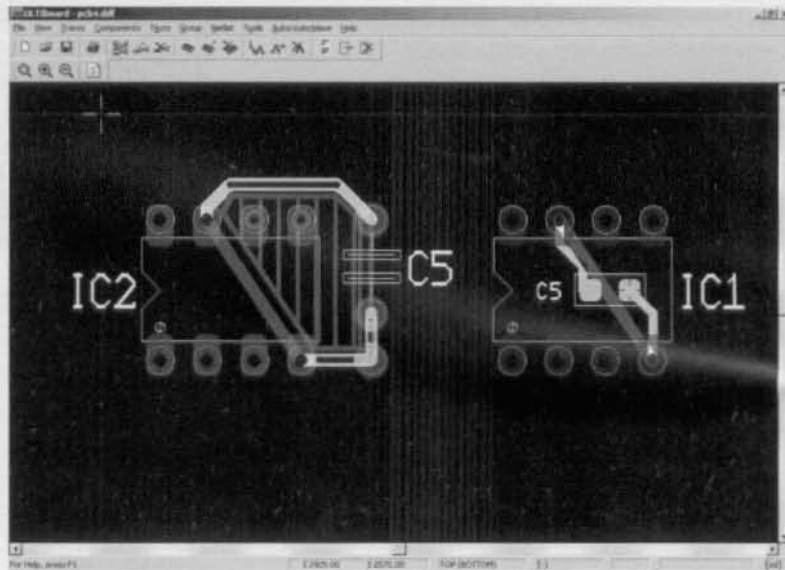


Σχήμα 1. Σχηματικό διάγραμμα μία απλής βαθμίδας ενίσχυσης.



Σχήμα 2α (αριστερά και 2β δεξιά). Προσπαθούμε να κάνουμε σύντομες διαδρομές έτσι ώστε οι συνδέσεις να καταλαμβάνουν το μικρότερο δυνατόν εμβαδόν. Για τον σκοπό αυτό εξυπηρετούν καλύτερα τα εξαρτήματα SMD (β).

Μέρος πρώτο: Βασικοί κανόνες σχεδίασης πλακετών

Από τον Karel Warlaven

Ποιο είναι το στάδιο μίας κατασκευής που πραγματικά απολαμβάνουν οι περισσότεροι ηλεκτρονικοί μηχανικοί;

Μα βέβαια η σχεδίαση κυκλωμάτων! Αποφασίσαμε λοιπόν με μία σειρά άρθρων στην παρούσα στήλη, να προσπαθήσουμε να ξεδιαλύνουμε όλες τις απορίες πάνω στο συγκεκριμένο θέμα. Θα ξεκινήσουμε από τα πιο απλά και όσο συνεχίζουμε τόσο θα τα δυσκολεύουμε.

Οι οποιοσδήποτε παρατηρήσεις ή αιτήσεις για κάλυψη συγκεκριμένων θεμάτων είναι πάντα καλοδεχούμενες (και πραγματικά τις χρειαζόμαστε).

Όταν ξεκινάμε την σχεδίαση μίας απλής πλακέτας, το που θα τοποθετήσουμε τα διάφορα εξαρτήματα δεν είναι και τόσο κρίσιμο. Παρόλα αυτά, υπάρχουν ορισμένοι εμπειρικοί κανόνες που όταν τους ακολουθούμε καταλήγουμε εύκολα και γρήγορα σε μία πολύ καλύτερη πλακέτα. Καλύτερη, με την έννοια του λιγότερου θορύβου στην έξοδο και της μικρότερης παρεμβολής με άλλες συσκευές.

Τι σημαίνει με ποιο απλά λόγια η τελευταία πρόταση; Ο ενισχυτής παράγει καλύτερο ήχο, δεν δημιουργεί θόρυβο όταν αρχίζει να δουλεύει το ψυγείο και δεν προκαλεί παρεμβολές στο κινητό μας τηλέφωνο.

Η πρόταση που ακολουθεί ίσως ακουστεί περιεργή, αλλά είναι πέρα για πέρα αληθινή: 'Η θέλτιστη θέση ενός εξαρτήματος σε μία πλακέτα καθορίζεται σχεδόν σε ποσοστό 100 % από την λειτουργία του και το σχηματικό τους διάγραμμα'. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούμε να αποφύγουμε την μελέτη του κάθε εξαρτήματος που περιλαμβάνεται στο κύκλωμα.

Παράδειγμα

Σαν παράδειγμα θα πάρουμε μία βαθμίδα

ενίσχυσης. Ποιες είναι λοιπόν οι διάφορες λειτουργίες που μπορούμε να διακρίνουμε;

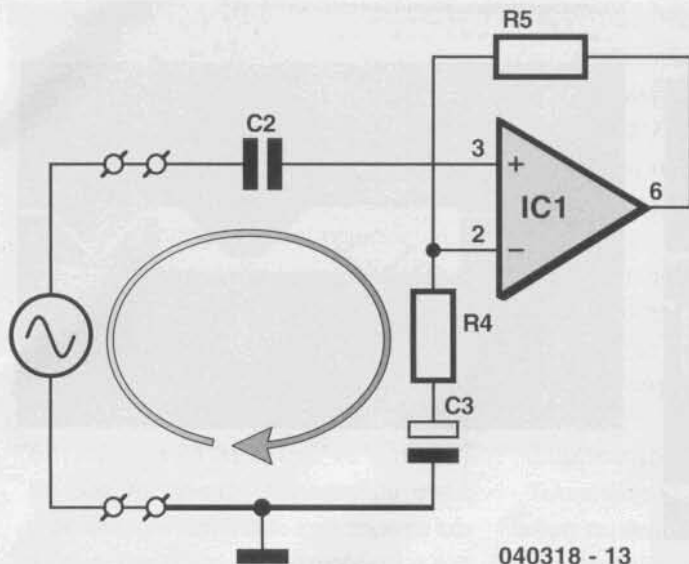
Στο Σχήμα 1, ο C5 είναι ένας πυκνωτής απόζευξης ο οποίος αποζευγνύει την τάση της τροφοδοσίας. Κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας το ρεύμα που καταναλώνει το IC1 μεταβάλλεται, και ο C5 εξασφαλίζει ότι η τροφοδοσία θα καλύψει ακόμη και τις μέγιστες στιγμιαίες απαιτήσεις σε ρεύμα.

Πυκνωτής απόζευξης είναι επίσης και ο C1, αλλά στην περίπτωση αυτή ο C1 εξυπηρετεί στην απόρριψη οποιασδήποτε παρεμβολής ή θορύβου προερχόμενης από την τροφοδοσία, ώστε να μην φθάσει στο σήμα.

Μία ακόμη περίπτωση πυκνωτή απόζευξης είναι ο C3, ο οποίος όμως εδώ δεν φιλτράρει την τάση τροφοδοσίας αλλά το ίδιο το σήμα. Σκοπός του είναι να εξασφαλίσει ότι για εναλλασσόμενες τάσεις, η αναστρέφουσα είσοδος του IC1 συνδέεται με την γη μέσω της R4.

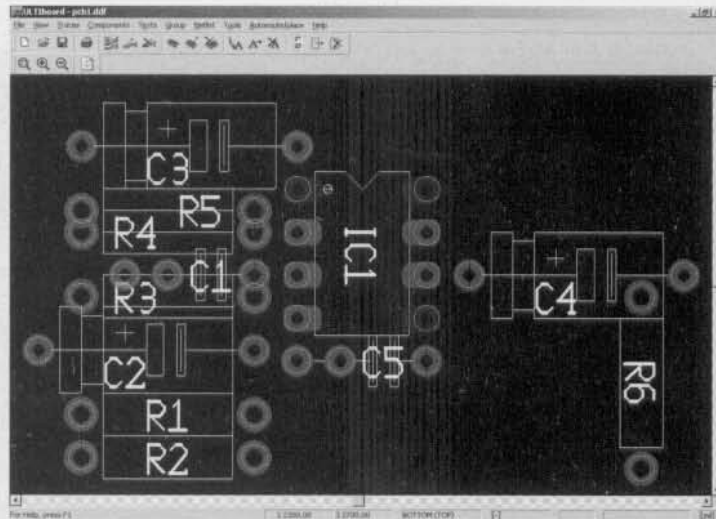
Κανόνας 1ος: Τα εξαρτήματα απόζευξης τοποθετούνται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στους κόμβους που χρειάζονται την απόζευξη.

Οι επιμήκεις διάδρομοι αυξάνουν την



040318 - 13

Σχήμα 3. Η επιφάνεια των συνδέσεων σχηματίζεται από την διαδρομή του σήματος από και προς το εξάρτημα.



Σχήμα 4. Σε πρώτη φάση, τα εξαρτήματα τοποθετούνται σε αυθαίρετες θέσεις.

εμπέδηση (=η αντίσταση σε υψηλές συχνότητες) και κατά συνέπεια η απόζευξη δεν πρόκειται να αποδώσει το ίδιο.

Όσο υψηλότερη η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερη η σημασία διατήρησης συντόμων διαδρομών. Το συγκεκριμένο θέμα θέλει ιδιαίτερη προσοχή! Για να κάνουμε ακόμη περισσότερο σαφή τα πράγματα, ας ρίξουμε μία ματιά στο **Σχήμα 2α**.

Τα ίχνη από και προς τον κόμβο σχηματίζουν πάντοτε ένα βρόγχο (αυτό συμβαίνει επίσης όταν το ένα άκρο του εξαρτήματος συνδέεται με την γη). Για να γίνει περισσότερο ξεκάθαρο το θέμα, στο συγκεκριμένο σχήμα η περιοχή μεταξύ των διαδρόμων έχει σκιαστεί.

Αυτό λοιπόν που έχουμε να τονίσουμε είναι ότι οι διάδρομοι πρέπει να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε η σκιασμένη περιοχή που θα προκύπτει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.

Στην περίπτωση που πρέπει να επιλέξουμε μεταξύ μακρύτερων διαδρόμων με μικρότερη περιεχόμενη επιφάνεια και συντομότερων διαδρόμων με μεγαλύτερη περιεχόμενη επιφάνεια, επιλέγουμε πάντοτε την διάταξη με το μικρότερο εμβαδόν.

[Από αυτή την άποψη, οι πλακέτες δι-

πλής όψεως είναι ό, τι καλύτερο: Όταν οι διάδρομοι βρίσκονται ο ένας πάνω από τον άλλο στην κάθε πλευρά, το εμβαδόν της περιεχόμενης επιφάνειας ελαχιστοποιείται]. Το γιατί τώρα πρέπει το συγκεκριμένο εμβαδόν να παραμένει όσο το δυνατόν πιο μικρό είναι κάτι που θα το αφήσουμε για αργότερα, μιας και επί της παρούσης το θέμα θεωρείται αρκετά προχωρημένο.

Οι C12 και C4 είναι πυκνωτές επάνω στην διαδρομή του σήματος. Και σε αυτή την περίπτωση ισχύει ότι οι μικροί διάδρομοι και η μικρή επιφάνεια ενέχουν μικρότερο κίνδυνο να μαζέψει το σήμα 'προβλήματα', ή αντίστοιχα να δημιουργήσει προβλήματα.

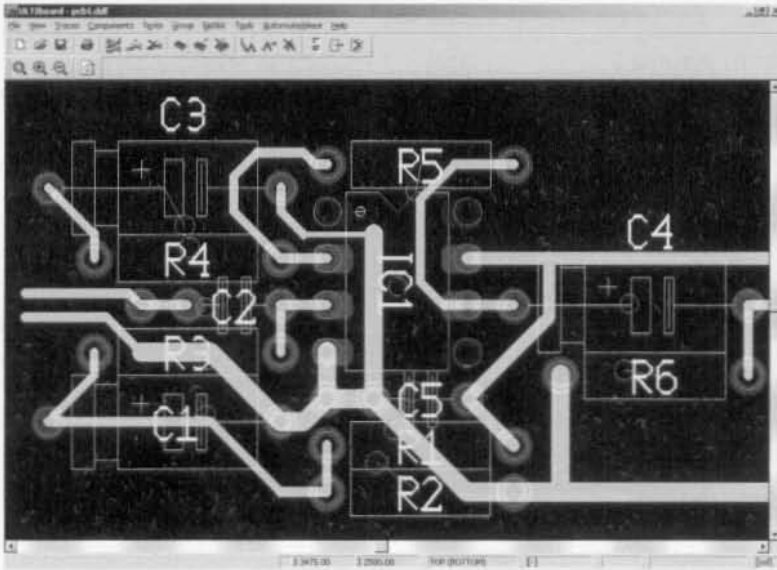
Επαναλαμβάνουμε το παραπάνω για μία ακόμη φορά, διότι θεωρούμε πολύ σημαντικό να γίνει κατανοητό.

Πως είναι δυνατόν μία σύνδεση να έχει εμβαδόν; Στο **Σχήμα 3** μπορούμε να δούμε ότι το σήμα δεν οδεύει μόνον προς τον πυκνωτή, αλλά έχει και μία οδό επιστροφής μέσω της γης! Το ίχνος της γης έχει και αυτό ένα μήκος, οπότε η διαδρομή του σήματος μαζί με αυτήν της γης σχηματίζουν ένα βρόγχο! Αυτό βέβαια δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να μας εκπλήσσει.

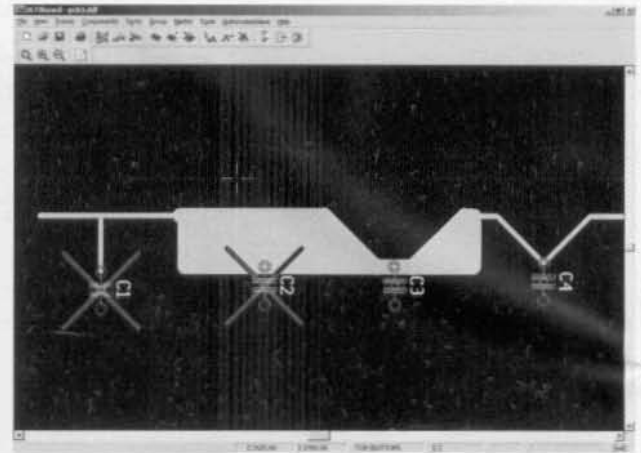
Αν θυμηθούμε την πρώτη μας επαφή με τα ηλεκτρονικά, ήταν ένας λαμπτήρας και μία μπαταρία. Και τότε άναβε ο λαμπτήρας; όταν έκλεινε ο βρόγχος. Για αυτό λοιπόν ο **πρώτος κανόνας** θέλει ιδιαίτερη προσοχή.

Πάνω στο θέμα των διαδρομών του σήματος θα μπορούσαμε να κάνουμε πολλά σχόλια. Οι μεγαλύτεροι από εμάς, αυτοί που μεγάλωσαν με θυνίλιο και λυχνίες, θα θυμούνται ότι εκείνη την εποχή η δοκιμή ενός ενισχυτή ήταν πολύ εύκολη υπόθεση. Αρκούσε να πλησιάσεις το δάκτυλο στην είσοδο για να δημιουργηθεί ένας δυνατός βόμβος στα ηχεία.

Το συγκεκριμένο κόλπο απέδιδε τόσο καλά διότι η είσοδος σε ένα ενισχυτή με λυχνίες παρουσιάζει υψηλή εμπέδηση, και οι συνδέσεις με υψηλή εμπέδηση συλλαμβάνουν τις παρεμβολές πολύ πιο εύκολα. Πάντα λοιπόν χρειάζεται να υπολογίζουμε πόσο υψηλή μπορεί να είναι η εμπέδηση ενός κόμβου και να δίνουμε ιδιαίτερη προσοχή ώστε η σύνδεση με την μεγαλύτερη εμπέδηση να είναι όσο το δυνατόν συντομότερη (και εάν είναι δυνατόν να οδηγούμε και ένα δεύτερο παράλληλο διάδρομο συνδεδεμένο με την γη για θωράκιση -



Σχήμα 5. Η βέλτιστη διευθέτηση μετά την εφαρμογή των κανόνων.



Σχήμα 6. Προσέχουμε να μην δώσουμε την ευκαιρία στις παρεμβολές να υπερπηδήσουν τα εξαρτήματα απόζευξης.

δηλ. να διατηρούμε το εμβαδόν μικρό).

Ο **Κανόνας 2** λοιπόν είναι: επιλέγουμε συντομότερες διαδρομές για συνδέσεις που αντιστοιχούν σε υψηλές εμπδησεις, παρά για αυτές που αντιστοιχούν σε χαμηλές εμπδησεις.

Η R6 μας εξασφαλίζει ότι η έξοδος του κυκλώματος σε κατάσταση ηρεμίας είναι ακριβώς μηδέν. Με τον τρόπο αυτό αποτρέπεται η δημιουργία παρασιτικών θορύβων την ώρα που ο ενισχυτής ανοίγει ή κλείνει.

Οι R1 και R2 παρέχουν την σωστή πόλωση συνεχούς στην μη αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή. Ο συγκεκριμένος κόμβος αποζευγνύεται μέσω του πυκνωτή C1 και κατά συνέπεια δεν είναι ιδιαίτερα κρίσιμος. Εάν μάλιστα λάβουμε υπ' όψη μας ότι ο πυκνωτής δημιουργεί μία είσοδο χαμηλής εμπδησης για τα σήματα παρεμβολής, τότε το όλο δικτύωμα καθίσταται λιγότερο ευαίσθητο. Οι αντιστάσεις είναι δυνατόν να τοποθετηθούν κάπως μακρύτερα από τον τελεστικό ενισχυτή, αρκεί ο πυκνωτής απόζευξης να τοποθετηθεί όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον τελεστικό.

Η R4 μαζί με την R5 καθορίζουν το πο-

σοστό ενίσχυσης. Η είσοδος του τελεστικού ενισχυτή είναι ο κόμβος με την υψηλότερη εμπδηση, ενώ η έξοδος παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερη εμπδηση όπως επίσης και η γη. Η συντομότερη διαδρομή, θα πρέπει κατά συνέπεια να σχεδιαστεί στην είσοδο.

Ας αρχίσουμε

Ώρα λοιπόν να ξεκινήσουμε την δουλειά έχοντας κατά νου όσα αναφέραμε παραπάνω. Με μία απλή αναζήτηση στο διαδίκτυο θα βρούμε αρκετές εκδόσεις 'επίδειξης' (demo) από καλό λογισμικό σχεδίασης τυπωμένων κυκλωμάτων. Στο τέλος μάλιστα του άρθρου, παραθέτουμε και μερικές διευθύνσεις από τις οποίες μπορεί κανείς να ξεκινήσει.

Κατά την σχεδίαση μίας πλακέτας, ξεκινάμε πάντα από τους βασικούς περιορισμούς που μας επιβάλλει η κατασκευή.

Οι περιορισμοί αυτοί έχουν να κάνουν με τα εξαρτήματα (ή το μέγεθος της πλακέτας), τα οποία για τον ένα ή τον άλλο λόγο θα πρέπει να τοποθετηθούν σε μία συγκεκριμένη θέση.

Όταν για παράδειγμα ένα ποτενοϊόμετρο πρέπει να προεξέχει μέσω μίας οπής στην

πρόσοψη της κατασκευής, θα μπορούσε βέβαια να τοποθετηθεί οπουδήποτε στην πλακέτα, αλλά στο τέλος θα πρέπει να βρίσκεται ακριβώς δίπλα στην πρόσοψη. Λογικό είναι λοιπόν να ξεκινήσουμε από εκεί, διαφορετικά οποιαδήποτε άλλη εργασία θα είναι απλά χάσιμο χρόνου.

Στην συνέχεια τοποθετούμε προσωρινά όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα στην ιδανικότερη κατά την κρίση μας θέση. Μπορούμε να τα τοποθετήσουμε ακόμη και το ένα πάνω από το άλλο, αλλά δεν ήρθε ακόμη η ώρα να κάνουμε συμβιβασμούς (**Σχήμα 4**).

Οι C2 και C3 τοποθετούνται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον ακροδέκτη 3 του ολοκληρωμένου, και οι R4 και R5 πλησίον του ακροδέκτη 2.

Στο σημείο αυτό παρατηρούμε ότι θα πρέπει να κάνουμε κάποιες επιλογές. Η R3 μπορεί να τοποθετηθεί κοντά στον ακροδέκτη 3 ή κοντά στον C1. Στις περιπτώσεις αυτές επιλέγουμε πάντοτε την συντομότερη διαδρομή προς τον κόμβο ο οποίος παρουσιάζει την υψηλότερη εμπδηση, δεδομένου ότι αυτός ο κόμβος είναι ο περισσότερο ευαίσθητος σε παρεμβολές.

Ο C1 παρουσιάζει σχετικά χαμηλή εμπδηση σε σχέση με τη γη, οπότε αυτή η

πλευρά της R3 δεν είναι ιδιαίτερα κρίσιμη. Από την άλλη όμως πλευρά της R3 η εμπέδηση είναι σίγουρα υψηλότερη, οπότε η πλευρά αυτή είναι πιο ευαίσθητη και επιβάλλεται να είναι σύντομη. Το ίδιο επίσης ισχύει και για τις R4 και R5 (η R5 συνδέεται από την μία πλευρά στην σχετικά χαμηλής εμπέδησης έξοδο του τελεστικού ενισχυτή).

Για τον λόγο αυτό, είναι καλύτερα να κάνουμε την διαδρομή του σήματος στην έξοδο λίγο μακρύτερη, ώστε η διαδρομή του σήματος στην είσοδο να είναι όσο το δυνατόν συντομότερη.

Ο πυκνωτής απόζευξης της τροφοδοσίας C5 δείχνει λίγο μοναχικός στο σχηματικό διάγραμμα, αλλά θα πρέπει να τοποθετηθεί όσο το δυνατόν πλησιέστερα στους ακροδέκτες 4 και 7. Δεν έχει σημασία εάν θα είναι κοντύτερα στον ακροδέκτη 4 ή 7, αυτό που έχει σημασία είναι το σύνολο (εμβαδόν!) της διαδρομής.

Εάν όλα αυτά αρχίζουν να ακούγονται πολύπλοκα, δεν υπάρχει κανένας λόγος πανικού! Το μόνον που χρειάζεται να θυμόμαστε είναι τρεις βασικοί κανόνες:

- τα εξαρτήματα απόζευξης τα τοποθετούμε όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο φορτίο
- διατηρούμε τις διαδρομές υψηλής εμπέδησης όσο το δυνατόν συντομότερες
- για τις συνδέσεις γης, χρησιμοποιούμε 'σημεία αστέρος' **

Αυτό που ισχύει σαν γενικός κανόνας είναι το εξής: διατηρούμε το εμβαδόν των βρόγχων όσο το δυνατόν μικρότερο.

Το ζέσταμα

Συνεχίζουμε τοποθετώντας τα εξαρτήματα στην τελική τους θέση. Στην περίπτωση που δεν έχουμε διαθέσιμο χώρο, ελέγχουμε εάν μπορεί να μας βοηθήσει κάποιο από τα παρακάτω 'κόλπα':

- Δοκιμάζουμε εξαρτήματα SMD. Έχουν μικρότερες διαστάσεις σε σχέση με τα κλασικά εξαρτήματα με ακροδέκτες (και κατά συνέπεια καλύτερη συμπεριφορά σε υψηλότερες συχνότητες), και είναι δυνατόν να τοποθετηθούν ακόμη και από την κάτω πλευρά της πλακέτας, έτσι ώστε να μην καταλαμβάνουν καθόλου χώρο στην πλευρά των εξαρτημάτων. Στο **Σχήμα 28** μπο-

ρούμε να δούμε ότι -σε σχέση με το προκύπτον εμβαδόν- ένας πυκνωτής SMD είναι σαφώς ανώτερος ενός 'συνηθισμένου' πυκνωτή απόζευξης.

- Χωρίζουμε τους μεγάλους πυκνωτές σε δύο μικρότερους. Τον πυκνωτή απόζευξης με την μεγαλύτερη χωρητικότητα μπορούμε με ασφάλεια να τον τοποθετήσουμε σε μεγαλύτερη απόσταση, δεδομένου ότι αυτός παρέχει προστασία σε χαμηλότερες συχνότητες.

Τον μικρότερο πυκνωτή (για παράδειγμα 10 έως 100 nF) τον τοποθετούμε κοντά στο εξάρτημα όπου οδεύει ο διάδρομος της γραμμής τροφοδοσίας.

Συμβουλές

Τελειώνοντας να αναφέρουμε μερικές ακόμη συμβουλές.

Δεν δίνουμε στις παρεμβολές την ευκαιρία να υπερπηδήσουν τα εξαρτήματα απόζευξης. Στο **Σχήμα 6** περιγράφεται αυτό που ακριβώς εννοούμε.

Στην περίπτωση που σχεδιάζουμε μία πλακέτα διπλής όψευς, συνηθίζεται να κρατάμε την μία πλευρά σαν επιφάνεια γης,

Με τον τρόπο αυτό η χρωσθέτηση γίνεται ευκολότερη, ενώ ταυτόχρονα παραμένουμε σωστοί από ηλεκτρική άποψη αφού η γη μετατρέπεται σε όσο το δυνατόν περισσότερο πραγματική γείωση (=αναφορά). Όταν χρησιμοποιούμε εξαρτήματα με ακροδέκτες, η κάθε σύνδεση του εξαρτήματος με την γη υλοποιείται αυτόματα.

Στην περίπτωση των εξαρτημάτων σε οσκευασία SMD χρειάζεται να συνδέσουμε την γη με την βοήθεια ενός μικρού πρόσθετου τμήματος (το οποίο συνδέει την επάνω πλευρά της πλακέτας με την κάτω). Η σύνδεση αυτή θα πρέπει να γίνει πλησιέστερα προς τον ακροδέκτη γης του εξαρτήματος SMD, διαφορετικά το μήκος της διαδρομής γης μπορεί να γίνει υπερβολικό!

(040318-1)

*** Σε κάποιο μελλοντικό άρθρο θα μελετήσουμε αναλυτικότερα την πράγματι δύσκολη έννοια της γης. Εκεί θα εξηγήσουμε επίσης και την αρχή των γειώσεων με χρήση 'σημείων αστέρος'.*

Προγράμματα σχεδίασης πλακετών:

www.ewbeurope.com/

www.circuitsonline.net/download/cat/4

www.mccad.com/

www.franklin-industries.com/Eagle/star-teagle.html

www.orcad.com/downloads/orcadlite10/default.asp

www.tech5.nl/products/eda/pcblayout

www.ibfriedrich.com/english/engl_vordownload.htm

www.vego.nl/14/midden.htm

<http://tinycad.sourceforge.net/>

www.baas.nl/