



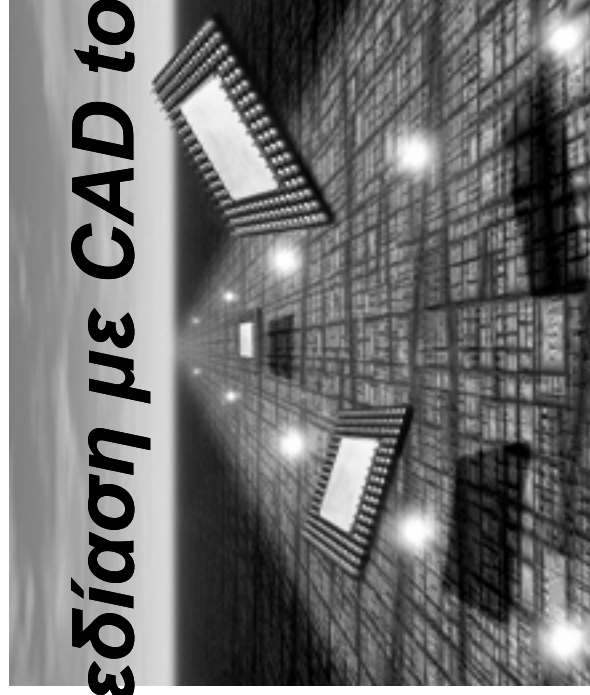
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



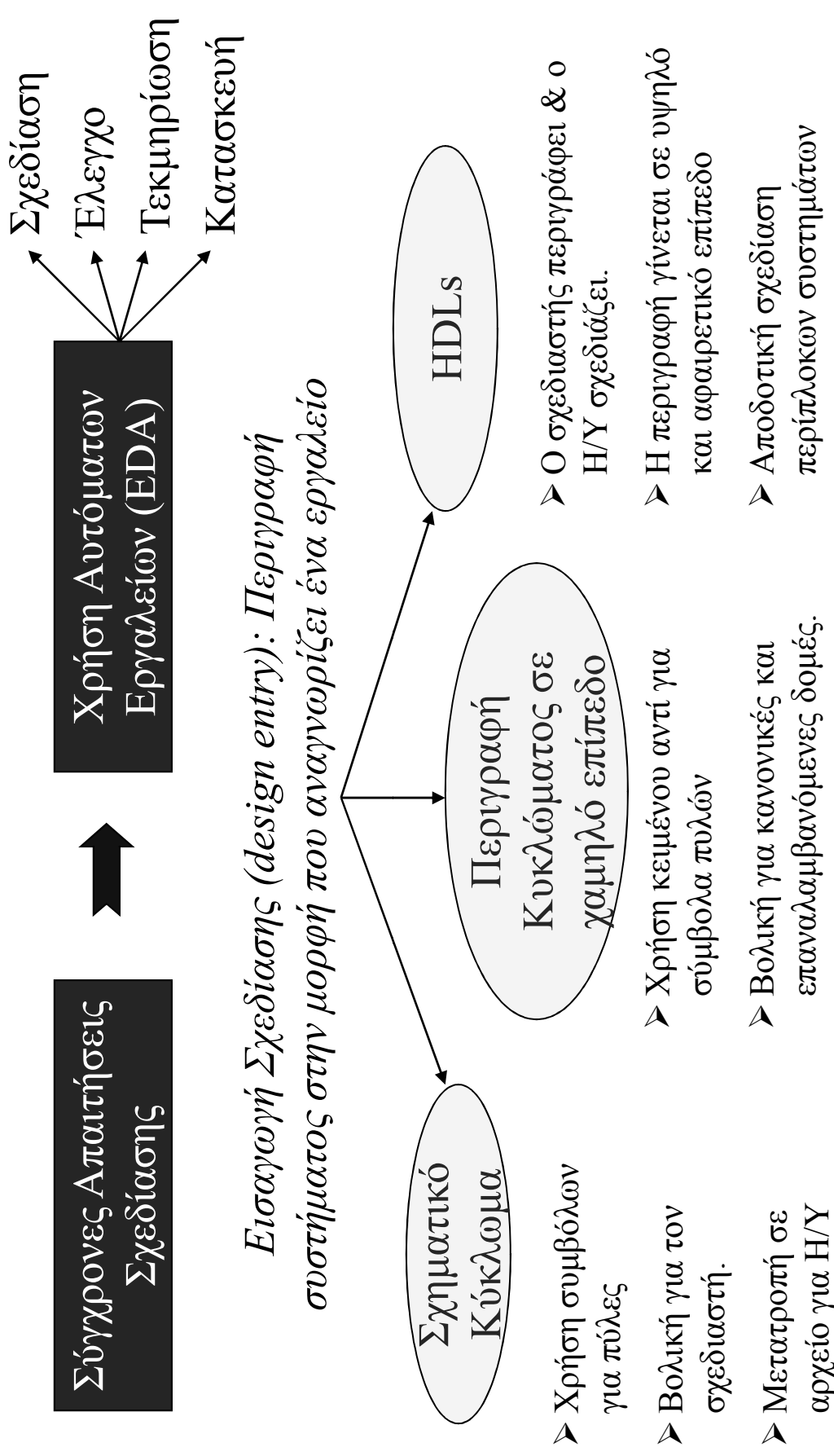
Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης



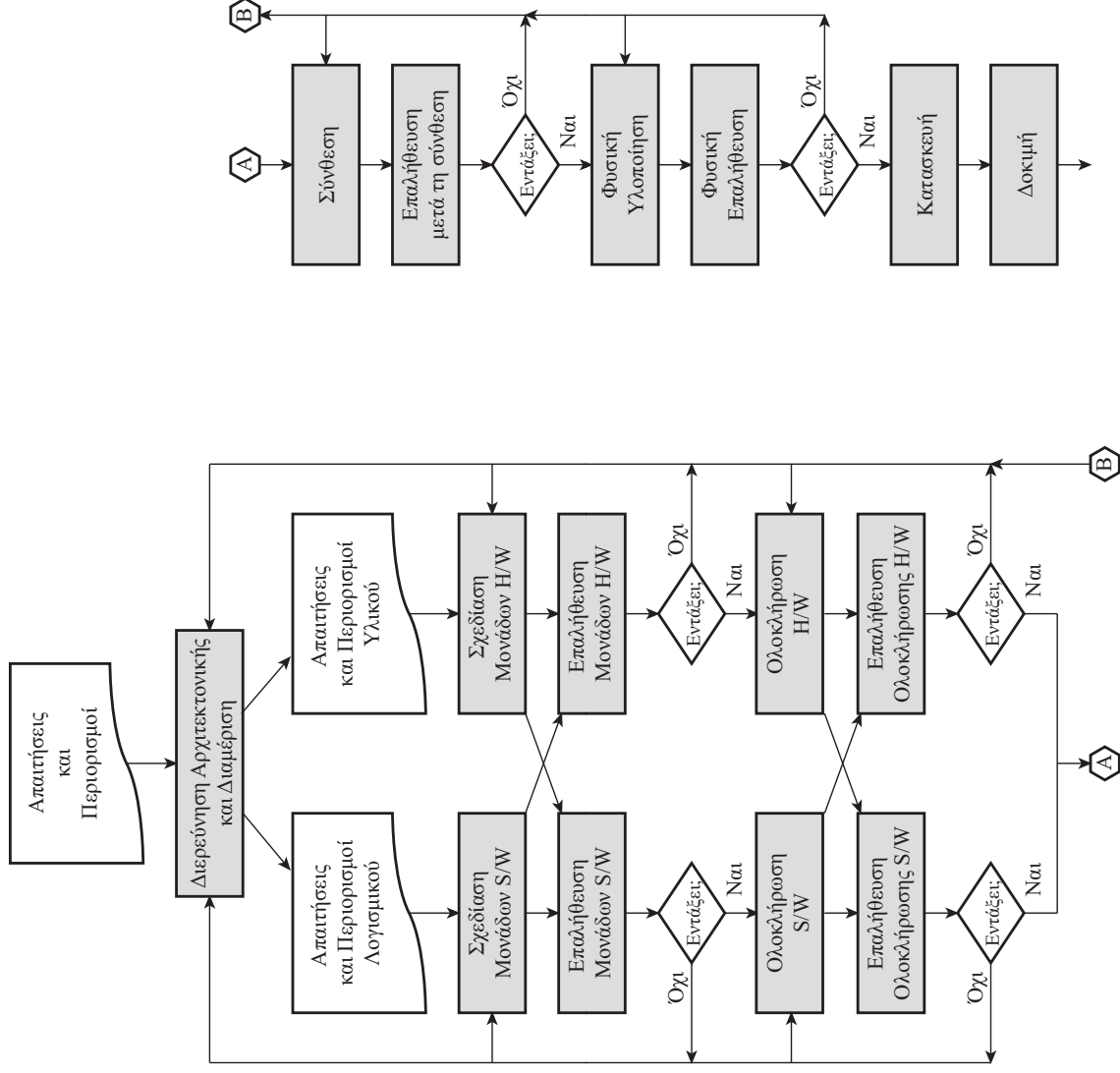
Σχεδίαση με CAD tools

Χρ. Καβουσιανός
Επίκουρος Καθηγητής

Εισαγωγή Σχεδίασης

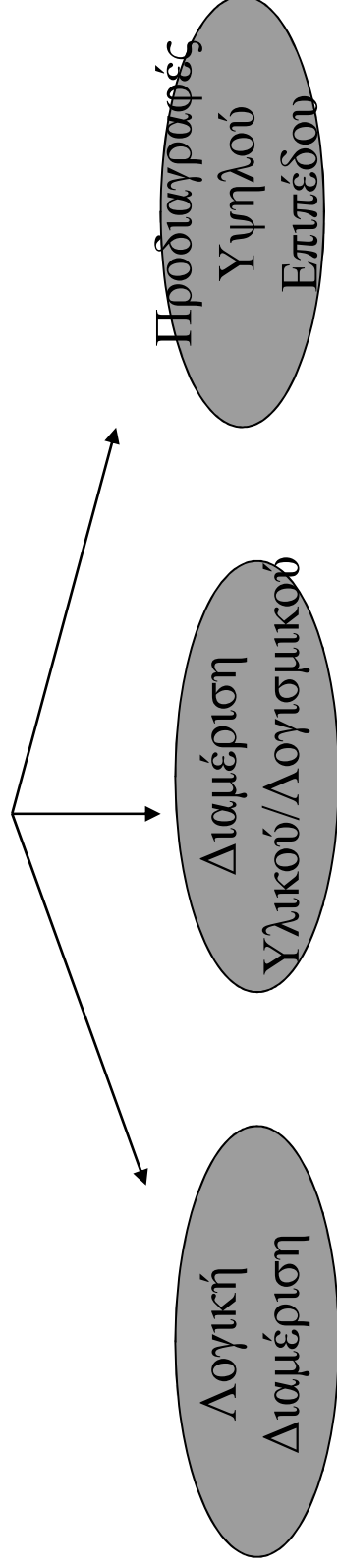


Μεθοδολογία Σχεδίασης



Διαμέριση - Partitioning

Εφαρμογή στρατηγικής Διάρει και Βασίλευε για επίλυση προβλημάτων.

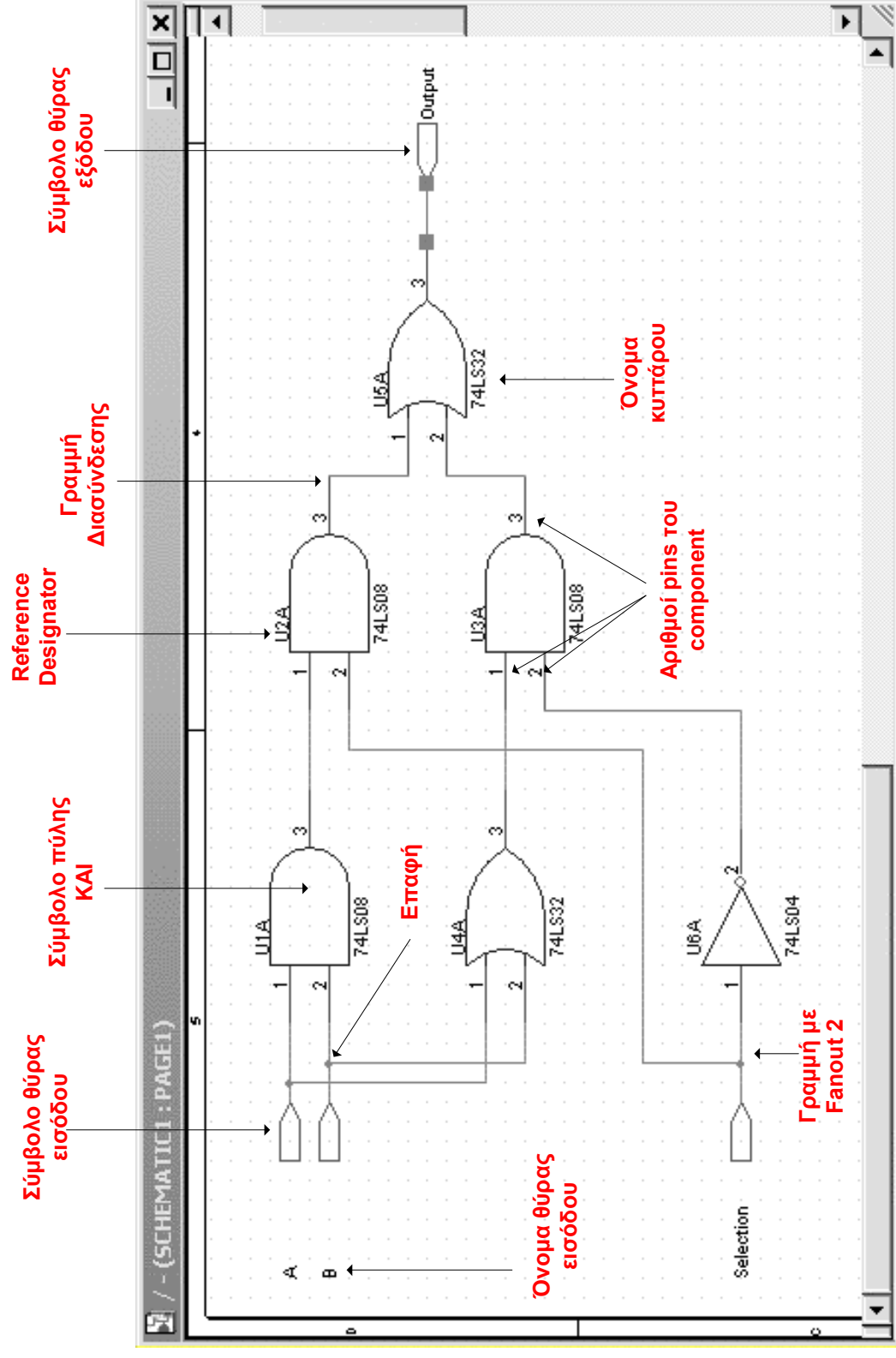


UML: Unified Modeling Language

Σχεδίαση με Σχηματικό

- ✓ Είναι παλιά μέθοδος αλλά χρησιμοποιείται και σήμερα για σχεδίαση τυπωμένων καρτών.
 - ✓ Η σχεδίαση γίνεται σε σελίδες ή φύλλα (*schematic sheets*).
 - ✓ Σε κάθε σελίδα τοποθετούνται αντικείμενα, όπως λογικές πύλες και διασυνδέονται στα πλαίσια ενός κυκλώματος.
 - ✓ Δομικά στοιχεία σχηματικού: πύλες, θύρες εισόδου/εξόδου και γραμμές διασύνδεσης.
 - ✓ Τα ηλεκτρονικά στοιχεία τοποθετούνται πάνω σε πλέγμα σχεδίασης (*Grid*).
-
- | | | |
|---|---|--|
| Ένα κύκλωμα αποτελείται από περισσότερες της μίας σχηματικές σελίδες. |  | Δεν είναι καλή μέθοδος για πολύπλοκα κυκλώματα (χρησιμοποιείται μόνο για PCBs) |
|---|---|--|

Σχεδίαση με Σχηματικό



Σχεδίαση με Σχηματικό

- ✓ Τα αντικείμενα που τοποθετούνται σε ένα σχηματικό επιλέγονται από μία βιβλιοθήκη κυττάρων (*Design Library*).
- ✓ Μία βιβλιοθήκη περιέχει πρωταρχικές πύλες (*primitive gates*).
- ✓ Τα κύτταρα (*cells*) περιέχουν πληροφορίες για διάφορα επίπεδα σχεδίασης: εικονίδιο, περιγραφή συμπεριφοράς, μέγεθος, δομή, κατανάλωση κλπ.

Πρόβλημα χρήσης εργαλείων: έλλειψη κοινής ονοματολογίας, ακόμη και σε βασικά κύτταρα (*cells*).

Μειονέκτημα: δεν μπορεί να μεταφερθεί ένας σχεδιασμός από ένα εργαλείο μίας συγκεκριμένης εταιρίας σε ένα εργαλείο μίας άλλης εταιρίας.

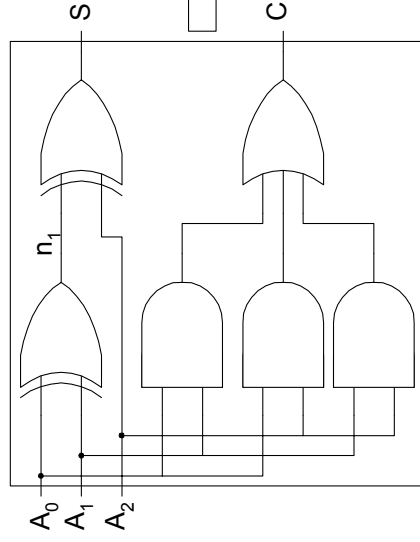
Ιεραρχική Σχεδίαση

Για την μείωση του μεγέθους και της πολυπλοκότητας των σχηματικών χρησιμοποιείται η τεχνική της **ιεραρχίας**:

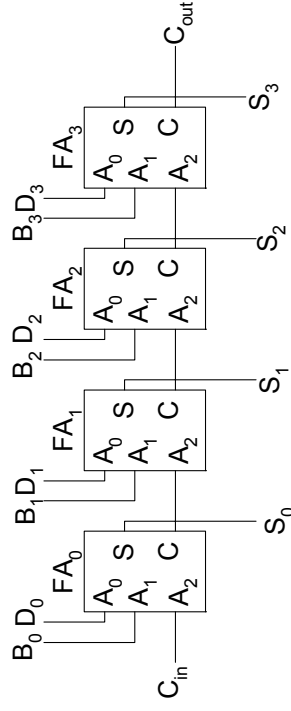
- ✓ Ο σχεδιασμός δεν εκτείνεται μόνο σε **επιφάνεια**, αλλά και σε **επίπεδα**, ώστε να μειώνεται η πολυπλοκότητα περιγραφής του.
- ✓ Δημιουργούμε κάποια σχηματικά και τα αντιστοιχούμε σε ιεραρχικά blocks τα οποία αποκρύπτουν την δομή των σχηματικών.
- ✓ Τα ιεραρχικά blocks παρέχουν μόνο την απαραίτητη πληροφορία για την διασύνδεση τους, δηλαδή ονόματα και τύπο εισόδων και εξόδων.
- ✓ Τα ιεραρχικά blocks μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σχηματίσουν ιεραρχικά blocks υψηλότερου επιπέδου.
- ✓ Το κύκλωμα μετατρέπεται σε απλές λογικές πύλες, εφαρμόζοντας την διαδικασία επιπεδοποίησης της σχεδίασης (flattening).

Ιεραρχική Σχεδίαση

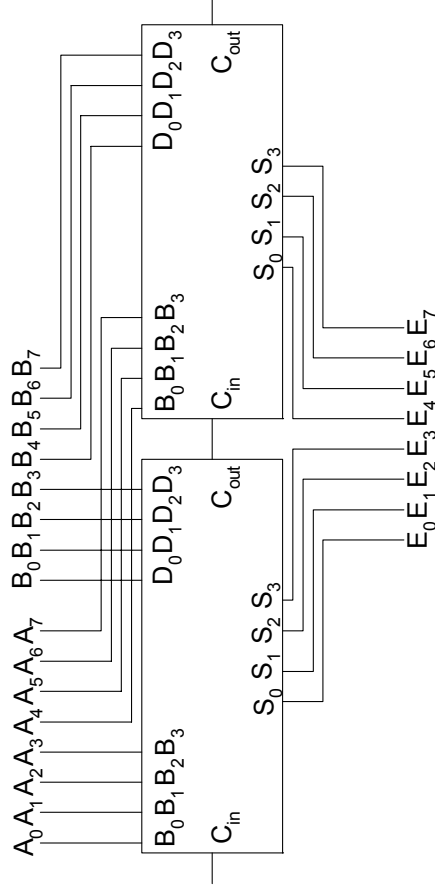
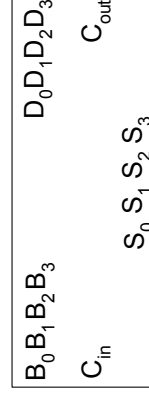
Σχηματικό



Σχηματικό 4 bit αθροιστή



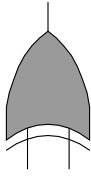
Ιεραρχικό
block
Αθροιστή 4
Bits

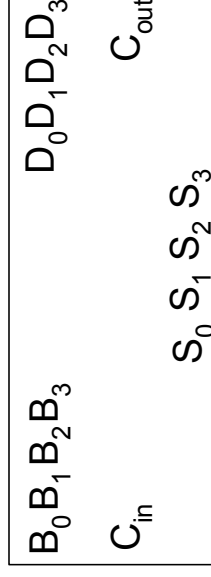


Σχηματικό 8 bit αθροιστή

Σχηματικό

Κανόνες Σχεδίασης

- ✓ Κάθε κύτταρο μπορεί να τοποθετηθεί σε πολλαπλά αντίγραφα στο ίδιο σχηματικό.
- ✓ Κάθε αντίγραφο ονομάζεται οντότητα (instance) και αποκτά μοναδικό όνομα.
- ✓ Στην ιεραρχική περιγραφή ενός κυκλώματος, τα ονόματα δίνονται με την δενδρική μορφή (σαν ονόματα αρχείων σε μία δομή δίσκου).
- ✓ Κάθε κύτταρο αναπαρίσταται από ένα σύμβολο (εικονίδιο). 
- ✓ Για τα ιεραρχικά blocks δημιουργούμε σύμβολα (συνήθως παραλληλόγραμμα) με θύρες εισόδου/εξόδου για την διασύνδεση τους.



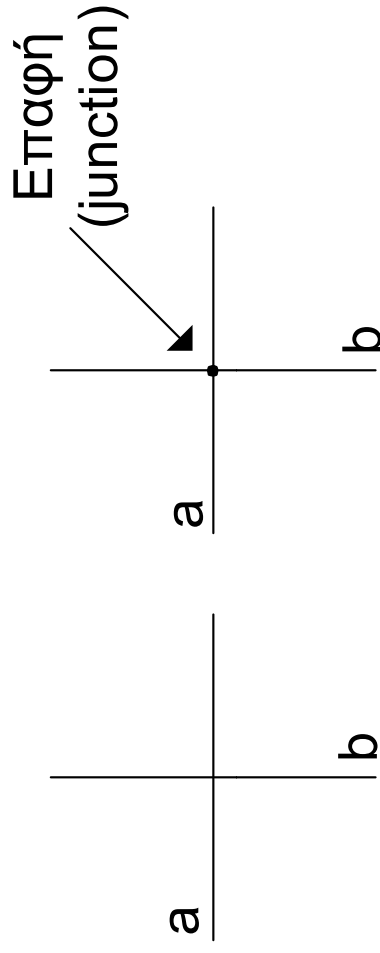
Σχηματικό

Γραμμές Διασύνδεσης

- ✓ **Εσωτερικές γραμμές:** διασυνδέουν αντικείμενα ενός σχηματικού.
- ✓ **Εξωτερικές γραμμές:** διασυνδέουν το σχηματικό με το περιβάλλον του (θύρες εισόδου/εξόδου).
- ✓ Τα ονόματα γραμμών ακολουθούν την ιεραρχική ονοματολογία.
- ✓ Οι γραμμές ξεκινούν και καταλήγουν στους ακροδέκτες (pins).
- ✓ Πολλά ομοειδή σήματα, σχηματίζουν διαύλους (buses). Χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα επεξεργασίας δεδομένων (DataPaths).
- ✓ Σήματα μη ομοειδή, ομαδοποιούνται σε bundles.
- ✓ Off-page connectors: διασυνδέουν πύλες που βρίσκονται σε διαφορετικές σελίδες.

Σχηματικό

Δύο γραμμές που τέμνονται σε ένα σημείο ΔΕΝ είναι απαραίτητα διασυνδεδεμένες μεταξύ τους



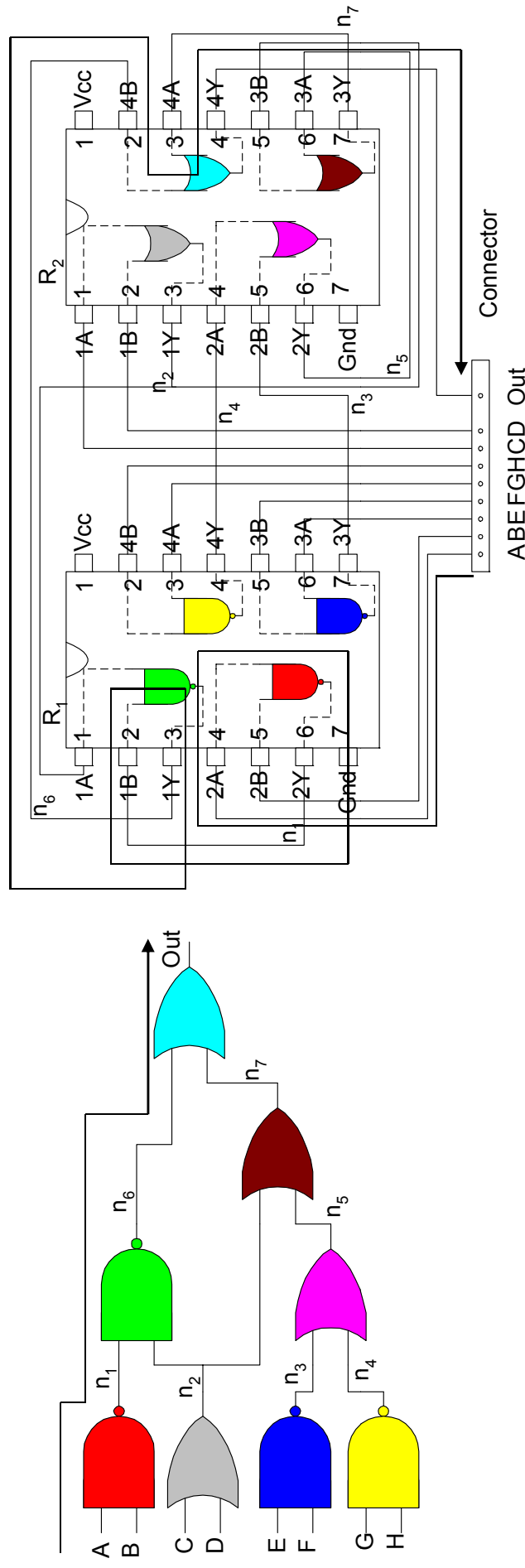
Συνήθως το εργαλείο διευκρινίζει με διάφορους τρόπους την ύπαρξη διασυνδέσεων, όπως με την χρήση τελείας στο σημείο τομής.

Σχηματικό

Components ή Κύτταρα (cells);

- ✓ Το component διαφέρει από το απλό κύτταρο καθώς αντιπροσωπεύει ένα ολοκληρωμένο, το οποίο μπορεί να αποτελείται από πολλαπλά όμοια κύτταρα.
- ✓ Ο σχεδιαστής εισάγει απλά κύτταρα.
- ✓ Το εργαλείο ομαδοποιήσει τα κύτταρα σε components (chips), με στόχο την ελαχιστοποίηση των απαραίτητων διασυνδέσεων.
- ✓ Με βάση την ομαδοποίηση γίνεται και ανάθεση των αριθμών των pins (ακροδεκτών) του ολοκληρωμένου στις γραμμές του κυκλώματος.

Σχηματικό



Τα ονόματα των components (R_1 , R_2) ονομάζονται "Reference Designators" και καθορίζονται αυτόματα από το εργαλείο σχεδίασης

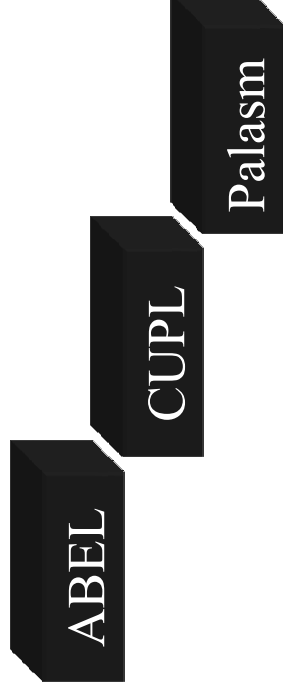
Σχηματικό

- ✓ Αφού ολοκληρωθεί η εισαγωγή της σχεδίασης, πρέπει να γίνει έλεγχος για πιθανά λάθη σχεδίασης από τον "Schematic screener".
- ✓ Τελικό βήμα: τοποθέτηση και διασύνδεση των στοιχείων στο PCB.
- ✓ Μετά την τοποθέτηση και διασύνδεση γίνονται γνωστές οι ακριβείς διασυνδέσεις (ακριβείς χωρητικότητες και καθυστερήσεις γραμμών).
- ✓ Το netlist ενός σχηματικού χρησιμοποιείται για την περιγραφή του κυκλώματος με ASCII αρχείο. Χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών εργαλείων (πχ. EDIF).

Γλώσσες Σχεδίασης σε Χαμηλό Επίπεδο

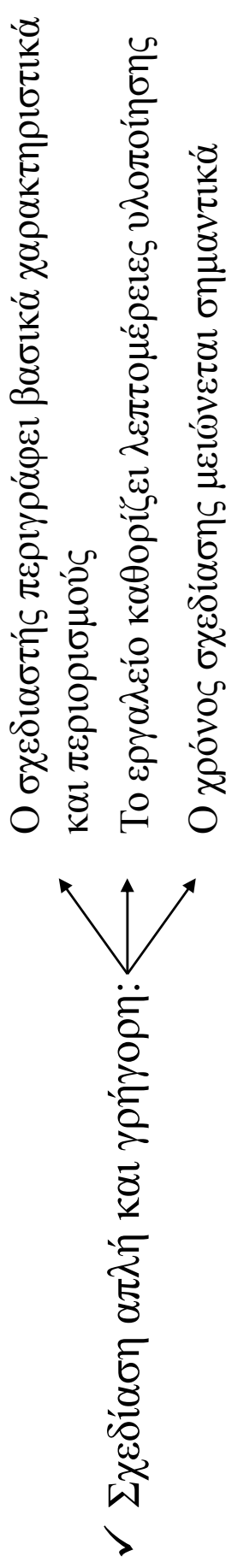
Περιγράφουν ένα κύκλωμα (σε επίπεδο δομής) με κείμενο.

- ✓ Η σχεδίαση με χρήση σχηματικού εμφανίζει προβλήματα (π.χ. δυσκολίες αλλαγών σε υπάρχοντα σχηματικά).
- ✓ Υπάρχουν σχεδιάσεις με επαναλαμβανόμενα κύτταρα (μηχανές καταστάσεων, μνήμες κλπ).
- ✓ Η χρήση γλωσσών χαμηλού επιπέδου μπορεί να διευκολύνει σημαντικά την περιγραφή επαναλαμβανόμενων σχημάτων.



Γλώσσες Περιγραφής HDL

Η σχεδίαση με χρήση γλωσσών περιγραφής είναι πλέον ο κυρίαρχος τρόπος περιγραφής συστημάτων.



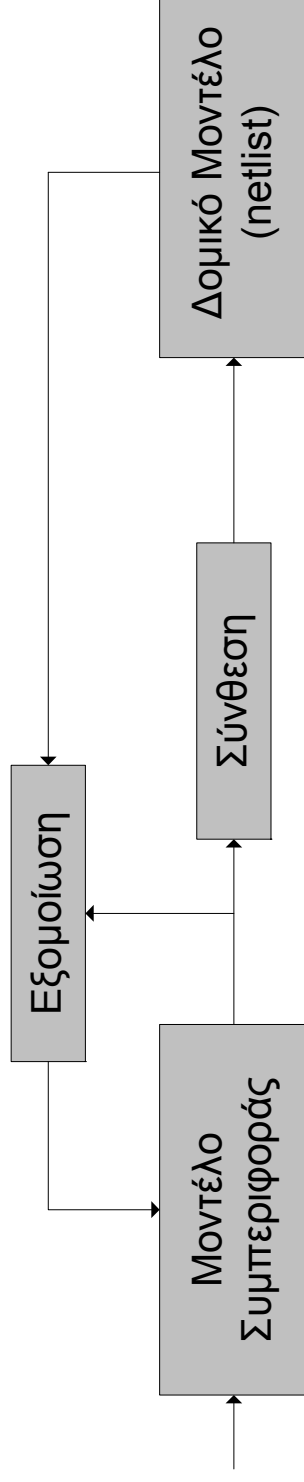
- ✓ Προβλέψιμη σχεδίαση: Η διαδικασία σύνθεσης εγγυάται ότι δεν θα γίνουν σχεδιαστικά λάθη.
- ✓ Η σχεδίαση τεκμηριώνεται εύκολα: Η περιγραφή είναι ένας καλός τρόπος τεκμηρίωσης

Οι γλώσσες περιγραφής, περιγράφουν την συμπεριφορά του κυκλώματος, ενώ οι γλώσσες σχεδίασης σε χαμηλό επίπεδο περιγράφουν την δομή του.



Σύνθεση

Η σύνθεση λαμβάνει μία περιγραφή και δίνει μία λίστα (netlist) από κύτταρα βιβλιοθήκης, με τις διασυνδέσεις τους



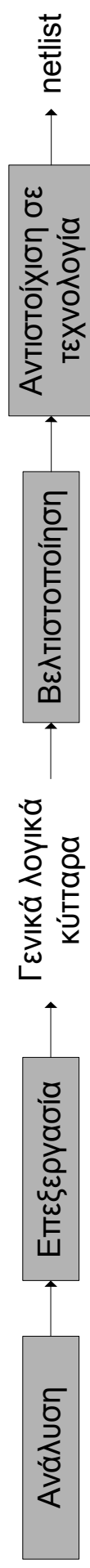
- Οι γλώσσες περιγραφής δημιουργήθηκαν μόνο για λόγους τεκμηρίωσης και εξομοίωσης ενός κυκλώματος.
- Αργότερα εμφανίστηκε η ανάγκη για σύνθεση.
- Όλες οι γλωσσικές δομές δεν μπορούν να είναι και συνθέσιμες.



Κάθε περιγραφή είναι εξομοιώσιμη αλλά λίγες μόνο συνθέσιμες.

Σύνθεση

Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα της σύνθεσης είναι η δυνατότητα βελτιστοποίησης του τελικού κυκλώματος.



Βελτιστοποίηση κυκλώματος:

Ελαχιστοποίηση της επιφάνειας.

Μεγιστοποίηση της ταχύτητας.

Ικανοποίηση περιορισμών λειτουργίας (ισχύς).

Η αντιστοίχιση σε τεχνολογία (technology mapping – library binding) οδηγεί σε παρατέρα βελτιστοποίηση του κυκλώματος.

Παράδειγμα Σύνθεσης

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
use IEEE.std_logic_unsigned.all;

entity FA is
    port (    a, b, c : in std_logic;
            sum, cout: out std_logic);
end FA;

architecture Behavior of FA is
    signal int_sum: std_logic(1 downto 0);
begin
    int_sum<=a+b+c;
    sum<=int_sum(0);
    cout<=int_sum(1);
end architecture Behavior;
```

Παράδειγμα Σύνθεσης

bc \ a	00	01	11	10
0			1	
1			1	1

$$C_{out} = a'bc + ab'c + abc' + abc$$

Ελαχιστοποίηση

$$C_{out} = ab + bc + ac$$

Παραγοντοποίηση
Αντικατάσταση
Απαλοιφή

bc \ a	00	01	11	10
0		1		1
1	1		1	

$$Sum = a'b'c + abc' + ab'c' + abc$$

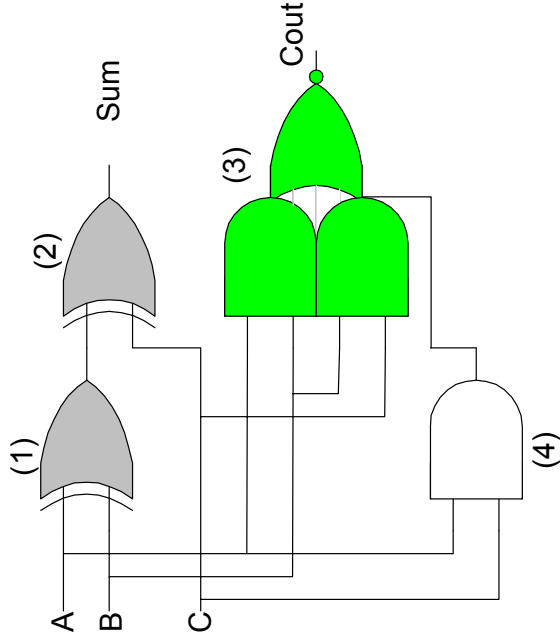
$$Sum = a \text{ xor } b \text{ xor } c$$

Library Binding

$$AO221(x, y, z, w, p) = xy + zw + p$$

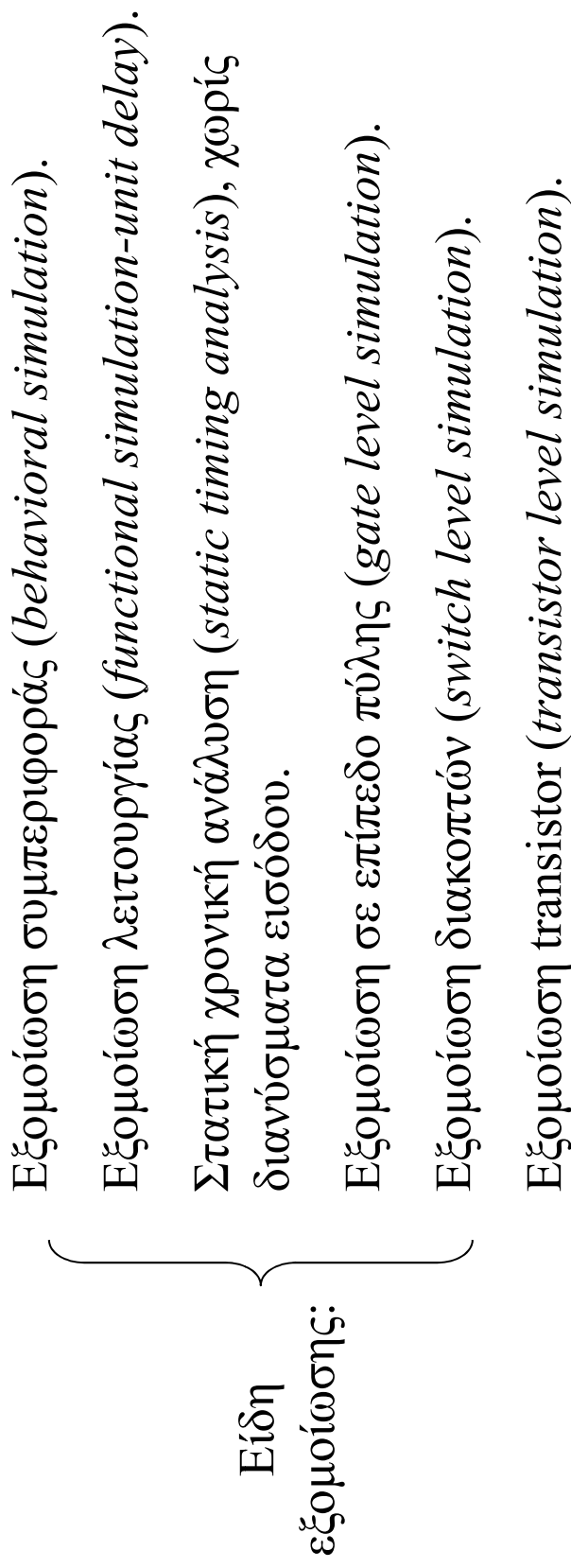
$$C_{out} = ab + bc + ac = ab + bc + z \text{ με } z = ac \text{ οπότε}$$

$$C_{out} = AOI221(a, b, b, c, z)$$



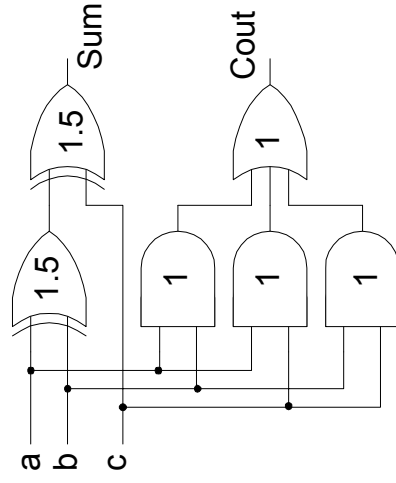
Εξομοίωση

Η εξομοίωση είναι το βασικότερο εργαλείο επιβεβαίωσης της ορθότητας σχεδίασης ενός κυκλώματος.

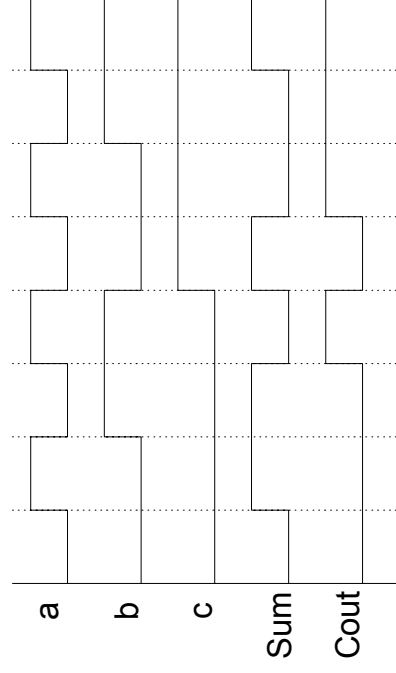


Η πιο ακριβής εξομοίωση γίνεται μετά την σχεδίαση του layout (Post-Layout Simulation)

Εξομοίωση

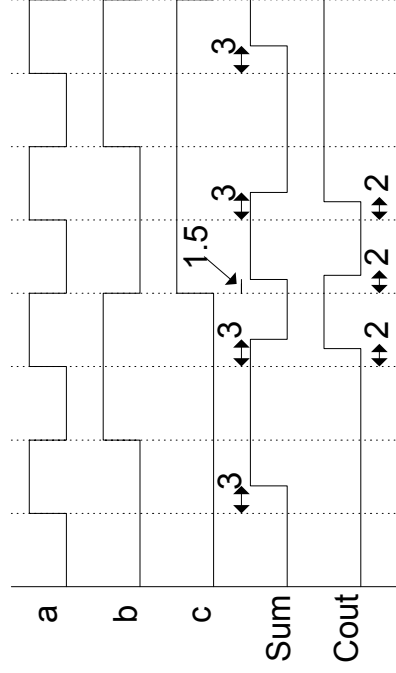


Πλήρης Αθροιστής

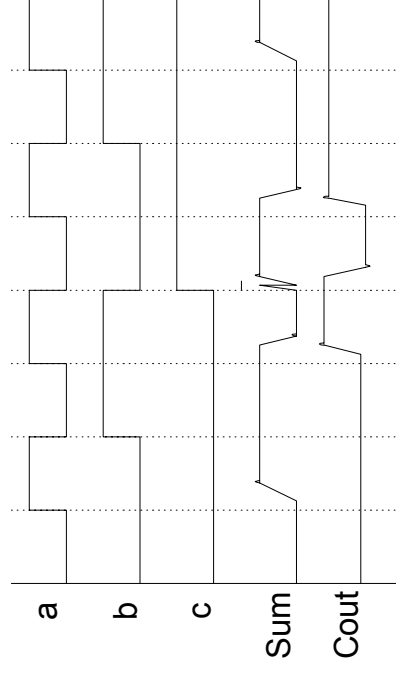


Εξομοίωση συμπεριφοράς

Τιμές
 '0', '1'
 'U', 'X'
 'Z'



Εξομοίωση πυλών



Εξομοίωση transistor

Στατική Χρονική Ανάλυση

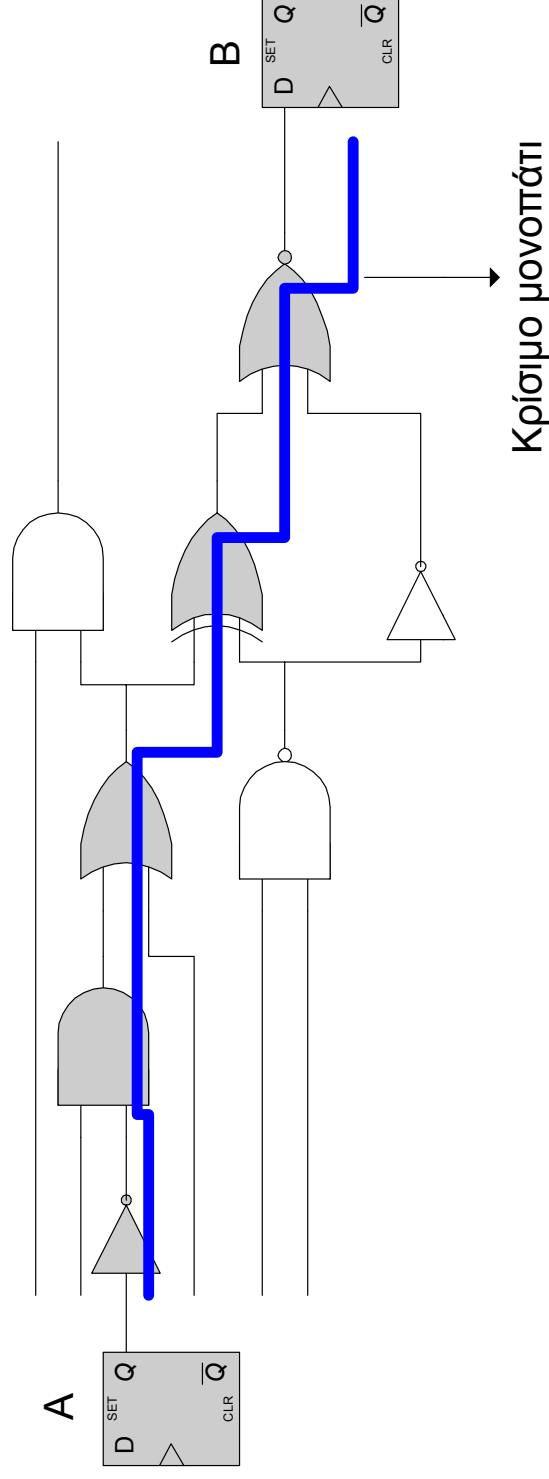
Ο στατικός αναλυτής βρίσκει το/τα κρίσιμα μονοπάτια στο κύκλωμα:

- Δεν απαιτεί από τον σχεδιαστή να παρέχει τα διανύσματα εξομείωσης.
- Η επεξεργασία του κυκλώματος γίνεται στατικά (σαν ένας γράφος).
- Δεν δίνει τις συνθήκες ενεργοποίησης του κρίσιμου μονοπατιού (διάνυσμα εισόδου και εσωτερικών καταστάσεων).
- Ένα κρίσιμο μονοπάτι μπορεί να είναι λανθάνων.



Υποτίμηση της συχνότητας του ρολογιού
(*Το κρίσιμο μονοπάτι είναι κάποιο μικρότερο*)

Στατική Χρονική Ανάλυση



Η στατική χρονική ανάλυση πρέπει να λαμβάνει υπόψη και τις καθυστερήσεις γραμμών που οφείλονται σε χωρητικότητες,

Θα πρέπει να εκτελείται μετά και από την τοποθέτηση και διασύνδεση των κυττάρων στο ολοκληρωμένο

Εξομοίωση γεγονότων

Η εξομοίωση γεγονότων είναι το πιο κοινό είδος εξομοίωσης (event driven simulation) :

- Είναι διαδεδομένη γιατί θεωρείται αρκετά γρήγορη.
- **Γεγονός (event)**: η αλλαγή τιμής σε κάποιον οποιονδήποτε κόμβο του κυκλώματος.
- Η αλλαγή της τιμής σε κάποιον κόμβο, οδηγεί στην πιθανή αλλαγή τιμών σε άλλους κόμβους (οδηγούμενους).

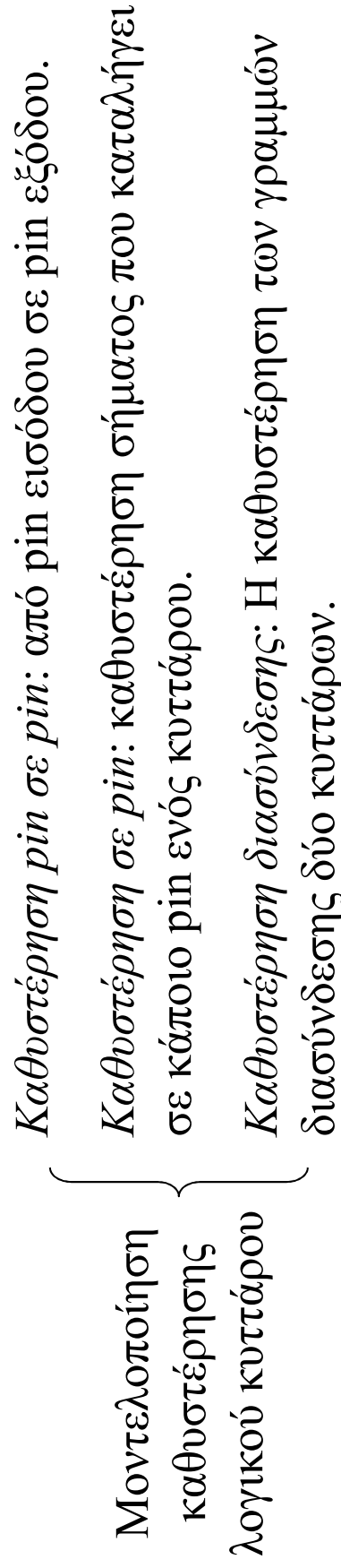


Κάθε γεγονός δημιουργεί μία αλληλουχία γεγονότων.

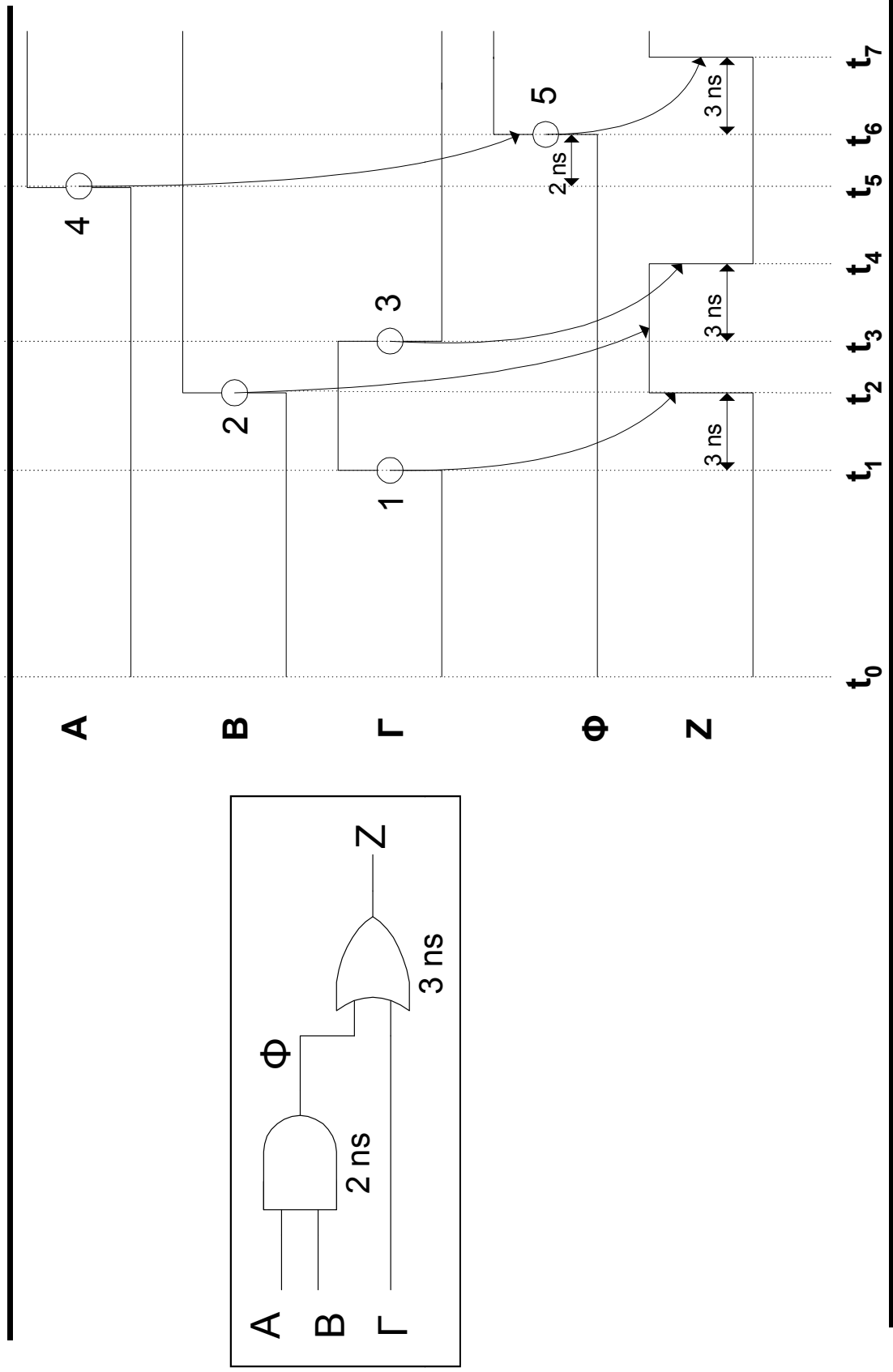
Κάθε κόμβος έχει καθυστέρηση	↔	Τα γεγονότα δεν συμβαίνουν ταυτόχρονα με το γεγονός που τα προκάλεσε, αλλά σε κάποιο μελλοντικό χρόνο.
---------------------------------	---	--

Εξομοίωση γεγονότων

- Κάθε γεγονός προγραμματίζει κάποια γεγονότα και καθορίζει και τον χρόνο που θα συμβούν.
- Όλα τα γεγονότα που προγραμματίζονται μπαίνουν σε μία λίστα γεγονότων (**ουρά γεγονότων**).
- Ο εξομοιωτής εκτελεί ένα γεγονός και προχωράει στο επόμενο.
- Κάθε γεγονός που εκτελείται, αφαιρείται από την λίστα.
- Ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο γεγονότα αγνοείται καθώς δεν ενδιαφέρει τον εξομοιωτή.



Εξομοίωση γεγονότων



Εξομοίωση διακοπών και transistor

- Είναι τα πιο ακριβή είδη εξομοιώσεων, καθώς αντιμετωπίζουν το κύκλωμα σαν δίκτυο των βασικών δομικών του στοιχείων (transistor).
- Εξομοίωση διακοπών: θεωρούμε το transistor ως ψηφιακό στοιχείο, το οποίο μπορεί να είναι on ή off,
- Εξομοίωση transistor: θεωρείται μη γραμμικό αναλογικό στοιχείο.
- Απαιτούν μεγάλο χρόνο εκτέλεσης, ειδικά η εξομοίωση transistor.

Εξομοιωτής
transistor: SPICE



- Δυνατότητα εξομοίωσης σε διάφορα επίπεδα (Levels).
- Κάθε επίπεδο με διαφορετική ακρίβεια.
- Κάθε επίπεδο με διαφορετική μοντελοποίηση transistor.