

HY330 – Ψηφιακά Κυκλώματα - Εισαγωγή στα Συστήματα VLSI

Διδάσκων: Χ. Σωτηρίου, Βοηθοί: θα ανακοινωθούν

<http://inf-server.inf.uth.gr/courses/CE330>

I

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια
Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Περιεχόμενα

- ▶ Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας
 - ▶ Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- ▶ Αφαίρεση: πότε ισχύει και πότε όχι
- ▶ Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- ▶ Κόστος Παραγωγής
- ▶ Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - ▶ Περιθώρια Θορύβου
- ▶ Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού
- ▶ Fan-in και Fan-out
- ▶ Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- ▶ Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- ▶ Καθυστερήση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- ▶ Κατανάλωση Ενέργειας

▶ 2

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων 10/6/2014

Περιεχόμενα

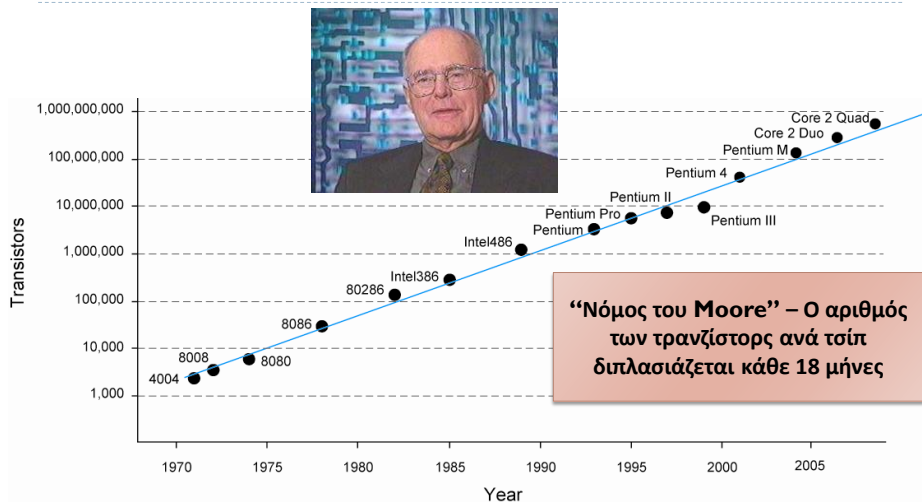
- ▶ **Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας**
 - ▶ Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- ▶ Αφαίρεση: πότε ισχύει και πότε όχι
- ▶ Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- ▶ Κόστος Παραγωγής
- ▶ Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - ▶ Περιθώρια Θορύβου
- ▶ Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού
- ▶ Fan-in και Fan-out
- ▶ Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- ▶ Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- ▶ Καθυστερήση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- ▶ Κατανάλωση Ενέργειας

▶ 3

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Νόμος του Moore



▶ 4

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Νόμος του Moore

- ▶ Η ανάγκη για κλιμάκωση των διαστάσεων, δηλ. μικρότερα μεγέθη πηγάζει από τις εξής απαιτήσεις:
 1. Μικρότερη κατανάλωση ενέργειας
 2. Γρηγορότερη ταχύτητα
 3. Μεγαλύτερη χωρητικότητα συσκευών για νέα Προϊόντα
 4. Καλύτερο ωφέλιμο
 5. Χαμηλότερη τιμή στην παραγωγή

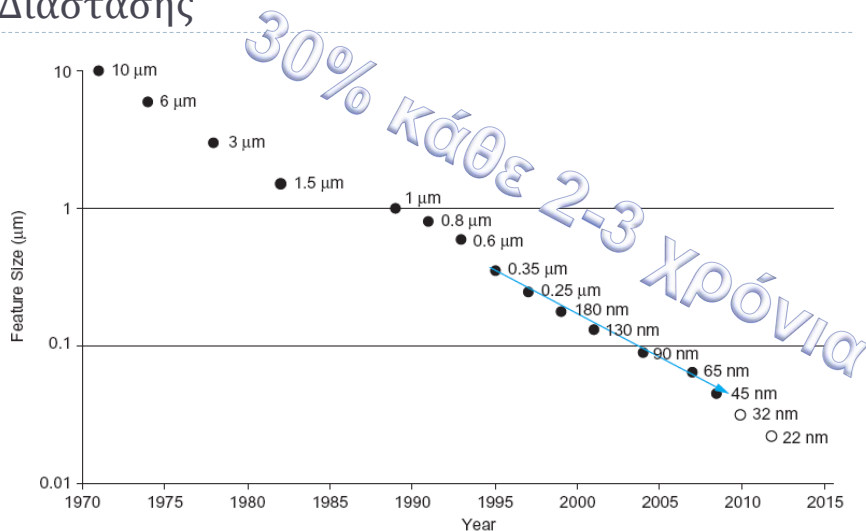
ΕΠΙΠΕΔΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ

SSI (Small Scale Integration)	10 πύλες
MSI (Medium Scale Integration)	100 πύλες
LSI (Large Scale Integration)	10.000 πύλες
VLSI (Very Large Scale Integration)	>10.000 πύλες

▶ 5

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

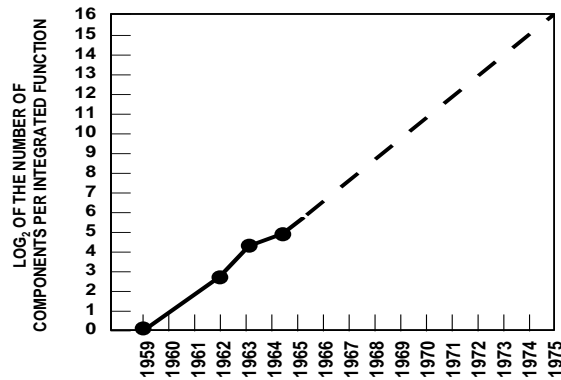
Νόμος Moore – Μείωση Ελάχιστης Διάστασης



▶ 6

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Νόμος Moore

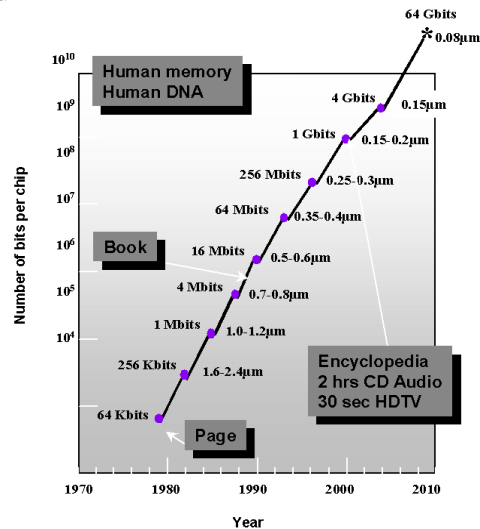


Electronics, April 19, 1965.

► 7

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

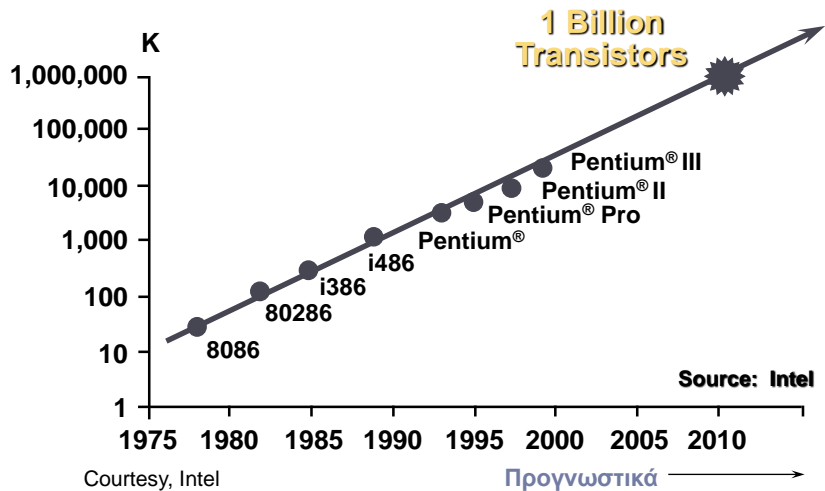
Άυξηση Πολυπλοκότητας



► 8

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

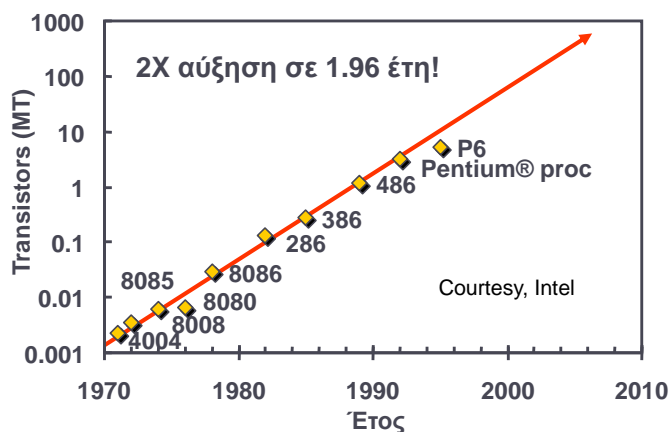
Πλήθος Τρανζίστορ



► 9

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Νόμος Moore σε Επεξεργαστές

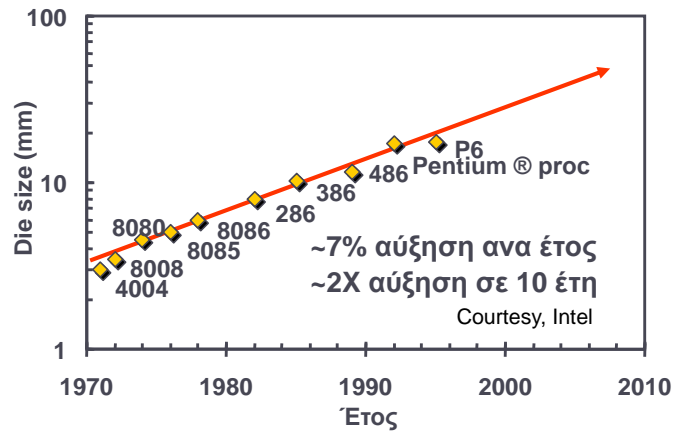


Το πλήθος Τρανζίστορ σε επεξεργαστές αιχμής διπλασιάζεται κάθε 2 χρόνια

► 10

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Μέγεθος Ολοκληρωμένου

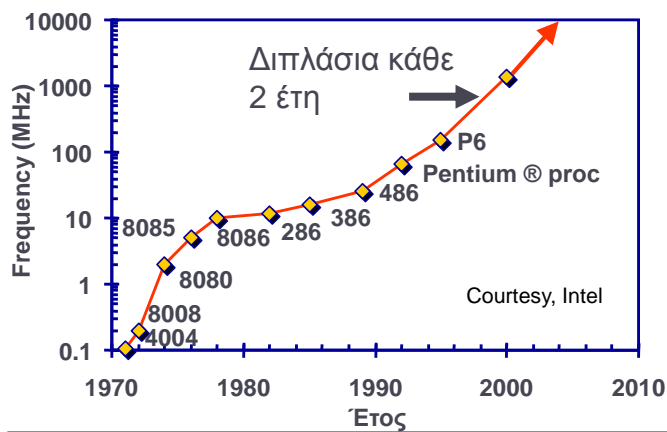


Αύξηση κατά 14% για τον νόμο Moore

► 11

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων 10/6/2014

Συχνότητα

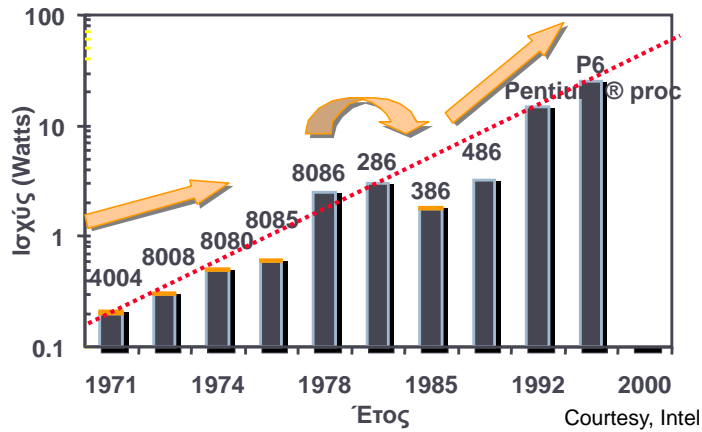


Η συχνότητα διπλασιάζεται κάθε 2 έτη σε επεξεργαστές αιχμής

► 12

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων 10/6/2014

Κατανάλωση Ισχύος

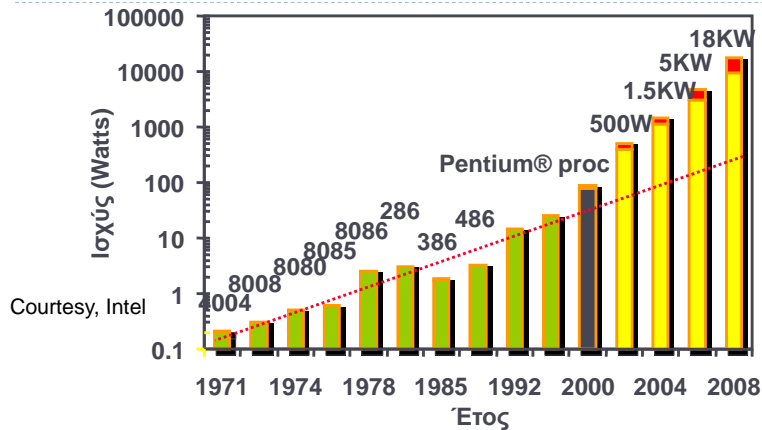


Η κατανάλωση ισχύος συνεχίζει να αυξάνεται

► 13

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Ισχύς αναγνωρίζεται ως βασική παράμετρος

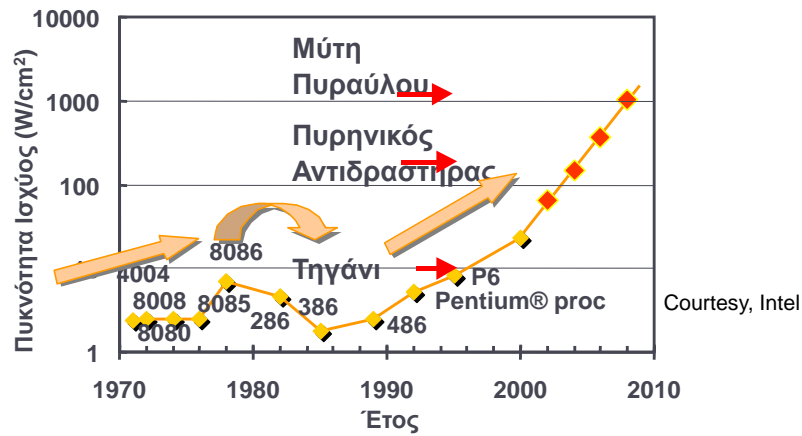


Η διανομή και κατανάλωση ισχύος γίνονται εξωπραγματικές

► 14

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Πυκνότητα Ισχύος (Ισχύ/μονάδα εμβαδού)



Η πυκνότητα ισχύος γίνεται τεράστια

► 15

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Καταναλωτικά Ηλεκτρονικά

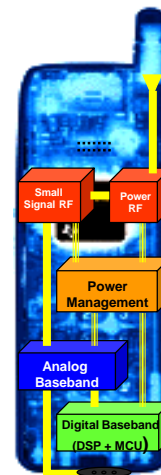
Κινητό
Τηλέφωνο



Digital Cellular Market
(Phones Shipped)

	1996	1997	1998	1999	2000
Units	48M	86M	162M	260M	435M

(από Texas Instruments)



► 16

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση

\propto **DSM**

“Μικροσκοπικές”

- Σχεδίαση Υψηλής Ταχύτητας
- Διασυνδέσεις
- Θόρυβος, Αλληλεπαγωγή
- Αξιοπιστία, Επαλήθευση.
- Κατασκευασιμότητα.
- Κατανάλωση Ενέργειας.
- Κατανομή Ρολογιού.

Όλα φαίνονται λίγο διαφορετικά



\propto **1/DSM**

“Μακροσκοπικές”

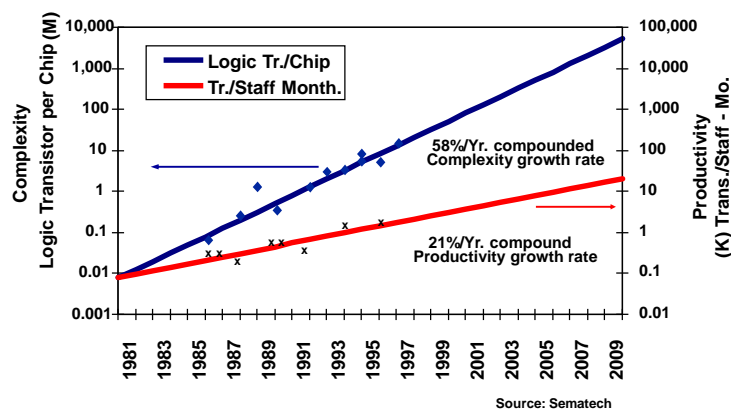
- Χρόνος μέχρι την αγορά
- Εκατομμύρια πύλες
- Κατα κόρον Αφαίρεση
- Επαναχρησιμοποίηση
- Πρόγνωση Απόδοσης
- κλπ.

...καί περισσότερα.

► 17

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Πως πάει η Παραγωγικότητα;



Πολυπλοκότητα ξεπερνά την παραγωγικότητα

► 18

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Κλιμάκωση Τεχνολογίας

- ▶ Τεχνολογική συρίκνωση 0.7/γενιά
- ▶ Με κάθε γενιά δύναται να ολοκληρώσουμε 2x λειτουργικότητα ανα chip, ενώ το κόστος δεν αυξάνεται σημαντικά
- ▶ Έτσι το κόστος μιας λειτουργίας πέφτει κατα 2x
- ▶ Αλλά...
 - ▶ Πώς σχεδιάζουμε chip με όλο και περισσότερες λειτουργίες;
 - ▶ Ο πληθυσμός των σχεδιαστών δεν διπλασιάζεται κάθε 2 χρόνια.
- ▶ Έτσι χρειαζόμαστε καλύτερες σχεδιαστικές πρακτικές
 - ▶ Χρησιμοποιούμε επίπεδα αφαίρεσης

▶ 19

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Περιεχόμενα

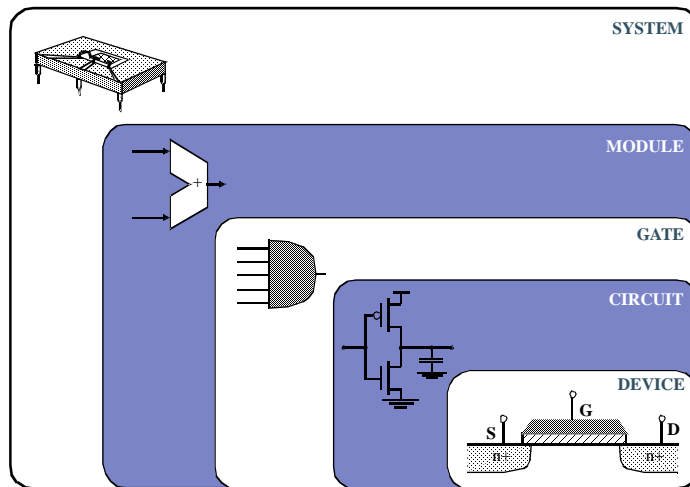
- ▶ Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας
 - ▶ Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- ▶ Αφαίρεση: τότε ισχύει και τότε όχι
- ▶ Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- ▶ Κόστος Παραγωγής
- ▶ Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - ▶ Περιθώρια Θορύβου
- ▶ Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού
- ▶ Fan-in και Fan-out
- ▶ Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- ▶ Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- ▶ Καθυστερήση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- ▶ Κατανάλωση Ενέργειας

▶ 20

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

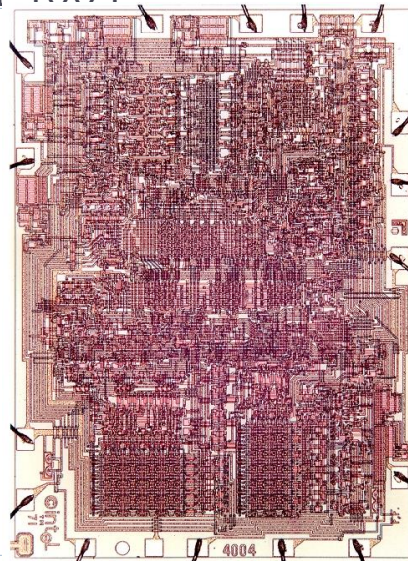
Επίπεδα Αφαίρεσης



► 21

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

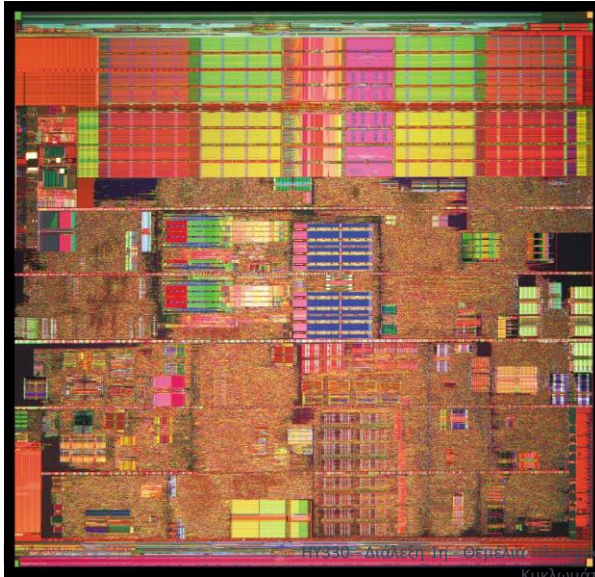
1971 - Intel 4004



► 22

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

2004 – Pentium 4 στα 90nm

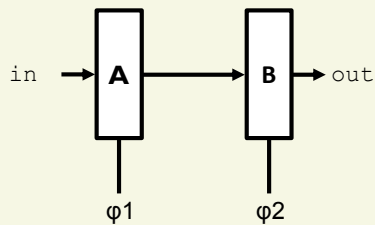


55
Εκατομμύρια
Τρανζίστορ

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων 10/6/2014

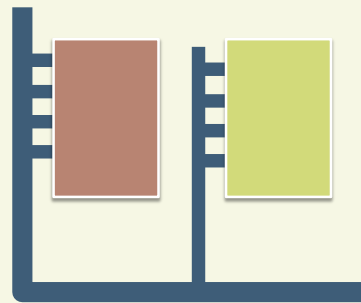
Κυκλωματικοί Παράγοντες που Αψηφούν την Ιεραρχία

Ρολόγια



- ▶ Αν η απόκλιση είναι σημαντική, το αποτέλεσμα δεν θα είναι το αναμενόμενο

Δίκτυο Ρεύματος



Περιεχόμενα

- ▶ Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας
 - ▶ Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- ▶ Αφαίρεση: πότε ισχύει και πότε όχι
- ▶ Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- ▶ Κόστος Παραγωγής
- ▶ Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - ▶ Περιθώρια Θορύβου
- ▶ Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού
- ▶ Fan-in και Fan-out
- ▶ Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- ▶ Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- ▶ Καθυστέρηση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- ▶ Κατανάλωση Ενέργειας

▶ 25

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Μέτρα Ποιότητας Κυκλώματος

- ▶ Πώς αξιολογούμε την απόδοση ενός ψηφιακού κυκλώματος η τμήματος κυκλώματος;
 - ▶ Κόστος
 - ▶ Αξιοπιστία
 - ▶ Επεκτασιμότητα
 - ▶ Ταχύτητα (καθυστέρηση, συχνότητα λειτουργίας)
 - ▶ Κατανάλωση Ισχύος
 - ▶ Απαιτούμενη Ενέργεια ανά λειτουργία
 - ▶ Ηλεκτρομαγνητικές Εκπομπές

▶ 26

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Περιεχόμενα

- ▶ Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας
 - ▶ Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- ▶ Αφαίρεση: πότε ισχύει και πότε όχι
- ▶ Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- ▶ **Κόστος Παραγωγής**
- ▶ Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - ▶ Περιθώρια Θορύβου
- ▶ Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού
- ▶ Fan-in και Fan-out
- ▶ Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- ▶ Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- ▶ Καθυστερήση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- ▶ Κατανάλωση Ενέργειας

▶ 27

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Κόστος Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων

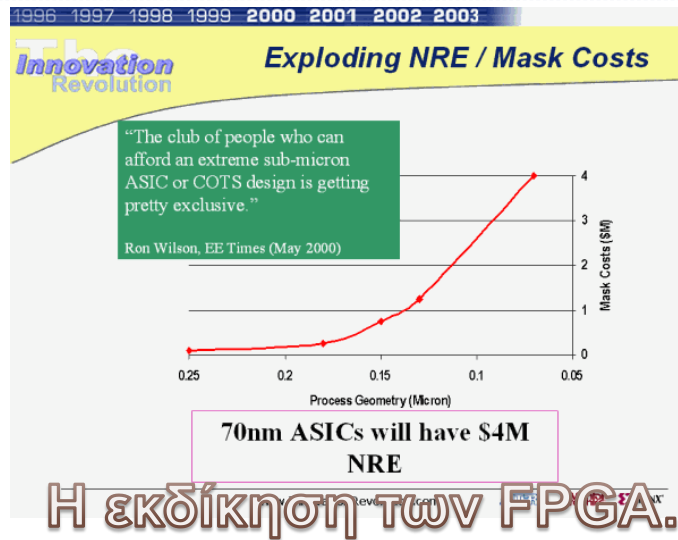
- ▶ Εφάπαξ μηχανολογικά, (NRE, non-recurrent engineering)
 - ▶ Σχεδιαστικός χρόνος/προσπάθεια,
 - ▶ Παραγωγή μάσκας (\$3.000.000 στα 40nm!!!)
 - ▶ Αυξάνουν κατά 50% ανά γενιά!
- ▶ Επαναλαμβανόμενα Κόστη
 - ▶ Επεξεργασία Πυριτίου,
 - ▶ Πακετάρισμα,
 - ▶ Κατασκευαστική δοκιμή – χρόνος στον Tester
 - ▶ Συνάρτηση των πελατών, παραγωγής
 - ▶ Συνάρτηση του εμβαδού του κυκλώματος

▶ 28

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Τα Εφάπαξ Κόστη αυξάνονται... γεωμετρικά

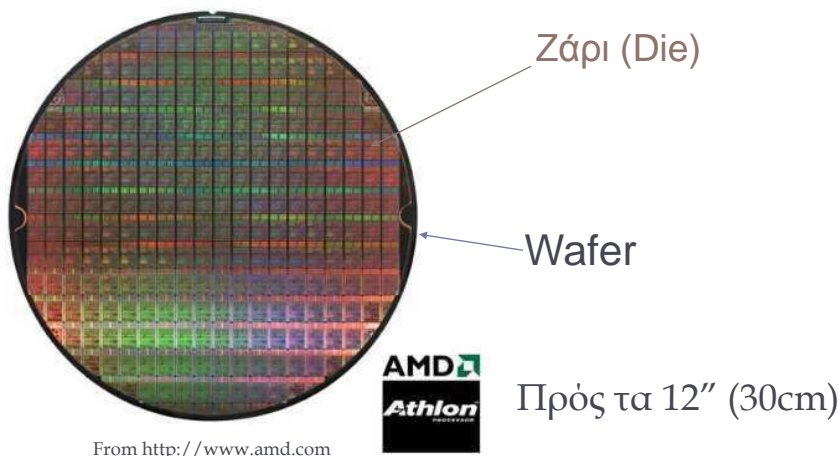


► 29

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Κόστος Ζαριού

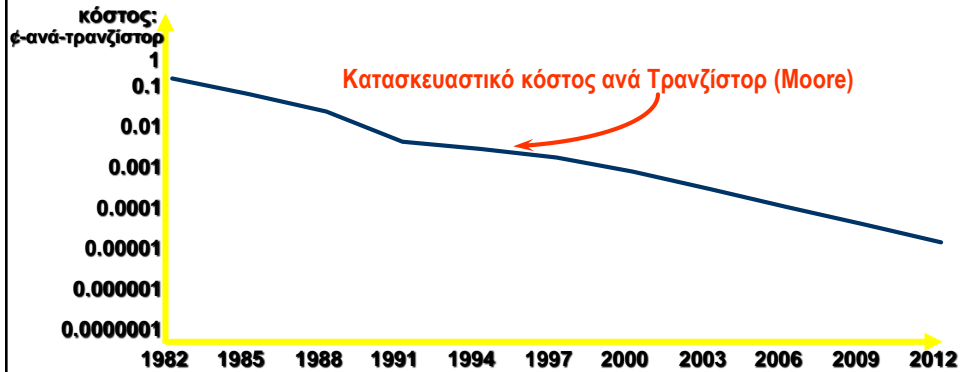
Ένα Ζάρι



► 30

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Κόστος ανά Τρανζίστορ



31

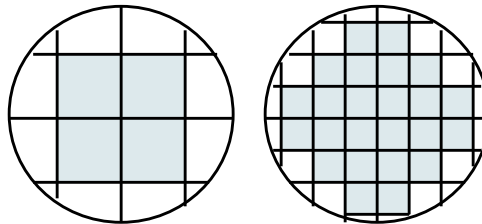
HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Ωφέλιμο (Yield) της Κατασκευής

$$Y = \frac{\text{No. of good chips per wafer}}{\text{Total number of chips per wafer}} \times 100\%$$

$$\text{Die cost} = \frac{\text{Wafer cost}}{\text{Dies per wafer} \times \text{Die yield}}$$

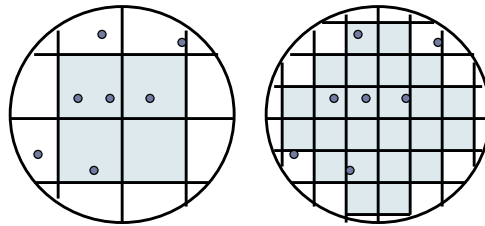
$$\text{Dies per wafer} = \frac{\pi \times (\text{wafer diameter}/2)^2}{\text{die area}} - \frac{\pi \times \text{wafer diameter}}{\sqrt{2} \times \text{die area}}$$



32

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Ελαττώματα (Defects) Κατασκευής



$$\text{die yield} = \left(1 + \frac{\text{defects per unit area} \times \text{die area}}{\alpha} \right)^{-\alpha}$$

α is approximately 3

$$\text{die cost} = f(\text{die area})^4$$

► 33

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Παραδείγματα (1994)

Chip	Metal layers	Line width	Wafer cost	Def./cm ²	Area mm ²	Dies/wafer	Yield	Die cost
386DX	2	0.90	\$900	1.0	43	360	71%	\$4
486 DX2	3	0.80	\$1200	1.0	81	181	54%	\$12
Power PC 601	4	0.80	\$1700	1.3	121	115	28%	\$53
HP PA 7100	3	0.80	\$1300	1.0	196	66	27%	\$73
DEC Alpha	3	0.70	\$1500	1.2	234	53	19%	\$149
Super Sparc	3	0.70	\$1700	1.6	256	48	13%	\$272
Pentium	3	0.80	\$1500	1.5	296	40	9%	\$417

► 34

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Περιεχόμενα

- ▶ Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας
 - ▶ Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- ▶ Αφαίρεση: πότε ισχύει και πότε όχι
- ▶ Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- ▶ Κόστος Παραγωγής
- ▶ Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - ▶ Περιθώρια Θορύβου
- ▶ Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού
- ▶ Fan-in και Fan-out
- ▶ Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- ▶ Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- ▶ Καθυστερήση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- ▶ Κατανάλωση Ενέργειας

▶ 35

 ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Ψηφιακή Λογική

- ▶ Στην ψηφιακή λογική αντιστοιχούμε τις διακριτές τιμές **0** και **1** σε αναλογικά διαστήματα.
- ▶ Τα μεγάλα πλεονέκτηματα της ψηφιακής λογικής είναι (1) η ακρίβεια που είναι συνάρτηση των ψηφίων, (2) τα μεγάλα περιθώρια θορύβου και (3) η απλούστερη σχεδίαση.

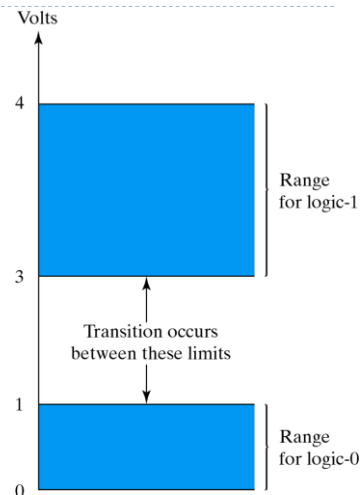


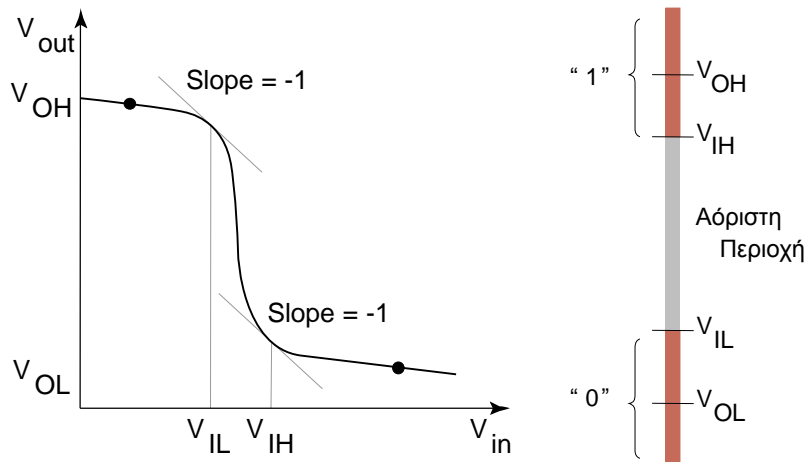
Fig. 1-3 Example of binary signals

▶ 36

 ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Ψηφιακή Λογική

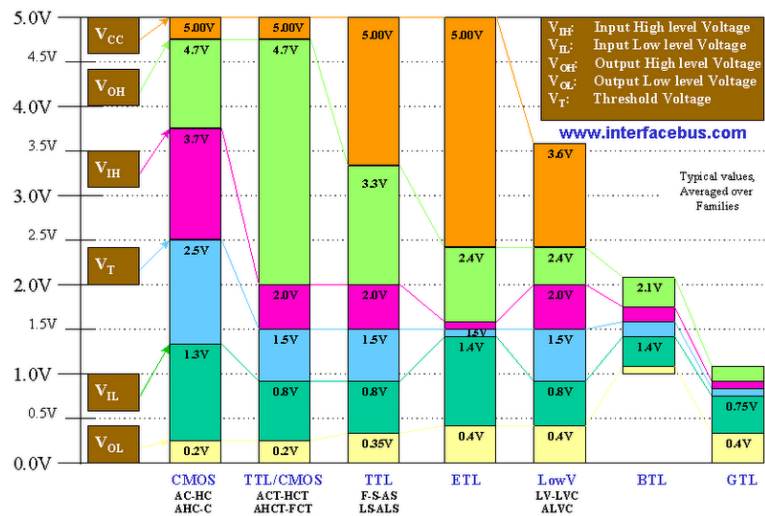


37

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων

10/6/2014

Ψηφιακή Λογική



38

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων

10/6/2014

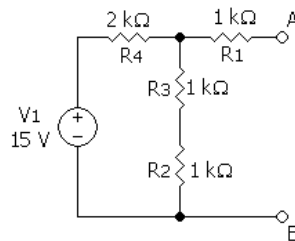
Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά - Θεώρημα Thevenin/Norton

- ▶ Σε ηλεκτρικό επίπεδο όλα τα κυκλώματα συμπεριφέρονται με αναλογικό τρόπο



▶ Θεώρημα Thevenin

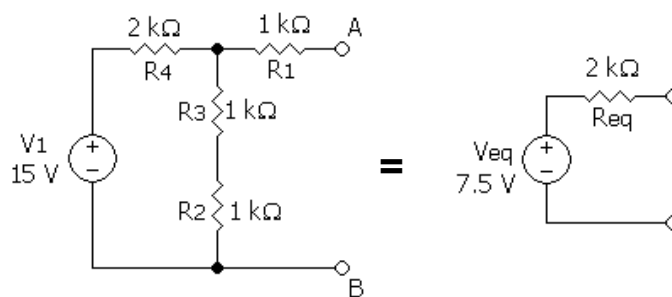
- ▶ Οποιοδήποτε γραμμικό δίκτυο με 2 άκρα, είναι συνδυασμός πηγών και αντιστάσεων, μπορεί να αντικατασταθεί με 1 πηγή και 1 αντίσταση



▶ 39

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά - Θεώρημα Thevenin/Norton



▶ Βήματα

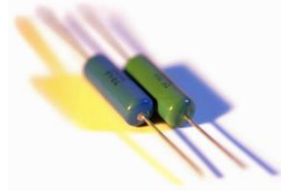
1. Αφαιρούμε το φορτίο
2. Υπολογίζουμε το δυναμικό χωρίς φορτίο (V_{TH})
3. Θεωρούμε οιοσδήποτε πηγές κλειστό κύκλωμα
4. Υπολογίζουμε την αντίσταση που βλέπει το φορτίο (R_{TH})

▶ 40

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Παρασιτική Χωρητικότητα και Αντίσταση

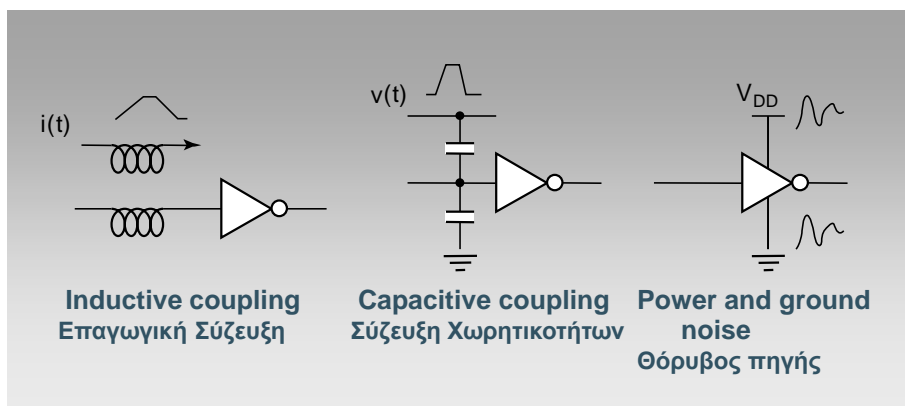
- ▶ Ο λόγος που συζητήσαμε το θεώρημα Thevenin είναι για να γίνει αντιληπτό ότι οτιδήποτε υλικό έχει μια ισοδύναμη
 - ▶ Παρασιτική αντίσταση
 - ▶ Παρασιτική χωρητικότητα



▶ 41

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

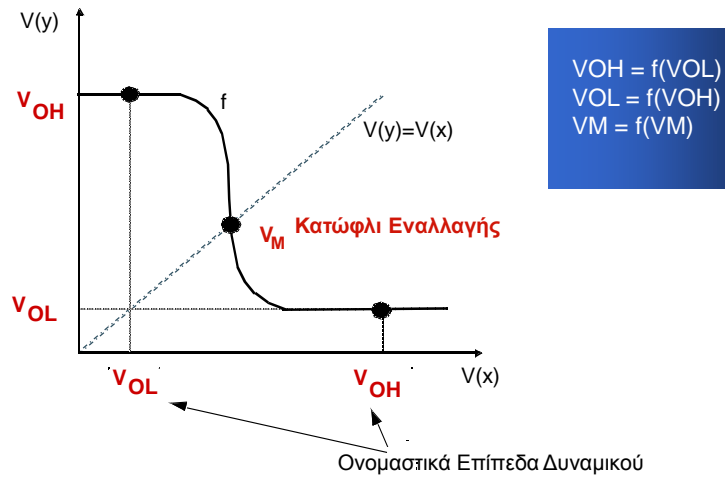
Αξιοπιστία – Θόρυβος στην Λειτουργία



▶ 42

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Καμπύλη Μεταβίβασης Πύλης

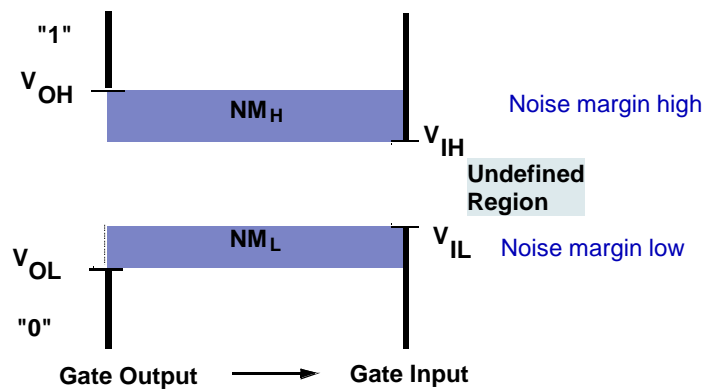


▶ 43

 ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
 Κυκλωμάτων

10/6/2014

Ορισμός Περιθωρίων Θορύβου



▶ 44

 ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
 Κυκλωμάτων

10/6/2014

Περιεχόμενα

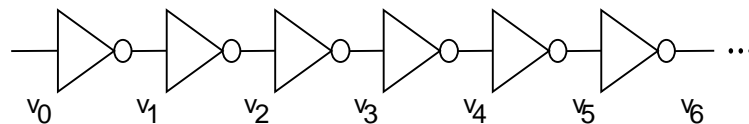
- ▶ Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας
 - ▶ Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- ▶ Αφαίρεση: πότε ισχύει και πότε όχι
- ▶ Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- ▶ Κόστος Παραγωγής
- ▶ Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - ▶ Περιθώρια Θορύβου
- ▶ **Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού**
- ▶ Fan-in και Fan-out
- ▶ Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- ▶ Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- ▶ Καθυστερήση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- ▶ Κατανάλωση Ενέργειας

▶ 45

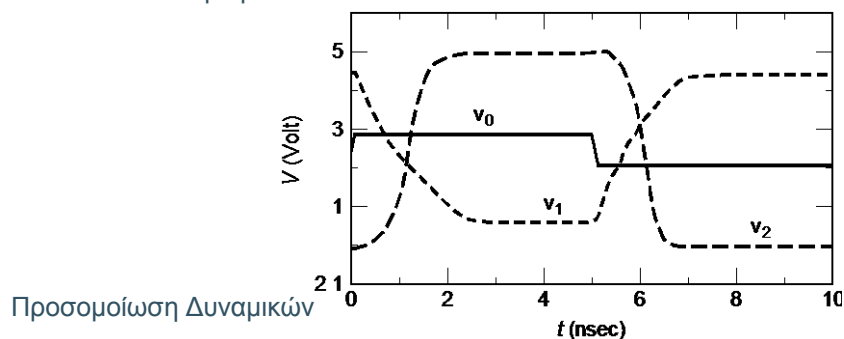
 ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Επανακτητική Ιδιότητα



Αλυσίδα Αντιστροφών

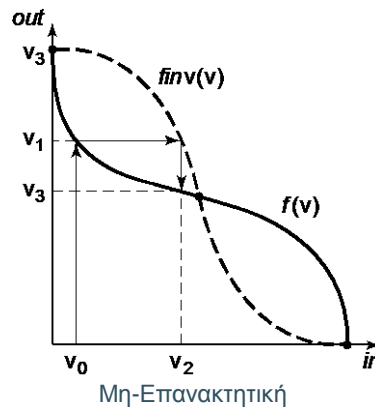
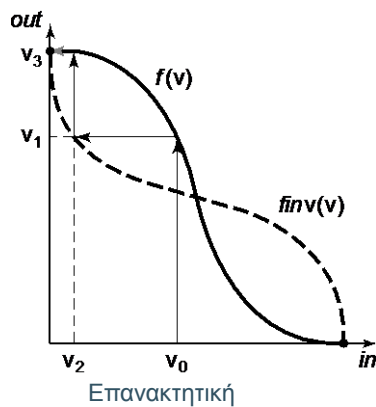


▶ 46

 ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Επανακτητική Ιδιότητα



► 47

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

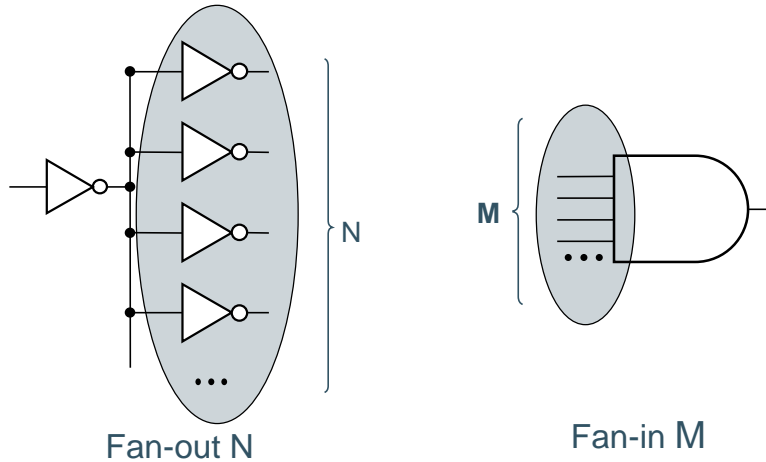
Περιεχόμενα

- Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας
 - Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- Αφαίρεση: τότε ισχύει και τότε όχι
- Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- Κόστος Παραγωγής
- Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - Περιθώρια Θορύβου
- Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού
- **Fan-in και Fan-out**
- Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- Καθυστερήση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- Κατανάλωση Ενέργειας

► 48

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Fan-in και Fan-out



▶ 49

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

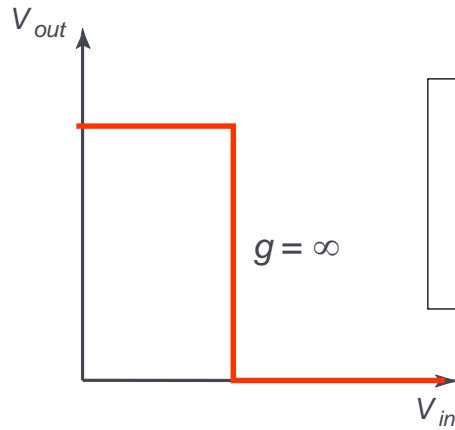
Περιεχόμενα

- ▶ Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας
 - ▶ Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- ▶ Αφαίρεση: πότε ισχύει και πότε όχι
- ▶ Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- ▶ Κόστος Παραγωγής
- ▶ Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - ▶ Περιθώρια Θορύβου
- ▶ Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού
- ▶ Fan-in και Fan-out
- ▶ Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- ▶ Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- ▶ Καθυστερήση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- ▶ Κατανάλωση Ενέργειας

▶ 50

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων 10/6/2014

Η Ιδεατή Πύλη...



$$R_i = \infty$$

$$R_o = 0$$

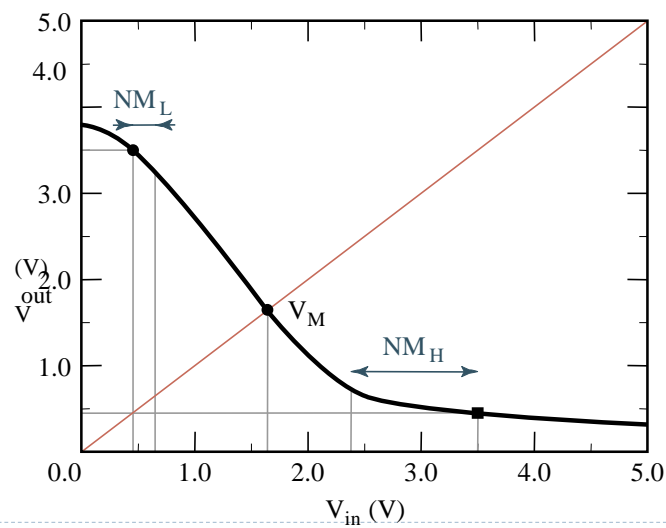
$$\text{Fanout} = \infty$$

$$NM_H = NM_L = V_{DD}/2$$

► 51

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων 10/6/2014

Μια πραγματική καμπύλη μετάβασης...



► 52

ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων 10/6/2014

Περιεχόμενα

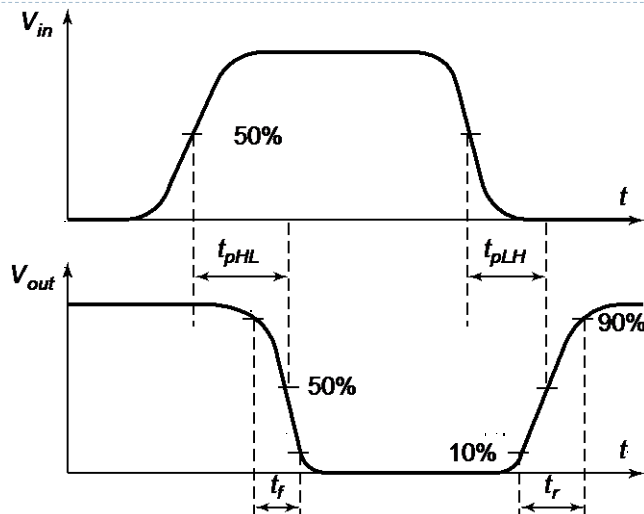
- ▶ Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας
 - ▶ Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- ▶ Αφαίρεση: πότε ισχύει και πότε όχι
- ▶ Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- ▶ Κόστος Παραγωγής
- ▶ Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - ▶ Περιθώρια Θορύβου
- ▶ Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού
- ▶ Fan-in και Fan-out
- ▶ Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- ▶ Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- ▶ Καθυστερήση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- ▶ Κατανάλωση Ενέργειας

▶ 53

 ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Συμβάσεις Καθυστερήσεων

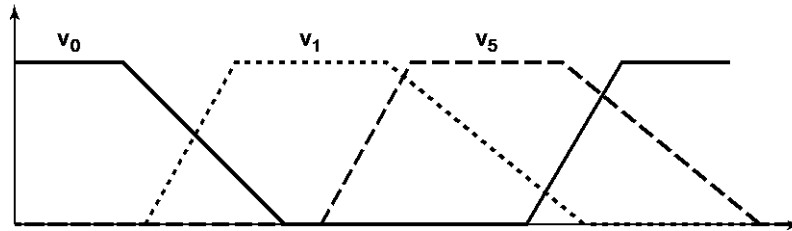
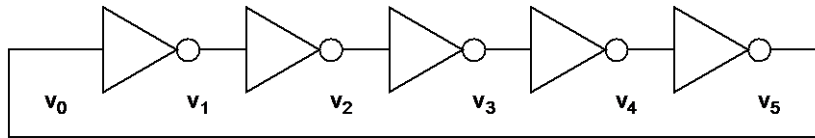


▶ 54

 ΗΥ330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Κυκλικός Ταλαντωτής



$$T = 2 \times t_p \times N$$

► 55

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Περιεχόμενα

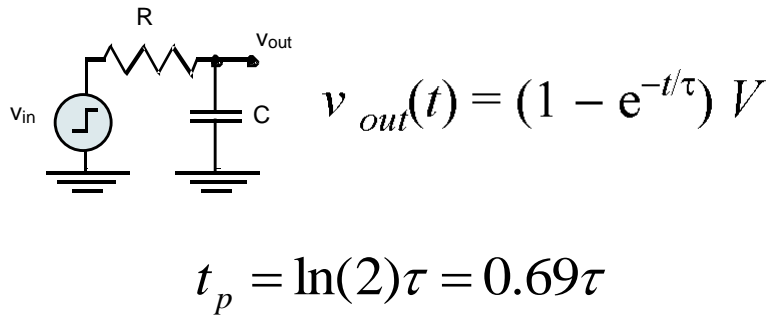
- Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας
 - Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- Αφαίρεση: πότε ισχύει και πότε όχι
- Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- Κόστος Παραγωγής
- Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - Περιθώρια Θορύβου
- Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού
- Fan-in και Fan-out
- Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- Καθυστερήση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- Κατανάλωση Ενέργειας

► 56

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Δίκτυο RC 1^{ου} Βαθμού



Μοντέλο καθυστέρησης πύλης

▶ 57

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Περιεχόμενα

- ▶ Νόμος Moore, Εξέλιξη πολυπλοκότητας/πυκνότητας
 - ▶ Προκλήσεις στην Ψηφιακή Σχεδίαση
- ▶ Αφαίρεση: πότε ισχύει και πότε όχι
- ▶ Μέτρα ποιότητας Κυκλώματος
- ▶ Κόστος Παραγωγής
- ▶ Ψηφιακή Λογική - Καμπύλη Μετάβασης
 - ▶ Περιθώρια Θορύβου
- ▶ Ιδιότητα Επανάκτησης Δυναμικού
- ▶ Fan-in και Fan-out
- ▶ Παράδειγμα Καμπύλης Μετάβασης Πύλης
- ▶ Συμβάσεις μέτρησης καθυστερήσεων
- ▶ Καθυστέρηση Δικτύου RC 1^{ου} Βαθμού
- ▶ Κατανάλωση Ενέργειας

▶ 58

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Κατανάλωση Ισχύος

Στιγμιαία Ισχύς:

$$p(t) = v(t)i(t) = V_{supply}i(t)$$

Μέγιστη Ισχύς:

$$P_{peak} = V_{supply}i_{peak}$$

Μέση Ισχύς:

$$P_{ave} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} p(t)dt = \frac{V_{supply}}{T} \int_t^{t+T} i_{supply}(t)dt$$

► 59

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων 10/6/2014

Ενέργεια και Ενέργεια-Καθυστερήση

Power-Delay Product (PDP) =

$$E = \text{Ενέργεια ανά λειτουργία} = P_{av} \times t_p$$

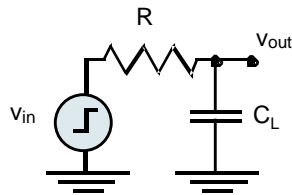
Energy-Delay Product (EDP) =

$$\text{μέτρο ποιότητας πύλης} = E \times t_p$$

► 60

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων 10/6/2014

Δίκτυο RC 1^{ου} Βαθμού - Κατανάλωση



$$E_{0 \rightarrow 1} = \int_0^T P(t) dt = V_{dd} \int_0^T i_{supply}(t) dt = V_{dd} \int_0^{V_{dd}} C_L dV_{out} = C_L \cdot V_{dd}^2$$

$$E_{cap} = \int_0^T P_{cap}(t) dt = \int_0^T V_{out} i_{cap}(t) dt = \int_0^{V_{dd}} C_L V_{out} dV_{out} = \frac{1}{2} C_L \cdot V_{dd}^2$$

▶ 61

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014

Περίληψη

- ▶ Τα ψηφιακά κυκλώματα παρουσίασαν αλματώδη ανάπτυξη, καί προβλέπεται να διατηρήσουν το δυναμικό τους για τις επόμενες δεκαετίες.
- ▶ Πολλές ενδιαφέροντες προκλήσεις για το μέλλον
- ▶ Είναι απαραίτητη η κατανόηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών ενός σχεδίου
 - ▶ Κόστος, αξιοπιστία, ταχύτητα, κατανάλωση ισχύος καί ενέργεια.

▶ 62

HY330 - Διάλεξη 1η - Θεμέλια Ηλεκτρικών
Κυκλωμάτων

10/6/2014