



Ανάπτυξη παντού. Ανάπτυξη για όλους.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ

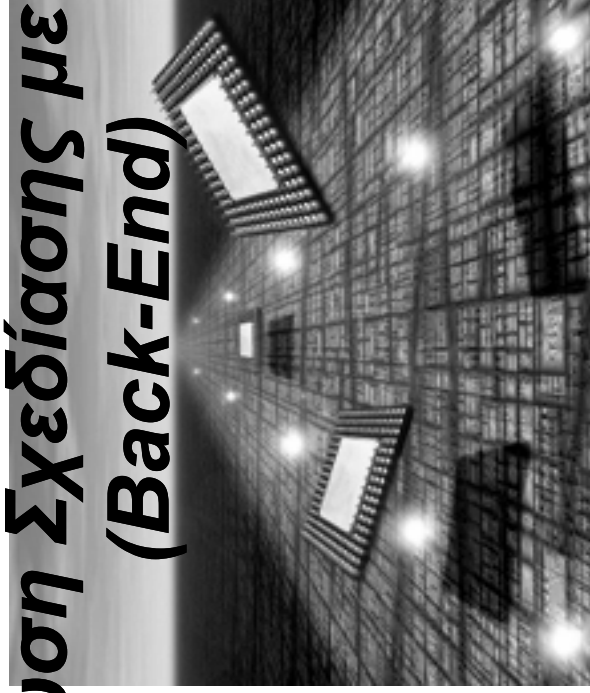


ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



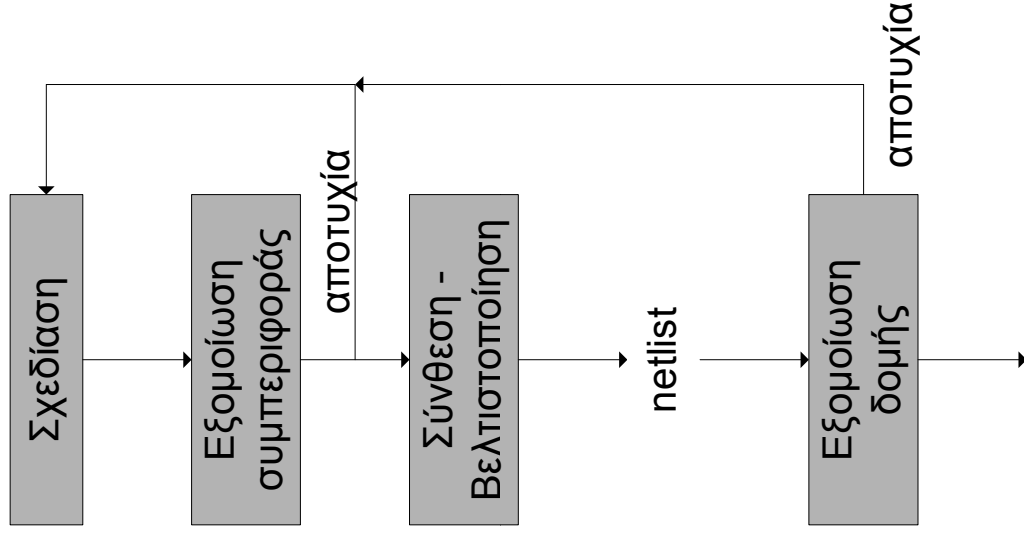
Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης

Ολοκλήρωση Σχεδίασης με *CAD-tools* (Back-End)



Χρ. Καβουσιανός

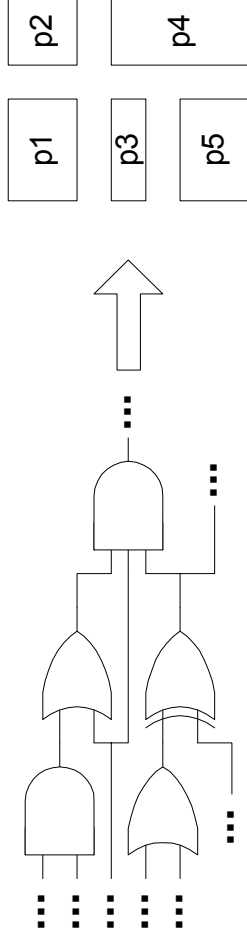
Front End



Front End:

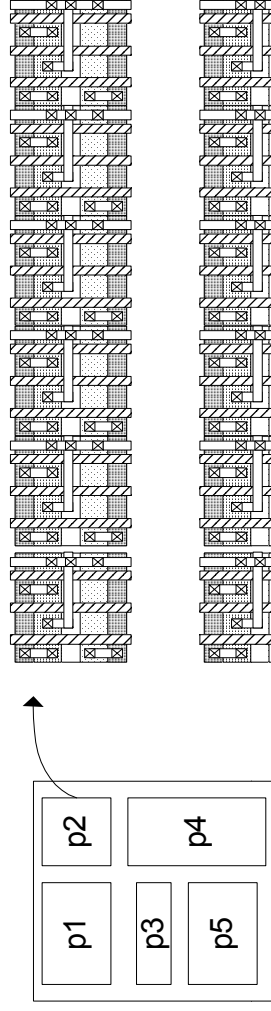
- Στόχος: η δημιουργία του netlist που υλοποιεί το κύκλωμα που επιθυμούμε.
- Το netlist είναι μία λίστα διασυνδεδεμένων λογικών κυττάρων.
- Οι διασυνδέσεις δεν είναι πραγματικές αλλά λογικές (περιγράφουν πως θα διασυνδεθούν τα κύτταρα).
- Η φυσική διασύνδεση τους ακολουθεί την τοποθέτηση τους στην επιφάνεια του ολοκληρωμένου.

Back End



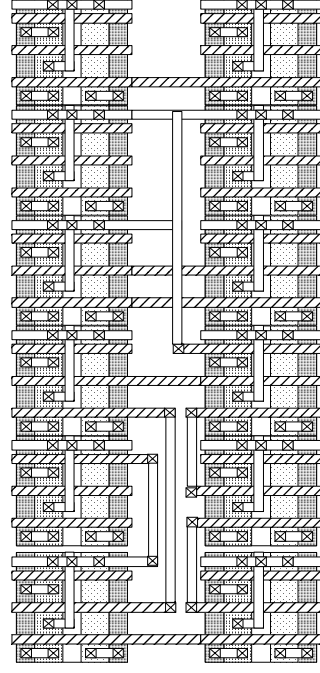
(1) netlist

(2) διαμέριση



(3) χωροθέτηση

(4) τοποθέτηση

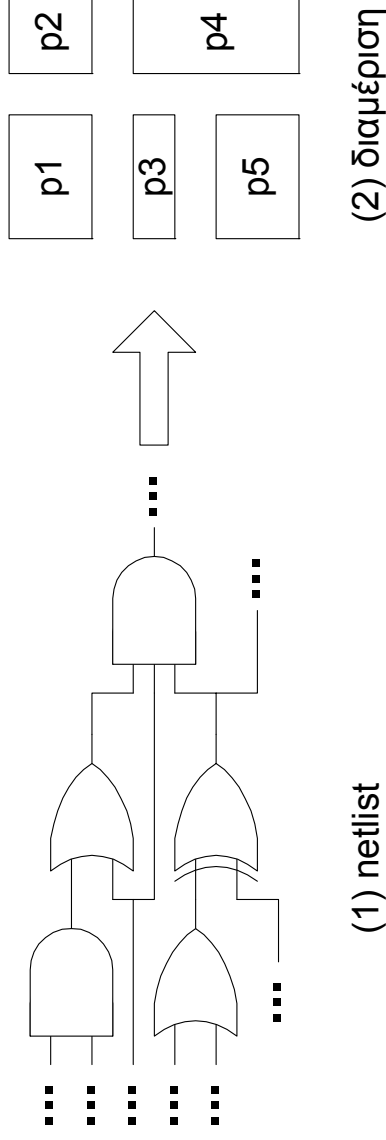


(5) Διασύνδεση

Back End

Διαμέριση του δικτύου (system partitioning):

- Διαιρούμε την σχεδίαση σε μικρότερα τμήματα (ομάδες διαμέρισης).
- Απλοποιούμε ένα πρόβλημα, διαιρώντας το σε υποπροβλήματα.
- Στόχος 1: ελαχιστοποίηση των διασυνδέσεων μεταξύ των ομάδων διαμέρισης.
- Στόχος 2: διατήρηση του μεγέθους κάθε ομάδας διαμέρισης κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο.



Back End

Χωροθέτηση (Floorplanning):

- Τοποθετούμε τις ομάδες διαμέρισης στον χώρο του ολοκληρωμένου.
- Τοποθέτηση ομάδων με πολλές διασυνδέσεις μεταξύ τους, σε κοντινά σημεία στο ολοκληρωμένο, για ελαχιστοποίηση μήκους διασυνδέσεων.

Τοποθέτηση (Placement):

- Καθορίζει την θέση των λογικών κυττάρων στον χώρο της διαμέρισης.
- Εξαρτάται από την αρχιτεκτονική: (α) Σε *gate arrays* και *standard cells* υπάρχουν οριζόντιες διατάξεις γραμμών, (β) Στα *FPGAs*, οι θέσεις είναι προκαθορισμένες.
- Στόχος: ελαχιστοποίηση διασυνδέσεων που θα γίνουν σε επόμενο στάδιο.

Back End

Διασύνδεση (Routing):

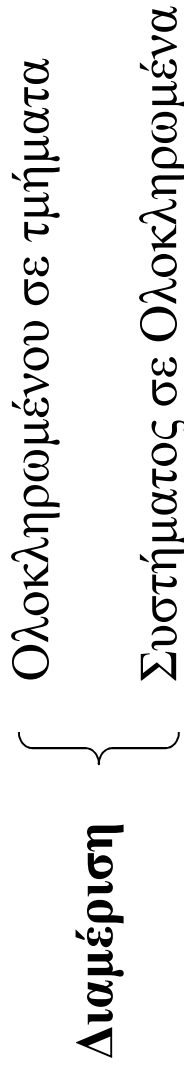
- Πραγματοποιούνται οι διασυνδέσεις ανάμεσα στα κύτταρα.
- Αρχικά αποφασίζεται από πού θα περάσουν οι διασυνδέσεις (global routing).
- Κατόπιν αποφασίζεται η ακριβής πορεία των διασυνδέσεων (local routing).
- Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της συνολικής επιφάνειας διασυνδέσεων και του μήκους της κάθε διασύνδεσης.

Αυτοματοποίηση από
εργαλεία σχεδίασης

Προβλήματα NP-
complete

Χρήση ευριστικών
αλγορίθμων

Τεχνικές Διαμέρισης

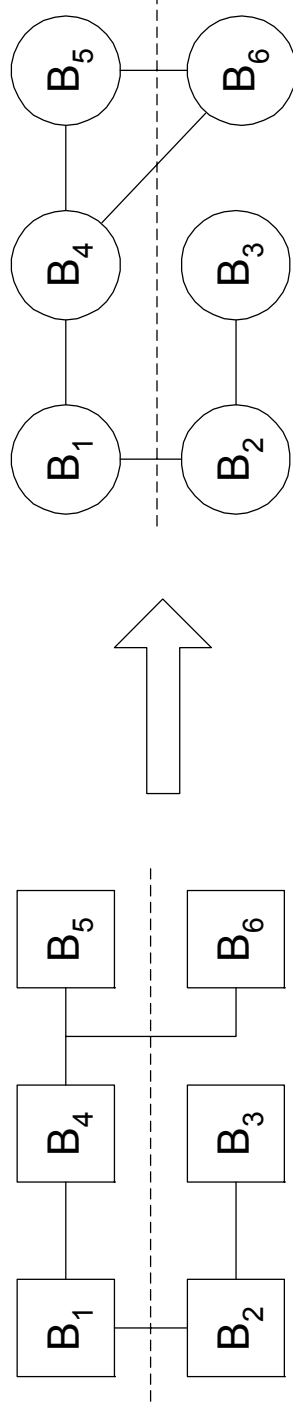


Στόχοι:

- Το κάθε τμήμα ή ολοκληρωμένο δεν πρέπει να ξεπερνάει κάποιο μέγιστο μέγεθος.
- Ο αριθμός των τμημάτων ή ολοκληρωμένων πρέπει να είναι μικρότερος από ένα προκαθορισμένο όριο.
- Ο αριθμός των διασυνδέσεων για κάθε τμήμα ή ολοκληρωμένο πρέπει να είναι μικρότερος από κάποιο προκαθορισμένο όριο.
- Ο συνολικός αριθμός διασυνδέσεων ανάμεσα σε όλα τα τμήματα ή ολοκληρωμένα πρέπει να είναι μικρότερος από ένα προκαθορισμένο όριο

Τεχνικές Διαμέρισης

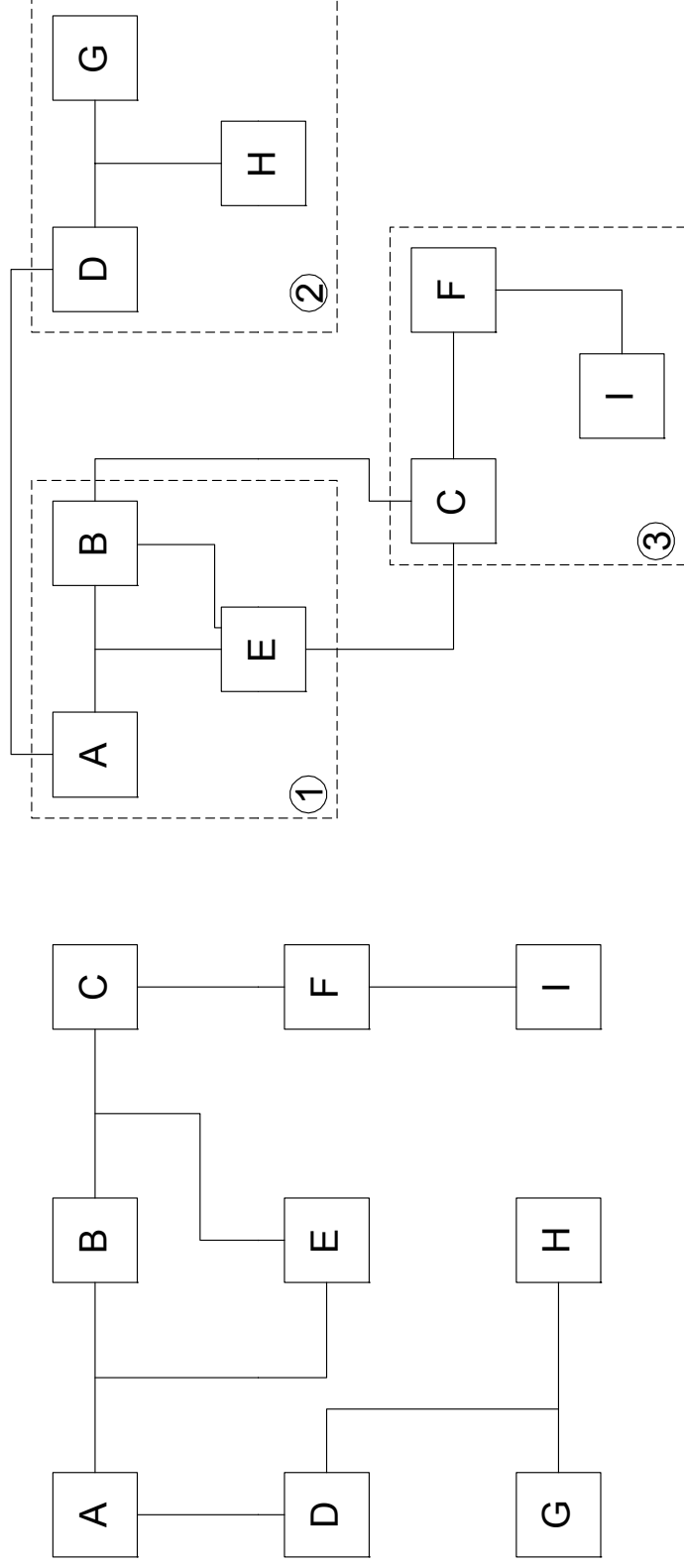
Τέτοια προβλήματα αντιμετωπίζονται με την θεωρία γράφων



- Οι κορυφές του γράφου αντιστοιχίζονται στα τμήματα.
- Οι ακμές που διασυνδέουν δύο κορυφές αντιστοιχούν σε διασυνδέσεις των αντίστοιχων τμημάτων.
- Η διαμέριση του αρχικού δικτύου τμημάτων, ισοδυναμεί με την διαμέριση του αντίστοιχου γράφου.

Τεχνικές Διαμέρισης

Παράδειγμα: διαμέριση σε τρεις ομάδες για ελαχιστοποίηση εξωτερικών διασυνδέσεων κάθε ομάδας διαμέρισης, και συνολικού αριθμού διασυνδέσεων ανάμεσα σε όλες τις ομάδες.



Οι περιορισμοί ικανοποιούνται.

Αλγόριθμοι Διαμέρισης

Constructive Partitioning

Οι αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας επιλέγουν ένα προς ένα τα τμήματα και τα προσθέτουν στις ομάδες διαμέρισης

1. Επιλέγεται κάποιο τμήμα και ξεκινάει μία νέα ομάδα.
2. Από τα τμήματα που δεν έχουν ακόμη προστεθεί σε κάποια ομάδα επιλέγεται εκείνο που μεγιστοποιεί μία συνάρτηση κέρδους.
3. Επαναλαμβάνουμε το βήμα 2, έως ότου η ομάδα δεν μπορεί να δεχθεί άλλα τμήματα (παραβίαση περιορισμών).
4. Μεταφορά στο βήμα 1, εάν υπάρχουν τμήματα που δεν έχουν ανατεθεί.

Κρίσιμα σημεία

1. Η επιλογή της συνάρτησης κέρδους (πχ. αριθμός συνδέσεων υποψήφιου τμήματος και ομάδας που θα το δεχτεί)
 2. Η επιλογή του πρώτου τμήματος που τοποθετείται στην κάθε ομάδα (πχ. τμήμα με τις περισσότερες διασυνδέσεις)
-

Αλγόριθμοι Διαμέρισης

Iterative Improvement

Οι αλγόριθμοι αυτοί ξεκινούν έχοντας δεδομένη μία καλή αρχική διαμέριση σε ομάδες, την οποία προσπαθούν σταδιακά να βελτιώσουν.

- Η βελτίωση επιτυγχάνεται με εναλλαγή τμημάτων ανάμεσα στις υπάρχουσες ομάδες, ζευγαριών, ή ομάδων (group migration).
- Μία εναλλαγή που βελτιώνει την υπάρχουσα διαμέριση γίνεται αποδεκτή, αλλιώς απορρίπτεται.
- Η εναλλαγή ενός μόνο ζεύγους κάθε φορά εγκλωβίζει την αναζήτηση διαμέρισης σε κάποια τοπικά βέλτιστη λύση (greedy) καθώς αναζητείται το καλύτερο ζεύγος κάθε φορά χωρίς εκτίμηση του μέλλοντος.
- Κάποια εναλλαγή ζεύγους, όχι τόσο καλή για εκείνη την χρονική στιγμή, μπορεί παρακάτω να δώσει καλύτερα αποτελέσματα.

Iterative Improvement

Το πρόβλημα απληστίας προσπαθεί να λύσει η εναλλαγή ολόκληρων ομάδων.

Αλγόριθμος Kernighan-Lin:

- Υπολογίζει το κέρδος από την εναλλαγή δύο τμημάτων ανάμεσα σε δύο ομάδες διαμέρισης $\Delta 1$, $\Delta 2$.
- Δεν σταματά όταν μία εναλλαγή έχει αρνητικό κόστος. Αντίθετα προχωράει κάνοντας επιπλέον εναλλαγές.
- Στόχος είναι το τελικό σχήμα να έχει μέγιστο κέρδος.

Iterative Improvement

Βήματα Kernighan-Lin :

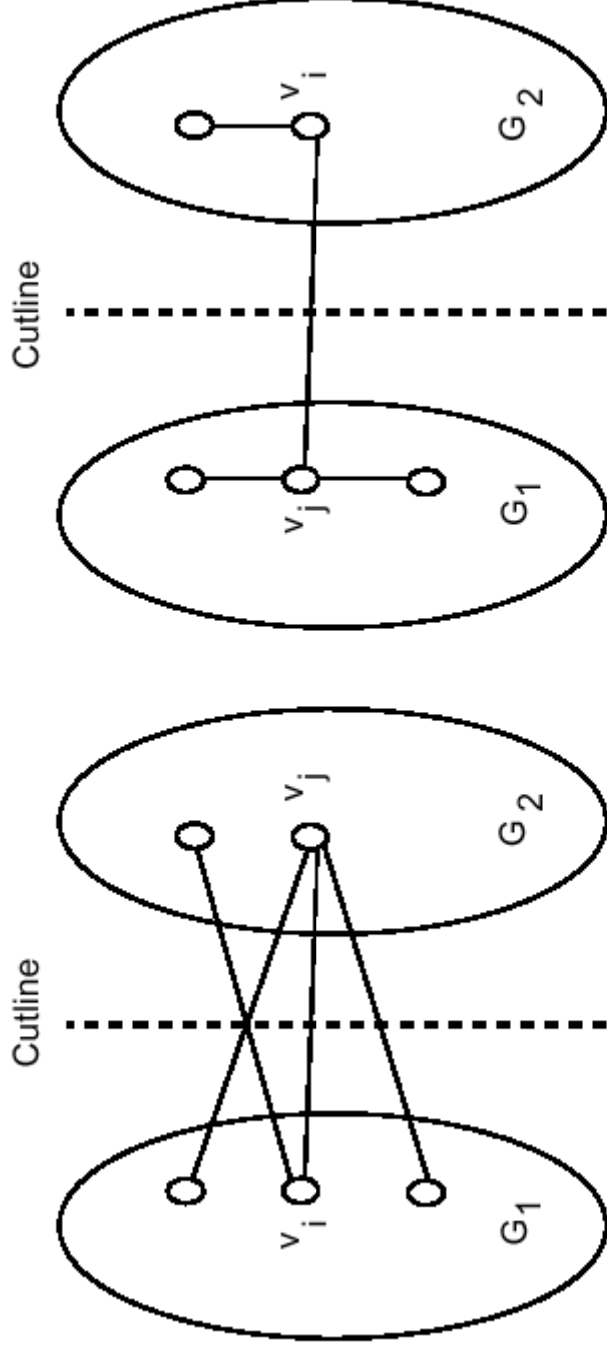
1. Επιλέγει τα δύο τμήματα $\alpha \in \Delta 1$ και $\beta \in \Delta 2$, με μέγιστο κέρδος εναλλαγής (ακόμη και αν είναι αρνητικό) .
2. Εκτελείται προσωρινά η εναλλαγή $\alpha \rightarrow \Delta 2$ και $\beta \rightarrow \Delta 1$ και τα α, β μαρκάρονται έτσι ώστε να μην εναλλαχθούν ξανά.
3. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 1, 2 έως ότου έχουν εναλλαχθεί όλα τα τμήματα του $\Delta 1$ με αυτά του $\Delta 2$. Τότε έχουμε ταξινομημένα ζεύγη εναλλαγών με βάση το κέρδος τους (όπως επιλέχθηκαν παραπάνω).
4. Επιλέγουμε τις n πρώτες εναλλαγές που μεγιστοποιούν αθροιστικά το συνολικό κέρδος.

Μειονέκτημα: ανάμεσα σε δύο διαφορετικές εναλλαγές που έχουν το ίδιο κέρδος δεν μπορεί να αποφασίσει ποια από τις δύο να επιλέξει

Αλγόριθμος look-ahead: εκτιμάει μακροπρόθεσμα την καλύτερη επιλογή

Iterative Improvement

Ελαχιστοποίηση Διασυνδέσεων

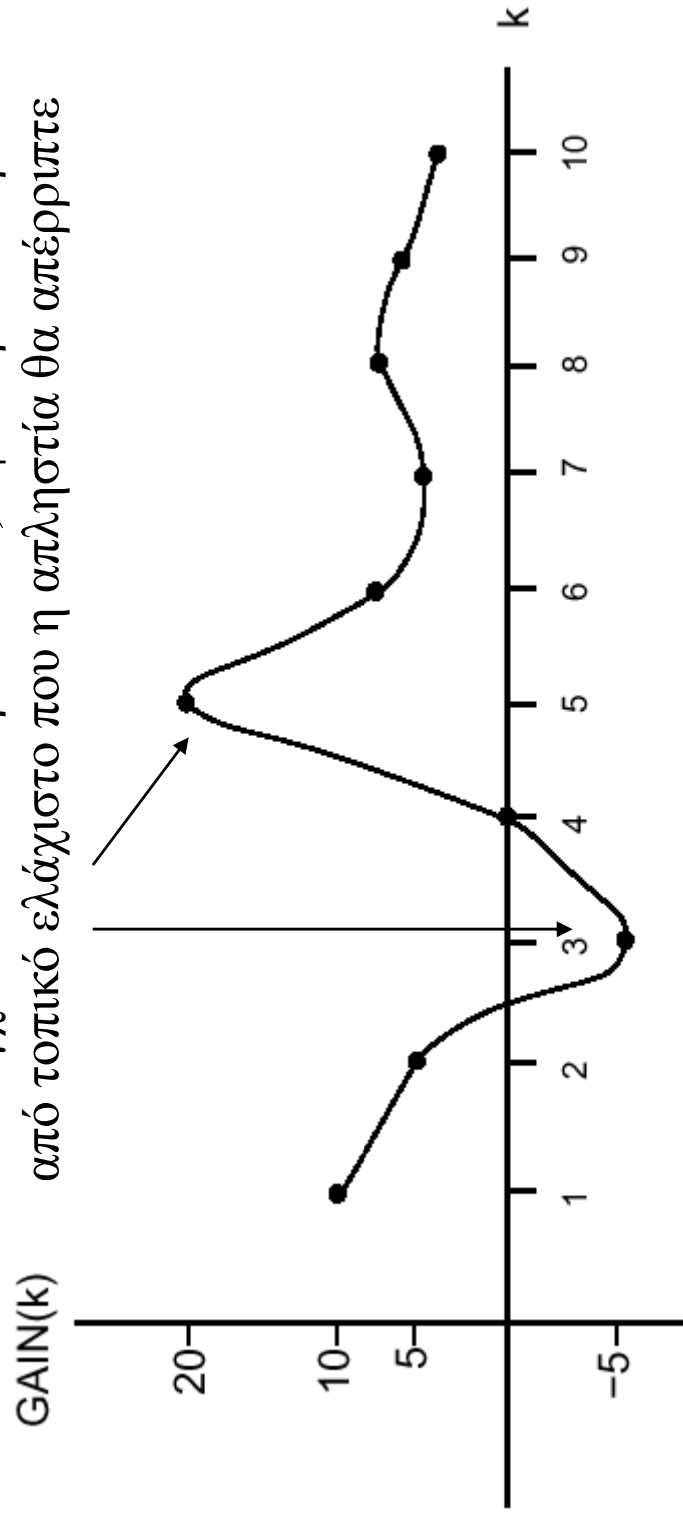


**Before interchange
of V_i and V_j**

**After interchange
of V_i and V_j**

Iterative Improvement

Επιτυγχάνει το ολικό βέλτιστο, αφού πρώτα περάσει από τοπικό ελάχιστο που η απληστία θα απέρριπτε



Χωροθέτηση

Στόχοι:

- Τοποθέτηση των ομάδων διαμέρισης στην επιφάνεια του ολοκληρωμένου.
- Τοποθέτηση των Pads εισόδου/εξόδου καθώς και τροφοδοσίας / γείωσης.
- Διαμοίραση σήματος ρολογιού.

Η καθυστέρηση των διασυνδέσεων που θα προκύψουν επηρεάζει την χωροθέτηση.

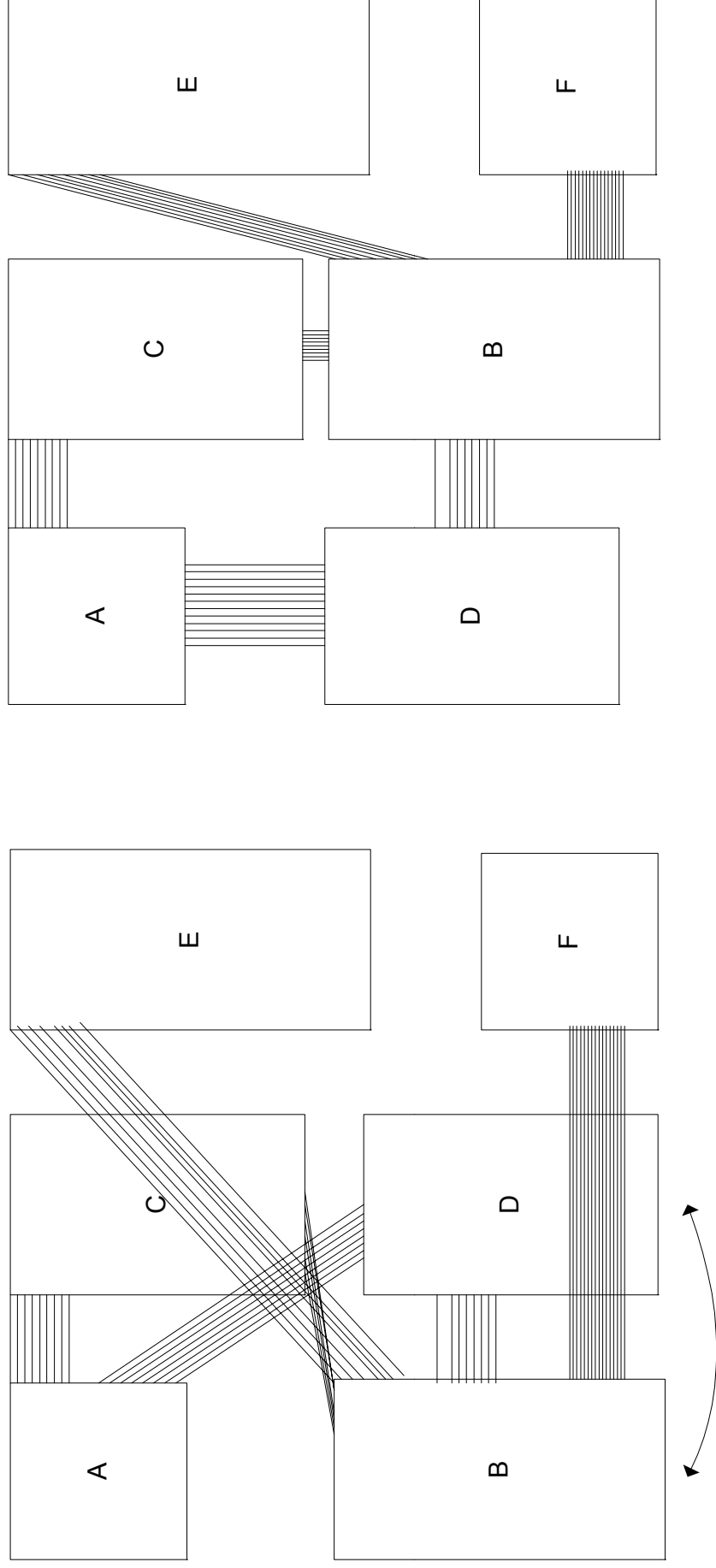


Εκτιμούμε μήκος και χωρητικότητα διασυνδέσεων με στατιστικές μεθόδους .



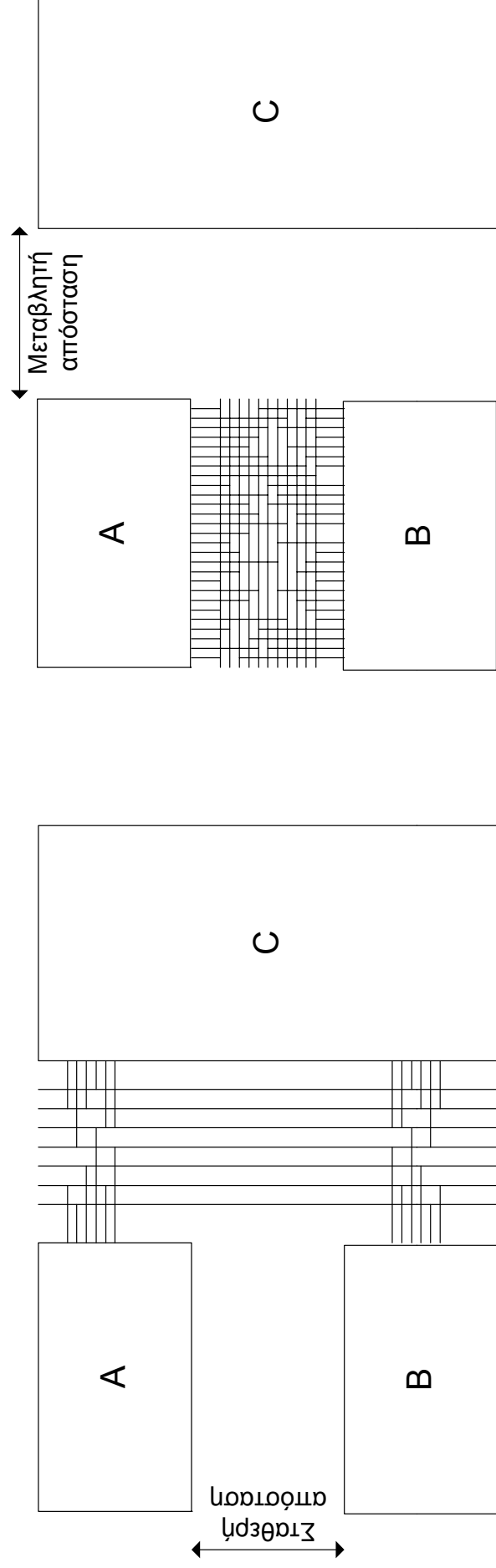
Γίνεται βελτιστοποίηση του κυκλώματος μεταβάλλοντας την χωροθέτηση του.

Χωροθέτηση



Με την εναλλαγή των τμημάτων B, D το κύκλωμα βελτιστοποιείται.

Χωροθέτηση τύπου T

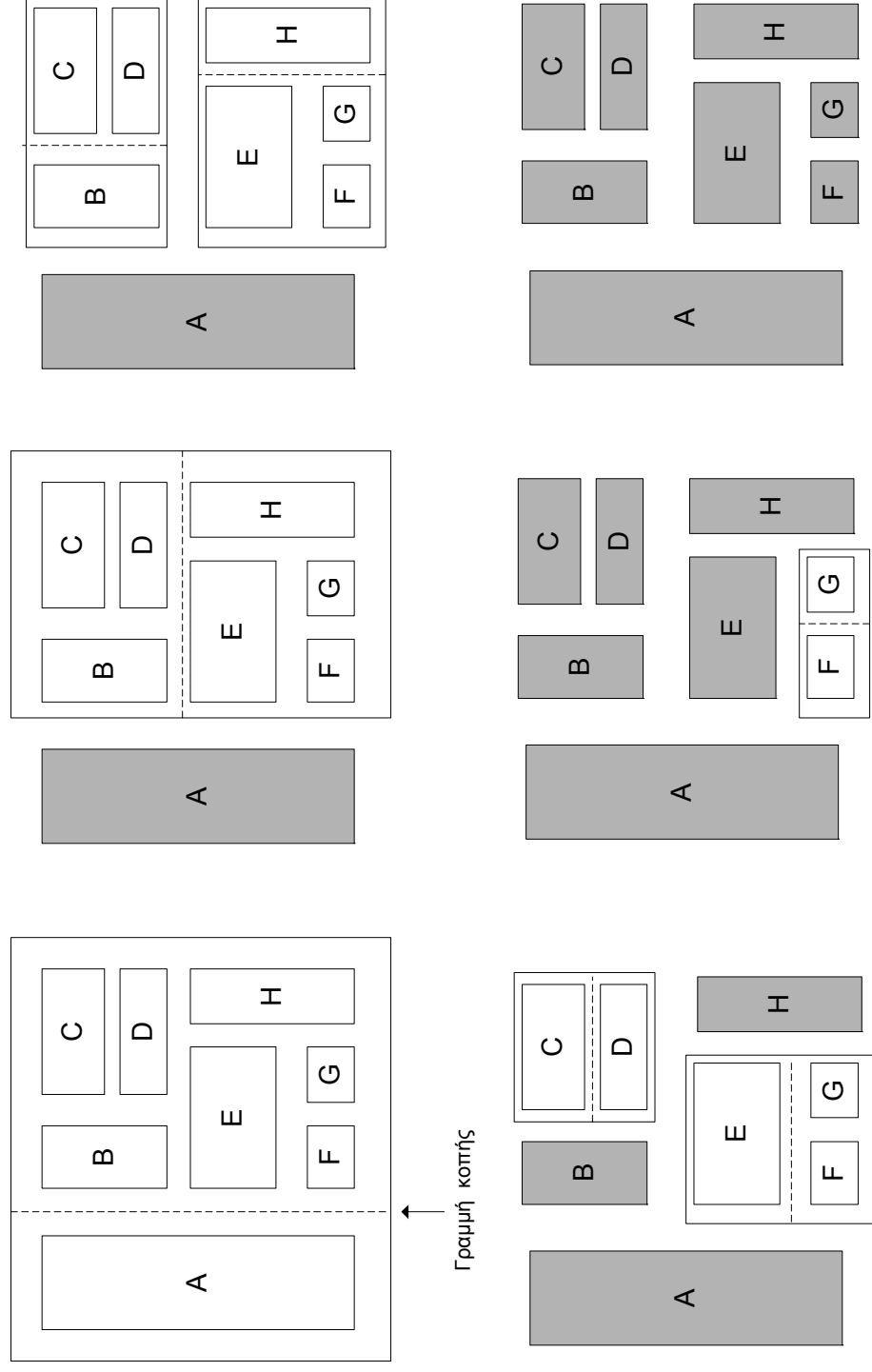


(α)
Οι διασυνδέσεις πρέπει να γίνονται με ορισμένη σειρά, έτσι ώστε να
(β)
διευκολύνουν την διασύνδεση των τμημάτων.

Στις διασυνδέσεις τύπου T η σειρά είναι η (β) και μας διευκολύνει.

Ποια πρέπει να είναι η δομή ενός κυκλώματος ώστε οι διασυνδέσεις να είναι
τύπου T?

Δομή Slicing

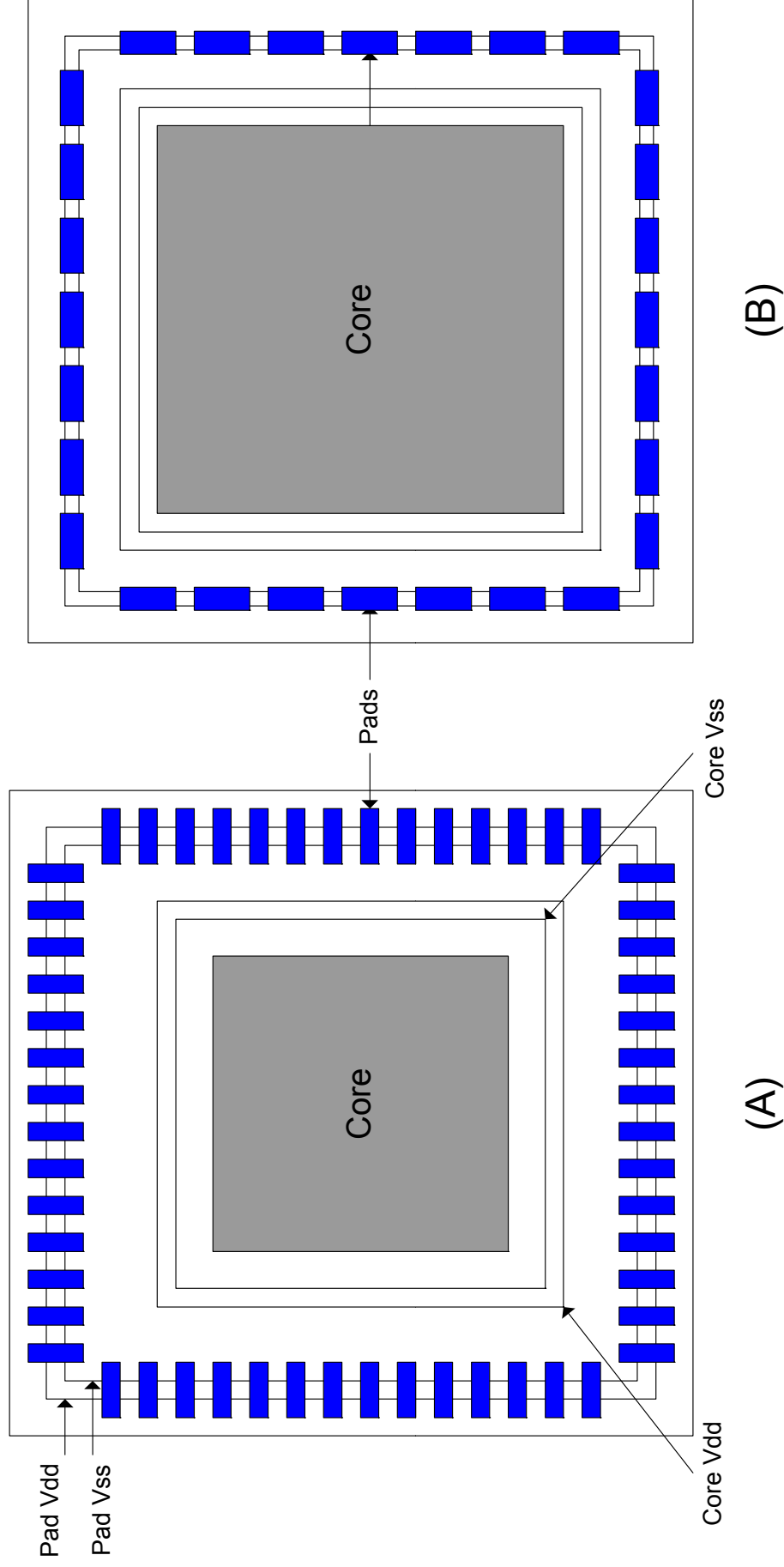


Η δομή slicing εγγυάται διασυνδέσεις τύπου T. Οι διασυνδέσεις γίνονται με αντίστροφη σειρά από την σειρά κοπής.

Pads

- Τα pads διασυνδέουν το die με τα pins του ολοκληρωμένου, μετά την τοποθέτηση του στο περίβλημα .
- Η αύξηση του αριθμού pins-pads ανά ολοκληρωμένο δεν ακολούθησε την αύξηση του αριθμού transistor ανά ολοκληρωμένο.
- Ο περιορισμένος αριθμός pins-pads θέτει περιορισμό στην διασύνδεση ολοκληρωμένων.
- Τα pads τοποθετούνται γύρω από τον πυρήνα του ολοκληρωμένου, με δύο κατευθύνσεις: (α) κάθετα στην ακμή του και β) παράλληλα στην ακμή του.
- Κάθετα: θεωρούμε ότι ο πυρήνας είναι μικρός, οπότε μπορούν να χωρέσουν σε αυτήν την κατεύθυνση πολλά pads.
- Παράλληλα: ο πυρήνας είναι μεγάλος οπότε πρέπει να τοποθετηθούν τα pads οριζόντια, άρα χωράνε λίγα pads.

Pads



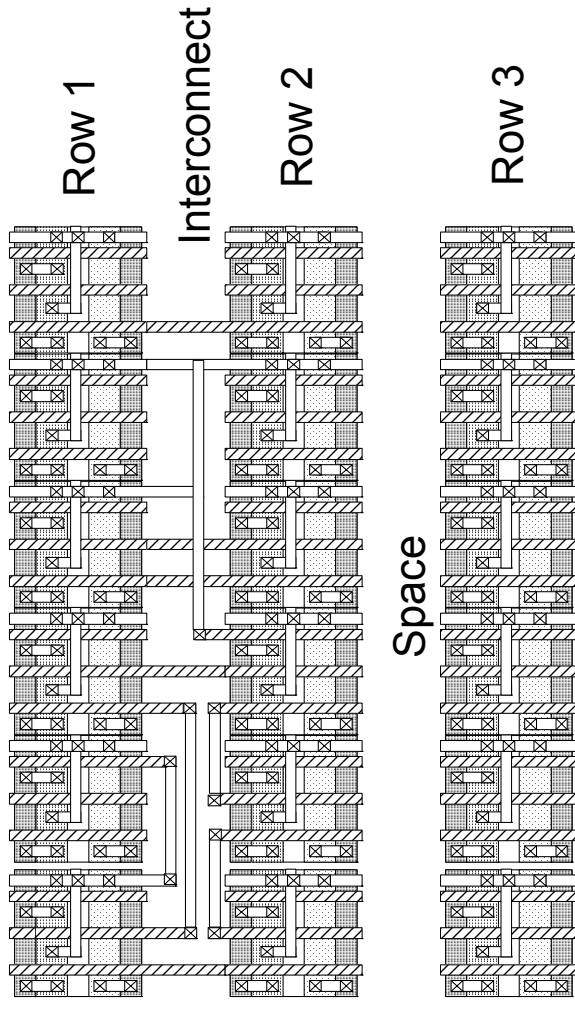
Υπάρχουν ειδικές γραμμές για την τροφοδοσία και την γείωση οι οποίες σχηματίζουν δύο δακτυλίδια, ένα για διανομή τους στα pads, και ένα για διανομή τους στο core.

Τοποθέτηση

Στόχοι:

- Να χωρέσουν τα κύτταρα στον δεδομένο χώρο του τμήματος.
- Να διευκολύνουν το επόμενο βήμα που είναι η διασύνδεση τους.

Στις περισσότερες αρχιτεκτονικές, τα κύτταρα τοποθετούνται σε γραμμές το ένα δίπλα στο άλλο, με κανάλια διασύνδεσης.



Τοποθέτηση

Οι διασυνδέσεις που θα γίνουν μελλοντικά επηρεάζουν αυτό το βήμα, και τις μελετάμε από τώρα:

- Οι διασυνδέσεις μπορούν να είναι οριζόντιες και κάθετες σε πολλαπλά διαφορετικά επίπεδα μετάλλου.
- Όσο περισσότερα επίπεδα μετάλλου υπάρχουν, τόσο ευκολότερα θα γίνουν οι διασυνδέσεις.
- Οι διασυνδέσεις σε κάθε επίπεδο ακολουθούν οριζόντια ή κάθετη φορά, εναλλακτικά από επίπεδο σε επίπεδο.
- Εάν ένα επίπεδο μετάλλου δεν χρησιμοποιείται από τα κύτταρα, τότε οι διασυνδέσεις σε αυτό το επίπεδο μπορούν να περάσουν και πάνω από τα κύτταρα χωρίς να συναντήσουν εμπόδια.
- Ο αριθμός των οριζόντιων διασυνδέσεων που μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα κανάλι διασυνδέσεων αποτελεί την χωρητικότητα του

Τοποθέτηση

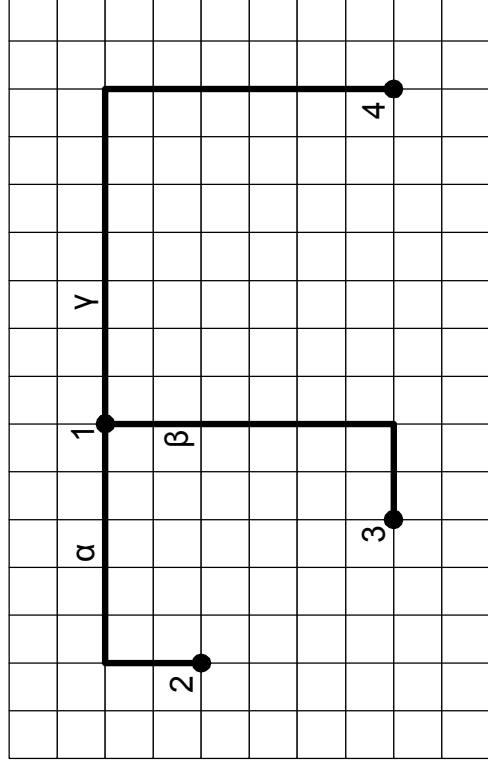
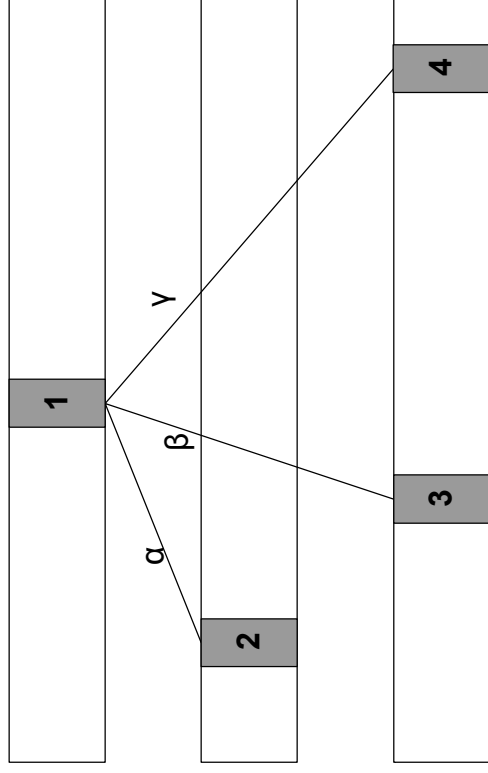
Αναλυτικοί στόχοι τοποθέτησης:

- Να εξασφαλίσει την δυνατότητα διασύνδεσης των λογικών κυττάρων.
- Να εξασφαλίσει την ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων των κρίσιμων σημάτων.
- Να μεγιστοποιήσει την πυκνότητα τοποθέτησης του ολοκληρωμένου.
- Να ελαχιστοποιήσει την κατανάλωση και το cross-talk ανάμεσα σε σήματα.
- Ελαχιστοποίηση των εκτιμώμενων διασυνδέσεων σε μήκος, ειδικά όσο αφορά τα κρίσιμα μονοπάτια.
- Ελαχιστοποίηση της συμφόρησης των διασυνδέσεων.

Οι διασυνδέσεις δεν έχουν καθοριστεί σε αυτό το στάδιο, οπότε γίνεται εκτίμηση τους.

Δέντρα Steiner

Για την εκτίμηση των διασυνδέσεων χρησιμοποιούνται τα δέντρα Steiner.



Διασύνδεση γραμμών

Δέντρο Steiner

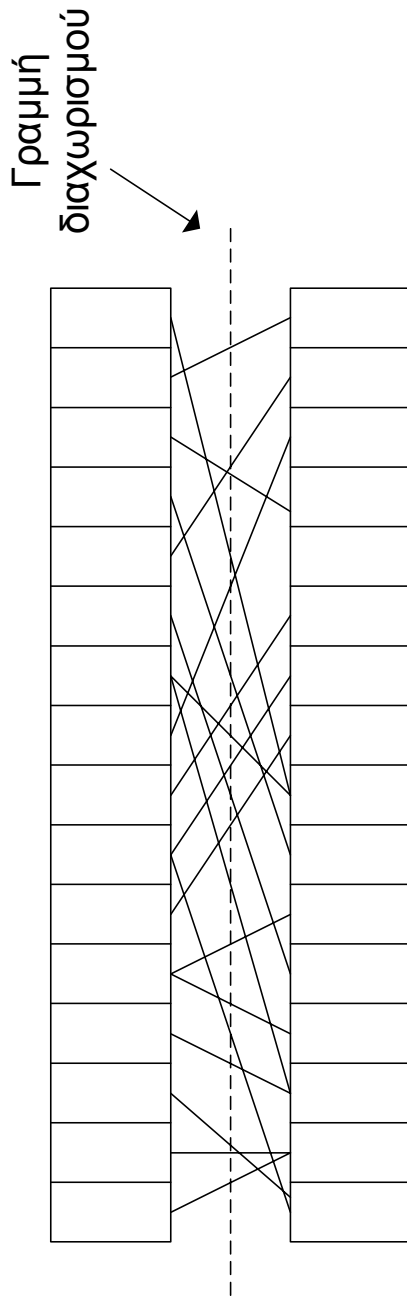
- Ξεκινάμε από κάποιο σημείο βρίσκουμε μία διαδρομή για να καταλήξουμε σε κάποιο άλλο σημείο.
- Για περισσότερα από δύο σημεία επιλέγουμε την διαδρομή με την ελάχιστη απόσταση ανάμεσα σε δύο από αυτά, ή την διαδρομή με την ελάχιστη συνολική διανυόμενη απόσταση

Δέντρα Steiner

Με τα δέντρα Steiner μπορούμε να πάρουμε αποφάσεις χρησιμοποιώντας μετρικές προσέγγισης απόστασης, με σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα:

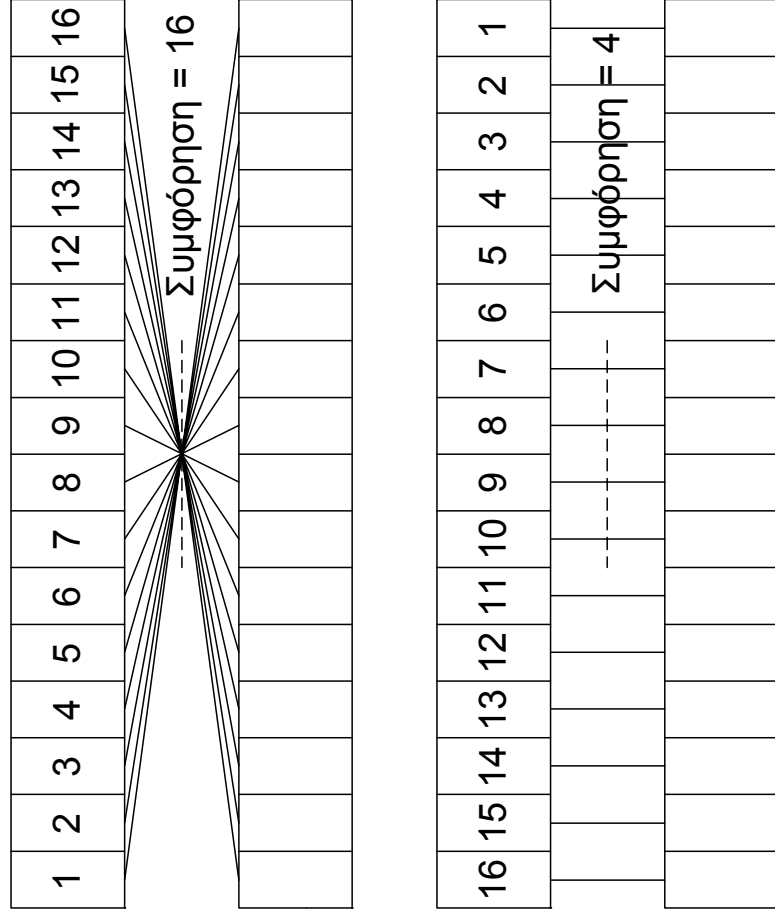
- **Μετρική πλήρους γράφου:** αθροίζουμε τις αποστάσεις όλων των σημείων μεταξύ τους και διαιρούμε με το ήμισυ του αριθμού των σημείων.
- **Μετρική ημιπεριμέτρου:** βρίσκουμε το μικρότερο παραλληλόγραμμο που περικλείει όλα τα σημεία, και υπολογίζουμε την ημιπερίμετρο του.

Βασικός στόχος της τοποθέτησης είναι να μειώσει την συμφόρηση των διασυνδέσεων σε όλα τα σημεία του ολοκληρωμένου.



Δέντρα Steiner

Παράδειγμα μείωσης συμφόρησης με επανατοποθέτηση:



Αλγόριθμοι Τοποθέτησης

Είδη Αλγορίθμων:

Κατασκευαστικοί

Χρησιμοποιείται ένα
σύνολο κανόνων για να
τοποθετηθούν τα κύτταρα.
(MinCut)

Σταδιακής
Βελτίωσης

Ξεκινάνε με μία αρχική καλή
τοποθέτηση την οποία
βελτιώνουν χρησιμοποιώντας
κάποια επαναληπτική
διαδικασία

Αλγόριθμος MinCut

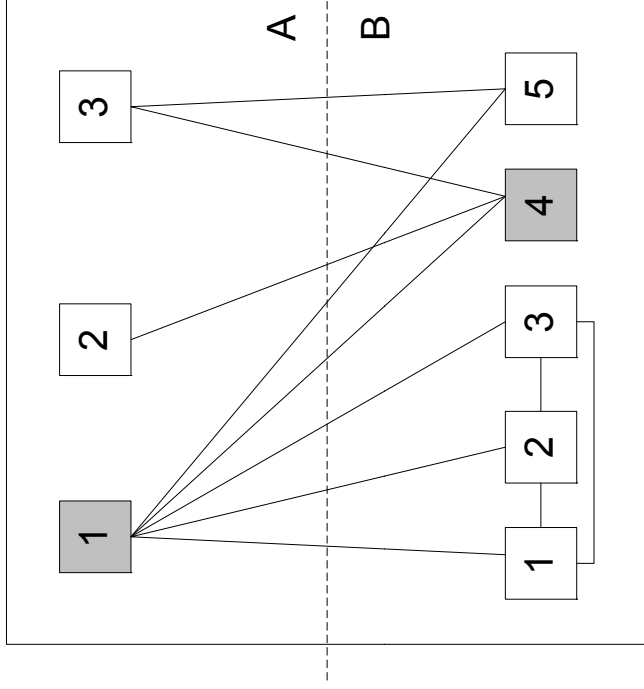
Θεωρεί μια περιοχή με λογικά κύτταρα τα οποία πρέπει να τοποθετηθούν έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος των διασυνδέσεων τους.

Βήματα:

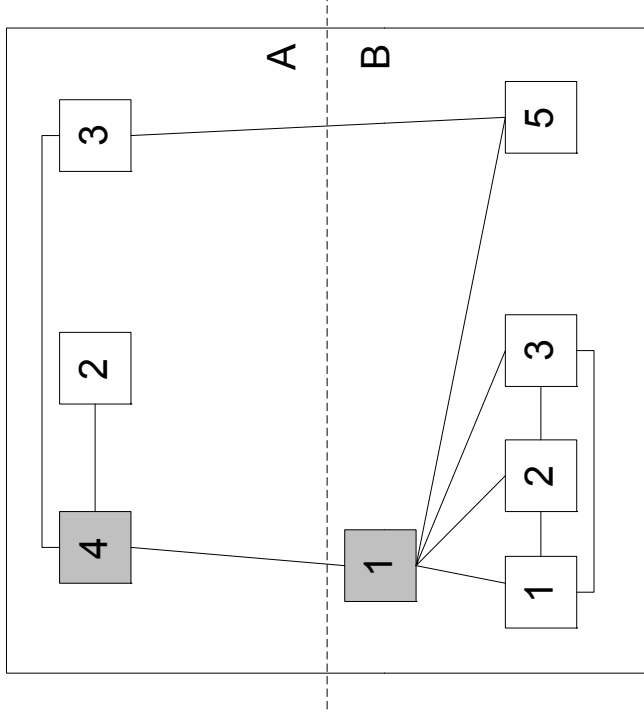
1. Διαιρούμε την περιοχή σε δύο τμήματα.
2. Εναλλάσσουμε λογικά κύτταρα ανάμεσα στα δύο τμήματα, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος των διασυνδέσεων μεταξύ των δύο περιοχών.
3. Για κάθε υποπεριοχή που προκύπτει επαναλαμβάνουμε τα βήματα 1, 2 έως ότου κάθε περιοχή είναι ουσιαστικά ένα λογικό κύτταρο.

Αλγόριθμος MinCut

Παράδειγμα



Αριθμός
Διασυνδέσεων=8



Αριθμός
Διασυνδέσεων=2

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε υποπεριοχή ξεχωριστά.

Διασύνδεση

Η διασύνδεση γίνεται σε δύο φάσεις, την **γενική** και **ειδική** διασύνδεση:

1. Η **γενική διασύνδεση** αποφασίζει από πού θα περάσει μία διασύνδεση (κανάλια), χωρίς να αποσαφηνίζει ποια θα είναι ακριβώς.
2. Η **ειδική διασύνδεση** αποφασίζει πως θα φτιάξει ακριβώς τις διασυνδέσεις, λαμβάνοντας υπόψη και τις υπόλοιπες διασυνδέσεις που περνούν από τα κανάλια αυτά.

Ο γενικός διασυνδετής, δέχεται το χωροθετημένο σχεδιασμό και δίνει οδηγίες στον ειδικό διασυνδετή για να διεκπεραιώσει τις διασυνδέσεις.

Στόχοι γενικής διασύνδεσης:

- Μείωση συνολικού μήκους διασυνδέσεων.
- Εγγύηση ότι ο ειδικός διασυνδετής θα ολοκληρώσει τις διασυνδέσεις.
- Ελαχιστοποίηση καθυστέρησης κρίσιμου μονοπατιού.

Μέθοδοι Γενικής Διασύνδεσης

Μέθοδοι γενικής διασύνδεσης: { Ακολουθιακή διασύνδεση
Ιεραρχική διασύνδεση

Ακολουθιακή διασύνδεση:

- Εξετάζει μία γραμμή κάθε φορά και υπολογίζει το μικρότερο μονοπάτι με αλγόριθμους δέντρων και γράφων.
- Υπάρχουν περιορισμοί χρήσης διαθέσιμων μονοπατιών .
- Όσο εξελίσσεται η εκτέλεση του αλγορίθμου, σε κάποια κανάλια δημιουργείται μεγαλύτερη συμφόρηση από άλλα.
- Ο αλγόριθμος εξισορροπεί διαφορες απαιτήσεις διασυνδέσεων και περιορισμούς συμφόρησης καναλιών.

Μέθοδοι Γενικής Διασύνδεσης

Μέθοδος ακολουθιακής διασύνδεσης Α΄:

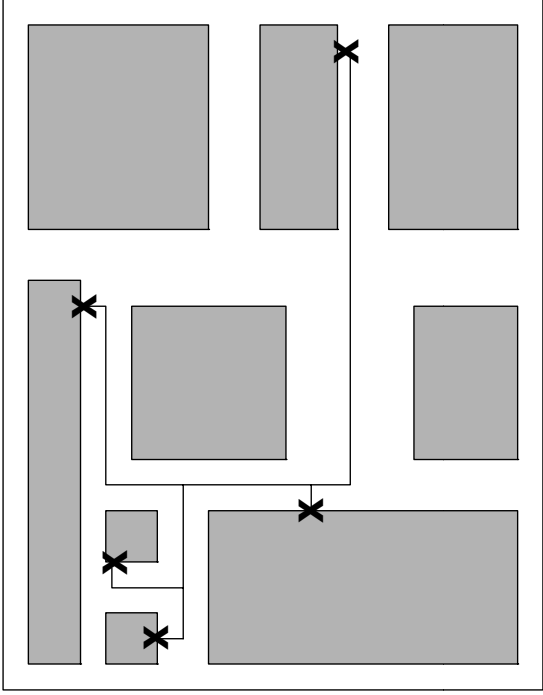
- Ανάθεση διασυνδέσεων σε κανάλια ανεξαρτήτως συμφόρησης τους.
- Μετά την ανάθεση των διασυνδέσεων, εξετάζεται η συμφόρηση των καναλιών.
- Απομακρύνονται συνδέσεις από κανάλια με μεγάλη συμφόρηση και μεταφέρονται σε κανάλια με μικρότερη συμφόρηση.

Μέθοδος ακολουθιακής διασύνδεσης Β΄:

- Ανάθεση διασυνδέσεων με βάση την συμφόρηση των καναλιών.
- Σε αυτή την περίπτωση η σειρά με την οποία γίνεται η ανάθεση των διασυνδέσεων επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα .

Ιεραρχική διασύνδεση ➡ Το ολοκληρωμένο διαιρείται σε επίπεδα ιεραρχίας και το πρόβλημα επιλύεται σταδιακά σε κάθε επίπεδο ξεχωριστά.

Μέθοδοι Γενικής Διασύνδεσης



Παράδειγμα Γενικής Διασύνδεσης

Η αρχιτεκτονική του ολοκληρωμένου καθορίζει την λειτουργία του διασυνδετή

Standard Cells: τα κανάλια μπορούν να αυξομειωθούν εάν είναι απαραίτητο για να ολοκληρωθούν οι διασυνδέσεις

channeled gate arrays: τα κανάλια είναι σταθερά. Είμαστε υποχρεωμένοι να κάνουμε τις διασυνδέσεις σε αυτά.

Ειδική Διασύνδεση

Η ειδική διασύνδεση ολοκληρώνει η διασύνδεση των κυττάρων με στόχους:

- Ελαχιστοποίηση συνολικού μήκους διασυνδέσεων.
- Ελαχιστοποίηση συνολικής επιφάνειας διασυνδέσεων.
- Ελαχιστοποίηση αριθμού επιπέδων από τα οποία περνάει η κάθε διασύνδεση.
- Ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης των κρίσιμων μονοπατιών.

Υπάρχει πιθανότητα να αποτύχει η ειδική διασύνδεση οπότε πρέπει να επαναληφθεί όλη η διαδικασία back-end με αυστηρότερους περιορισμούς.

Ειδική Διασύνδεση

Τοπική Πυκνότητα: ο αριθμός των οριζόντιων διασυνδέσεων που τέμνουν μία νοητή κάθετη γραμμή σε κάποιο σημείο.

Πυκνότητα Καναλιού: ορίζουμε την μέγιστη τοπική πυκνότητα σε κάποιο σημείο ενός καναλιού.

Χωρητικότητα Καναλιού: μέγιστο αριθμό διασυνδέσεων που μπορεί να έχει ένα κανάλι.

- Υπόθεση: οι διασυνδέσεις γίνονται μόνο σε δύο επίπεδα, με διαφορετική κατεύθυνση σε κάθε επίπεδο (οριζόντια/κάθετη).
- Η διασύνδεση δύο επιπέδων γίνεται με χρήση νίας.
- Αν η πυκνότητα ενός καναλιού είναι μεγαλύτερη από την χωρητικότητα του, τότε το κανάλι δεν μπορεί να χωρέσει όλες τις διασυνδέσεις.

Διασύνδεση 2 επιπέδων

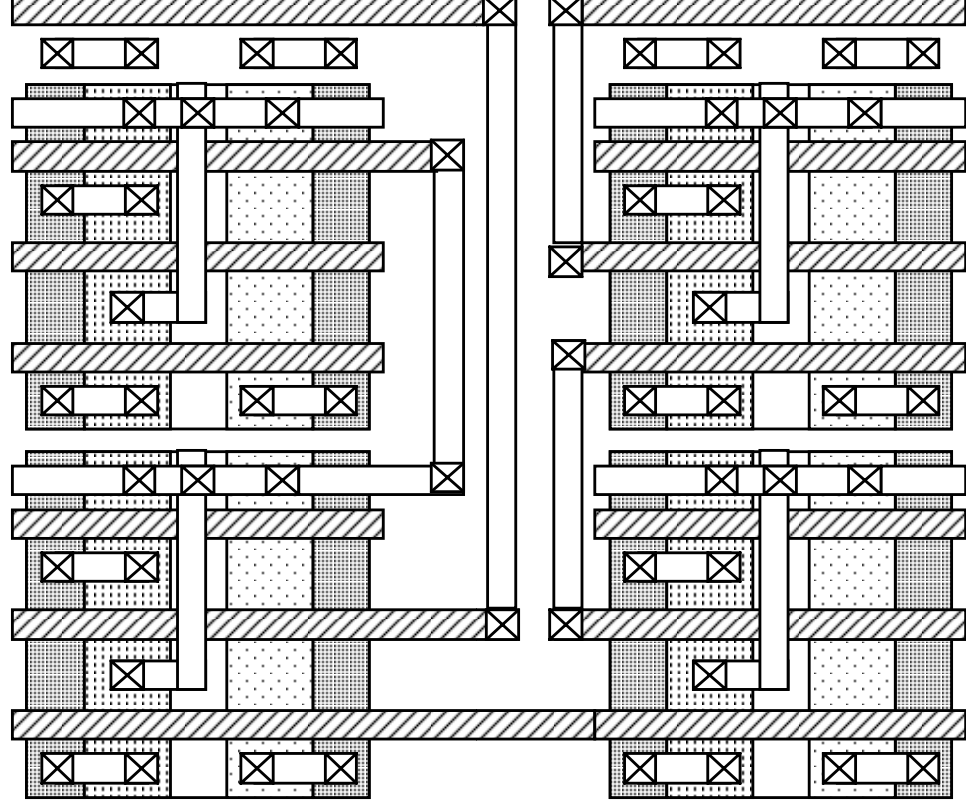
Θεωρήσεις:

- Κάθε γραμμή πρέπει να έχει μόνο ένα οριζόντιο τμήμα για την διασύνδεση της (το επίπεδο οριζόντιων διασυνδέσεων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μία φορά από κάθε γραμμή).
- θεωρούμε ότι οι κάθετες γραμμές διασύνδεσης βρίσκονται στο πρώτο επίπεδο μετάλλου, και οι οριζόντιες στο δεύτερο επίπεδο.
- Θεωρούμε ότι το κάθε επίπεδο είναι νοητά χωρισμένο σε αλάνια από τα οποία θα περάσουν οι διασυνδέσεις
- Κάθε διασύνδεση μπορεί να χρησιμοποιήσει μόνο ένα τμήμα δευτέρου επιπέδου.



Ελαχιστοποιείται ο αριθμός των νίας μεταξύ επιπέδων (μείωση καθυστερήσεων των διασυνδέσεων).

Διασύνδεση 2 επιπέδων

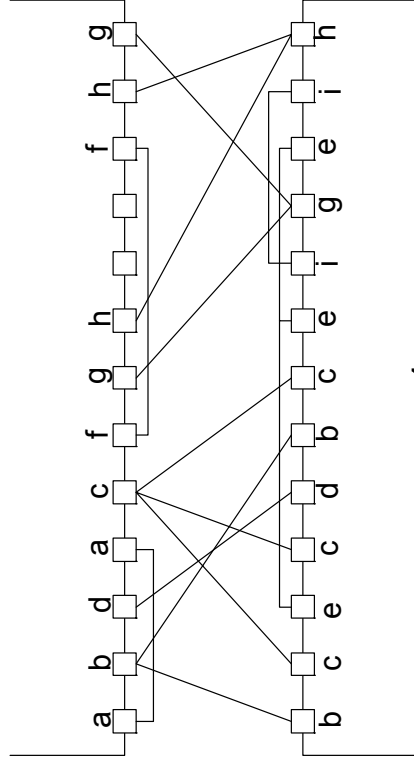


Αλγόριθμος Left-Edge

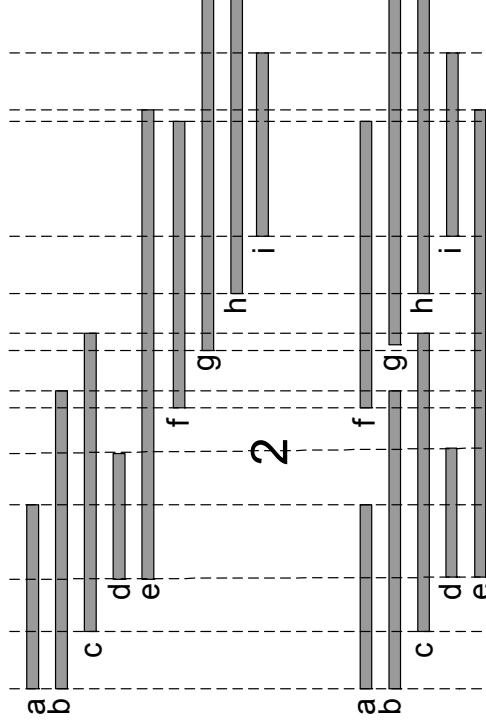
Αλγόριθμος Left-Edge:

- Ταξινόμηση των γραμμών με βάση τα αριστερά όρια των οριζόντιων τμημάτων.
- Στο πρώτο ελεύθερο αυλάκι αναθέτουμε την πρώτη γραμμή διασύνδεσης.
- Στο ίδιο αυλάκι αναθέτουμε την επόμενη γραμμή διασύνδεσης, της οποίας η αριστερή άκρη είναι δεξιότερα από την δεξιά άκρη της προηγούμενης γραμμής διασύνδεσης.
- Επαναλαμβάνουμε το 3, μέχρις ότου το αυλάκι δεν μπορεί να δεχθεί άλλες διασυνδέσεις.
- Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 2-3 για όλα τα αυλάκια του καναλιού.
- Πραγματοποίηση διασυνδέσεων.

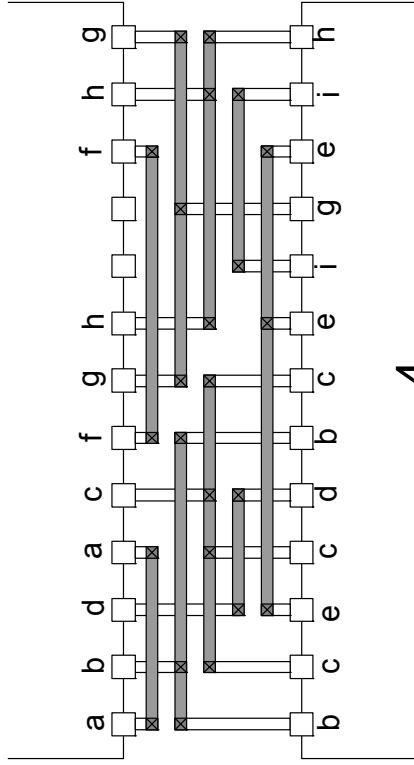
Αλγόριθμος Left-Edge



1



2

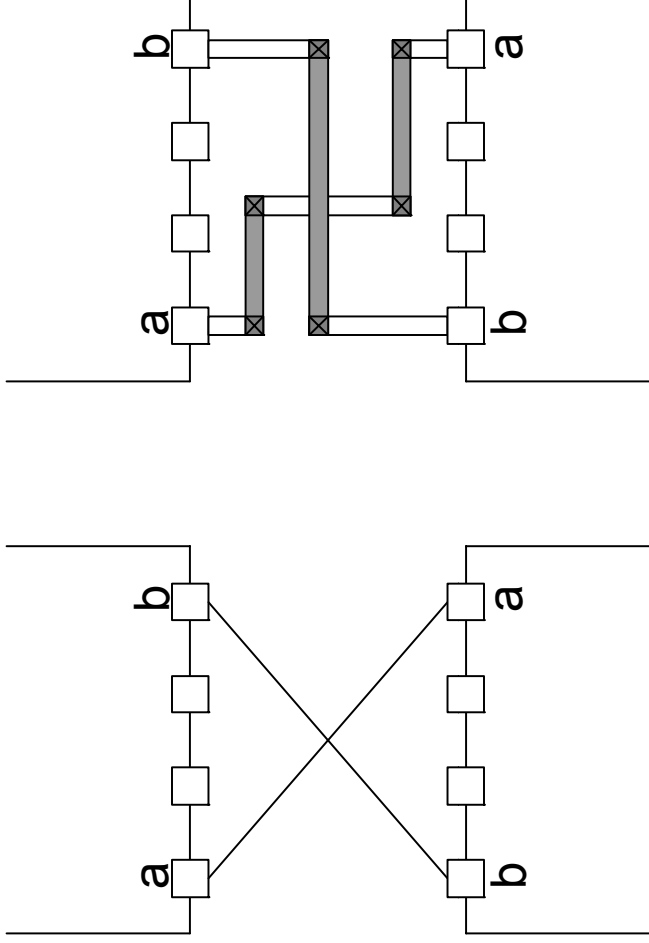


4

3

Προσοχή χρειάζεται όταν οι αριστερές ή δεξιές άκρες δύο γραμμών εφάπτονται.

Αλγόριθμος Left-Edge



Όταν και οι δύο άκρες των οριζόντιων τμημάτων εφάπτονται, και πρέπει να διασυνδέσουν πάνω και κάτω κύτταρα, το πρόβλημα δεν έχει λύση.



Υποχρεωτικά άρουμε τον περιορισμό χρήσης μόνο ενός οριζόντιου τμήματος ανά γραμμή διασύνδεσης .

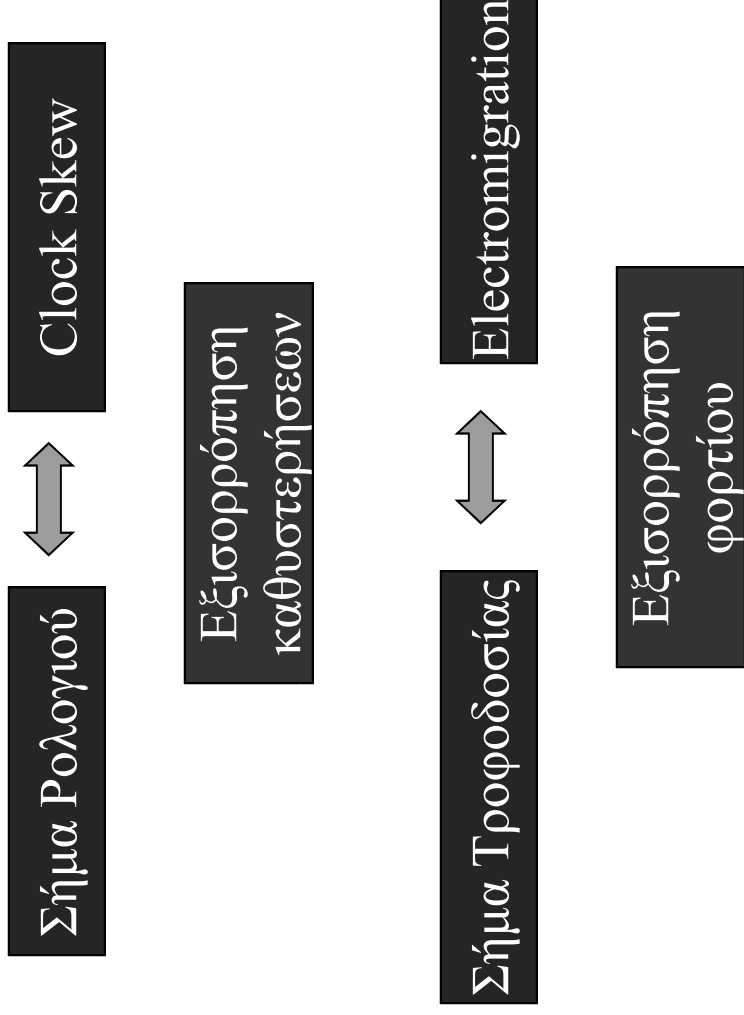
Ειδική Διασύνδεση

Οι διασυνδετές μπορούν να αξιοποιήσουν μερικές ακόμη δυνατότητες:

- Όταν τα λογικά κύτταρα περιέχουν μέταλλο πρώτου επιπέδου μόνο, τότε διασυνδέσεις δεύτερου επιπέδου μπορούν να περάσουν και πάνω από τα λογικά κύτταρα.
- Κάποιες πολύ κοντές διασυνδέσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν και πολυσιλικόνη (προέκταση της πύλης κάποιων *transistor*).
- Τα επιπλέον επίπεδα δίνουν μεγάλες δυνατότητες διασύνδεσης. Συνήθως σε κάθε επίπεδο επιλέγεται μία κατεύθυνση για όλες τις γραμμές του (Reserved routing).

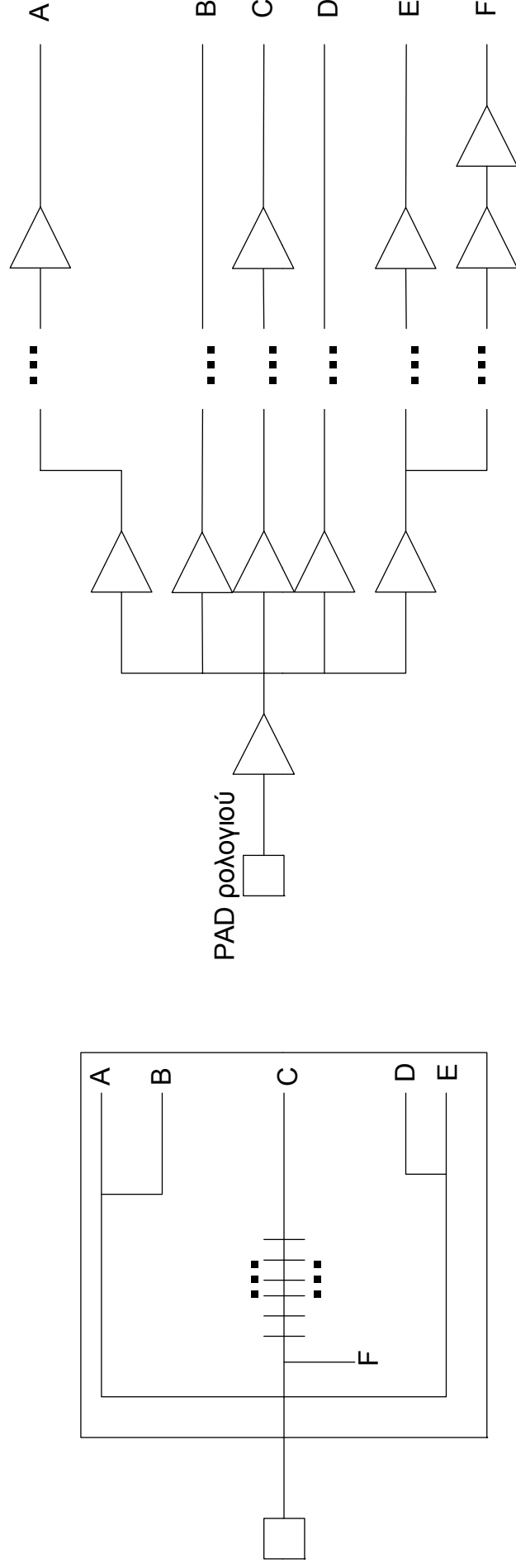
Διασύνδεση Ρολογιού - Τροφοδοσίας

Τα σήματα ρολογιού και της τροφοδοσίας απαιτούν ειδική διαχείριση, καθώς είναι δύο σήματα με πολύ μεγάλες απαιτήσεις και πολλά προβλήματα.



Διασύνδεση Ρολογιού - Τροφοδοσίας

Χρήση Δικτύου Απομονωτών.



Ολοκλήρωση Σχεδίασης

Τα τελευταία βήματα της σχεδίασης είναι τα ακόλουθα:

