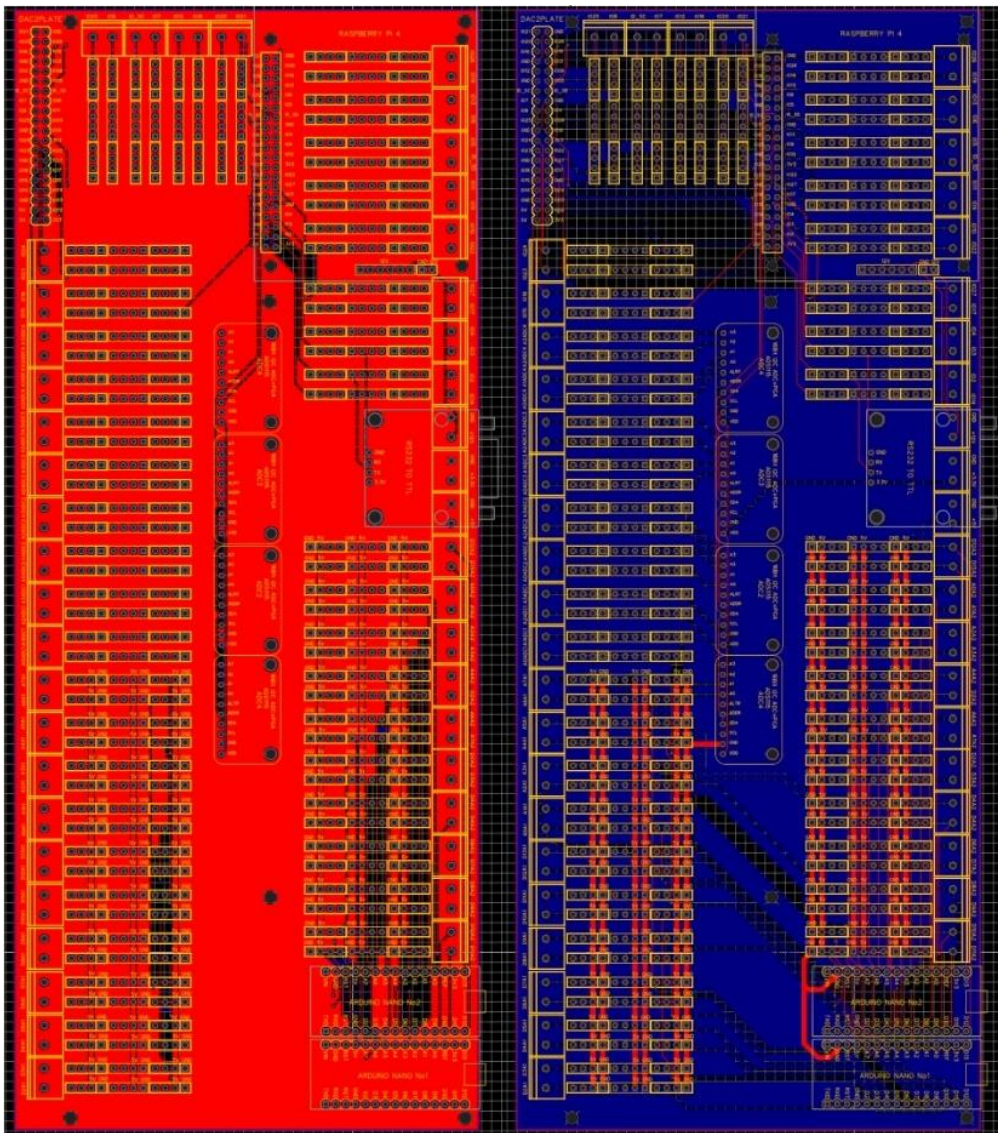


Εικόνα 22 Τελική έκδοση κατανομής στοιχείων πάνω στην πλακέτα V1.2 με όλες τις ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων.

Στην τελική έκδοση της πλακέτας όλα τα στοιχεία έχουν τοποθετηθεί πάνω σε αυτή ώστε να υπάρχει αρκετός χώρος μεταξύ των οδεύσεων και έχει περιοριστεί το μήκος τους. Αυτό επιτεύχθηκε μετακινώντας το Dac2plate δίπλα στις εξόδους του Raspberry Pi, γεγονός που απελευθέρωσε πολύ χώρο στο κέντρο της πλακέτας για την παροχή ενέργειας στους ADC καθώς και στις εξόδους του Arduino No1. Το επόμενο βήμα είναι ο Έλεγχος των Κανόνων του Σχεδίου (Desing Rule Checking). Αυτό καθορίζεται από τις δυνατότητες που έχει ο κάθε κατασκευαστής στην παραγωγή πλακετών. Οι ανοχές μεταξύ των στοιχείων, οπών και οδεύσεων καθώς και το μέγεθος αυτών καθορίζεται αποκλειστικά από την δυνατότητα παραγωγής του κάθε κατασκευαστή.

Αναλυτικότερα, σε αυτό το βήμα εξετάζουμε αν έχουν συνδεθεί όλα τα στοιχεία σύμφωνα με το σχηματικό διάγραμμα, αν οι αποστάσεις μεταξύ των οπών, οδεύσεων και των στοιχείων είναι τα επιθυμητά ανάλογα με αυτά που μας έχει θέσει ο κατασκευαστής. Επίσης, ελέγχονται οι ανοχές όπως το μέγιστο/ελάχιστο μέγεθος οπών, το μέγεθος των οπών που συνδέουν τις οδεύσεις από την μία μεριά της πλακέτας με την άλλη και αν υπάρχουν τυχόν βραχυκυκλώματα. Όλα τα παραπάνω εμφανίζονται σαν σφάλματα και πατώντας πάνω τους με τον κέρσορα του ποντικιού μας, μας οδηγεί το πρόγραμμα πάνω στο στοιχείο το οποίο πρέπει να διορθώσουμε. Αφότου διορθώσουμε όσα σφάλματα προέκυψαν ανάλογα με τους περιορισμούς που θέσαμε επαναλαμβάνουμε το βήμα για να βεβαιωθούμε ότι όλα έχουν διορθωθεί. Όταν πλέον δεν υπάρχουν σφάλματα η πλακέτα είναι έτοιμη για το τελευταίο βήμα που είναι

η τοποθέτηση μιας περιοχής χαλκού. Η περιοχή αυτή εκτείνεται σε ολόκληρη την πλακέτα και συνδέει όλες τις γειώσεις μεταξύ τους. Αυτό το καταφέρνουμε με ακόμη ένα εργαλείο που μας προσφέρει το πρόγραμμα και μας επιτρέπει να προσθέσουμε την περιοχή αυτή με σχετική ευκολία. Επιλέγουμε την περιοχή που θέλουμε και σε ποια πλευρά της πλακέτας θα τοποθετηθεί καθώς και τα στοιχεία τα οποία θα συνδέει. Η περιοχή αυτή επιτρέπει επίσης στην απαγωγή θερμότητας στην πλακέτα η οποία μπορεί να προκληθεί από ροή ηλεκτρικής ενέργειας μέσα σε αυτή καθώς μειώνει και την εμπέδηση των κυκλωμάτων.

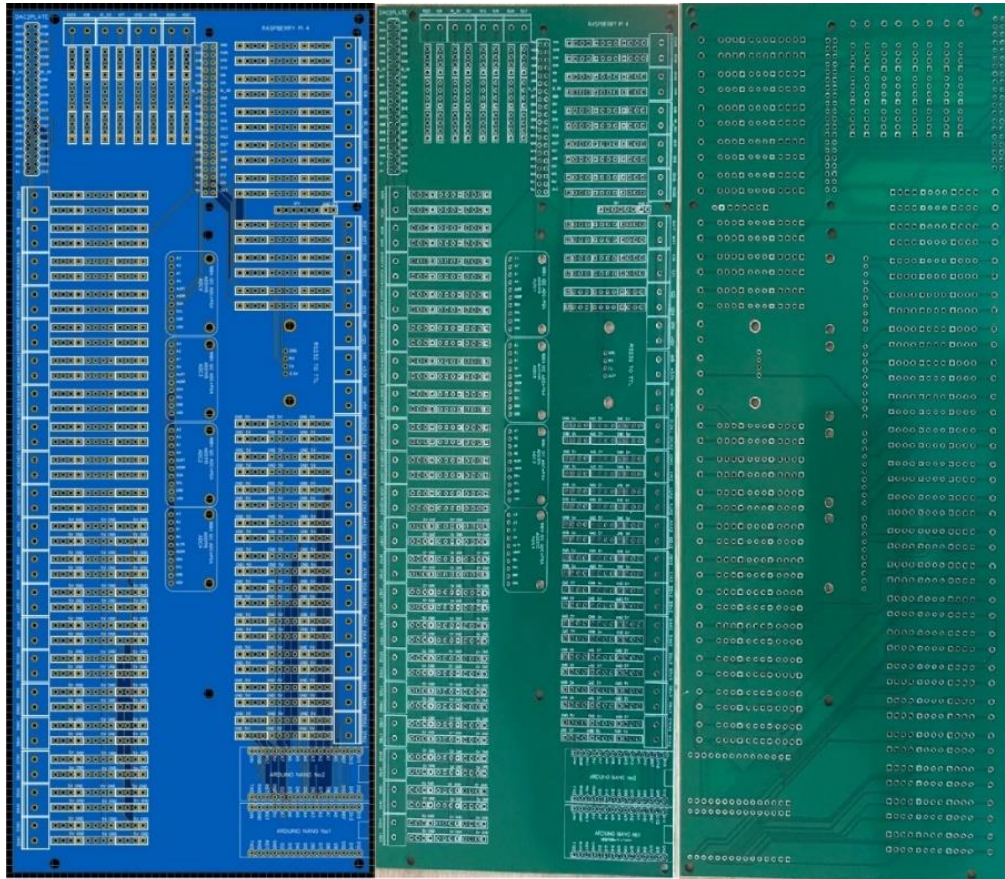


Εικόνα 23 Άνω και κάτω μέρος περιοχής χαλκού που συνδέει όλες τις γειώσεις μεταξύ τους. Με κόκκινο χρώμα αναπαρίστανται το πάνω μέρος και με μπλε χρώμα το κάτω μέρος της πλακέτας.

Έτσι, η πλακέτα έχει ολοκληρωθεί και είναι έτοιμη η εξαγωγή του αρχείου σε μορφή τύπου Gerber. Το αρχείο είναι συμπιεσμένο και περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που θα χρειαστεί ο κατασκευαστής για να προχωρήσει στην παραγωγή της πλακέτας.

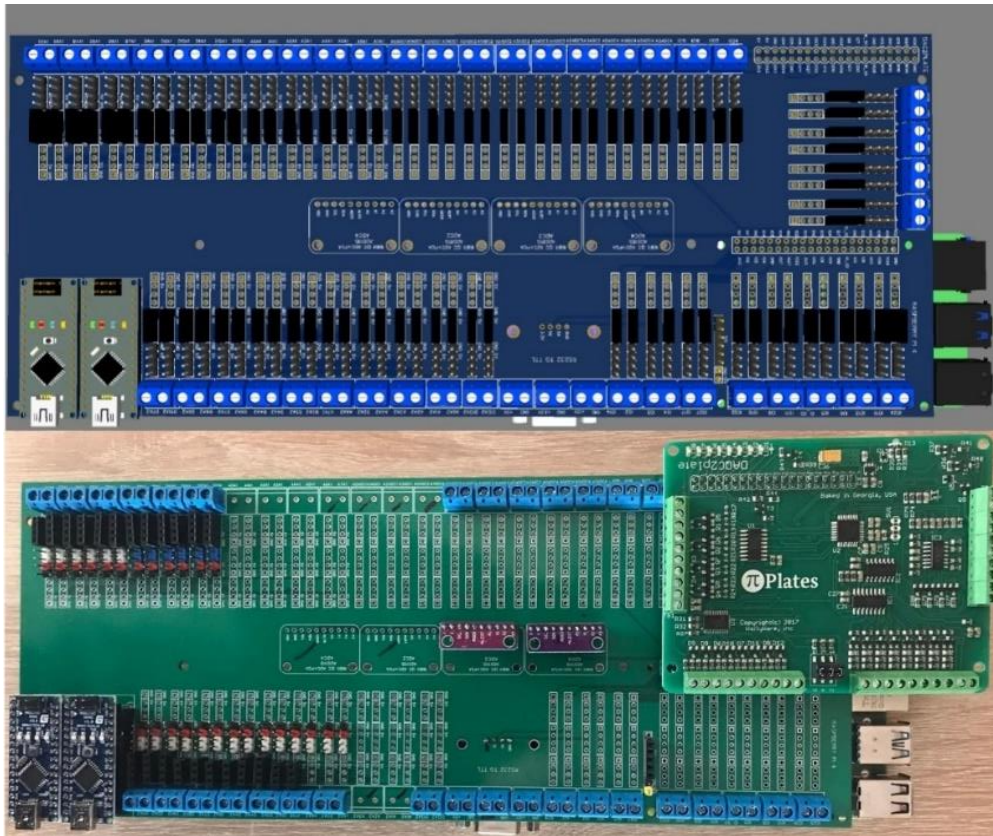
### 3.2 Κατασκευή πρωτότυπου PCB

Η κατασκευή του PCB υλοποιήθηκε από την εταιρεία JLCPCB. Παρακάτω στην εικόνα 24 απεικονίζεται η δισδιάστατη μορφή της πλακέτας εντός του σχεδιαστικού προγράμματος καθώς και η τελική κατασκευή αυτής από την εταιρία.



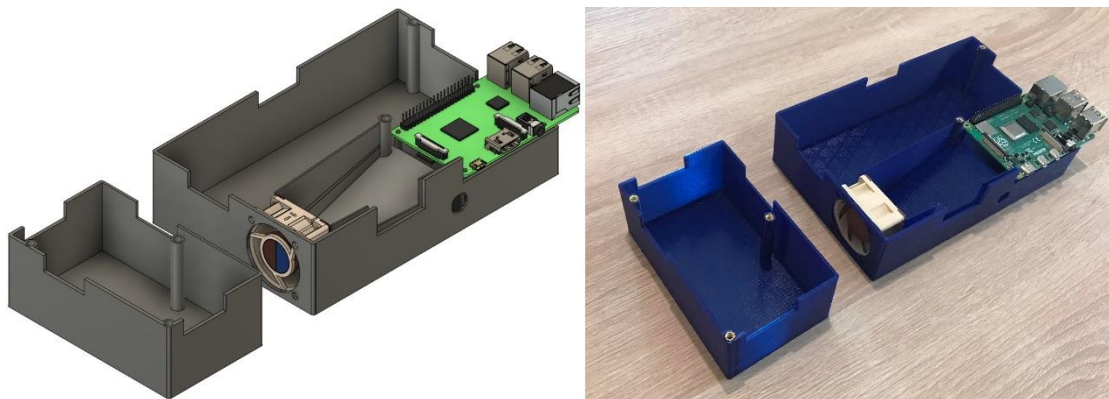
Εικόνα 24 Δυσδιάστατη αναπαράσταση από το πρόγραμμα της EasyEda (Αριστερά). Πάνω και κάτω μέρος της κατασκευασμένης πλακέτας (μέση και δεξιά αντίστοιχα).

Παρακάτω στην εικόνα 25 διακρίνουμε την τρισδιάστατη απεικόνιση της πλακέτας και την τελική κατασκευή της πλακέτας.



Εικόνα 25 Τρισδιάστατη απεικόνιση της πλακέτας απο το πρόγραμμα της Easy Eda (άνω εικόνα) και φωτογραφία της κατασκευασμένης πλακέτας(κάτω εικόνα).

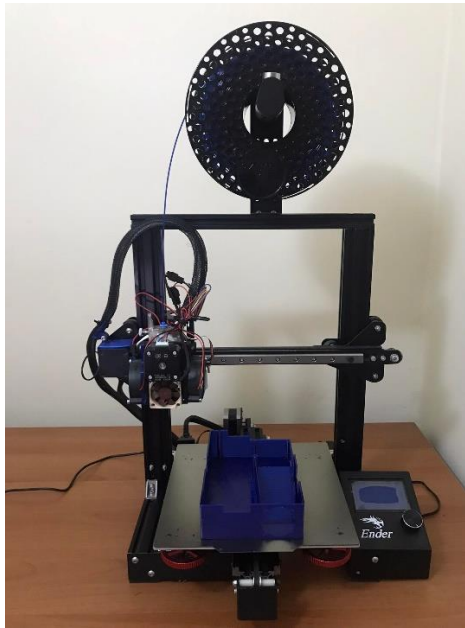
Επιπρόσθετα, σχεδιάστηκε μία βάση στο πρόγραμμα fusion 360 για την στήριξη της πλακέτας, του Raspberry Pi καθώς και για την ψύξη του επεξεργαστή του. Παρακάτω στην εικόνα 26 διακρίνεται ο σχεδιασμός της βάσης στο πρόγραμμα σχεδίασης Fusion 360 καθώς και η εκτυπωμένη πλαστική βάση. Στην βάση τοποθετήθηκαν μπρούτζινα σπειρώματα για την εύκολη στερέωση της πλακέτας πάνω σε αυτή με την χρήση βιδών τριών χιλιοστών.



Εικόνα 26 Τρισδιάστατη αναπαράσταση της βάσης στο πρόγραμμα Fusion 360 (αριστερά) και η εκτυπωμένη βάση (δεξιά).



Η εκτύπωση ολοκληρώθηκε στον τρισδιάστατο εκτυπωτή της εικόνας 27. Η εκτύπωση έγινε με νήμα εκτύπωσης υλικού PetG ,το οποίο είναι γνωστό για την χρήση του στην παρασκευή των κοινών πλαστικών μπουκαλιών νερού που χρησιμοποιούμε καθημερινά, άρα υπάγεται στα ανακυκλώσιμα υλικά. Η εκτύπωση και των δύο κομματιών της βάσης διήρκησε οχτώ ώρες και χρειάστηκαν εκατό γραμμάρια υλικού για υλοποίηση της.



Εικόνα 27 Τρισδιάστατος εκτυπωτής με εκτυπωμένο τμήμα της βάσης.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός PCB για την λήψη μετρήσεων με Raspberry Pi στο εργαστήριο Υπεραγωγιμότητας του πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Αναλυθήκαν τα βήματα που ακολουθήθηκαν στο λογισμικό EasyEDA για να σχεδιαστεί και να αγοραστεί η πλακέτα καθώς και τα προβλήματα και οι λύσεις που προέκυψαν κατά την διαδικασία αυτή.

Η κατασκευή έγινε από την JLCPCB και ακολουθήθηκαν όλα τα βήματα που περιγράφονται καθ' όλη την πτυχιακή. Κάνοντας αυτή την πτυχιακή έμαθα όλα τα στάδια κατασκευής μια πλακέτας PCB. Από την σκέψη και την σχεδίαση μέχρι τον τρόπο παραγωγής της.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Dennis, K., A., (2013), *Raspberry Pi Home Automation with Arduino*, Packt Publishing: Birmingham.
2. Ho, W., Ji ,P., (2007), *Optimal Production Planning for PCB Assembly*, Springer : London.
3. Jones, D. L., (2004), *PCB Design Tutorial*, 1.
4. Khandpur, R. S., (2006), *Printed Circuits Boards Design*, Fabrication and Assembly, Mc Graw-Hill: USA DOI: 10.1036/0071464204
5. Riley M., (2012), *Programming Your Home Automate with Arduino*, Android, and Your Computer, Pragmatic Bookshelf : Dallas.
6. Sjogelid, S., (2013), *Raspberry Pi for Secret Agents* , , Packt Publishing: Birmingham.
7. Schmidt, M., (2012), *Raspberry Pi A Quick-Start Guide*, Pragmatic Bookshelf : Dallas.
8. Texas Instruments,(1999), *PCB Desing Guidelines For Reduced EMI*.

### Ιστοσελίδες

1. <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>
2. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
3. <https://www.tempoautomation.com/blog/pcb-manufacturing-steps-how-design-decisions-impact-manufacturing/?fbclid=IwAR1qdRwjcfOo5uSRXzOvgukhQHPX4tJfYHmSY4PxBSRZNtzdn7iSC7WamA>
4. <https://easyeda.com/>
5. <https://pi-plates.com/daqc2r1/>
6. <https://learn.adafruit.com/raspberry-pi-analog-to-digital-converters/ads1015-slash-ads1115>