



Ανάπτυξη παντού. Ανάπτυξη για όλους.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ



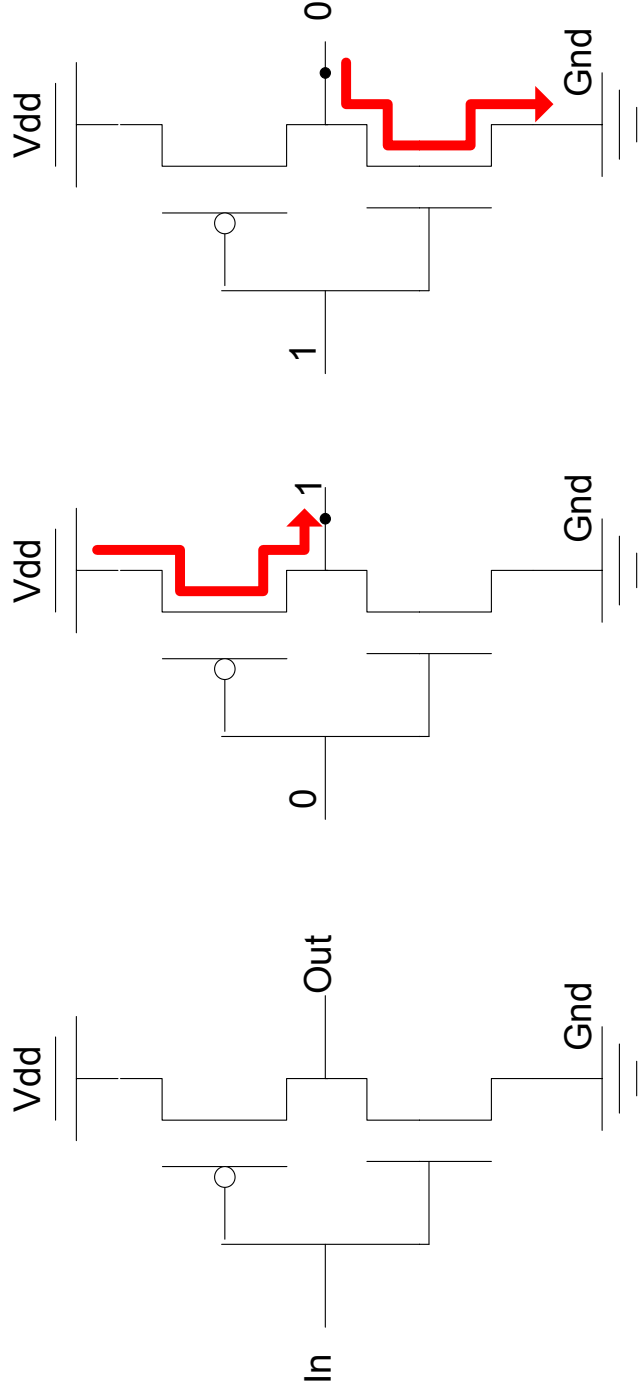
ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης

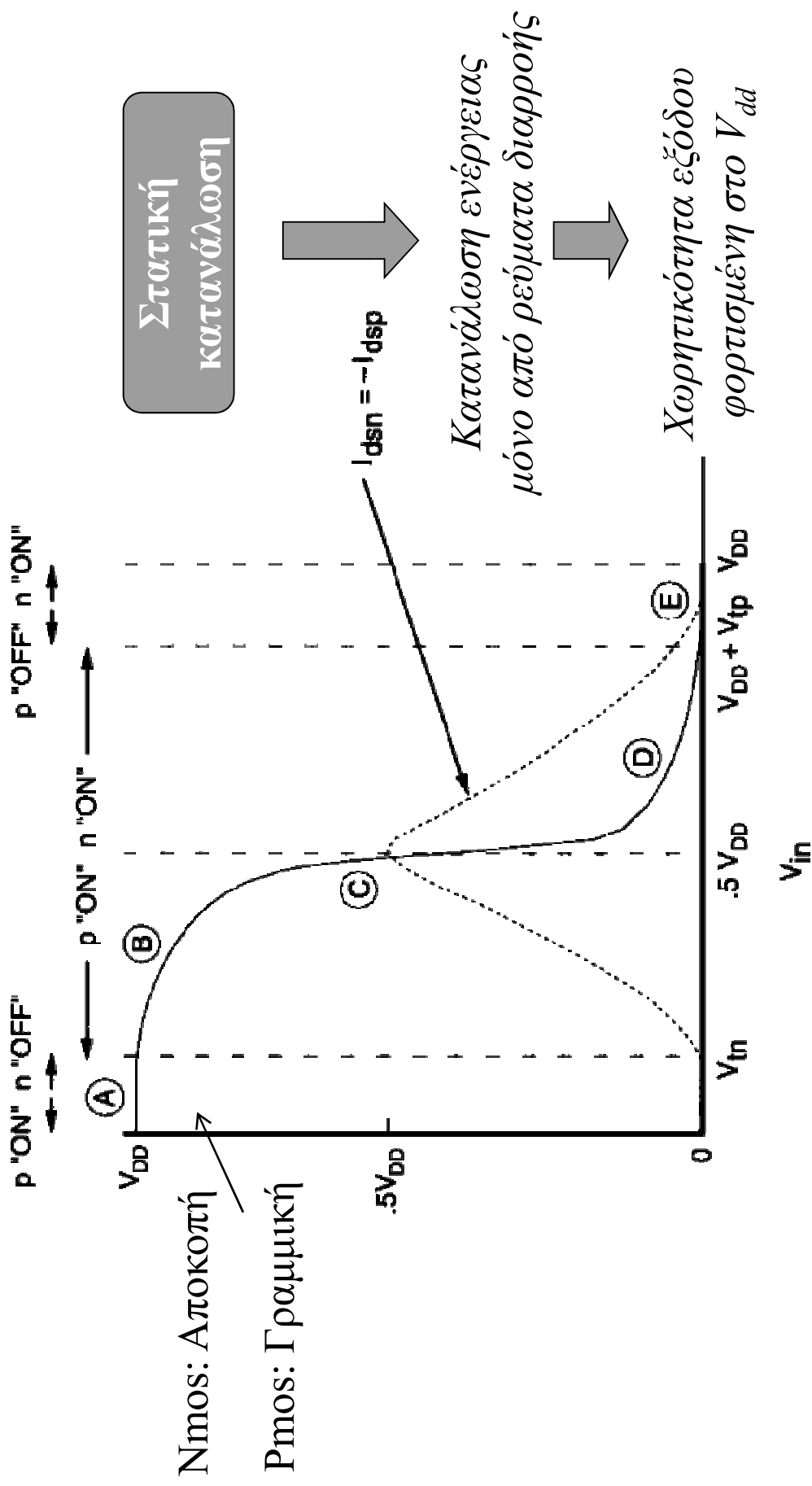
Σύνθεση για χαμηλή κατανάλωση

Κατανάλωση στην CMOS τεχνολογία

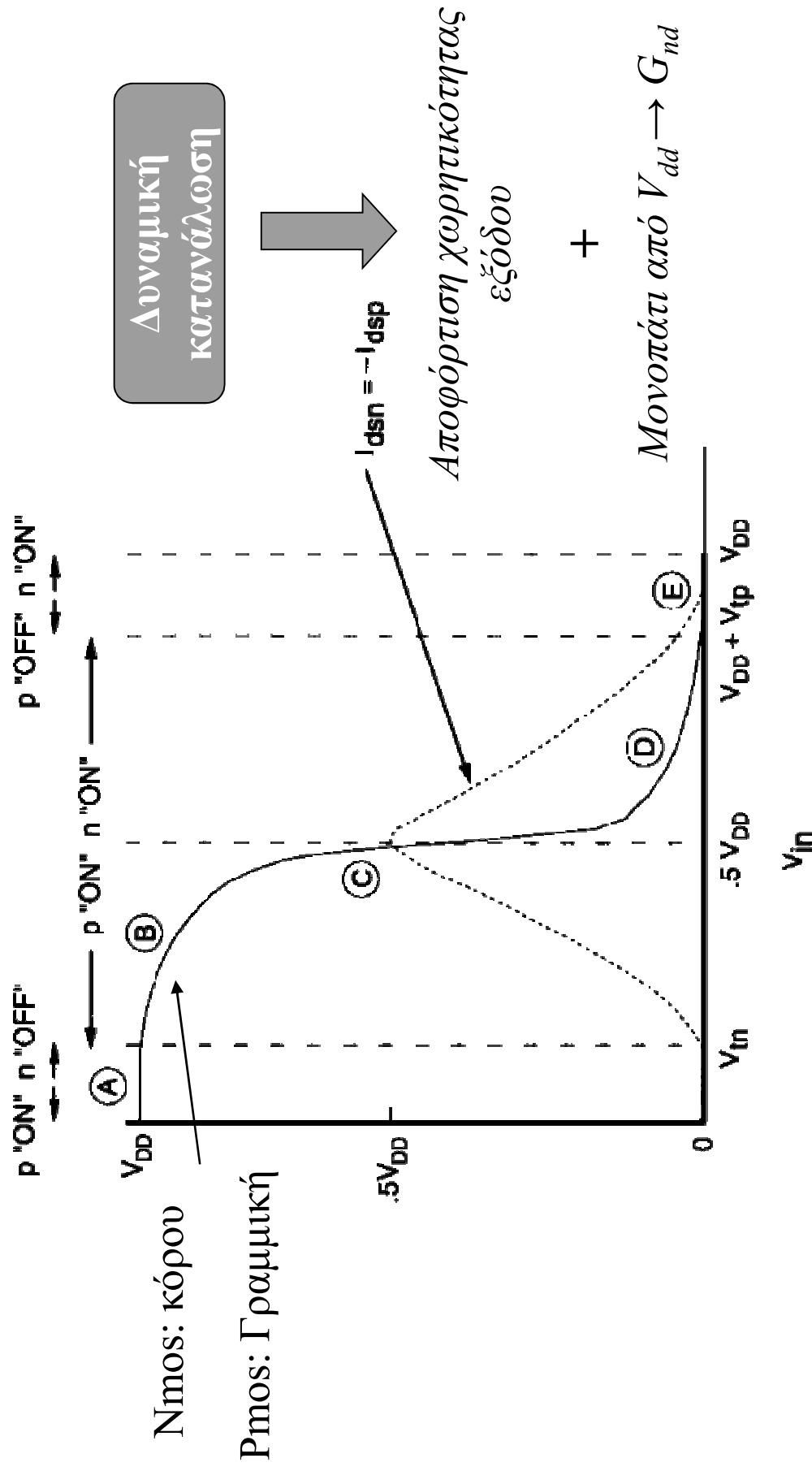


Λειτουργία αντιστροφέα σε συνάρτηση της εισόδου του.

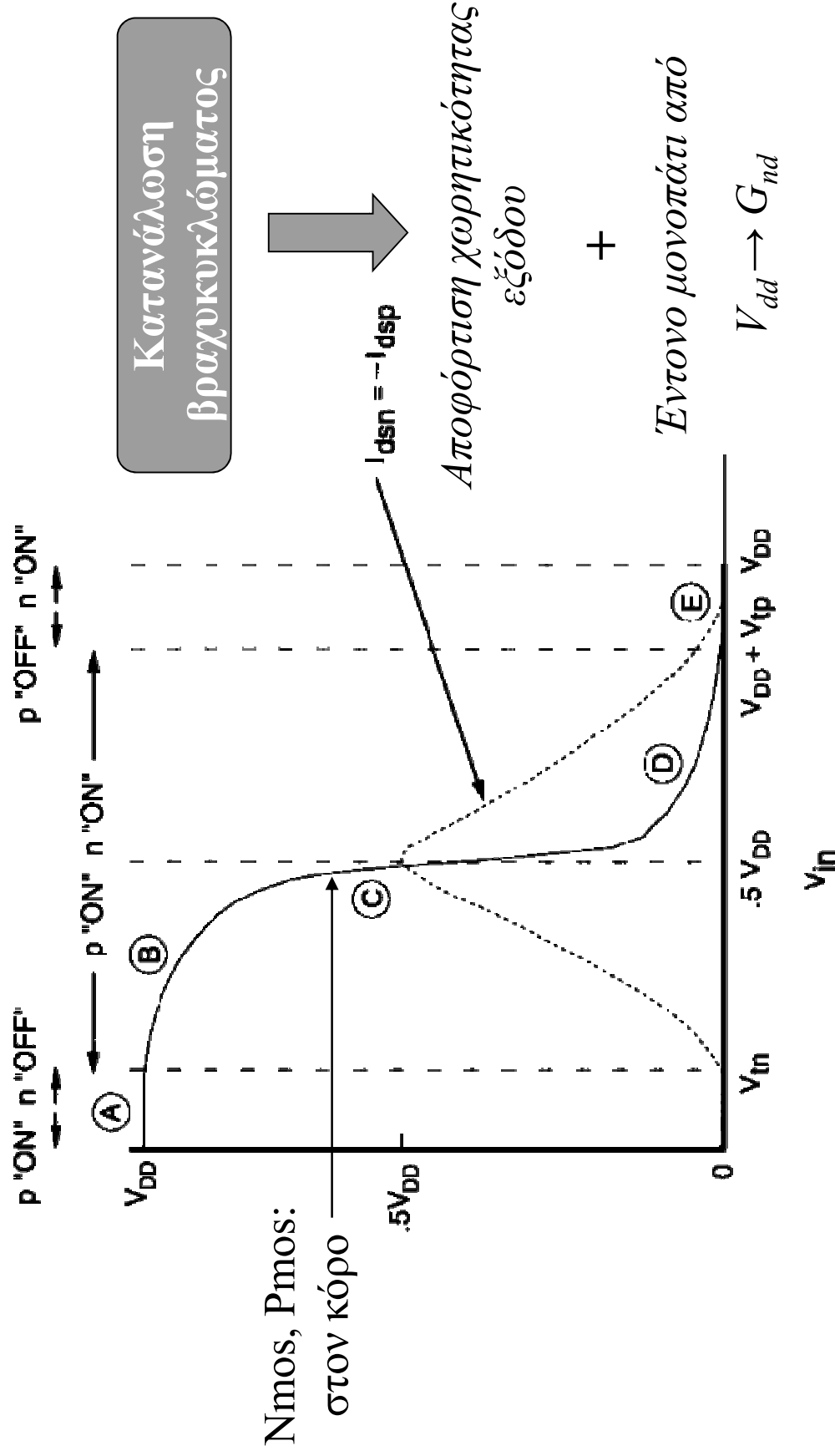
Κατανάλωση στην CMOS τεχνολογία



Κατανάλωση στην CMOS τεχνολογία



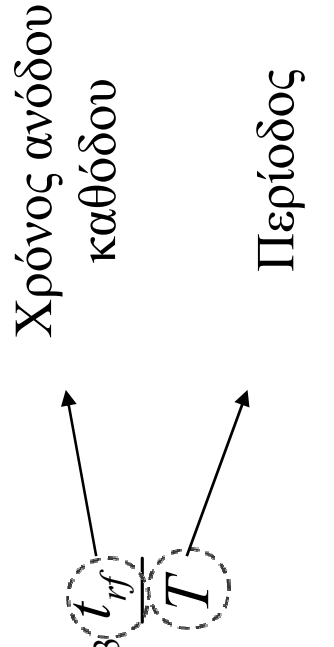
Κατανάλωση στην CMOS τεχνολογία



Κατανάλωση βραχυκυκλώματος

Στο διάστημα $V_{in} \in [V_{tn}, V_{dd} - V_{tp}]$ ρέει ρεύμα από τροφοδοσία στην γείωση όπου η κατανάλωση είναι

$$P_{sc} = \frac{\beta}{12} (V_{DD} - V_{t})^3$$

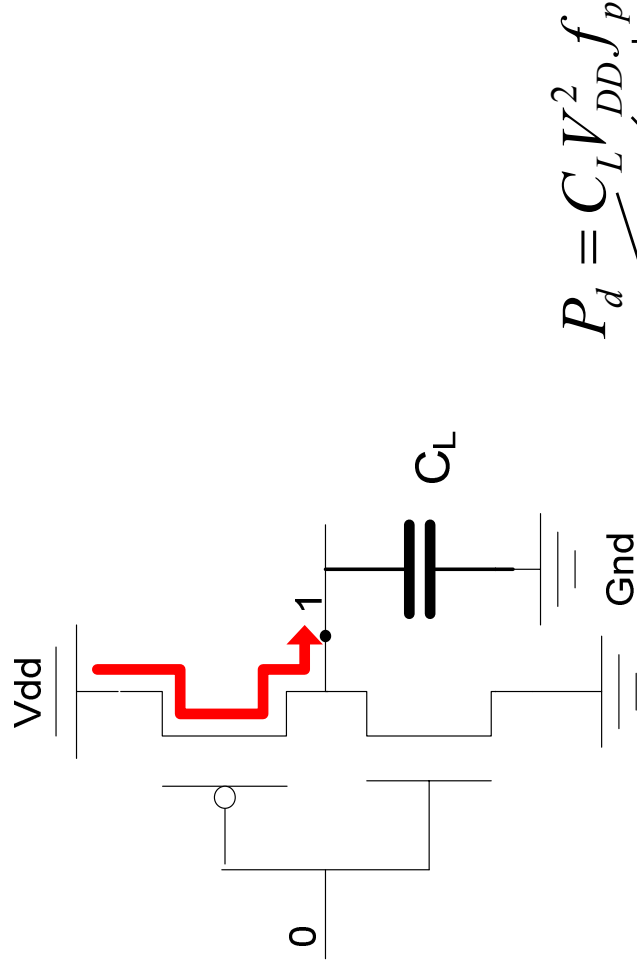


Η κατανάλωση βραχυκυκλώματος μειώνει με

- α) την μείωση της τάσης τροφοδοσίας
 - β) την μείωση των χρόνων ανόδου/καθόδου
- ➔
- Ικανοί οδηγοί των πυλών απαιτούνται

Δυναμική Κατανάλωση

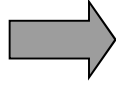
Η φόρτιση και εκφόρτιση της χωρητικότητας εξόδου προκαλεί κατανάλωση που λόγω των αντιστάσεων μετατρέπεται σε θερμότητα



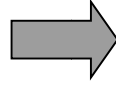
Για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας:

Μείωση Τάσης Τροφοδοσίας

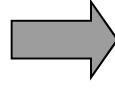
Με την μείωση της τάσης τροφοδοσίας μειώνεται και η δυναμική κατανάλωση



Τα τελευταία χρόνια η τάση έχει πέσει από 5V σε 1V.

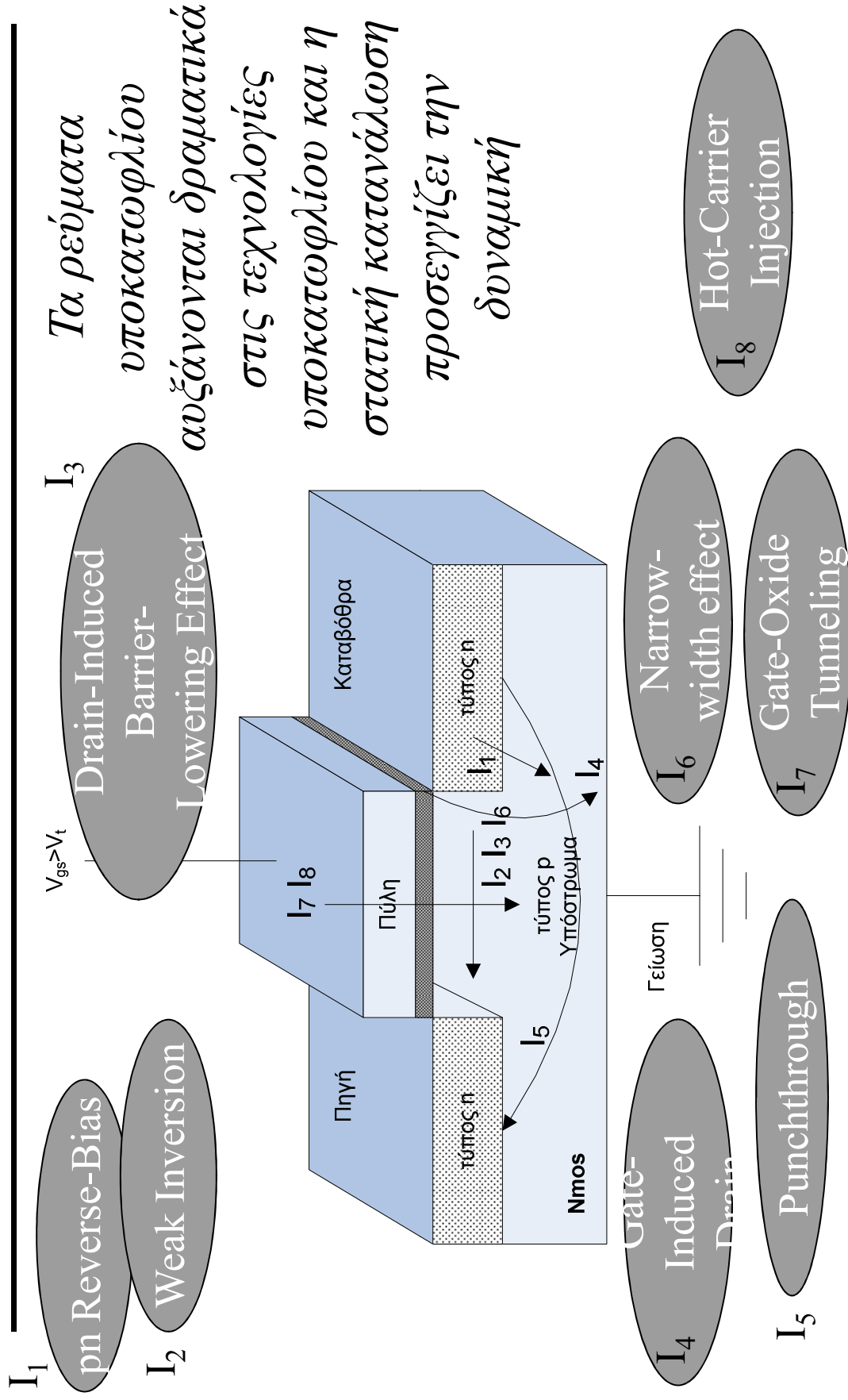


Για διατήρηση της απόδοσης μειώνονται και οι τάσεις κατωφλίου



Αυξάνονται τα ρεύματα υπο-κατωφλίου και άρα η στατική κατανάλωση

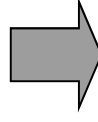
Στατική Κατανάλωση



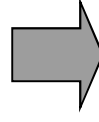
Τα ρεύματα υποκατωφλίου αυξάνονται δραματικά στις τεχνολογίες υποκατωφλίου και η στατική κατανάλωση προσεγγίζει την δυναμική

Σύνθεση για χαμηλή κατανάλωση

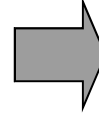
Αρχικά, στόχος της σύθεσης είναι ήταν η μείωση της επιφάνειας



Στην συνέχεια στόχος έγινε και η αύξηση της απόδοσης



Σήμερα, στις υπομικρονικές τεχνολογίες η επιφάνεια δεν αποτελεί πρόβλημα

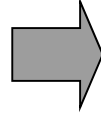


Αντίθετα η απόδοση και η χαμηλή κατανάλωση έχουν την μεγαλύτερη σημασία

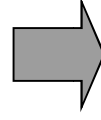


Σύνθεση για χαμηλή κατανάλωση

Λογικοί και Κυκλωματικοί μετασχηματισμοί μπορούν να μειώσουν την δυναμική κατανάλωση ενός κυκλώματος

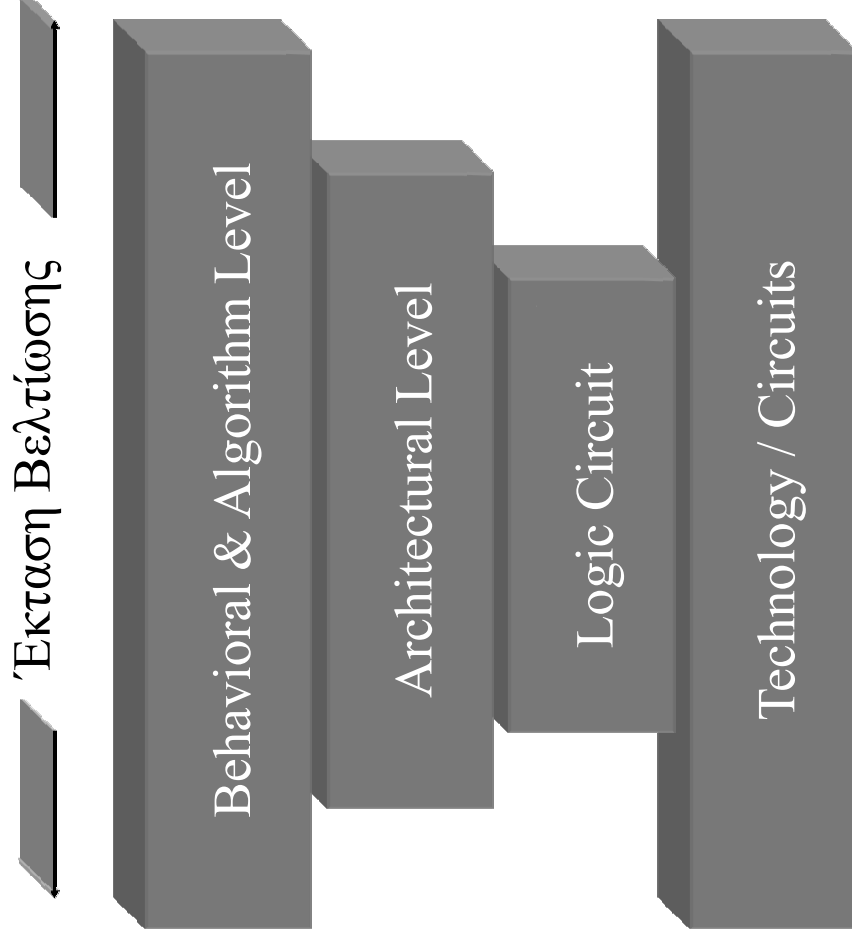


Στόχος: η μείωση της δραστηριότητας μεταβάσεων των κόμβων του κυκλώματος



Μέσο: η πιθανότητα μετάβασης κάθε σήματος του κυκλώματος που υπολογίζεται με αναλυτικές μεθόδους

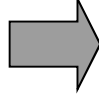
Μετασχηματισμοί σε επίπεδα αφαίρεσης



Όσο νωρίτερα γίνονται οι μετασχηματισμοί τόσο μεγαλύτερη είναι η βελτίωση

Επίπεδο Συμπεριφοράς

Στο επίπεδο συμπεριφοράς μπορούν να γίνουν οι πιο δραστικές επεμβάσεις για την μείωση της κατανάλωσης

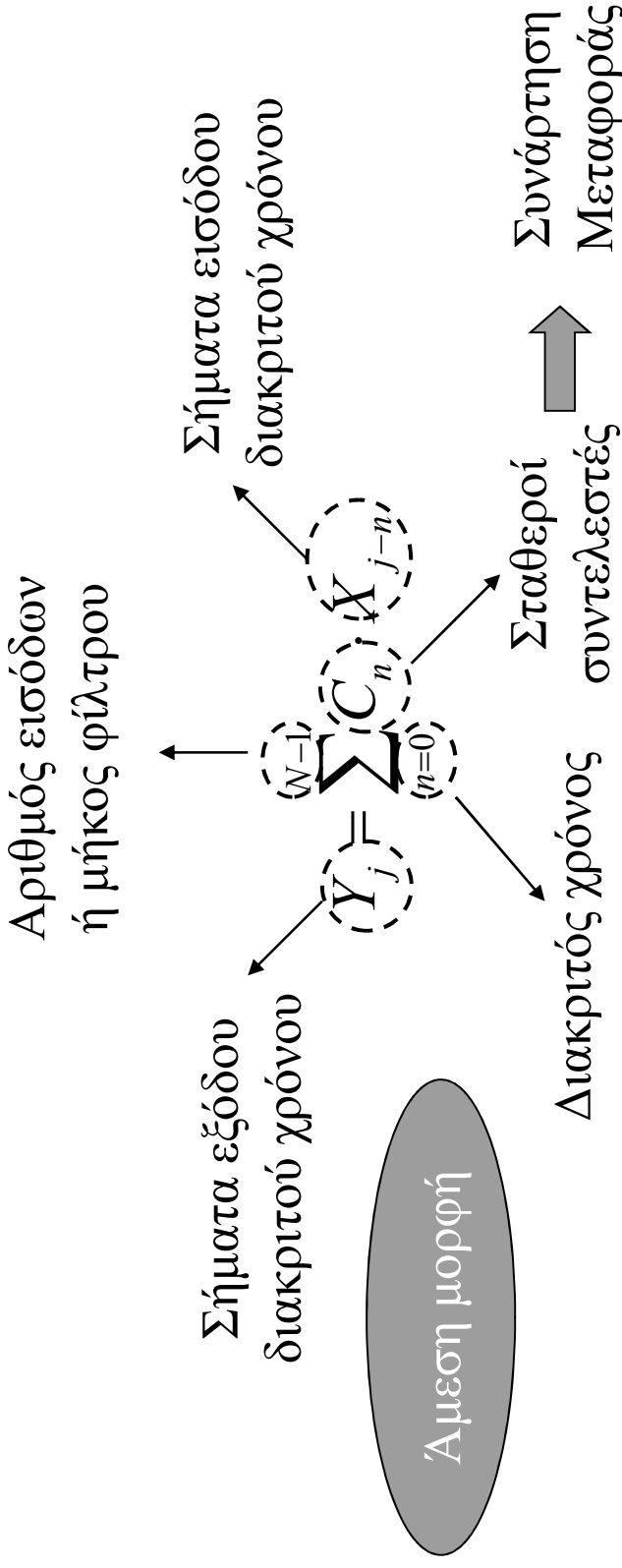


Σε αυτό το επίπεδο μπορεί να αλλάξει η περιγραφή συμπεριφοράς χωρίς να αλλάξει η λειτουργία του κυκλώματος
(με σημαντική βελτίωση της δραστηριότητας σημάτων)

Παράδειγμα:

Διαφορικοί Συντελεστές σε Finite Impulse Response Filters

FIR Filters



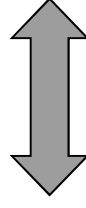
Differential Coefficient Method (DCM)

Μείωση πολυπλοκότητας πολλών/μικρών για μείωση κατανάλωσης ενέργειας

Για κάθε αποτέλεσμα απαιτούνται N πολλαπλασιασμοί και N-1 προσθέσεις

DCM Αλγόριθμοι

Απαιτούν μικρότερο
υπολογιστικό φόρτο σε σχέση
με την άμεση μορφή



Απαιτούν αποθηκευτικά
στοιχεία τα οποία
καταναλώνουν ενέργεια

$$Y_j = C_0 \cdot X_j + C_1 \cdot X_{j-1} + C_2 \cdot X_{j-2} + \dots + C_{N-1} \cdot X_{j-N+1}$$

$$\left\langle Y_{j+1} = C_0 \cdot X_{j+1} + C_1 \cdot X_j + C_2 \cdot X_{j-1} + \dots + C_{N-1} \cdot X_{j-N+2} \right\rangle$$

$$Y_{j+2} = C_0 \cdot X_{j+2} + C_1 \cdot X_{j+1} + C_2 \cdot X_j + \dots + C_{N-1} \cdot X_{j-N+3}$$

Οι πράξεις είναι μικρότερες

$$Y_j = C_0 \cdot X_j + C_1 \cdot X_{j-1} + \dots + C_{N-1} \cdot X_{j-N+1}$$

$$Y_{j+1} = C_0 \cdot X_{j+1} + (C_1 - C_0) \cdot X_j + (C_2 - C_1) \cdot X_{j-1} + \dots + (C_{N-1} - C_{N-2}) \cdot X_{j-N+2} +$$

$$\left\langle + C_0 \cdot X_j + C_1 \cdot X_{j-1} + \dots + C_{N-2} \cdot X_{j-N+2} \right\rangle \longrightarrow \text{Έχουν υπολογιστεί τον προηγούμενο κύκλο}$$

DCM Αλγόριθμοι

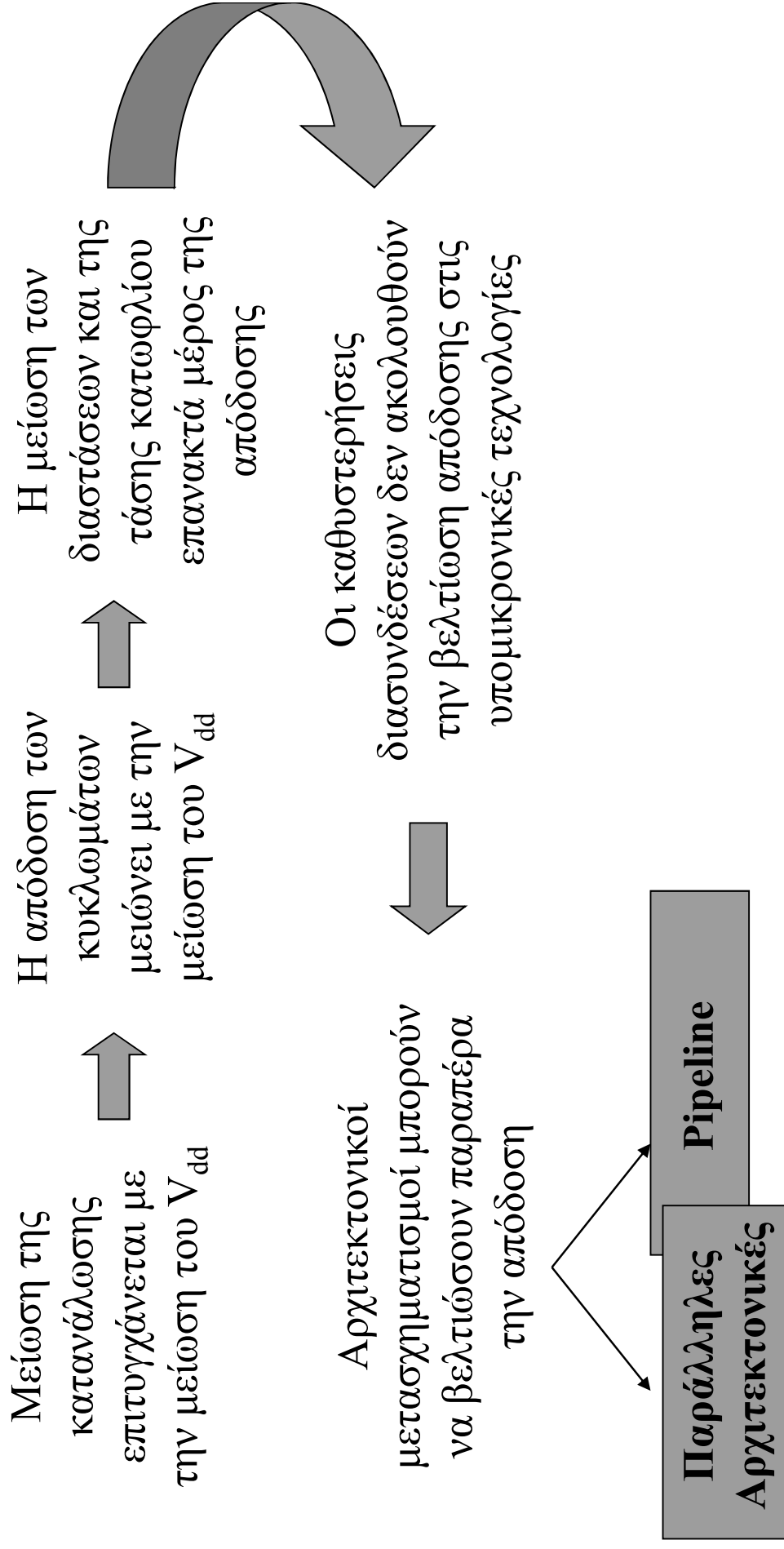
$$C_k \cdot X_{j-k+1} = C_{k-1} \cdot X_{j-k+1} + (C_k - C_{k-1}) \cdot X_{j-k+1}$$

Απαιτούν αποθήκευση σε κάθε κύκλο

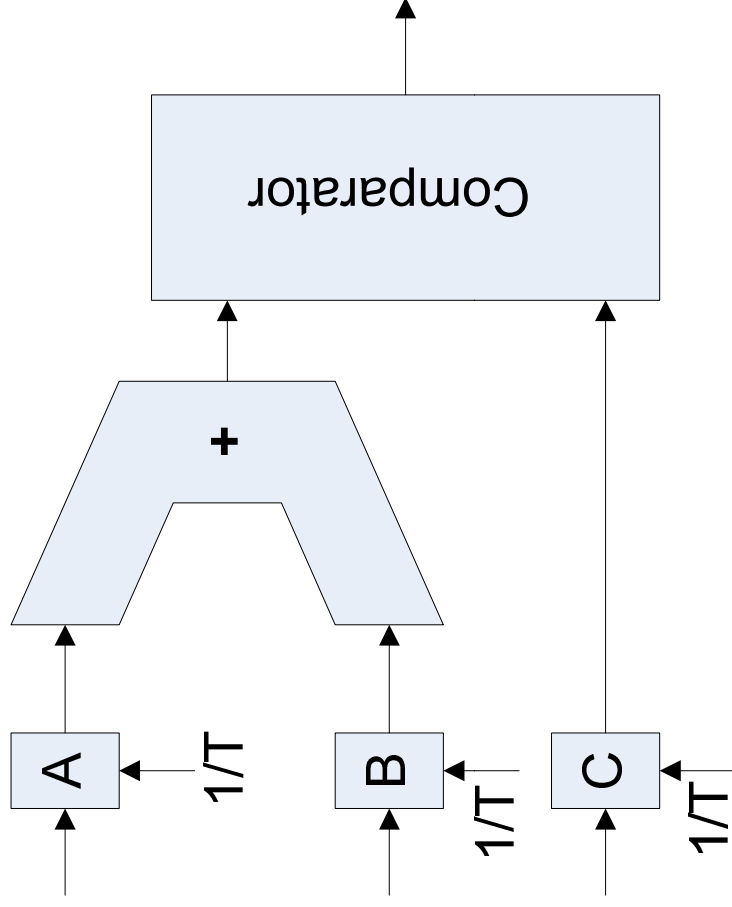
Μπορούν να μειώσουν το κόστος του πολλαπλασιασμού και άρα επιφάνεια ή/και κατανάλωση

Το όφελος αυτής της μετατροπής στο επίπεδο συμπεριφοράς είναι συνήθως μεγαλύτερο από κάθε βελτιστοποίηση σε επόμενο επίπεδο

Architecture-Driven Voltage Scaling



Παράδειγμα παραλληλοποίησης



$$P = C \cdot V_{dd}^2 \cdot f$$



Έστω μείωση της τάσης
τροφοδοσίας κατά 40%

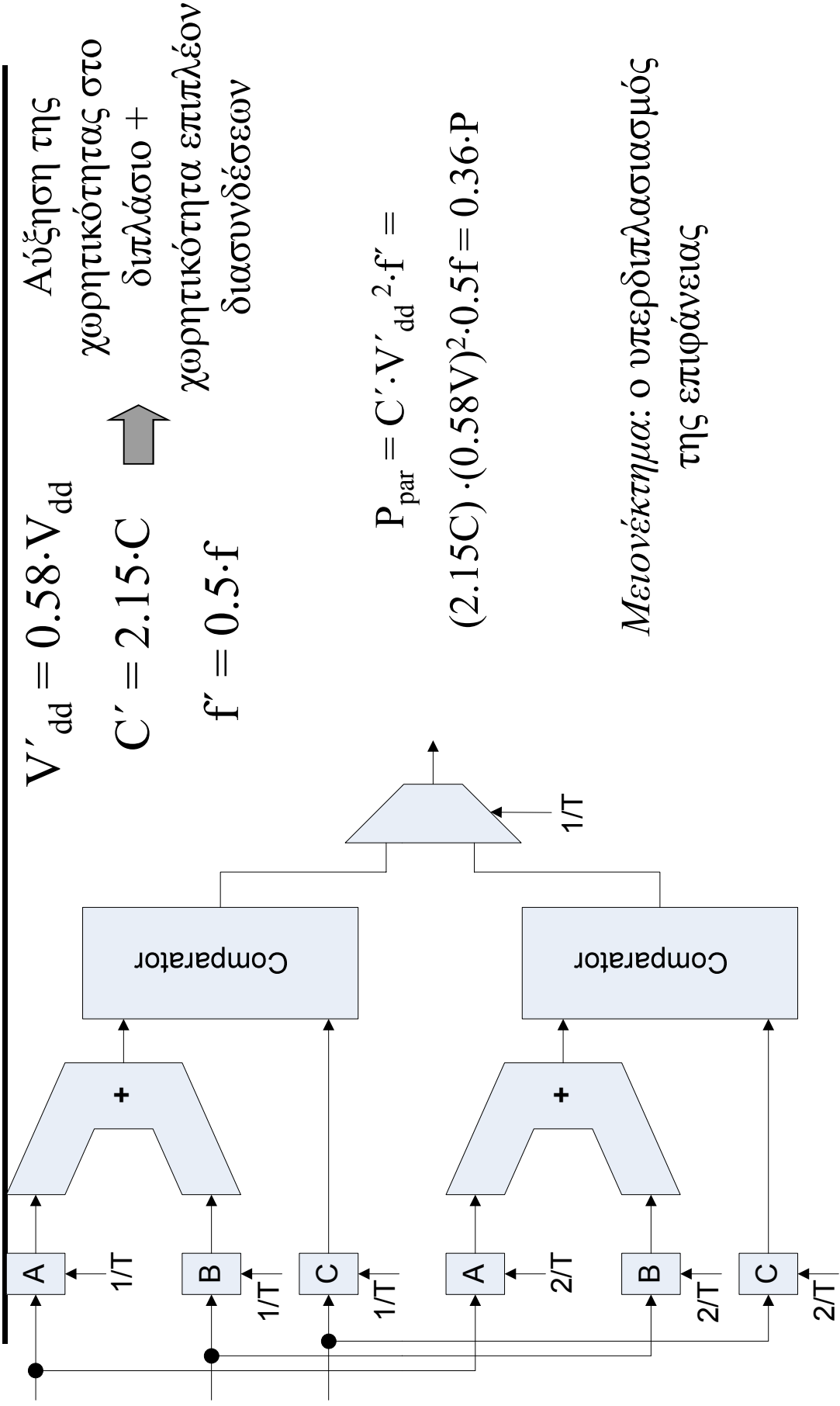


Η ταχύτητα μειώνεται κατά 50%

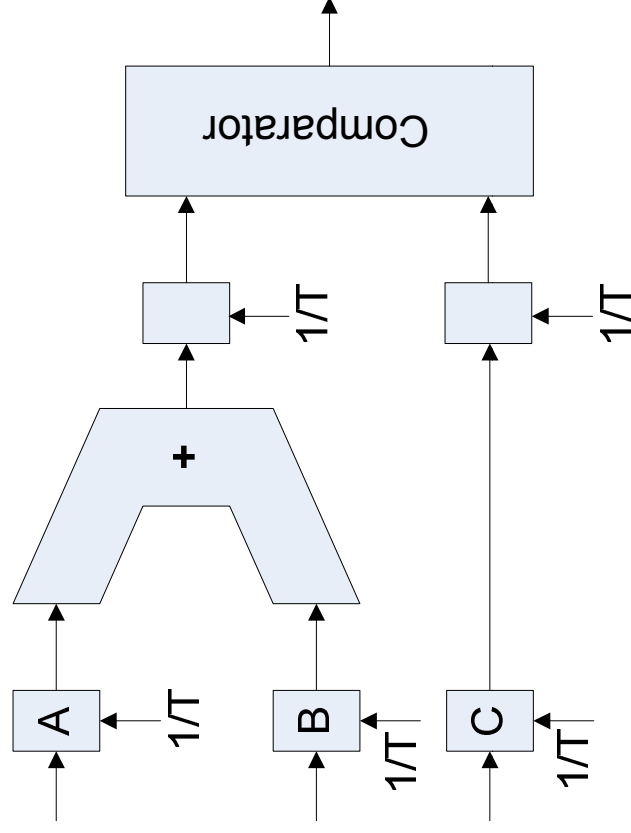


Για διατήρηση της απόδοσης
απαιτείται η παράλληλη χρήση
δύο δομών

Παράδειγμα παραλληλοποίησης



Παράδειγμα παραλληλοποίησης



Το κρίσιμο μονοπάτι μειώνεται στο μέγιστο μεταξύ του συγκριτή και του αθροιστή αντί του αθροίσματος τους



Έστω $T_{\text{adder}} = T_{\text{compare}}$ τότε η ταχύτητα διπλασιάζεται



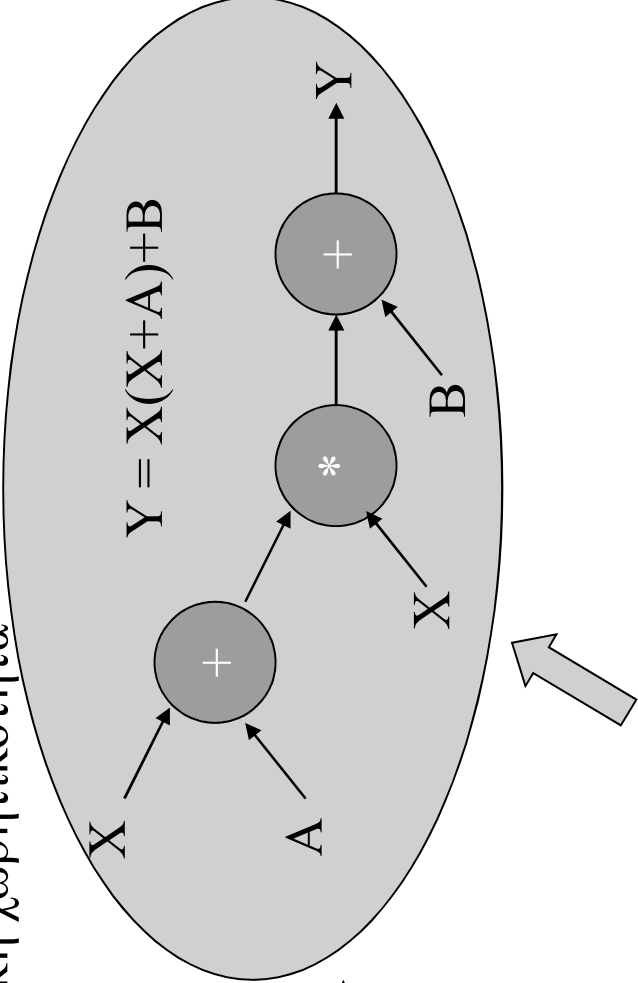
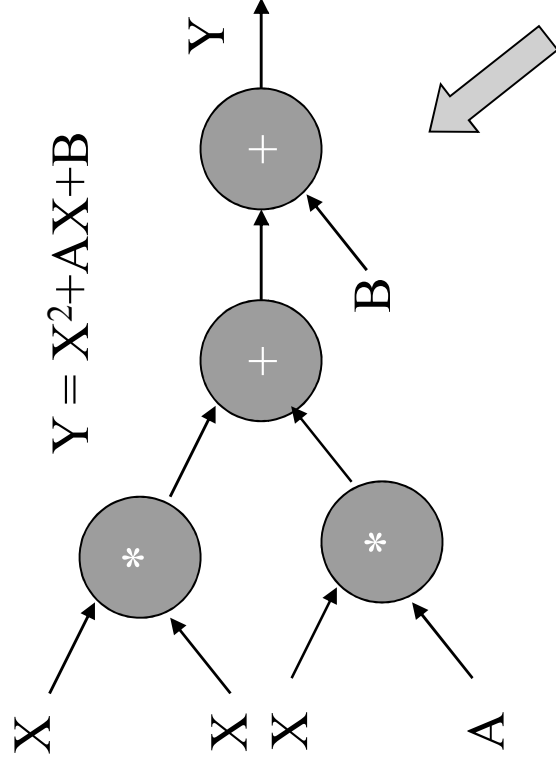
Έστω για διπλάσια ταχύτητα ότι η τάση τροφοδοσίας μειώνεται από 5 σε 2.9V και η χωρητικότητα αυξάνει κατά 15% λόγω των επιπλέον καταχωρητών

$$P_{\text{par}} = (1.15C) \cdot (0.58V)^2 \cdot f = 0.39 \cdot P$$

Επιπλέον λόγω μείωσης βάθους μειώνονται και τα glitches

Μείωση τελεστών

Η μείωση των λειτουργιών οδηγεί σε μείωση κατανάλωσης αφού μειώνει την συνολική χωρητικότητα



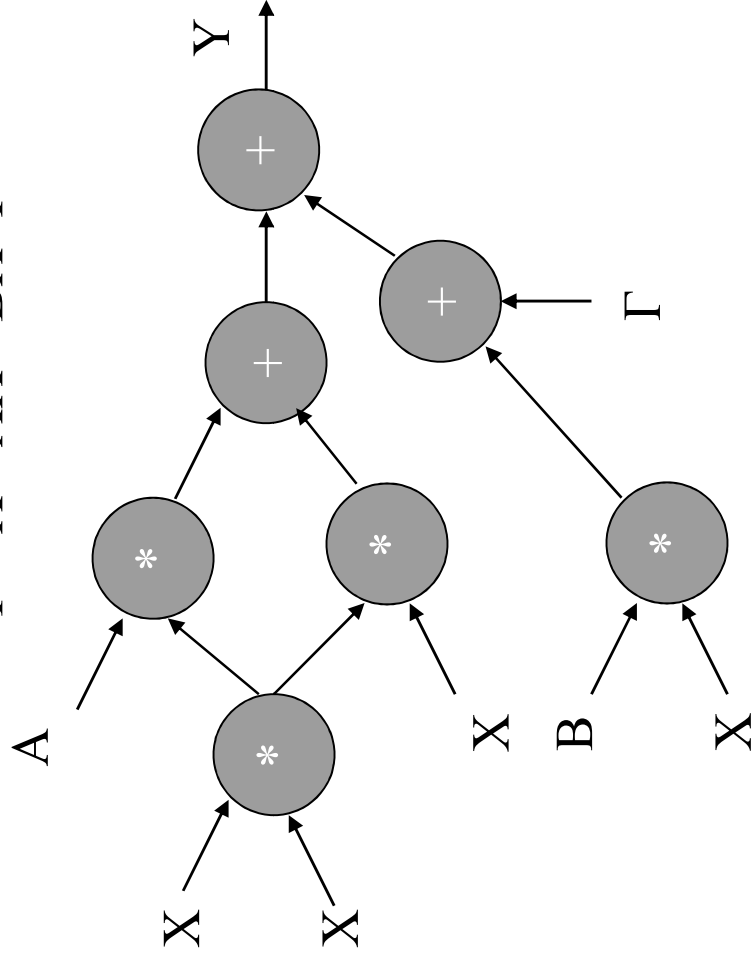
Έχουν ίδιο μήκος κρίσιμου μονοπατιού

Το δεξιό δέντρο έχει έναν πολλαπλασιασμό λιγότερο

Μείωση τελεστών

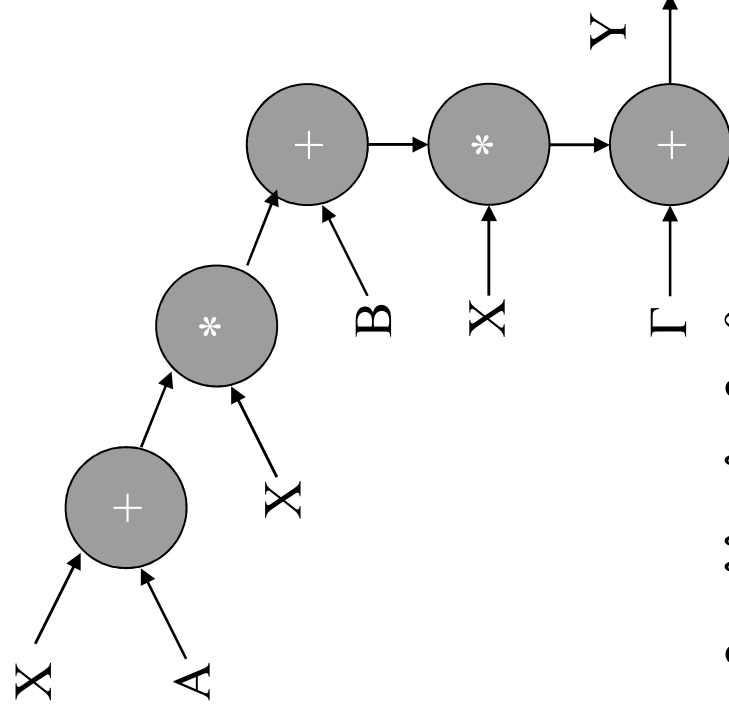
Σε πολλές περιπτώσεις το κρίσιμο μονοπάτι μεγαλώνει

$$Y = X^3 + AX^2 + BX + \Gamma$$



4 πολλαπλα., 3 αθροισ.

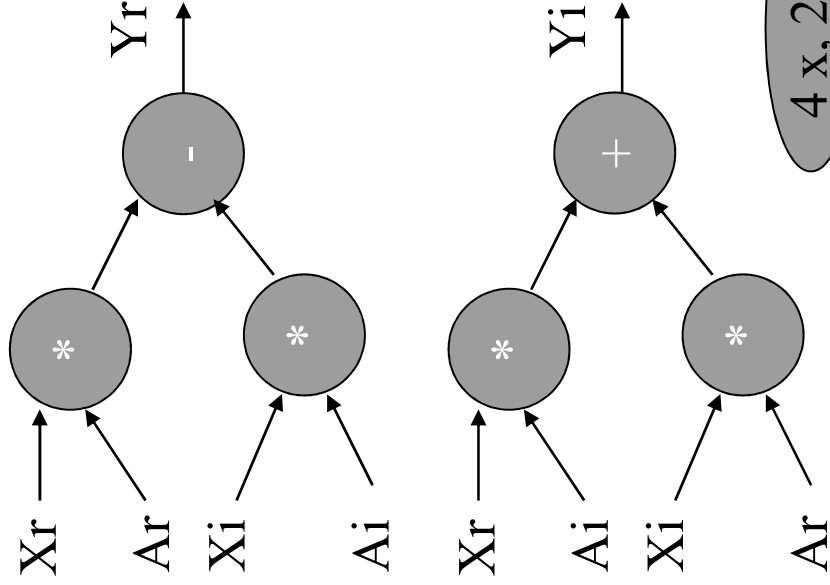
$$Y = (X+A)X+B)X+\Gamma$$



2 πολλαπλα., 3 αθροισ.

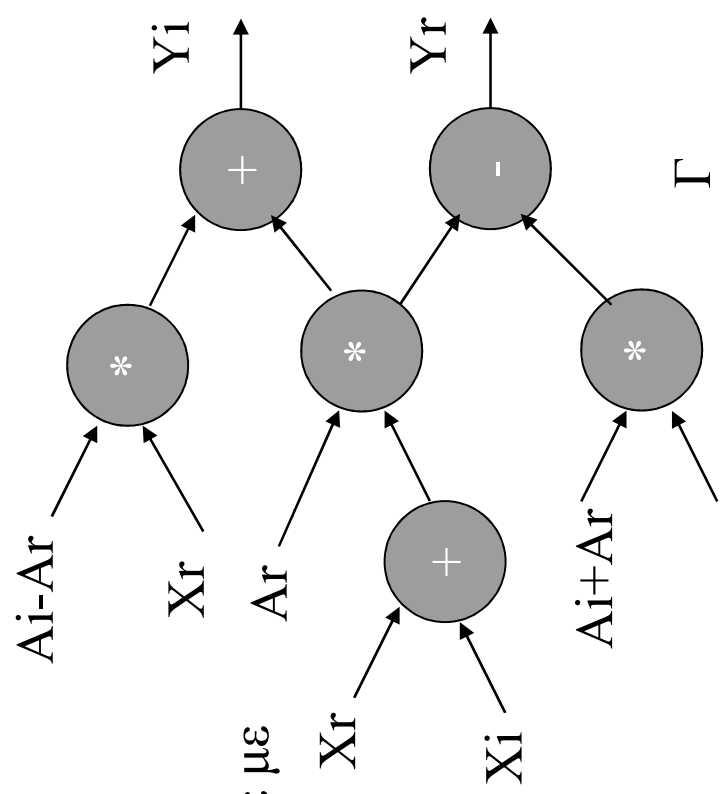
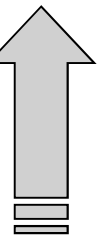
Αλλαγή τελεστών

Κάποιες λειτουργίες έχουν μεγαλύτερη κατανάλωση από άλλες. Πχ. η πρόσθεση είναι πιο φθηνή από τον πολλαπλασιασμό σε επιφάνεια και κατανάλωση



4 x, 2 +/-

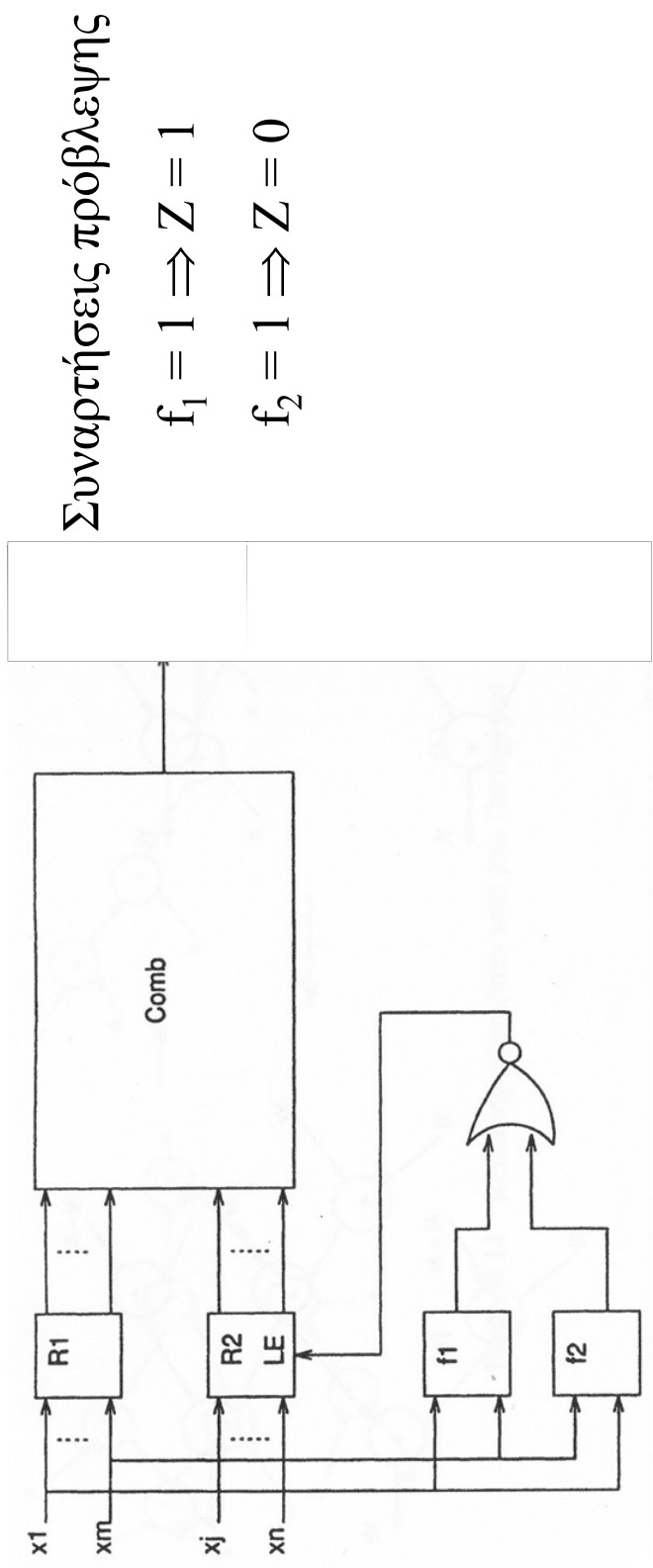
Ο πολλαπλ. αντικαταστάθηκε με πρόσθεση



3 x, 3 +/-

Precomputation-based Optimization

Ο φθηνός υπολογισμός τιμών περιπτώσεων εισόδων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απενεργοποίηση του κυκλώματος και την μείωση των μεταβάσεων υπολογισμού



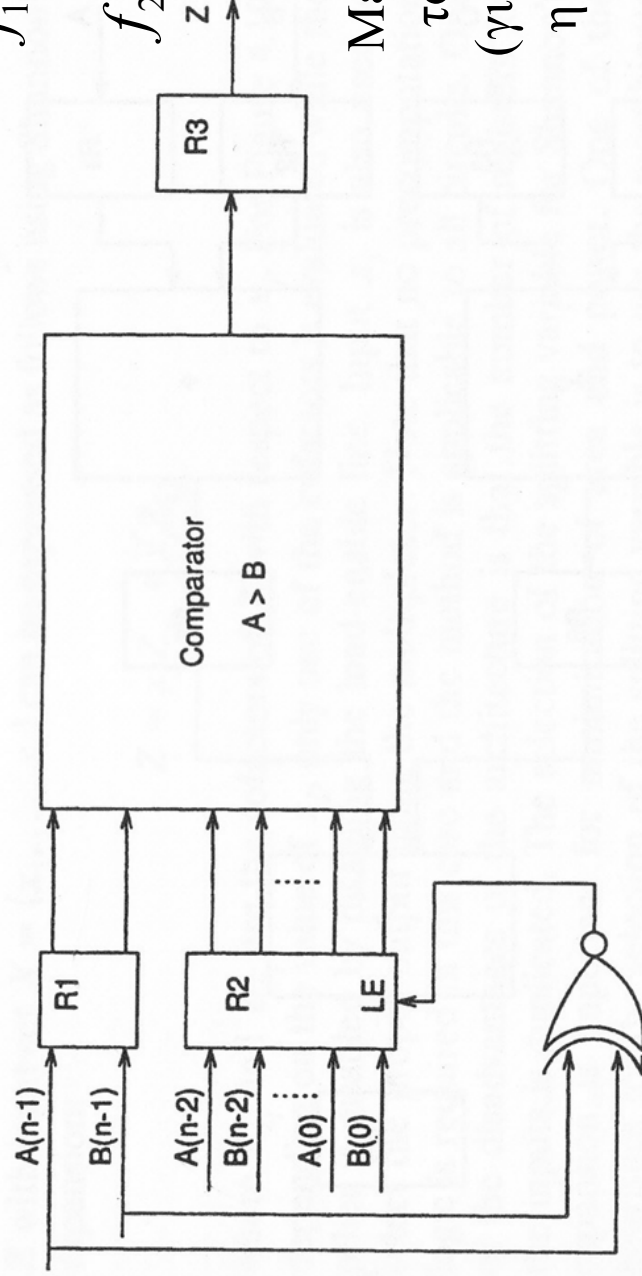
Συγκριτής n-bit

Όταν τα πιο σημαντικά δυαδικά ψηφία διαφέρουν η έξοδος υπολογίζεται ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα δυαδικά ψηφία

Συναρτήσεις
πρόβλεψης:

$$f_1 = A_{n-1} B_{n-1} C_{n-1} D_{n-1}$$

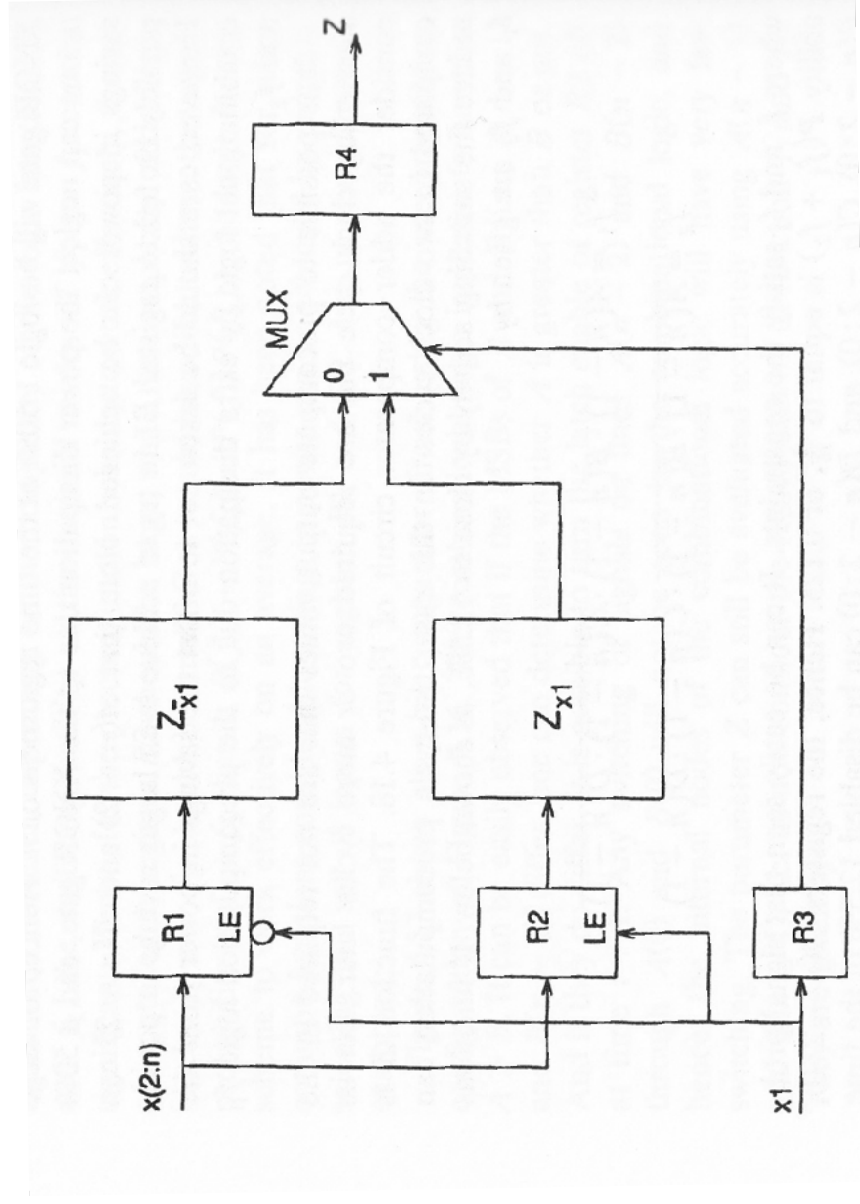
$$f_2 = \overline{A_{n-1} B_{n-1} C_{n-1} D_{n-1}}$$



Μειώνουν τις μεταβάσεις του συγκριτή δραστικά (για 50% πιθ. εισόδου = 1 η μείωση κατανάλωσης είναι 50%)

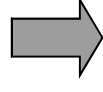
Shannon Expansion

Μπορεί να εφαρμοστεί αναδρομικά



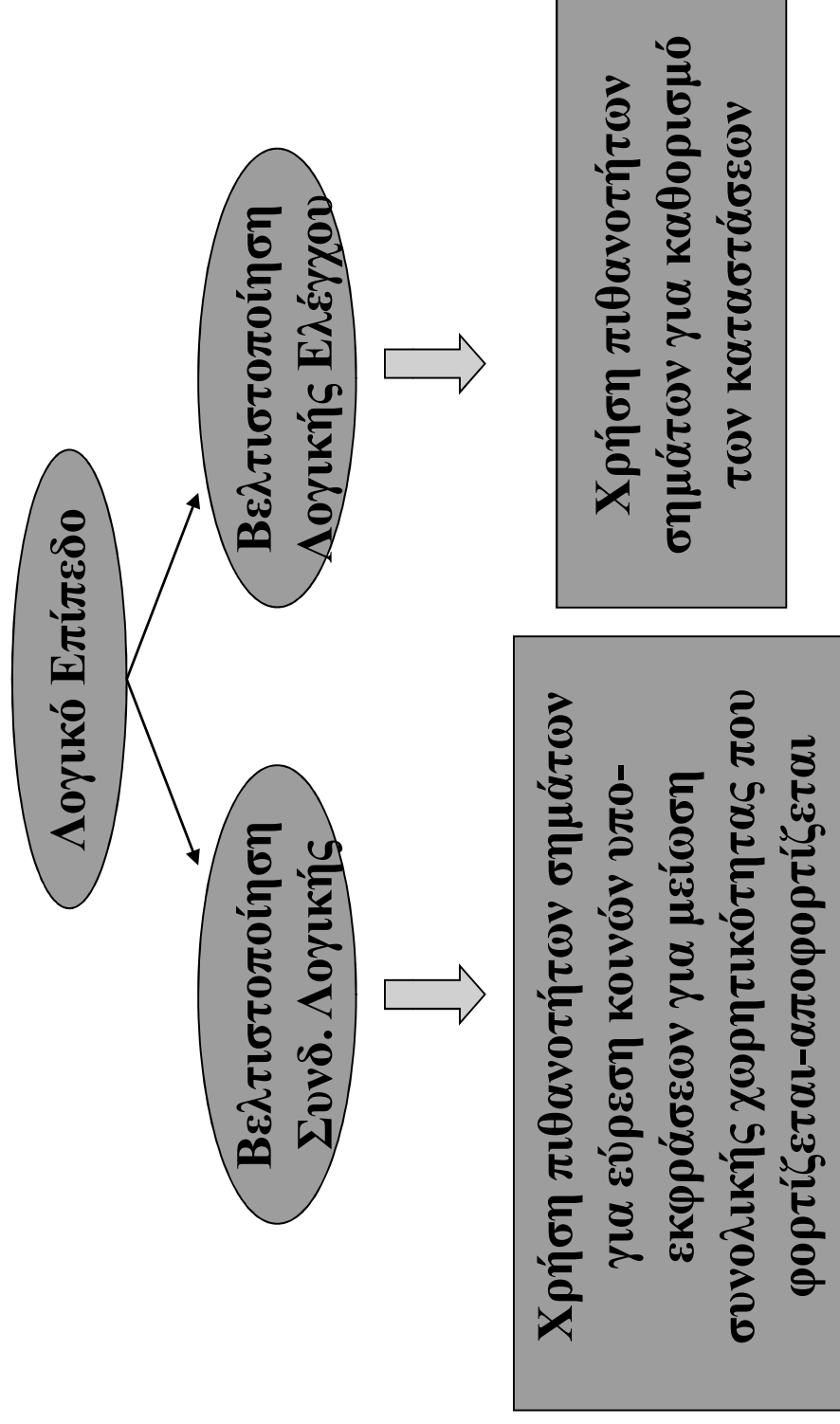
Για σύνολο εισόδων $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$

$$Z = x_j Z_{x_j} + \bar{x}_j Z_{\bar{x}_j}$$

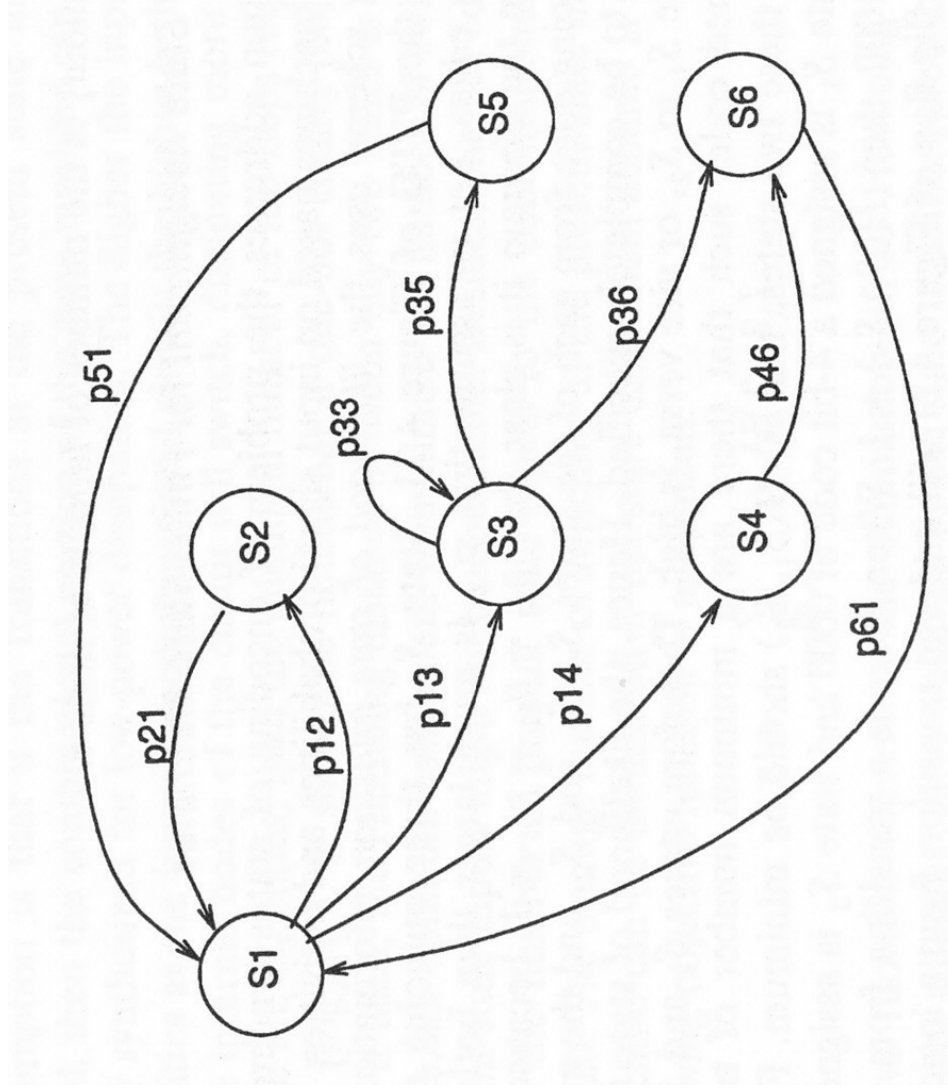


Ανάλογα με την τιμή του x_j μόνο ο ένας παράγοντας υπολογίζεται και η κατανάλωση μειώνεται

Βελτιστοποίηση Λογικού Επιπέδου



Finite State Machines



$$\sum_m P_{jm} = 1$$

$$P_{12} + P_{13} + P_{14} = 1$$

Απόσταση Hamming:

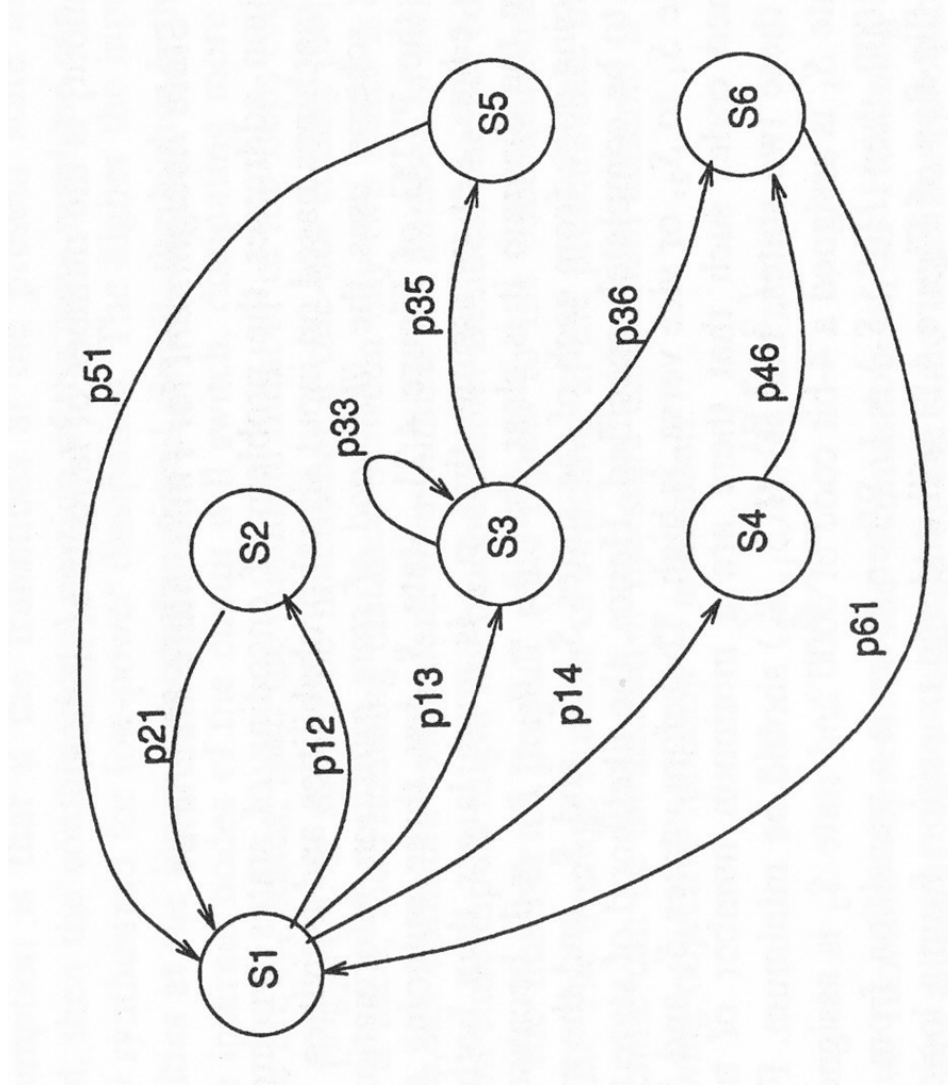
$$H(S_i, S_j) = F(S_i \oplus S_j)$$

Κατανάλωση ισχύος:

$$Power_{avg} = \frac{1}{2} V_{dd}^2 \sum_i C_i D(i)$$

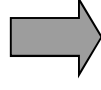
Αριθμός μεταβάσεων στον κόμβο i

Finite State Machines

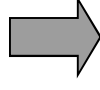


Προφανώς $p_{51} = p_{61} = p_{21} = 1$

Έστω $p_{12} \gg p_{13}, p_{12} \gg p_{14}$



Η πιθανότητα μετάβασης από την S_1 στην S_2 και αντίστροφα είναι μεγάλη



Η απόσταση Hamming των S_1, S_2 πρέπει να είναι ελάχιστη για ελαχιστοποίηση μεταβάσεων

Finite State Machines

Παράδειγμα:

a) $S_1=0000, S_2=1000 \Rightarrow H(S_1, S_2) = 1$

b) $S_1=0000, S_2=1111 \Rightarrow H(S_1, S_2) = 4$

Στην περίπτωση (α) μόνο ένα flip flop θα μεταβληθεί και θα ελαχιστοποιηθεί το πλήθος των μεταβάσεων που θα διαδοθεί στο κύκλωμα

Μοντελοποίηση Προβλήματος:

$$P_{ij} = P(S_i \rightarrow S_j), L_{ij} = \{\text{τιμές εισόδων } x_{ij}\}$$

$$P_x \text{ εαν } x=1$$

$$W_x = \begin{cases} 1-P_x & \text{εαν } x=0 \\ 1 & \text{εαν } x = \text{αδιάφορη} \end{cases}$$

$$P_{ij} = \prod_{x \in L_{ij}} W_x$$

Objective function

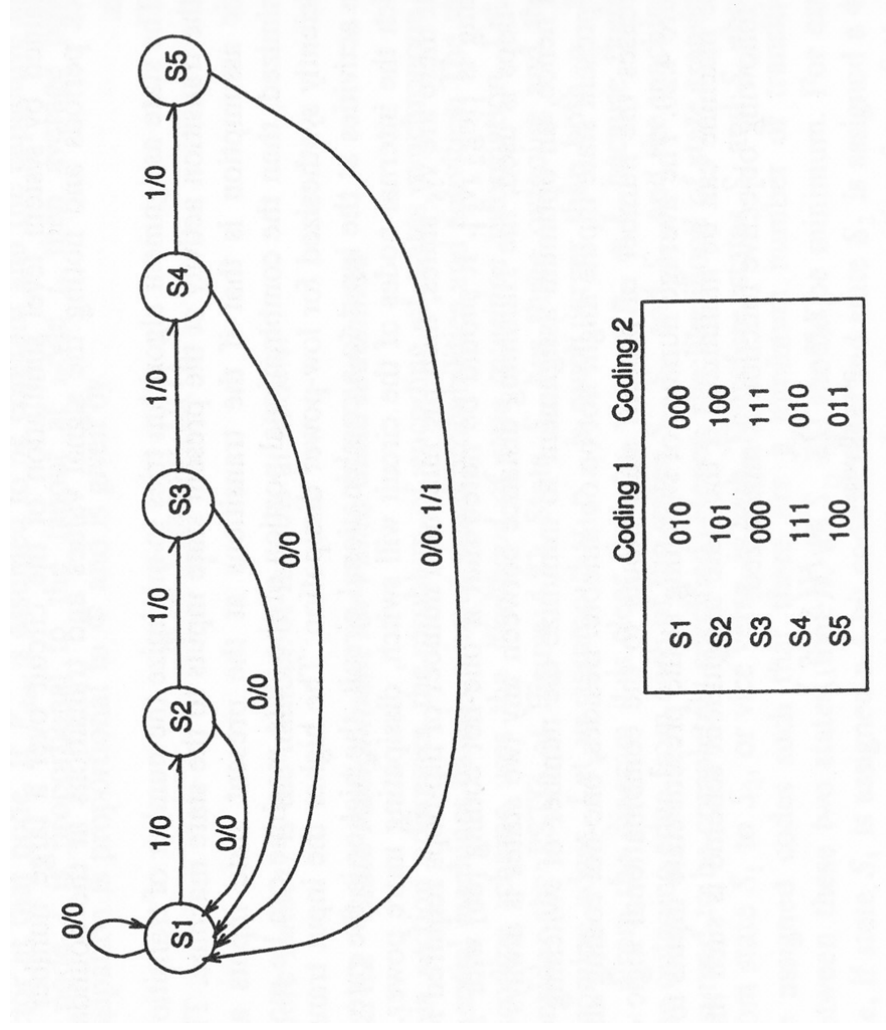
Ελαχιστοποίηση γ με

$$\gamma = \sum_{\text{over all edges}} P_{ij} H(S_i, S_j)$$

Πχ. Simulated Annealing

FSM: an example

Έστω FSM που αναγνωρίζει πέντε διαδοχικούς άσσους οι οποίοι έρχονται με πιθανότητα $\frac{1}{2}$ ο κάθε ένας



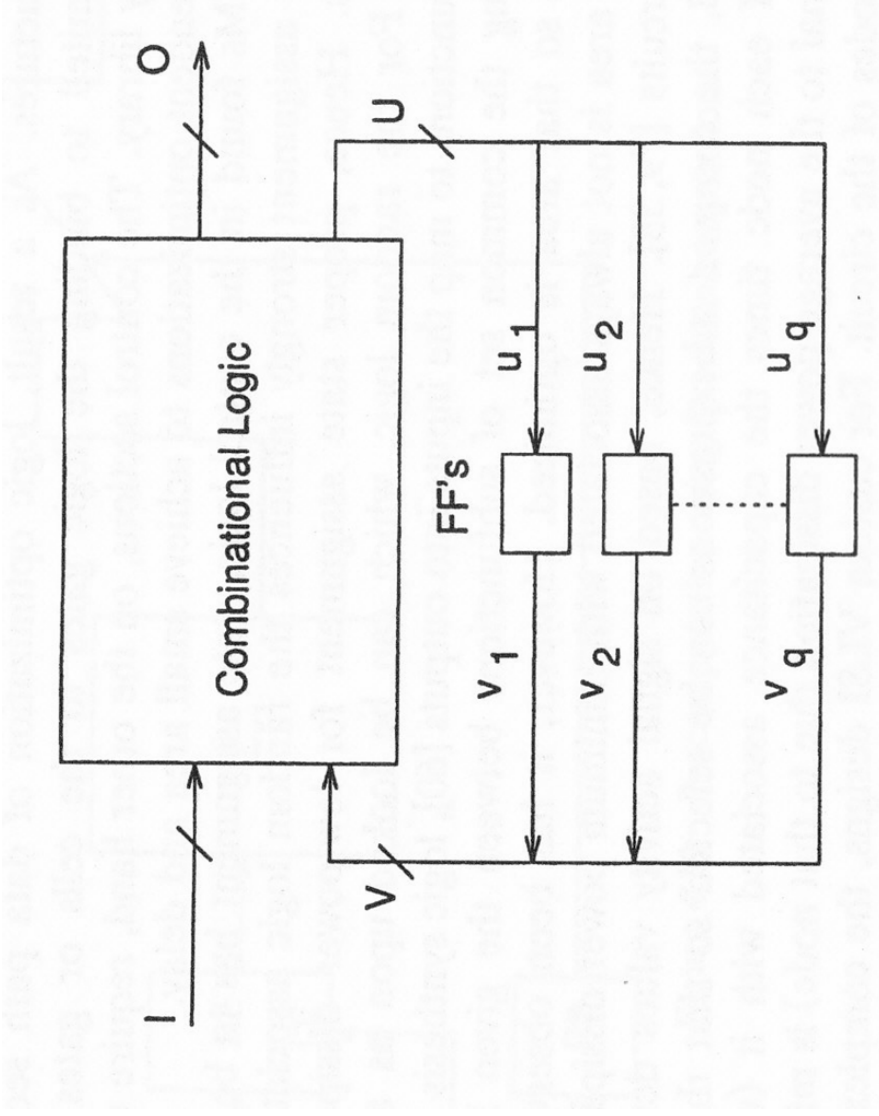
Coding 1: $\gamma = 10$

Coding 2: $\gamma = 5.5$

Το Coding 2 δίνει 15% λιγότερη κατανάλωση από το 1°.

Signal Probabilities at State Inputs

Οι Signal Probabilities των εισόδων ενός κυκλώματος δίνονται και των καταστάσεων του υπολογίζονται αναλυτικά ή με εξομοίωση



Αναπαράσταση πολλαπλών επιπέδων

Στην ελαχιστοποίηση πολλαπλών επιπέδων χρησιμοποιούνται Boolean

Networks:

1. Κάθε κόμβος αντιστοιχεί σε μεταβλητή
2. Κάθε κόμβος εμπεριέχει μία συνάρτηση
3. Υπάρχει κατευθυνόμενη σύνδεση από τον κόμβο f στον g εαν η συνάρτηση του g περιέχει την μεταβλητή που αντιστοιχεί στον κόμβο f

Οι διαδικασίες της παραγοντοποίησης και αντικατάστασης (factoring – substitution) που χρησιμοποιούνται για βελτιστοποίηση επιφάνειας – απόδοσης προσαρμόζονται για τον στόχο της κατανάλωσης

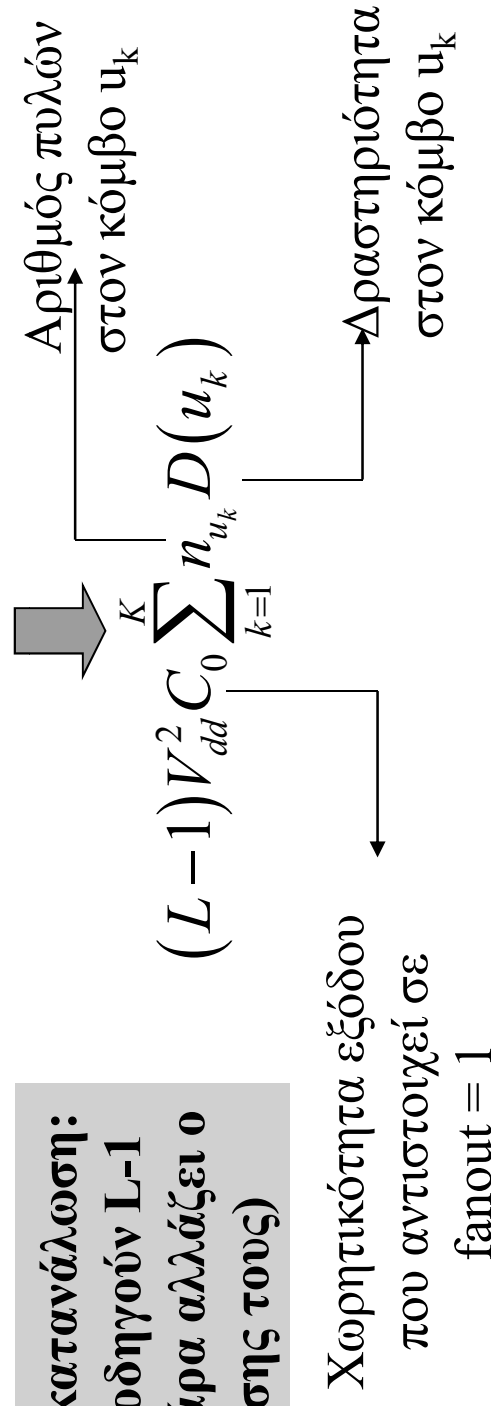
Αναπαράσταση πολλαπλών επιπέδων

Έστω $g = g(u_1, u_2, \dots, u_k)$ ($k \geq 1$) μία κοινή υποέκφραση των f_1, f_2, \dots, f_L ($L \geq 2$)

Έστω v_1, v_2, \dots, v_M οι εσωτερικοί κόμβοι της g .

Όταν παραγοντοποιείται η g από τις f_1, f_2, \dots, f_L , τα *signal probabilities* και τα *signal activities* δεν αλλάζουν αλλά αλλάζουν οι χωρητικότητες των εξόδων των οδηγών κόμβων των u_1, u_2, \dots, u_k που οδηγούν $L-1$ λιγότερες κόμβους από πριν

**Α΄ Μείωση στην κατανάλωση:
οι οδηγοί των u_i οδηγούν $L-1$
λιγότερες πύλες (άρα αλλάζει ο
φόρτος οδήγησης τους)**

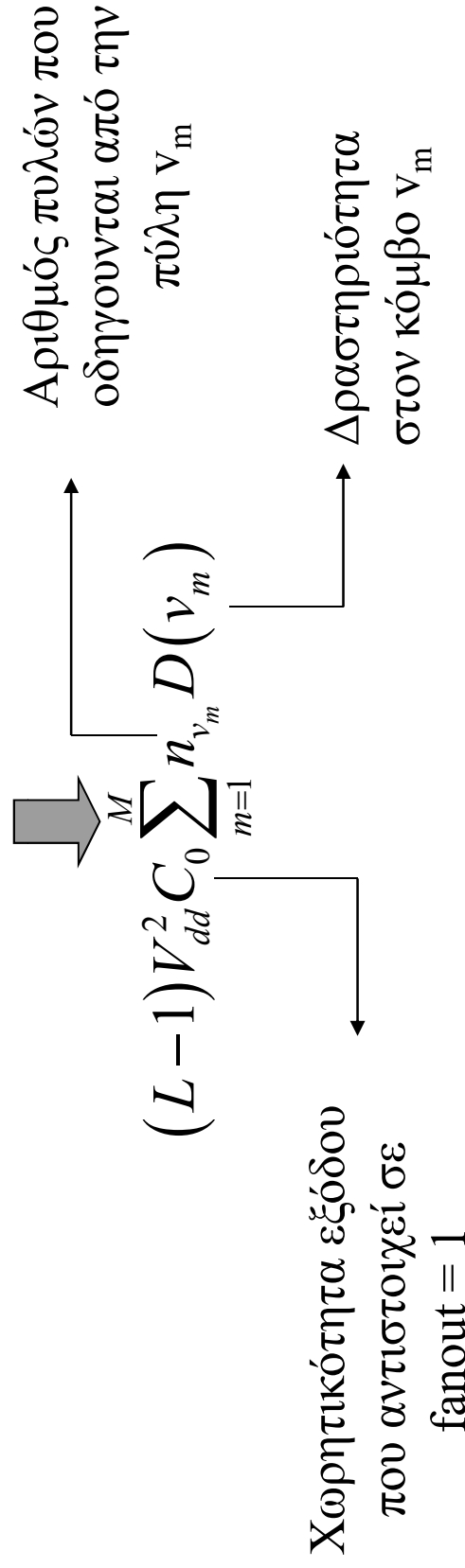


Αναπαράσταση πολλαπλών επιπέδων

Οι πύλες που αντιστοιχούν στην υπο-έκφραση g οδηγούν τόσους κόμβους όσους και οι υποεκφράσεις που υπήρχαν μη παραγοντοποιημένες (δεν αλλάζει η κατανάλωση σε αυτή την διάσταση)

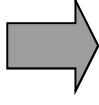
Β' Μείωση στην κατανάλωση: $L-1$ λιγότερες πύλες έχουν δραστηριότητα

$L-1$ λιγότερα αντίγραφα των πυλών V_1, V_2, \dots, V_M

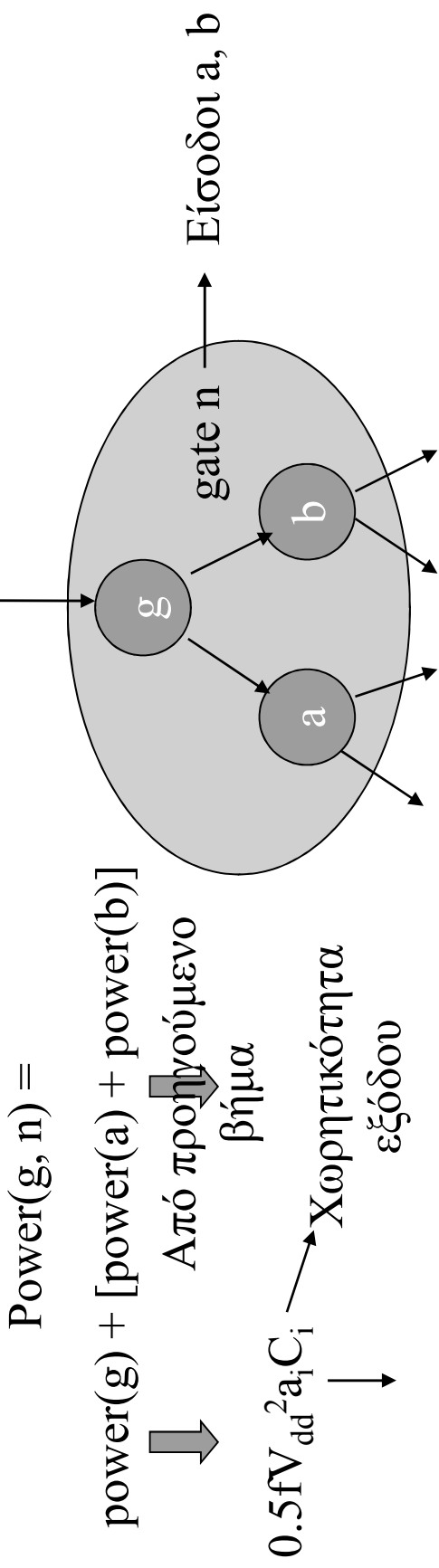


Technology Mapping

Εύρεση αντιστοίχισης πυλών στους κόμβους του Boolean Network που ελαχιστοποιεί την κατανάλωση



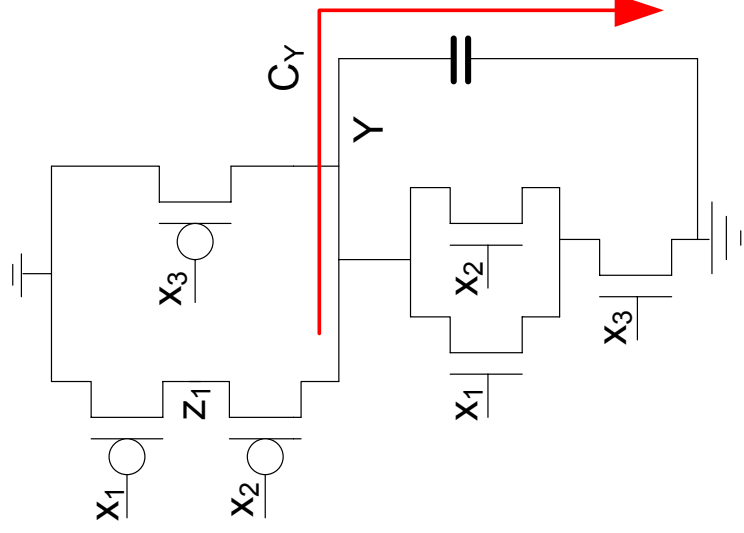
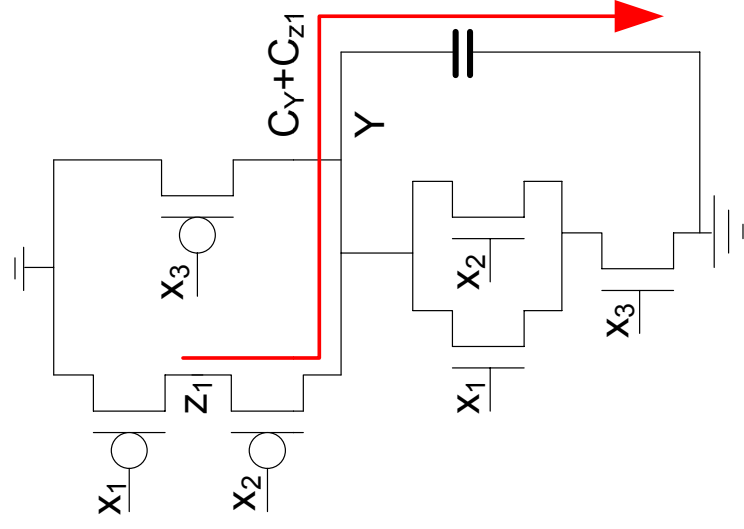
Ο δυναμικός προγραμματισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιστοίχιση



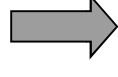
Δραστηριότητα στον κόμβο

Κατανάλωση CMOS πυλών

Διαφορετικοί συνδυασμοί εισόδων προκαλούν το ίδιο αποτέλεσμα αλλά έχουν διαφορετική κατανάλωση



Η χωρητικότητα που αποφορτίζεται διαφέρει σημαντικά



Αναδιάταξη εισόδων με βάση την πιθανότητα μετάβασης για μείωση κατανάλωσης

Καθορισμός μεγέθους τρανζίστορ

Το μέγεθος των τρανζίστορ επηρεάζει την κατανάλωση και την ταχύτητα.

Μεγάλα τρανζίστορ έχουν μεγάλη ταχύτητα και μικρό χρόνο μετάβασης



Το ρεύμα βραχυκυκλώματος κατά την μετάβαση μειώνει και άρα και το αντίστοιχο ποσό δυναμικής κατανάλωσης

Οι χωρητικότητες αυξάνουν και άρα το αντίστοιχο ποσό της δυναμικής κατανάλωσης αυξάνει.



Για την επιλογή των μεγεθών αναλύονται tradeoff και χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι βελτιστοποίησης