

**ΠΛΑΚΕΤΕΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ  
(PRINTED CIRCUIT BOARDS P.C.B.)**

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Αναπλ. Καθηγητής Π. Παπαγέωργας

Χειμερινό Εξάμηνο 2004-2005

## 1. Εισαγωγή

Μία πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (Printed Circuit Board PCB ή Printed Wiring Board PWB ή Perforated Circuit Board) στην απλούστερη μορφή της αποτελείται από μια λεπτή πλακέτα από μονωτικό υλικό που υποστηρίζει τα εξαρτήματα του κυκλώματος και τις αγωγικές διαδρομές (track), συνήθως από χαλκό στην μια ή και τις δύο πλευρές της οι οποίες συνδέουν μεταξύ τους τα εξαρτήματα.

Οι ακροδέκτες των εξαρτημάτων συγκολλούνται στις νησίδες ή πίστες (pads), οι οποίες είναι τμήματα της αγωγικής διαδρομής με αρκετό χώρο για την πραγματοποίηση μιας επαφής κόλλησης (soldered joint) μεταξύ του εξαρτήματος και της αγωγικής διαδρομής. Οι πίστες μπορεί να έχουν τρύπες οι οποίες διαπερνούν την πλακέτα για να επιτυγχάνεται η στήριξη των εξαρτημάτων (through-hole technology) ή το εξάρτημα τοποθετείται και γίνεται η κόλλησή του απευθείας στην πίστα (τεχνολογία επιφανειακής στήριξης surface-mount technology).

Πριν μερικά χρόνια η παραπάνω περιγραφή θα ήταν ικανοποιητική εντούτοις τα τελευταία χρόνια ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός για όλους τους τύπους εφαρμογών έχει δει σημαντικές προόδους αναφορικά με την απόδοση, το μέγεθος και το κόστος. Οι βελτιώσεις στον σχεδιασμό PCB αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες. Τα PCBs διαδραματίζουν πια έναν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της λειτουργικότητας ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος και δεν μπορούν πλέον να θεωρούνται σαν μια παθητική πλακέτα διασύνδεσης.

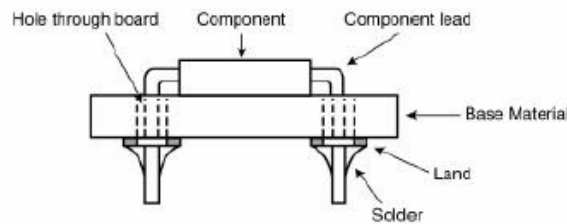
## 2. Ταξινόμηση PCB

Οι συνεχείς βελτιώσεις στην τεχνολογία κατασκευής PCB έχουν σαν αποτέλεσμα μια ποικιλία στους τύπους των PCB που ταιριάζουν καλύτερα με τα νέα σχέδια των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Οι διάφορες τεχνολογίες PCB παρουσιάζουν μεταξύ τους αρκετές επικαλύψεις καθιστώντας τον διαχωρισμό τους αρκετά δύσκολο. Με την λίστα που ακολουθεί προσπαθούμε να ξεκαθαρίσουμε την κατάσταση κατατάσσοντας όλους τους τύπους PCB σε μία από τρεις κύριες κατηγορίες:

- Τυπωμένη πλακέτα μονής ή απλής όψης (single-sided PCB)
- Τυπωμένη πλακέτα διπλής όψης (Double-sided PCB)
- Τυπωμένη πλακέτα πολλαπλών στρωμάτων (Multi-layer PCB)

### 2.1 Τυπωμένη πλακέτα μονής όψης (single-sided PCB)

Σε μία τυπωμένη πλακέτα μονής όψης συνήθως όλες οι αγωγικές διαδρομές (tracks) βρίσκονται σε μια πλευρά ενώ τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα βρίσκονται στην άλλη πλευρά. Μερικές φορές τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα βρίσκονται στην ίδια πλευρά με τις διαδρομές ή και στις δύο πλευρές ανάλογα με το πόσο σύνθετο είναι το σχέδιο. Στο Σχ.1 φαίνεται η πιο συνηθισμένη διάταξη στην οποία χρησιμοποιούνται τρύπες από την μία



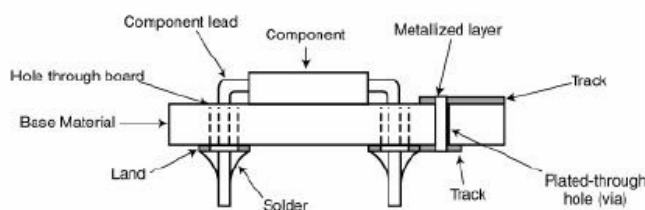
**Σχήμα 1. Τυπωμένη πλακέτα μονής όψης**

(Land: νησίδα ή πίστα, Solder:κόλληση, Base material: Υλικό Βάσης, Component lead:ακροδέκτης εξαρτήματος )

πλευρά στην άλλη (through holes) με τις οποίες επιτυγχάνεται η σύνδεση μεταξύ των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων για την συναρμολόγηση (assembly) της πλακέτας.

## 2.2 Τυπωμένη πλακέτα διπλής όψης (double-sided PCB)

Οι PCBs αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούν αγωγίμες διαδρομές (conductive tracks) σε κάθε πλευρά της πλακέτας. Και σ' αυτή την κατηγορία τα εξαρτήματα μπορούν να τοποθετηθούν είτε στην μία είτε στην άλλη πλευρά είτε και στις δύο. Το συνδυασμένο αυτό αποτέλεσμα εξασφαλίζει μεγαλύτερη πυκνότητα εξαρτημάτων συγκριτικά με τα PCBs μονής όψης. Οι διασυνδέσεις μεταξύ των αγωγίμων διαδρομών στα δύο επίπεδα επιτυγχάνεται με ένα αριθμό από μεθόδους όπως, ακίδες μεταξύ των επιπέδων, καλώδια, τους ακροδέκτες των εξαρτημάτων και επιμεταλλωμένες τρύπες (plated through holes). Η τελευταία μέθοδος είναι σήμερα η συνηθέστερη και υλοποιείται με την επικάλυψη του τοιχώματος της οπής με αγωγίμο υλικό. Οι επιμεταλλωμένες τρύπες οι οποίες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την διασύνδεση αγωγίμων διαδρομών (conductive tracks) μεταξύ των δύο αντίθετων επιπέδων της πλακέτας είναι γνωστές σαν «περάσματα» (vias). Στο Σχ. 2 φαίνεται μια πλακέτα διπλής όψης με αγωγίμες διαδρομές και στις δύο όψεις και μια σύνδεση τύπου «περάσματος» μεταξύ δύο αγωγίμων διαδρομών που βρίσκονται στις δύο όψεις.

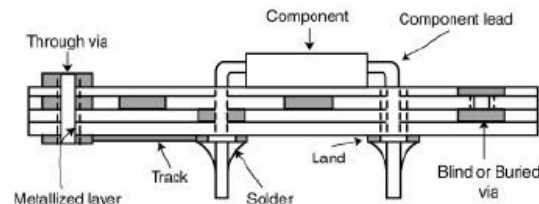


**Σχ. 2 Τυπωμένη πλακέτα κυκλωμάτων διπλής όψης (Double sided PCB)**

## 2.3 Τυπωμένη πλακέτα κυκλωμάτων πολλαπλών επιπέδων (Multi-layer PCB)

Όπως προκύπτει από την ονομασία οι πλακέτες αυτές έχουν πολλαπλά επίπεδα με αγωγίμες διαδρομές, δύο από τις οποίες βρίσκονται στις επιφάνειες της πλακέτας. Τα υπόλοιπα επίπεδα βρίσκονται στο εσωτερικό της πλακέτας η οποία κατασκευάζεται με

ένα αριθμό αγωγίμων διαδρομών που συνδυάζονται με μονωτικά επίπεδα. Οι συνδέσεις μεταξύ των αγωγίμων διαδρομών υλοποιείται με «περάσματα» μεταξύ των επιπέδων “through via” είτε με κρυφά περάσματα «buried vias». Ένα πέρασμα μεταξύ των επιπέδων απλά διαπερνά την πλακέτα ενώ ένα κρυφό πέρασμα διασυνδέει εσωτερικές αγωγίμες διαδρομές. Στο Σχ. 3 παρουσιάζεται η σχεδίαση μιας πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος πολλαπλών επιπέδων.



Σχ.3 Τυπωμένη πλακέτα κυκλωμάτων πολλαπλών επιπέδων (Multi-layer PCB)

### 3. Παραλλαγές σχεδίασης PCBs

Οι παραλλαγές στην σχεδίαση των PCBs σύμφωνα με τα παραπάνω είναι οι ακόλουθες:

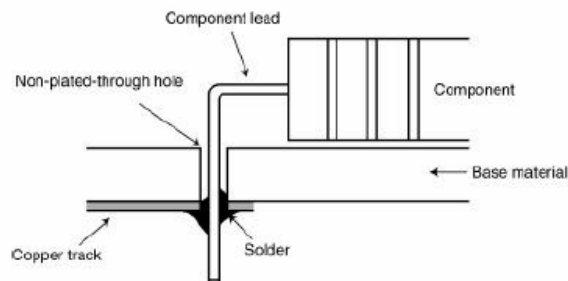
- Κυκλώματα με οπές μεταξύ των επιπέδων (Through-hole circuits)
- Κυκλώματα με εξαρτήματα επιφανειακής στήριξης (Surface mounted circuits)
- Υβριδικά κυκλώματα (Hybrid circuits)

#### 3.1 Κυκλώματα με οπές μεταξύ των επιπέδων (Through-hole circuits)

Τα εξαρτήματα αυτού του τύπου των κυκλωμάτων έχουν ακροδέκτες οι οποίοι τοποθετούνται σε οπές στο PCB, και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο όρος “τεχνολογία οπών μεταξύ των επιπέδων- through hole technology ή TH”. Η Ηλεκτρική αγωγιμότητα εξασφαλίζεται με την κόλληση των ακροδεκτών στις δύο επιφάνειες της πλακέτας. Αυτή η τεχνολογία που παρουσιάζεται στα σχήματα 1,2 και 3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις ταξινομήσεις των πλακετών οι οποίες αναφέρθηκαν προηγουμένως. Τα σχήματα 4 και 5 δείχνουν την διαφορά μεταξύ των τεχνικών σύνδεσης των εξαρτημάτων των οπών ανάμεσα στα επίπεδα της πλακέτας και των επιμεταλλωμένων οπών (plated through holes).

Η τεχνική των οπών μεταξύ των επιπέδων σε πλακέτες μονής και διπλής όψης χρησιμοποιείται από τις δεκαετίες του 1940 και 1950 αντίστοιχα προσφέροντας μια γρήγορη και απλή λύση για πολλές σχεδιάσεις ηλεκτρονικών συστημάτων. Με τα χρόνια η πυκνότητα των αγωγίμων διαδρομών (tracks) αυξανόταν συνεχώς, ώστε σήμερα αποστάσεις ανάμεσα στις διαδρομές της τάξης των 250μm ή ισοδύναμα 10 mils (1mil=0.001 inch=25.4 μm) να είναι συνηθισμένες. Τα συστήματα αυτής της τεχνικής κατασκευάζονται εύκολα ενώ εύκολος είναι ο έλεγχος και η επιδιόρθωση, αλλά για πολύπλοκα συστήματα οι πλακέτες που κατασκευάζονται με την τεχνική αυτή είναι συνήθως μεγάλες με προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών για εφαρμογές μεσαίων και υψηλών συχνοτήτων.

Οι κατασκευαστές ολοκληρωμένων σε μια προσπάθεια να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις για μεγαλύτερο αριθμό ακροδεκτών και περιορισμένο μέγεθος συσκευασίας, κατασκεύασαν εξαρτήματα TH μεγάλης πυκνότητας με μικρό μέγεθος ακροδεκτών (lead Pitch). Οι παραλλαγές στην συσκευασία των ολοκληρωμένων περιλαμβάνουν διατάξεις ακροδεκτών τύπου “zigzag” και συσκευασίες στις οποίες το εξάρτημα τοποθετείται απ’ ευθείας στην θέση του καταλαμβάνοντας μικρότερη επιφάνεια αλλά χρησιμοποιώντας κατακόρυφα ως προς την επιφάνεια της πλακέτας μεγαλύτερες διαστάσεις. Εξαρτήματα με μικρές διαστάσεις περιλαμβάνουν συρρικνωμένους ακροδέκτες με απόσταση μεταξύ των ακροδεκτών μικρότερη από την *τυπική των 2.54mm ή 100 mils*. Ένα μεγάλο πρόβλημα με την τεχνική υψηλής πυκνότητας TH είναι ότι υπάρχει μικρός αριθμός ολοκληρωμένων σε συσκευασία ακροδεκτών υψηλής πυκνότητας καθώς επίσης και το ότι πολλά προηγμένα ολοκληρωμένα κυκλώματα όπως για παράδειγμα FPGAs υψηλής πυκνότητας δεν είναι διαθέσιμα σε συσκευασίες TH.



Σχήμα 4 Τεχνολογία TH με ακροδέκτες διαμέσου οπών (Through hole TH)

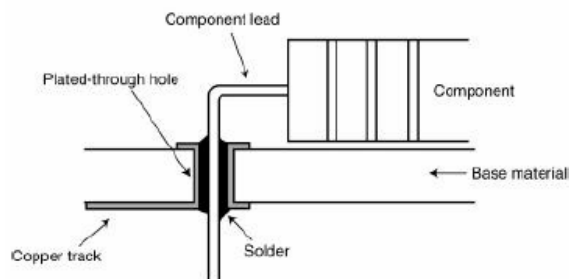
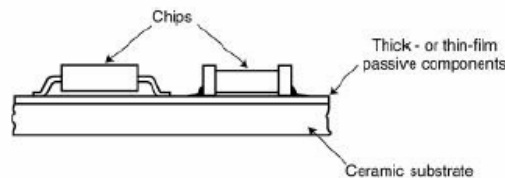


Figure 5 Τεχνολογία TH με επιμεταλλωμένες οπές (Plated through hole)

### 3.2 Υβριδικά κυκλώματα (Hybrid circuits)

Τα υβριδικά κυκλώματα αποτελούνται από παθητικά εξαρτήματα τα οποία υλοποιούνται με τεχνολογία φιλμ (film technology) και τα οποία τοποθετούνται σε μία βάση και από διακριτά παθητικά και ενεργητικά εξαρτήματα τα οποία προστίθενται στο φιλμ για την ολοκλήρωση του κυκλώματος. Υπάρχουν δύο τύποι στην τεχνολογία φιλμ: Του λεπτού φιλμ (thin film) και παχύ φιλμ (thick film). Ο πρώτος τύπος κατασκευάζεται με εκτύπωση, στέγνωμα και συγκόλληση των εξαρτημάτων ενώ στον δεύτερο χρησιμοποιείται απόθεση ατμών (vapour deposition) και διαδικασία επιλεκτικής

εγχάραξης (etching). Οι τεχνικές αυτής της τεχνολογίας είναι αρκετά ώριμες και χρησιμοποιούνται τα τελευταία σαράντα χρόνια αλλά παρ' όλα αυτά είναι εξειδικευμένες διαδικασίες υψηλού κόστους. Η δομή της πλακέτας στην υβριδική τεχνολογία φαίνεται στο Σχήμα 6.



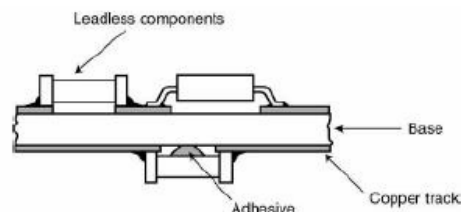
Σχήμα 6 Υβριδική Τεχνολογία (Hybrid Technology)

### 3.3 Τεχνολογία επιφανειακής στήριξης (Surface Mount Technology-SMT)

Η Τεχνολογία επιφανειακής στήριξης είναι στην ουσία ο συνδυασμός των υβριδικών κυκλωμάτων και των τυπωμένων πλακετών κυκλωμάτων. Όπως γίνεται στην TH τεχνολογία διακριτά εξαρτήματα στηρίζονται σε μια τυπωμένη πλακέτα κυκλωμάτων με την διαφορά ότι σ' αυτή την τεχνολογία οι ακροδέκτες δεν διαπερνούν την πλακέτα αφού στα εξαρτήματα αυτού του τύπου δεν υπάρχουν ακροδέκτες με ακίδες. Τα εξαρτήματα τοποθετούνται έτσι ώστε οι ακροδέκτες να κολλούνται στις αντίστοιχες αγωγίμες νησίδες (pads) όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.

Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται από τα μέσα του 1960 και εξελίσσεται ακόμη με γρήγορους ρυθμούς. Αρχικά κατασκευάζονταν διατάξεις λίγο μεγαλύτερες από τις συσκευασίες ακροδεκτών σε διπλή σειρά (dual-in-line DIL) τεχνολογίας TH με τους ακροδέκτες κατάλληλα διαμορφωμένους για επιφανειακή στήριξη στην PCB. Η τυπική απόσταση μεταξύ ακροδεκτών για αυτές τις «συμβατικές» διατάξεις **SMT είναι 1.27mm, το μισό του τύπου TH**. Σήμερα, το βήμα μεταξύ των ακροδεκτών (lead pitch) συνεχώς μειώνεται και νέοι τύποι συσκευασίας όπως Συστοιχίες σφαιρικών ακροδεκτών σε πλέγμα (Ball-Grid-Arrays BGA) ικανοποιούν και τις πιο απαιτητικές εφαρμογές.

Η τεχνολογία SMT (ή SMD Surface Mount Devices) προσφέρει αυξημένη πυκνότητα εξαρτημάτων σε σύγκριση με την τεχνολογία TH και υψηλότερες επιδόσεις αλλά παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκολία στην παραγωγή και την επισκευή. Οι διαδικασίες παραγωγής, ελέγχου και επιδιόρθωσης είναι συνήθως αυτοματοποιημένες και απαιτούν μεγάλες επενδύσεις κεφαλαίου.



Σχήμα 7 Τεχνολογία επιφανειακής στήριξης (Surface Mount Technology-SMT)

(Leadless components:Εξαρτήματα χωρίς ακροδέκτες, Adhesive: Κόλλα, Copper track:Χάλκινη διαδρομή)

#### 4. Τεχνολογίες συσκευασίας (Packaging Technologies)

Οι κατασκευαστές ηλεκτρονικού εξοπλισμού συνεχώς προσπαθούν να ικανοποιήσουν τους παρακάτω περιορισμούς:

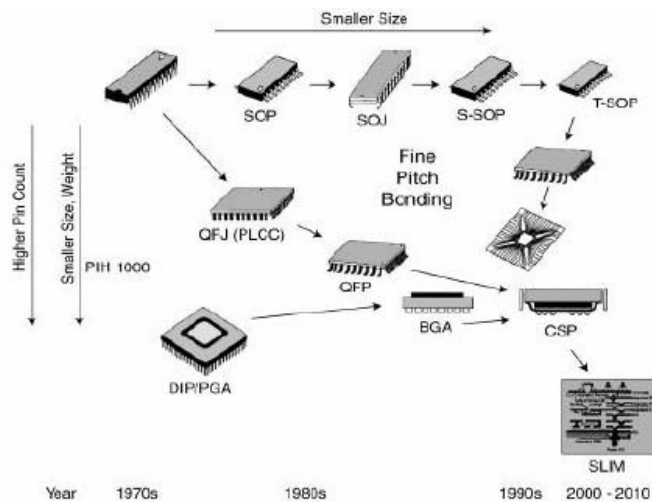
- Παραγωγή προϊόντων με πολύ χαμηλό κόστος
- Σχεδιασμός διατάξεων λεπτών, ελαφρών και φορητών
- Υψηλές επιδόσεις
- Φιλικό προϊόν για τον χρήστη
- Διάφορες λειτουργίες με την χρήση ποικιλίας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

Τα παραπάνω αποτέλεσαν την κινητήρια δύναμη πίσω από τις γρήγορες προόδους στις τεχνολογίες συσκευασίας οι οποίες έχουν επιτευχθεί στις τυπωμένες πλακέτες κυκλωμάτων όπως για παράδειγμα στις τεχνολογίες TH και SMT.

Οι συσκευασίες στην τεχνολογία TH έχουν προοδεύσει σε ένα επίπεδο όπου η πυκνότητα των εξαρτημάτων έχει μεγιστοποιηθεί με την συσκευασία Συστοιχίας ακροδεκτών σε πλέγμα (pin grid array PGA).

Η τεχνολογία SMT από την άλλη συνεχίζει να εξελίσσεται με την μικροποίηση των εξαρτημάτων σε επίπεδο όπου οι συσκευασίες Chip Scale Packages (CSP) είναι μόλις μεγαλύτερες από το ίδιο το chip και αποτελούν κοινή πρακτική για τον σχεδιασμό προηγμένων κυκλωμάτων.

Το Σχήμα 8 δείχνει την χρονική εξέλιξη των διαφορετικών συσκευασιών και πως οι πρόοδοι στην τεχνολογία έχουν επηρεάσει παραμέτρους όπως ο αριθμός των ακροδεκτών, το μέγεθος και το βάρος. Στο Σχήμα 9 φαίνονται κάποιες συσκευασίες διατάξεων σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια και δίνει και μια εξήγηση των συντομεύσεων που χρησιμοποιούνται συνήθιστα για τις διάφορες συσκευασίες.



Σχήμα 8



**Σχήμα 9 Τύποι συσκευασίας διατάξεων (Component package types)**

Οι τεχνικές σύνδεσης των διατάξεων τύπου TH έχουν μείνει ουσιαστικά οι ίδιες. Από την άλλη πλευρά οι τεχνικές συσκευασίας των διατάξεων επιφανειακής στήριξης έχουν διαρκώς αυξανόμενη πολυπλοκότητα και το αποτέλεσμα αυτής της προόδου είναι να έχουμε νέες και περισσότερες σύνθετες μεθόδους συσκευασίας.

Στο Σχήμα 10 φαίνονται μερικές από τις συνηθέστερες και περισσότερο εξελιγμένες συσκευασίες διατάξεων επιφανειακής στήριξης όπως Metal Electrode Faced (MELF), SOs (Small Outline), QFPs (Quad Flat Packages), LCCs (Leadless Chip Carriers), και PLCCs (Plastic Lead Chip Carriers).

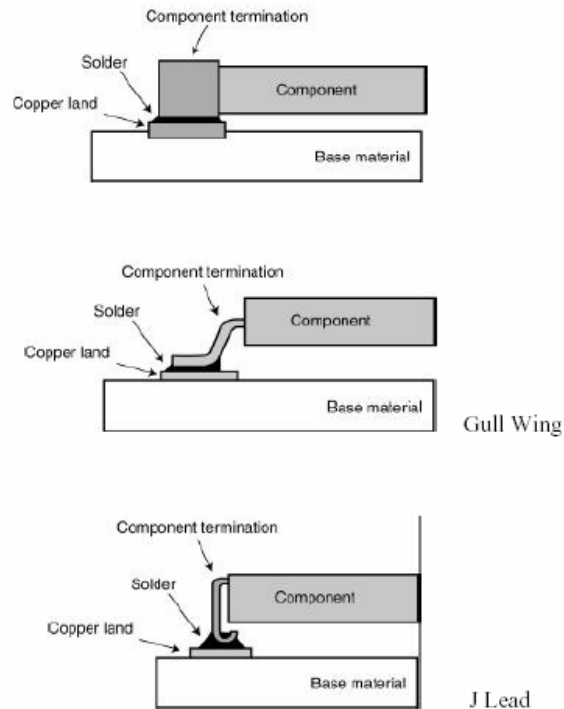
Η πιο πρόσφατη τάση παρόλα αυτά είναι από τις συμβατικές συσκευασίες SMT σε BGA με αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση του φυσικού μεγέθους των PCBs και κατ' επέκταση των σχετικών ηλεκτρονικών συστημάτων. Η συσκευασία BGA θεωρείται ότι εξασφαλίζει υψηλή ταχύτητα και υψηλό αριθμό ακροδεκτών ενώ γενικά είναι αποδεκτό ότι αποτελεί εναλλακτική επιλογή για την συσκευασία QFP σε καταναλωτικά προϊόντα με μικρό αριθμό ακροδεκτών καθώς για προϊόντα για υπολογιστές με υψηλό αριθμό ακροδεκτών. Τα BGAs καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο με απόσταση μεταξύ ακροδεκτών 1mm από τα μέγιστης πυκνότητας ακροδεκτών QFP με απόσταση μεταξύ ακροδεκτών 0.15mm και για περισσότερους από 600 ακροδέκτες.

Τα πλεονεκτήματα των BGAs είναι τα παρακάτω:

- Αυτορύθμιση κατά την διάρκεια της διαδικασίας συγκόλλησης (soldering)
- Χαμηλό κόστος συναρμολόγησης
- Δυνατότητα Επισκευής
- Ελαχιστοποιημένο κόστος εξαρτημάτων



- Μικρότερο ποσοστό απόρριψης κατά την παραγωγή
- Μικρότερης επιφάνειας πλακέτες με μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ ακροδεκτών
- Συναρμολόγηση με τον ίδιο εξοπλισμό SMT που χρησιμοποιείται για τις συσκευασίες τύπου QFP



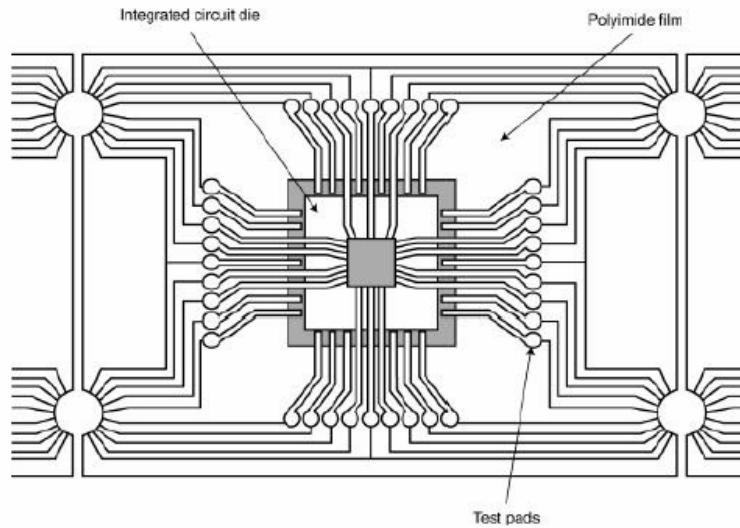
**Σχήμα 10 Τεχνικές Επιφανειακής στήριξης (Surface Mounting Techniques)**  
(MELF, Gull Wing, J Lead)

Η τεχνολογία Tape automated bonding (TAB), η οποία φαίνεται στο Σχήμα 11, αποτελεί μια εξέλιξη της τεχνολογίας συσκευασίας QFP. Στην τεχνολογία αυτή η διάταξη δεν εσωκλείεται σε ένα σώμα από πλαστικό, αλλά περιβάλλεται από μια λεπτή φέτα γυαλιού ενώ οι ακροδέκτες επικολλούνται σε μια ταινία από πολυαμίδιο (polyimide tape). Ο κατασκευαστής κολλά τις εσωτερικές άκρες των ακροδεκτών στο ολοκληρωμένο κύκλωμα και οι εξωτερικές άκρες κολλούνται στην PCB κατά την διαδικασία της συναρμολόγησης. Η τεχνολογία TAB μερικές φορές συγχέεται με την τεχνολογία chip on board (COB) η οποία αναφέρεται στην διαδικασία σύνδεση της χωρίς περίβλημα φέτας (bare die) του ολοκληρωμένου κυκλώματος στην πλακέτα με την επικόλληση κάθε ακροδέκτη με λεπτά σύρματα πριν την τελική συναρμολόγηση και ενσωμάτωση. Αυτή η τεχνική φαίνεται στο Σχήμα 12.

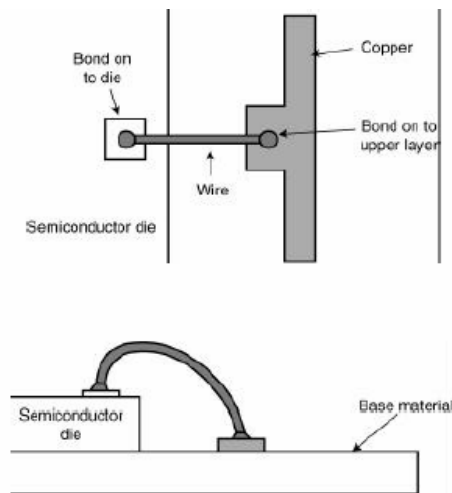
Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας TAB συγκριτικά με την COB είναι τα παρακάτω:

- Οι εσωτερικές συνδέσεις στο ολοκληρωμένο κύκλωμα έχουν ήδη πραγματοποιηθεί
- Τα σύρματα είναι επικασσιτερωμένοι αγωγοί χαλκού οι οποίοι είναι εύκολο να κολληθούν στην πλακέτα
- Η κόλληση των εξωτερικών ακροδεκτών των διατάξεων στις νησίδες της πλακέτας (board lands) μπορεί να γίνει σε ένα πέραςμα

- Η φέτα (Die) του ολοκληρωμένου κυκλώματος είναι ερμητικά σφραγισμένη σε ένα στρώμα γυαλιού
- Οι Διατάξεις αυτού του τύπου μπορούν να ελεγχθούν πλήρως στην ταινία πριν την συναρμολόγηση και οι ελαττωματικές διατάξεις να απορριφθούν.



**Σχήμα 11 Τεχνολογία TAB**



**Σχήμα 12 Τεχνολογία COB**

## 5. Επιλέγοντας την σωστή Τεχνολογία

Η επιλογή της σωστής τεχνολογίας αποτελεί κρίσιμο τμήμα για κάθε έργο και πρέπει να γίνει κατά την περίοδο ανάπτυξης του προϊόντος. Σχετικά με την βέλτιστη επιλογή δύο είναι τα κύρια σημεία τα οποία χρειάζονται προσοχή:

- Ο τύπος PCB
- Η επιλογή των εξαρτημάτων.

Η απόφαση η σχετική με τον τύπο PCB που θα χρησιμοποιηθεί δεν είναι τόσο εύκολη, αλλά οι επιλογές είναι περιορισμένες. Από την άλλη η επιλογή των εξαρτημάτων είναι δυσκολότερη λόγω του ότι σε κάθε σχεδιασμό PCB μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας αριθμός από διαφορετικές τεχνολογίες εξαρτημάτων.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν υπάρχει μια απλή απάντηση και πρέπει να γίνουν κάποιοι συμβιβασμοί.

Ένα μεγάλο χρονικό διάστημα θα πρέπει να αφιερωθεί για την διερεύνηση των πλεονεκτημάτων και περιορισμών της κάθε τεχνολογίας. Αυτοί οι περιορισμοί θα πρέπει να σταθμιστούν με τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς του κάθε έργου οι οποίοι μπορούν γενικά να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες για την διαδικασία της επιλογής της τεχνολογίας PCB και των εξαρτημάτων.

- Η Λειτουργικότητα του προϊόντος (Product functionality)  
(π.χ.) Επιδόσεις, Αξιοπιστία
- Οι φυσικοί περιορισμοί του προϊόντος (Product physical constraints)  
(π.χ.) Μέγεθος, Εμφάνιση, Ευκαμνία, Συνθήκες λειτουργίας (θερμοκρασία, υγρασία, διάβρωση και αντοχή σε κραδασμούς)
- Σχεδιασμός για Έλεγχο  
(π.χ.) Αυτοματοποιημένο ή Χειροποίητο, Απαιτήσεις εκπαίδευσης, Απαιτήσεις Επένδυσης κεφαλαίου
- Σχεδιασμός για συναρμολόγηση  
(π.χ.) Χειροποίητο, Αυτοματοποιημένο TH, Αυτοματοποιημένο SMD, Συνδυασμένες τεχνολογίες, Απαιτήσεις εκπαίδευσης, Απαιτήσεις Επένδυσης κεφαλαίου
- Παραγωγή  
(π.χ.) Εκτίμηση όγκου παραγωγής, Διαθεσιμότητα και κόστος εξαρτημάτων, διαδικασίες διασφάλισης ποιότητας
- Κόστος  
(π.χ.) Σχεδιασμός, Παραγωγή, Έλεγχος, Συντήρηση, Αναβαθμίσεις
- Ανταγωνισμός  
(π.χ.) Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται από τους ανταγωνιστές

Στην πράξη αποδεικνύεται ότι δεν υπάρχει ένας «χρυσός» κανόνας για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας. Παρ' όλα αυτά συνήθως είναι ασφαλές να υποθέσουμε ότι ανεξάρτητα από τις άλλες κινητήριες δυνάμεις οι οποίες εμπλέκονται στην επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας το κόστος του προϊόντος θα επηρεάζεται στην εξίσωση επιλογής και συνήθως έχει σαν αποτέλεσμα τον συμβιβασμό άλλων παραμέτρων.

## 6. Βιβλιογραφία

FUSE TTN Training Material PRINTED CIRCUIT BOARD AND SURFACE MOUNT DESIGN Version 7 June 1999

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

### **Διάφοροι Όροι και Συντομογραφίες**

#### Printed Circuit Board Computer Aided Design Package (PCB CAD PACKAGE)

Πακέτο Σχεδίασης πλακετών Τυπωμένων Κυκλωμάτων Υποβοηθούμενο από Υπολογιστή  
PCB CAD Package.

Κατάλληλο Λογισμικό το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να σχεδιάσει ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα σε μορφή σχηματικού διαγράμματος και/ή σε μορφή PCB πλακέτας. Επίσης δημιουργεί την απαραίτητες πληροφορίες για την παραγωγή της PCB πλακέτας.

#### Σχεδίαση Σχηματικού Διαγράμματος (Schematic Capture)

PCB CAD λογισμικό το οποίο παρέχει τα εργαλεία σύνταξης για την δημιουργία της σχηματικής αναπαράστασης του κυκλώματος. Η διαδικασία συχνά ξεκινά με την δημιουργία των σχηματικών εξαρτημάτων ή την χρήση τους από βιβλιοθήκες. Η διασύνδεση μεταξύ των εξαρτημάτων καθορίζεται με την χρήση του εργαλείου των διαδρομών των αγωγών η οποία και καθορίζει ένα κατάλογο των διαφόρων κόμβων (netlist).

#### Πρόγραμμα Διάταξης πλακέτας Τυπωμένου Κυκλώματος (PCB Layout)

Το πρόγραμμα που παρέχει τα κατάλληλα εργαλεία για την δημιουργία της Διάταξης της πλακέτας Τυπωμένου Κυκλώματος και των αγωγίμων διαδρομών. Συνήθως όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα και οι πληροφορίες των δικτυωμάτων μεταφέρονται αυτόματα από το σχηματικό διάγραμμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις που δεν χρειάζεται σχηματικό διάγραμμα χρησιμοποιείται απ' ευθείας το πρόγραμμα PCB layout.

#### Postprocessing

Η διαδικασία δημιουργίας των πληροφοριών κατασκευής της PCB, όπως το αρχείο του αριθμητικού ελέγχου για την διάνοιξη των οπών (Numerical Control –NC- drill file), το τελικό σχέδιο της PCB και ο κατάλογος των αναγκαίων υλικών.

#### Front Annotation

Μεταφορά των πληροφοριών των σχηματικών εξαρτημάτων και των δικτυωμάτων της πλακέτας από το πρόγραμμα δημιουργίας του σχηματικού διαγράμματος στο πρόγραμμα PCB Layout.

#### Back Annotation

Μεταφορά των πληροφοριών των εξαρτημάτων και των δικτυωμάτων από το πρόγραμμα PCB Layout στο αντίστοιχο δημιουργίας του σχηματικού διαγράμματος.

### Δυνατότητα επισκόπησης Gerber

Τα τελικά αρχεία της διάταξης της PCB πλακέτας (Artwork files) συνήθως αποθηκεύονται σε μορφή Gerber ASCII για την κατασκευή της PCB πλακέτας. Η δυνατότητα επισκόπησης Gerber επιτρέπει στον σχεδιαστή να δει και κατ' επέκταση να ελέγξει την μορφή της PCB πλακέτας πριν κατασκευασθεί.

### Λίστα Κόμβων (Netlist)

Η λίστα των κόμβων περιγράφει τις διασυνδέσεις μεταξύ των ακροδεκτών των χρησιμοποιούμενων εξαρτημάτων.

### Πλακέτα μονή όψης (Single sided board)

Αυτός ο τύπος πλακέτας έχει χάλκινες διαδρομές (copper tracks) μόνο στην μία πλευρά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτρονικά εξαρτήματα τεχνολογίας επιφανειακής στήριξης (surface mount) ή με ακροδέκτες διαμέσου οπών (through hole). Συνήθως χρησιμοποιείται για πολύ απλά ηλεκτρονικά σχέδια με μικρό αριθμό εξαρτημάτων και απλή διάταξη των χάλκινων διαδρομών σύνδεσης των εξαρτημάτων.

### Πλακέτα διπλής όψης (Double sided board)

Αυτός ο τύπος πλακέτας έχει χάλκινες διαδρομές (copper tracks) και στις δύο πλευρές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτρονικά εξαρτήματα τεχνολογίας επιφανειακής στήριξης (surface mount) ή με ακροδέκτες διαμέσου οπών (through hole). Συνήθως οι πλακέτες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για πολυπλοκότερα σχέδια.

### Πλακέτα πολλαπλών επιπέδων (Multilayer)

Η πλακέτα αυτού του τύπου είναι η πιο πολύπλοκη συγκριτικά με τους υπόλοιπους. Κατασκευάζεται με την συγκόλληση πολλών λεπτών τυπωμένων κυκλωμάτων μαζί επιτρέποντας την μέγιστη πυκνότητα εξαρτημάτων από κάθε άλλη τεχνική κατασκευής τυπωμένης πλακέτας.

### Τεχνολογία Through Hole (TH)

Στην τεχνολογία αυτή τα εξαρτήματα στερεώνονται στην PCB με τους ακροδέκτες τους να την διαπερνούν από το ένα στο άλλο επίπεδο. Στις πλακέτες μονής όψης οι ακροδέκτες χρειάζεται να κολληθούν μόνο στην μία επιφάνεια, ενώ στις πλακέτες διπλής όψης είναι αναγκαία η κόλληση και στις δύο επιφάνειες της πλακέτας.

### Επιμεταλλωμένες Οπές (Plated Through Holes -PTH)

Με την τεχνική αυτή όλες οι οπές έχουν στο εσωτερικό τους μια λεπτή επίστρωση χαλκού. Με την τεχνική αυτή οι κολλήσεις χρειάζεται να γίνουν μόνο στην μία επιφάνεια της πλακέτας (συνήθως στην κάτω).

### Τεχνολογία Επιφανειακής Στήριξης (Surface Mount Technology-SMT)

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό (αν και όχι αποκλειστικά) σε πλακέτες πολλαπλών επιπέδων και εξασφαλίζει μικρό μέγεθος. Τα εξαρτήματα SMT κατασκευάζονται με ακροδέκτες σε μορφή νησίδας (pads) αντί για ακροδέκτες με ακίδες ενώ στερεώνονται στην επιφάνεια της πλακέτας αντί οι ακροδέκτες να διέρχονται διαμέσου της. Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα αυτής της τεχνολογίας είναι συνήθως αρκετά μικρότερα από τα αντίστοιχα της τεχνολογίας through hole.

### Κόστος κατασκευής (Tooling Cost)

Το κόστος το οποίο επιβαρύνει τον πελάτη για κάθε νέο σχέδιο πλακέτας. Με την διαδικασία αυτή που υποστηρίζεται από το λογισμικό CAD PCB παράγονται πληροφορίες σχετικές με την πολυπλοκότητα της πλακέτας (αριθμός οπών, συνολική επιφάνεια) για την εκτίμηση του κόστους κατασκευής της πλακέτας (κόστος Photoplot), την διάτρηση των οπών, την επιμετάλλωσή τους κ.τ.λ.

### Μεταξοτυπία (Silk Screen)

Τα σχήματα και οι αναφορές σχετικά με τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα της πλακέτας τα οποία τυπώνονται συνήθως στην πάνω όψη της με μη αγώγιμα υλικά εκτύπωσης.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### Γενικές οδηγίες για την σχεδίαση PCB

Για την κατασκευή μιας πλακέτας και την ελαχιστοποίηση των παραγόντων αποτυχίας θα πρέπει να γίνει εκτίμηση των παρακάτω θεμάτων:

- Η τεχνολογία της PCB όπως επιφανειακής στήριξης (surface mount), through hole ή πολλαπλών επιπέδων
- Οι απαιτήσεις ελέγχου και εντοπισμού σφαλμάτων πάνω στην PCB
- Αν πρόκειται για ένα σύστημα το οποίο θα επιδέχεται συντήρηση ή ρυθμίσεις αυτό θα πρέπει να επηρεάσει την θέση των εξαρτημάτων, τον τύπο τους, το σχήμα της PCB, τις θέσεις των οπών και την πυκνότητα εξαρτημάτων του κυκλώματος.
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως ταλαντεύσεις, κτυπήματα, δονήσεις, η θερμοκρασία και η υγρασία μπορούν να επηρεάσουν τον τύπο του υλικού της πλακέτας και την τεχνολογία που θα επιλεγεί.
- Οι απαιτήσεις διασύνδεσης των συστημάτων μπορούν να επηρεάσουν την θέση των εξαρτημάτων τον διαχωρισμό τμημάτων της πλακέτας και τις οπές στήριξης.

Κατά τον σχεδιασμό της PCB (PCB layout) το σχέδιο του κυκλώματος θα πρέπει να διαχωρίζεται σε ένα αριθμό τμημάτων με διακριτές λειτουργίες και να κρατιέται σε συγκεκριμένα όρια στην πλακέτα όπου αυτό είναι δυνατό. Οι λειτουργίες των κυκλωμάτων χωρίζονται συνήθως στην τροφοδοσία, τα αναλογικά και τα ψηφιακά κυκλώματα. Αυτά τα λειτουργικά διαχωρισμένα τμήματα μπορούν να υποδιαιρευθούν περαιτέρω με βάση παραμέτρους όπως τα επίπεδα της τάσης και των ρευμάτων και την συχνότητα λειτουργίας. Ο κύριος αντικειμενικός στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των παρεμβολών μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων του κυκλώματος, η απλούστευση των διαδικασιών ελέγχου της πλακέτας και ο καθορισμός διαγνωστικών διαδικασιών εύρεσης βλαβών (troubleshooting diagnostics). Επιπρόσθετα και όπου είναι δυνατό είναι σκόπιμο να ακολουθηθούν οι παρακάτω προφυλάξεις.

- Οι διαδρομές των σημάτων και της τροφοδοσίας θα πρέπει να έχουν το μικρότερο δυνατό μήκος
- Συνδέστε έναν κεραμικό πυκνωτή (ceramic capacitor) περίπου 0.1  $\mu\text{F}$  κατά μήκος της τροφοδοσίας  $V_{cc}$  σε κάθε ψηφιακό ολοκληρωμένο.
- Να εξασφαλίσετε ότι οι διαδρομές της τροφοδοσίας και της γείωσης έχουν το μέγιστο δυνατό πλάτος και βρίσκονται όσο κοντά γίνεται μεταξύ τους.
- Κρατήστε τους ακροδέκτες των εξαρτημάτων στο ελάχιστο μήκος
- Όταν σχεδιάζετε διαδρομές χρησιμοποιήστε γωνίες 45 μοιρών αντί 90 για τις αλλαγές κατεύθυνσης
- Κρατήστε τον αριθμό των περασμάτων (vias) στο ελάχιστο
- Υποδηλώστε τα διαφορετικά επίπεδα στο σχέδιο της πλακέτας (π.χ.) διαδρομές εξαρτημάτων, διαδρομές κόλλησης κ.τ.λ.
- Χρησιμοποιήστε κάποια ετικέτα προσδιορισμού της πλακέτας

- Να μην σχεδιάζετε πλακέτες με πολύ μικρές διαστάσεις. Όσο μεγαλύτερη είναι η πλακέτα, τόσο λιγότερα προβλήματα θα έχετε όταν θα προσπαθήσετε να συγκολλήσετε τα εξαρτήματα. (Το μέγεθος της PCB είναι ανάλογο με το συνολικό κόστος. Οι μέγιστες διαστάσεις να μην υπερβαίνουν τις 9''x 12'' (''= ίντσες=2.54 cm)).
- Χρησιμοποιήστε νησίδες (πίστες-pads) τουλάχιστον 60 mils για όλα τα εξαρτήματα. (1 mil=0.001 inch)
- Χρησιμοποιήστε αγωγικές διαδρομές (tracks ή traces) με πλάτος μεγαλύτερο από 12 mils για την διασύνδεση των εξαρτημάτων.
- Το μέγεθος της τρύπας για TH ή της νησίδας για SMT εξαρτήματα θα προκαθορίζεται από τις διαστάσεις του συγκεκριμένου εξαρτήματος.
- Χρησιμοποιήστε ελάχιστες αποστάσεις 10 mils μεταξύ των traces.
- Πάντα να χρησιμοποιείτε μια γραμμή για να καθορίζετε την περιοχή «εκτός πλακέτας» (keepout layer). Αυτή η γραμμή θα πρέπει να περικλείει ολόκληρη την πλακέτα και καθορίζει τις τελικές διαστάσεις της.
- Για την ελαχιστοποίηση του κόστους προσπαθήστε να χρησιμοποιήσετε αγωγικές διαδρομές ενός πλάτους και τρύπες ενός μεγέθους.
- Αν μια PCB χρειάζεται να στηριχθεί, τα συνηθισμένα στηρίγματα με βίδες απαιτούν μέγεθος νησίδας 250 mils και μέγεθος οπής 3 mm.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

### Διαφοροποιήσεις κόστους PCB

Οι ποσοστιαίες διαφοροποιήσεις κόστους που ακολουθούν έχουν νόημα σαν κατευθυντήριες γραμμές. Ο αριθμός των παραμέτρων που επηρεάζουν το κόστος είναι πολύ μεγάλος ώστε να γίνει μια πλήρης κάλυψη των διαφοροποιήσεων του κόστους

Ο αριθμός των επιπέδων

- Single sided σε σύγκριση με double sided PTH (Plated Through Hole) +30%
- Double sided σε σύγκριση με multi-layer (4 επίπεδα) +100%
- 4 επίπεδα σε 6 επίπεδα +30%
- 6 επίπεδα σε 8 επίπεδα +20%

Ο αριθμός των οπών

- Με βάση ένα ελάχιστο αριθμό 400 οπών +5% για κάθε επιπρόσθετες 100 οπές

Το πάχος της πλακέτας

- 1.6mm σε 2.4mm +10%
- 1.6mm σε 3.2mm +15%

Νησίδες για εξαρτήματα επιφανειακής στήριξης (Surface Mount Pads)

- Για θερμό αέρα ή επιφάνειες επίχρυσες +10%

Μεταξοτυπία (Silk Screen)

- Αντοχής στην κόλληση +10%
- Εκτύπωση πληροφοριών εξαρτημάτων +10%

Επιπρόσθετες χρεώσεις για συντομότερους χρόνους παράδοσης:

20 ημέρες (συνηθισμένος χρόνος παράδοσης)

15 ημέρες +25%

10 ημέρες +65%

5 ημέρες +85%

3 ημέρες +125%

1 ημέρες +200%

(Πληροφορίες από Lyncolec Ltd, UK.)

Ακολουθεί ένα παράδειγμα για το τυπικό κόστος μιας πλακέτας διπλής όψης PTH με διαστάσεις 110mm\*166mm, 206 οπές, 8 αλλαγές τρυπανιών διάτρησης οπών, δύο επίπεδα εκτύπωσης, δύο επίπεδα αγωγίμων διαδρομών, δύο εκτυπώσεις μεταξοτυπίας και ένα επίπεδο γείωσης

- Αρχικό κόστος κατασκευής 127 Euro
- Μία πλακέτα με συνηθισμένο χρόνο παράδοσης (20 ημέρες) 66 Euro
- Εκατό πλακέτες με συνηθισμένο χρόνο παράδοσης 11 Euro η κάθε μία

Είναι πολύ σημαντικό να σημειώσουμε ότι το αρχικό κόστος χρεώνεται μόνο μία φορά για κάθε νέα πλακέτα. Σε πολλές περιπτώσεις τα photoplots και οι πληροφορίες διάτρησης της πλακέτας που δημιουργούνται αποθηκεύονται σε ένα αρχείο από τον

κατασκευαστή της PCB. Άλλοι κατασκευαστές κρατούν ένα αντίγραφο και στέλνουν τα πρωτότυπα στον πελάτη. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από άλλους κατασκευαστές PCBs. Το αποτέλεσμα είναι ότι είναι δυνατό να γίνει αλλαγή του προμηθευτή χωρίς την εκ νέου χρέωση του αρχικού κόστους. Είναι σημαντικό να ζητηθούν πληροφορίες από τον κατασκευαστή σχετικά με το ελάχιστο πλάτος των διαδρομών και το πάχος τους, την μορφή της πλακέτας και τις ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ διαδρομών.

## Περιεχόμενα

<b>Εισαγωγή .....</b>	<b>2</b>
<b>Ταξινόμηση PCB.....</b>	<b>2</b>
Τυπωμένη πλακέτα μονής .....	2
Τυπωμένη πλακέτα διπλής όψης .....	3
Τυπωμένη πλακέτα κυκλωμάτων πολλαπλών επιπέδων .....	3
<b>Παραλλαγές σχεδίασης PCBs .....</b>	<b>4</b>
Κυκλώματα με οπές μεταξύ των επιπέδων .....	4
Υβριδικά κυκλώματα.....	5
Τεχνολογία επιφανειακής στήριξης.....	6
<b>Τεχνολογίες συσκευασίας.....</b>	<b>7</b>
<b>Επιλέγοντας την σωστή Τεχνολογία.....</b>	<b>11</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α Διάφοροι Όροι και Συντομογραφίες.....</b>	<b>12</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β Γενικές οδηγίες για την σχεδίαση PCB.....</b>	<b>15</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ Διαφοροποιήσεις κόστους PCB.....</b>	<b>17</b>