

HY330 – Ψηφιακά Κυκλώματα - Εισαγωγή στα Συστήματα VLSI

Διδάσκων: Χ. Σωτηρίου, Βοηθοί: θα ανακοινωθούν

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

I

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφείας 10/6/2014

Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφεία CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητας
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
 - ▶ Δυναμική
 - ▶ Στατική
 - ▶ Διαρροής

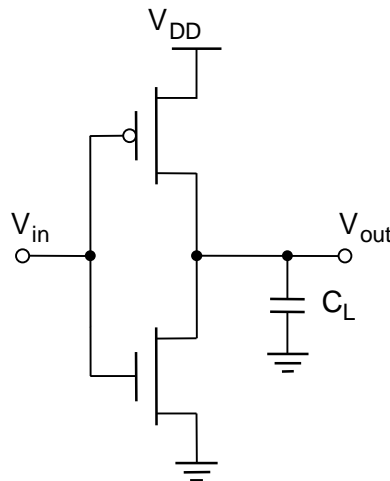
Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης V_M και προσέγγιση των V_{IH}, V_{IL}
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητας
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
 - ▶ Δυναμική
 - ▶ Στατική
 - ▶ Διαρροής

▶ 3

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

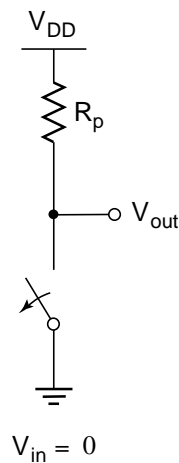
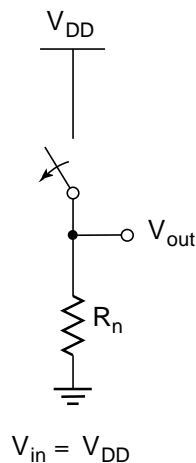
Αντιστροφέας – Διαισθητική Λειτουργία



▶ 4

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Διαισθητική Λειτουργία – DC Ανάλυση



$$\begin{aligned} V_{OL} &= 0 \\ V_{OH} &= V_{DD} \\ V_M &= f(R_n, R_p) \end{aligned}$$

► 5

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Περιεχόμενα

- Διαισθητική λειτουργία
- Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- Μεταβατική Λειτουργία
- Διάταξη
- Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- Επιρροή μεταβλητότητας
- Επιρροή τάσης
- Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- Φαινόμενο Miller
- Εξόρυξη μεγεθών
- Ανάλυση χωρητικότητας
- Μεταβατική απόκριση
- Καθυστέρηση και τάση
- Καθυστέρηση και λόγος N/P
- Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- Κατανάλωση ενέργειας
 - Δυναμική
 - Στατική
 - Διαρροής

► 6

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Χαρακτηριστικά Στατικού Αντιστροφέα CMOS

- ▶ $V_{OH} = V_{DD}, V_{OL} = 0$
 - ▶ άκρα της τάσης - δηλαδή μεγάλη περιθώρια θορύβου
- ▶ τα παραπάνω δεν είναι συνάρτηση των μεγεθών W, L
 - ▶ Πύλες άλλων ειδών, λ.χ. NMOS αντιστροφέα απαιτούν συγκεκριμένο λόγο διαστάσεων των τρανζίστορ(ratioed logic)
- ▶ σε ισορροπία υπάρχει πάντα ένα μονοπάτι αντίστασης εξόδου μεταξύ V_{dd} ή Gnd .
 - ▶ χαμηλή αντίσταση εξόδου, μεγαλύτερη αξιοπιστία σε θόρυβο
 - ▶ η ισοδύναμη αντίσταση είναι της τάξης των $k\Omega$
- ▶ σημαντικά μεγάλη αντίσταση εισόδου μια και η πύλη είναι μονωμένη και δεν τραβάει ρεύμα
 - ▶ η είσοδος επηρεάζεται από την χωρητικότητα της πύλης
- ▶ σε ισορροπία ($V_{in} = \text{σταθερό}$) δεν υπάρχει ρεύμα μεταξύ τάσης και γείωσης
 - ▶ δεν καταναλώνεται στατικό ρεύμα πλην της διαρροής

▶ 7

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέα 10/6/2014

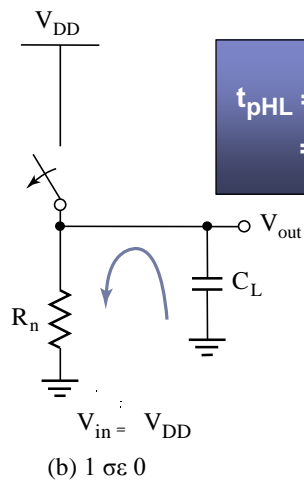
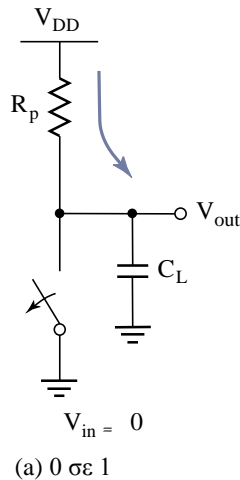
Περιεχόμενα

- | | |
|--|---|
| ▶ Διαισθητική λειτουργία | ▶ Φαινόμενο Miller |
| ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS | ▶ Εξόρυξη μεγεθών |
| ▶ Μεταβατική Λειτουργία | ▶ Ανάλυση χωρητικότητας |
| ▶ Διάταξη | ▶ Μεταβατική απόκριση |
| ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης | ▶ Καθυστέρηση και τάση |
| ▶ Σημείο μετάβασης V_M και προσέγγιση των V_{IH}, V_{IL} | ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P |
| ▶ Επιρροή μεταβλητότητας | ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση |
| ▶ Επιρροή τάσης | ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου |
| ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης | ▶ Κατανάλωση ενέργειας |
| | ▶ Δυναμική |
| | ▶ Στατική |
| | ▶ Διαρροής |

▶ 8

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέα 10/6/2014

Μεταβατική Απόκριση – TRAN Ανάλυση



$$t_{pHL} = f(R_{on} \cdot C_L) \\ = 0.69 R_{on} C_L$$

▶ 9

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφείας 10/6/2014

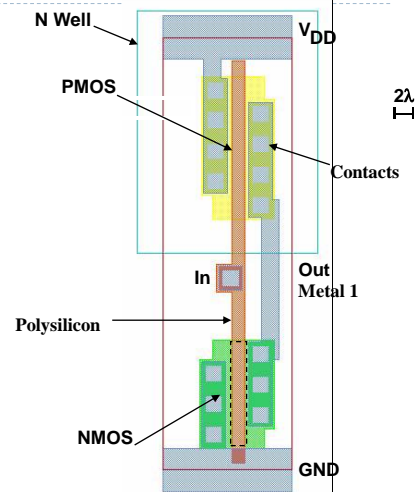
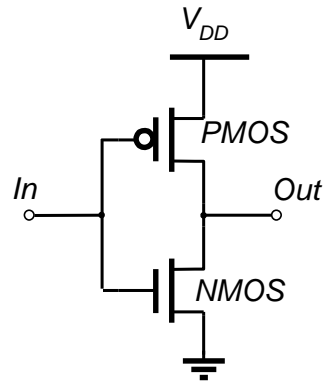
Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφείας CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ **Διάταξη**
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητας
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
 - ▶ Δυναμική
 - ▶ Στατική
 - ▶ Διαρροής

▶ 10

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφείας 10/6/2014

Αντιστροφέας - Σχηματικό, Διάταξη



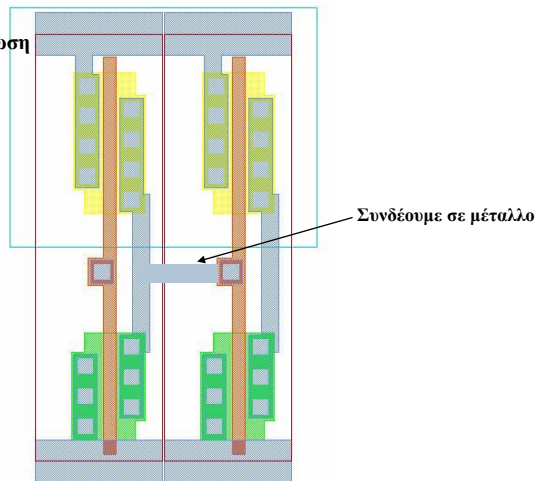
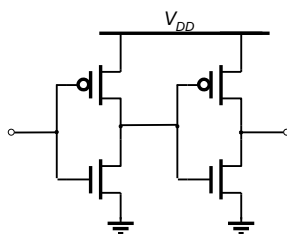
► I1

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Διάταξη Αντιστροφέα-Αντιστροφέα

Διαμοιράζουμε Τάση/Γείωση

Επικολλάμε τις πόλες



► I2

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

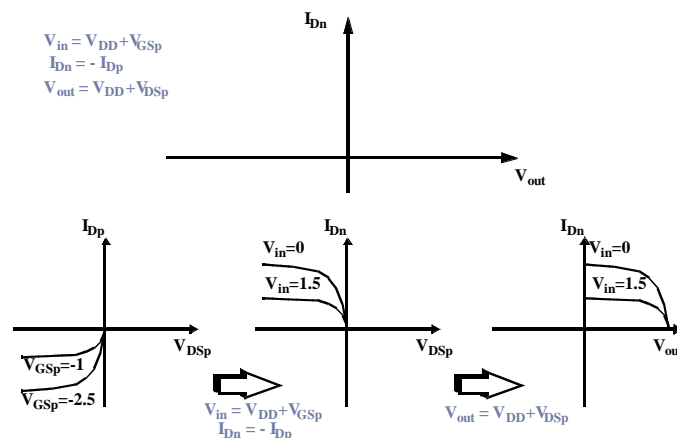
Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ **Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης**
- ▶ Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητας
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
 - ▶ Δυναμική
 - ▶ Στατική
 - ▶ Διαρροής

▶ 13

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

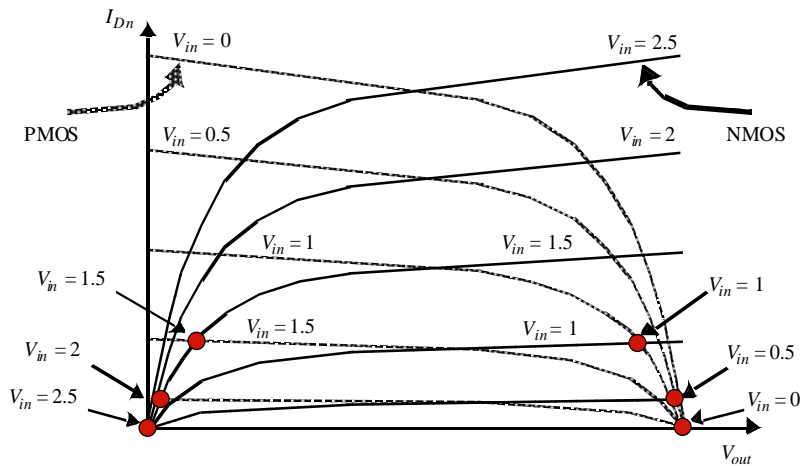
PMOS – Γράφημα Φορτίου – Load-line



▶ 14

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

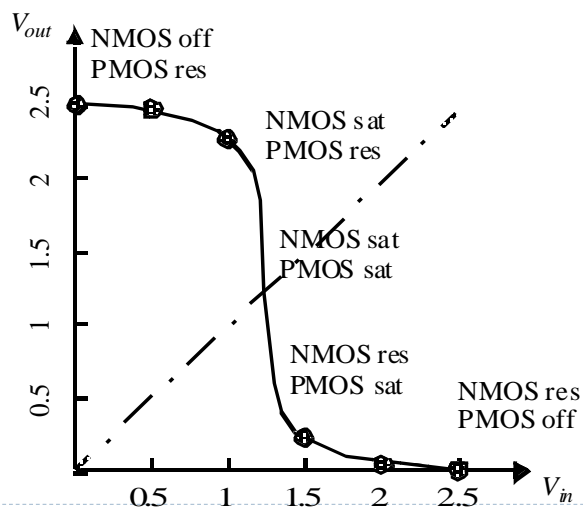
CMOS – Γράφημα Φορτίου



► 15

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Καμπύλη Μετάβασης από το Γράφημα



► 16

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

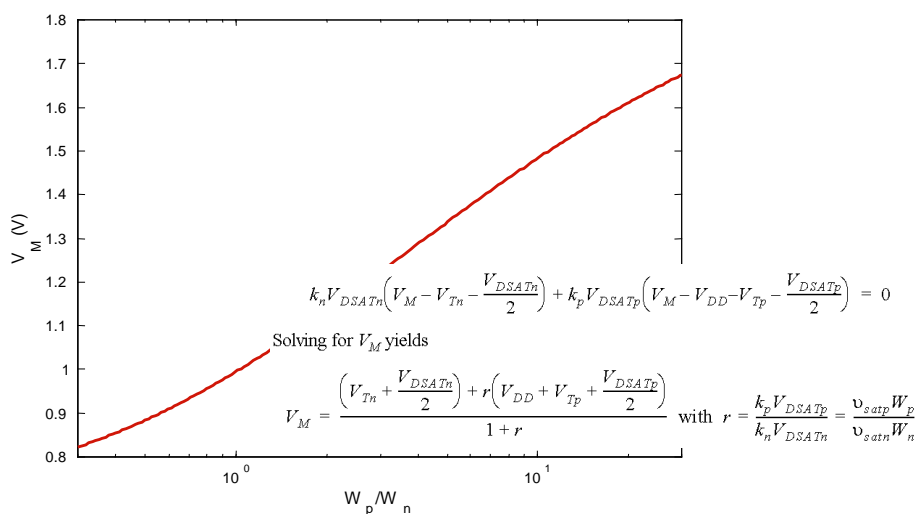
Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης V_M και προσέγγιση των V_{IH}, V_{IL}
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητας
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
 - ▶ Δυναμική
 - ▶ Στατική
 - ▶ Διαρροής

▶ 17

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

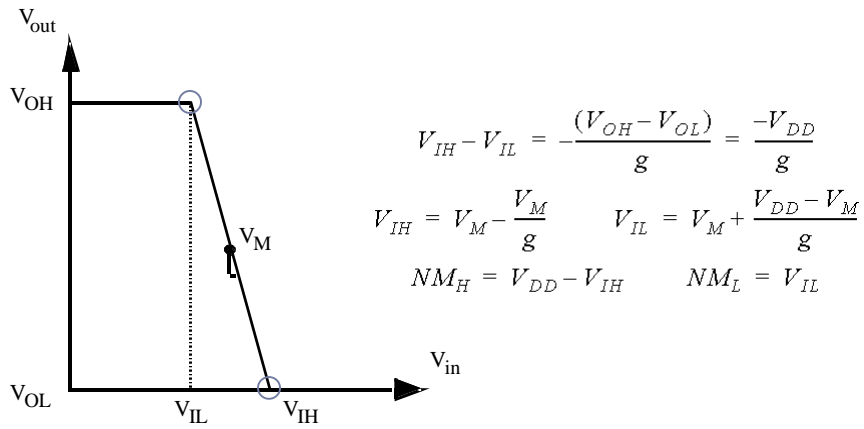
Κατώφλι Μετάβασης ως προς τα W_p/W_n



▶ 18

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Υπολογίζοντας τα V_{IL} και V_{IH}

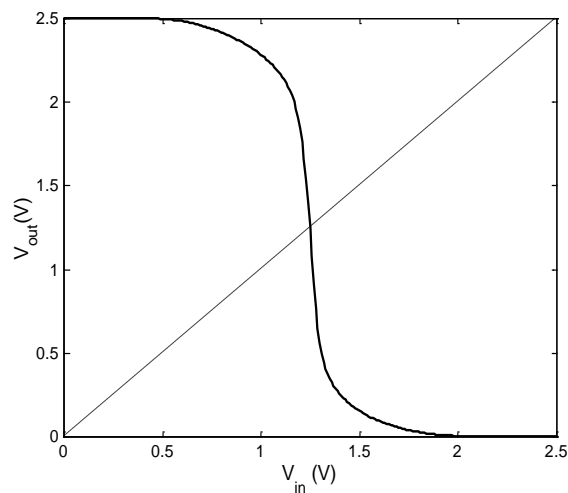


Απλή Προσέγγιση

► 19

ΗΥ330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

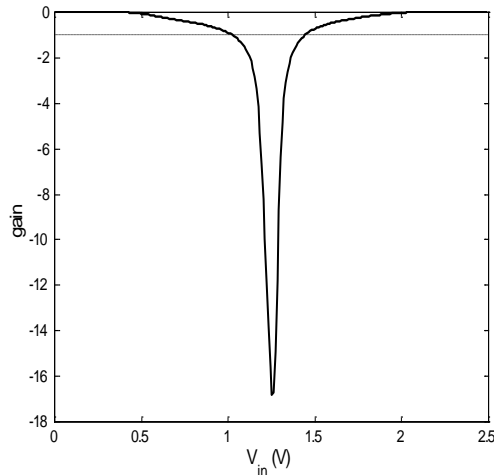
Χαρακτηριστική Καμπύλη σε Προσομείωση



► 20

ΗΥ330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Ενίσχυση συναρτήσει του V_{in}



$$g = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} = \frac{dV_{out}}{dV_{in}}$$

$$g = \frac{1}{I_D(V_M)} \frac{k_n V_{DSATn} + k_p V_{DSATp}}{\lambda_n - \lambda_p}$$

$$\approx \frac{1+r}{(V_M - V_{Tn} - V_{DSATn}/2)(\lambda_n - \lambda_p)}$$

► 21

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφείας 10/6/2014

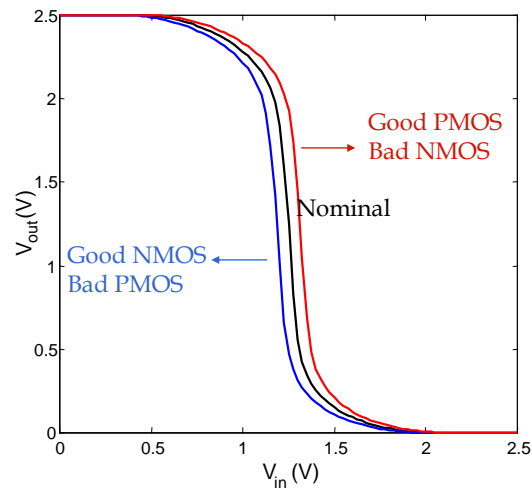
Περιεχόμενα

- Διαισθητική λειτουργία
- Χαρακτηριστικά Αντιστροφείας CMOS
- Μεταβατική Λειτουργία
- Διάταξη
- Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- Σημείο μετάβασης V_M και προσέγγιση των V_{IH}, V_{IL}
- **Επιρροή μεταβλητότητας**
- Επιρροή τάσης
- Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- Φαινόμενο Miller
- Εξόρυξη μεγεθών
- Ανάλυση χωρητικότητας
- Μεταβατική απόκριση
- Καθυστέρηση και τάση
- Καθυστέρηση και λόγος N/P
- Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- Κατανάλωση ενέργειας
- Δυναμική
- Στατική
- Διαρροής

► 22

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφείας 10/6/2014

Επιρροή Μεταβλητότητας



► 23

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφείας 10/6/2014

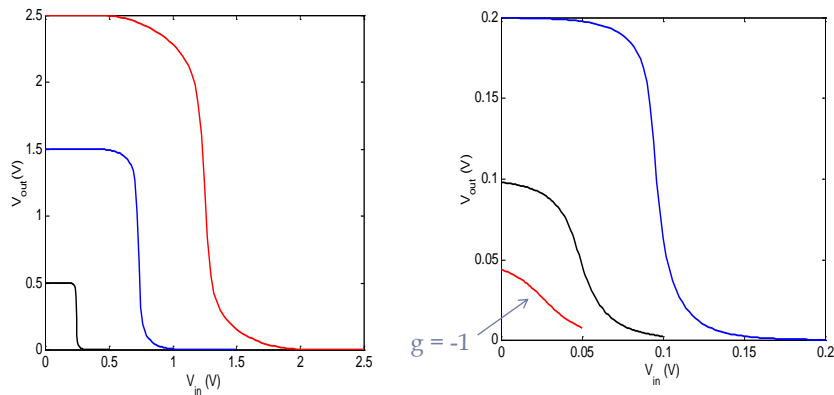
Περιεχόμενα

- Διαισθητική λειτουργία
- Χαρακτηριστικά Αντιστροφείας CMOS
- Μεταβατική Λειτουργία
- Διάταξη
- Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- Σημείο μετάβασης V_M και προσέγγιση των V_{IH} , V_{IL}
- Επιρροή μεταβλητότητας
- **Επιρροή τάσης**
- Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- Φαινόμενο Miller
- Εξόρυξη μεγεθών
- Ανάλυση χωρητικότητας
- Μεταβατική απόκριση
- Καθυστέρηση και τάση
- Καθυστέρηση και λόγος N/P
- Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- Κατανάλωση ενέργειας
- Δυναμική
- Στατική
- Διαρροής

► 24

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφείας 10/6/2014

Χαρακτηριστική και Κέρδος συναρτήσεως της Τάσης



► 25

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφείας 10/6/2014

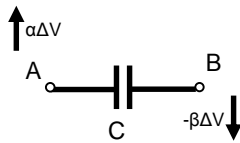
Περιεχόμενα

- Διαισθητική λειτουργία
- Χαρακτηριστικά Αντιστροφεία CMOS
- Μεταβατική Λειτουργία
- Διάταξη
- Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- Επιρροή μεταβλητότητας
- Επιρροή τάσης
- Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- Φαινόμενο Miller
- Εξόρυξη μεγεθών
- Ανάλυση χωρητικότητας
- Μεταβατική απόκριση
- Καθυστέρηση και τάση
- Καθυστέρηση και λόγος N/P
- Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- Κατανάλωση ενέργειας
 - Δυναμική
 - Στατική
 - Διαρροής

► 26

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφείας 10/6/2014

Παρένθεση - Φαινόμενο Miller

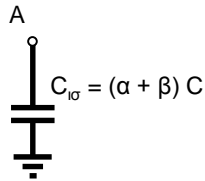


▶ Αν έχουμε ταυτόχρονη αλλαγή κατά:

- ▶ $\alpha\Delta V$ στην μια πλάκα
- ▶ $-\beta\Delta V$ στην άλλη πλάκα

▶ Τότε:

$$C = \frac{Q}{(a+b)\Delta V}$$



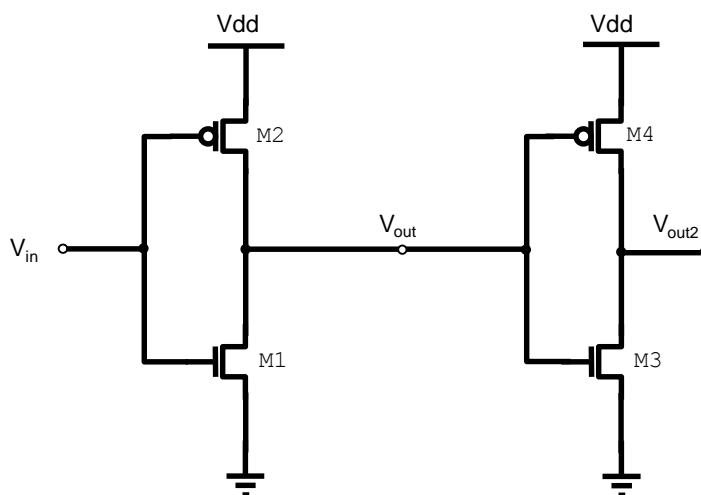
▶ Οπότε μπορούμε να θεωρήσουμε μια ισοδύναμη χωρητικότητα προς ένα σταθερό σημείο ως:

$$C_{ισ} = \frac{Q}{\Delta V} \Leftrightarrow C_{ισ} = (a+b)C$$

▶ 27

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

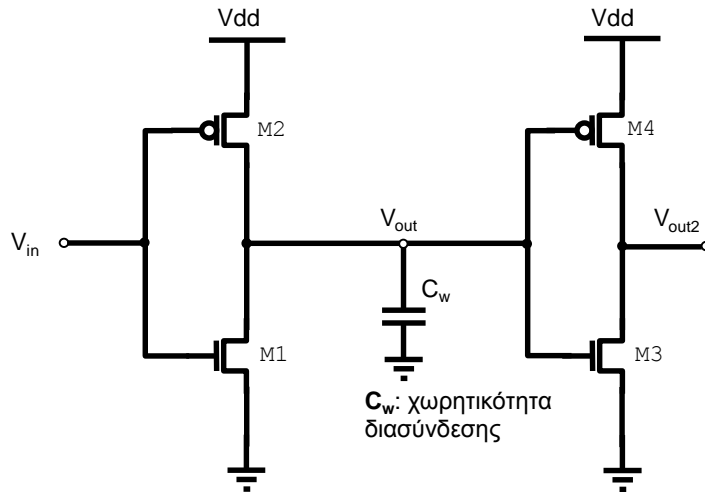
Μεταβατική Ανάλυση Κυκλώματος Αντιστροφέα



▶ 28

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

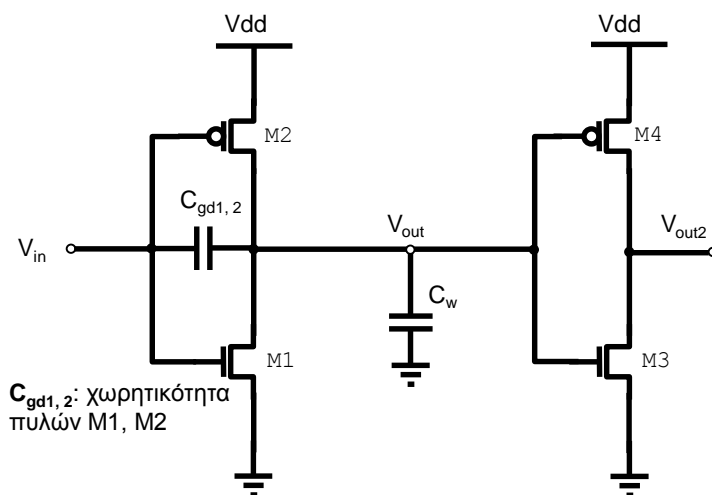
Μεταβατική Ανάλυση Κυκλώματος Αντιστροφέα



▶ 29

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

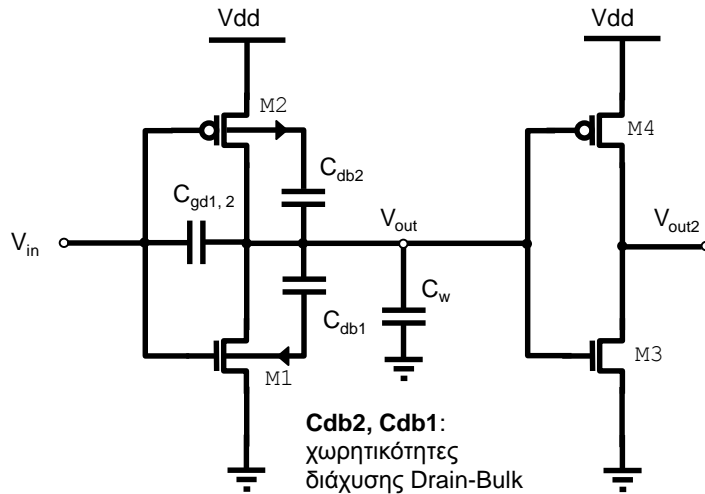
Μεταβατική Ανάλυση Κυκλώματος Αντιστροφέα



▶ 30

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

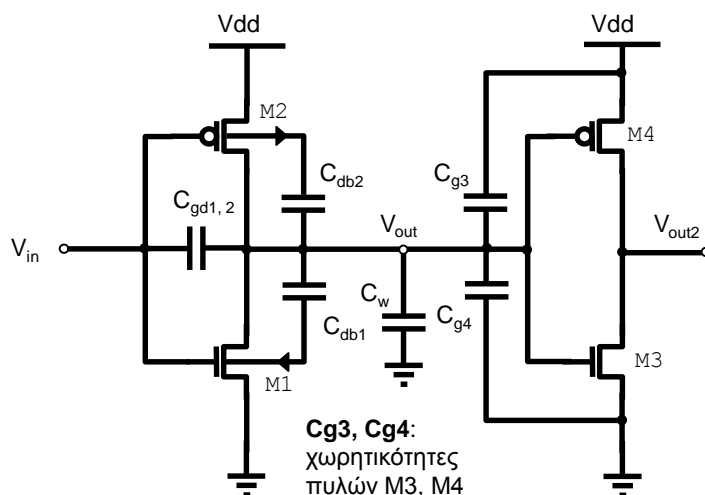
Μεταβατική Ανάλυση Κυκλώματος Αντιστροφέα



▶ 31

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

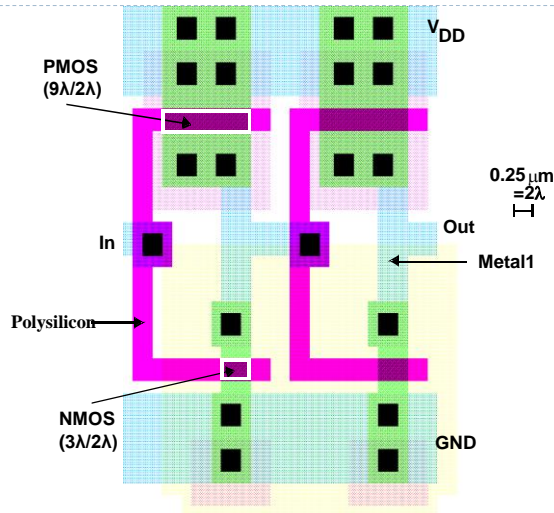
Μεταβατική Ανάλυση Κυκλώματος Αντιστροφέα



▶ 32

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Διάταξη των δυο Αντιστροφών



▶ 33

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητας
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
 - ▶ Δυναμική
 - ▶ Στατική
 - ▶ Διαρροής

▶ 34

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Εξόρυξη μεγεθών των τρανζίστορ

- ▶ Οι περιοχές Drain/Source μετρώνται από το άκρη της πύλης και πέρα
 - ▶ αν υπάρχει επαφή στην διάχυση συμπεριλαμβάνεται
 - ▶ αν όχι (τρανζίστορ σε σειρά) τότε μόνο την περιοχή μεταξύ των πυλών πολύ-πυριτίου
- ▶ Μετράμε σε λ :
 - ▶ Εδώ $2\lambda = 0.25 \Leftrightarrow \lambda = 0.125$

	W/L	AD (μm^2)	PD (μm)	AS (μm^2)	PS (μm)
NMOS	0.375/0.25	0.3 (19 λ^2)	1.875 (15 λ)	0.3 (19 λ^2)	1.875 (15 λ)
PMOS	1.125/0.25	0.7 (45 λ^2)	2.375 (19 λ)	0.7 (45 λ^2)	2.375 (19 λ)

▶ 35

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφάς 10/6/2014

Χωρητικότητες – Διεργασία 0.25 μm

- ▶ Έτσι, συνολικά οι χωρητικότητες έχουν ως εξής:
 - ▶ $\text{CGS} = \text{CGCS} + \text{CGSO}$
 - ▶ $\text{CGD} = \text{CGCD} + \text{CGDO}$
 - ▶ $\text{CGB} = \text{CGCB}$ (όταν είναι το τρανζίστορ σβηστό)
 - ▶ $\text{CSB} = \text{CSdiff}$
 - ▶ $\text{CDB} = \text{Cdiff}$
- ▶ Παρακάτω παραθέτονται χαρακτηριστικές τιμές για τις σχετικές παραμέτρους σε διεργασία 0.25 μm .

	C_{ox} (fF/ μm^2)	C_o (fF/ μm)	C_j (fF/ μm^2)	m_j	ϕ_b (V)	C_{jsw} (fF/ μm)	m_{jsw}	ϕ_{dsw} (V)
NMOS	6	0.31	2	0.5	0.9	0.28	0.44	0.9
PMOS	6	0.27	1.9	0.48	0.9	0.22	0.32	0.9

▶ 36

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφάς 10/6/2014

Χωρητικότητα Ένωσης pn

- Για μεγάλες διαφοροποιήσεις της τάσης, ΔV_D , έχουμε:

$$C_{eq} = \frac{\Delta Q_j}{\Delta V_D} = \frac{Q_j(V_{high}) - Q_j(V_{low})}{V_{high} - V_{low}} = K_{eq} C_{j0}$$

- Όπου το K_{eq} υπολογίζεται ως:

$$K_{eq} = \frac{-\phi_0^m}{(V_{high} - V_{low})(1-m)} \left[(\phi_0 - V_{high})^{1-m} - (\phi_0 - V_{low})^{1-m} \right]$$

► 37

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφείας 10/6/2014

Υπολογισμός K_{eq}

$$K_{eq} = \frac{-\phi_0^m}{(V_{high} - V_{low})(1-m)} \left[(\phi_0 - V_{high})^{1-m} - (\phi_0 - V_{low})^{1-m} \right]$$

		Παράμετροι	(V _{high} , V _{low})	Αποτέλεσμα
NMOS	I → 0	Κάθετη m = 0.5, φ = 0.9	(-2.5, -1.25)	0.57
		Πλευρική m = 0.44, φ = 0.9	(-2.5, -1.25)	0.61
NMOS	0 → I	Κάθετη m = 0.5, φ = 0.9	(-1.25, 0)	0.79
		Πλευρική m = 0.44, φ = 0.9	(-1.25, 0)	0.81
PMOS	I → 0	Κάθετη m = 0.48, φ = 0.9	(-1.25, 0)	0.79
		Πλευρική m = 0.32, φ = 0.9	(-1.25, 0)	0.86
PMOS	0 → I	Κάθετη m = 0.48, φ = 0.9	(-2.5, -1.25)	0.59
		Πλευρική m = 0.32, φ = 0.9	(-2.5, -1.25)	0.7

► 38

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφείας 10/6/2014

Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ **Ανάλυση χωρητικότητας**
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
- ▶ Δυναμική
- ▶ Στατική
- ▶ Διαρροής

▶ 39

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Ανάλυση της Χωρητικότητας

- ▶ Αναλύουμε τις συνιστώσες της χωρητικότητας C_L

Χωρητικότητα	Έκφραση	Τιμή (fF), $I \rightarrow 0$	Τιμή (fF), $0 \rightarrow 1$
C_{gd1}	$2 CGDO_n W_n$	0.23	0.23
C_{gd2}	$2 CGDO_p W_p$	0.61	0.61
C_{db1}	$K_{eqp} C_J AD_n + K_{eqsw n} CJSW PD_n$	0.66	0.90
C_{db2}	$K_{eqp} C_J AD_p + K_{eqsw p} CJSW PD_p$	1.5	1.15
C_{g3}	$(CGDO_n + CGSO_n) W_n + C_{ox} W_n L_n$	0.76	0.76
C_{g4}	$(CGDO_p + CGSO_p) W_p + C_{ox} W_p L_p$	2.28	2.28
C_w	Από Εξόρυξη	0.12	0.12
C_L	Σ	6.1	6.0

▶ 40

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

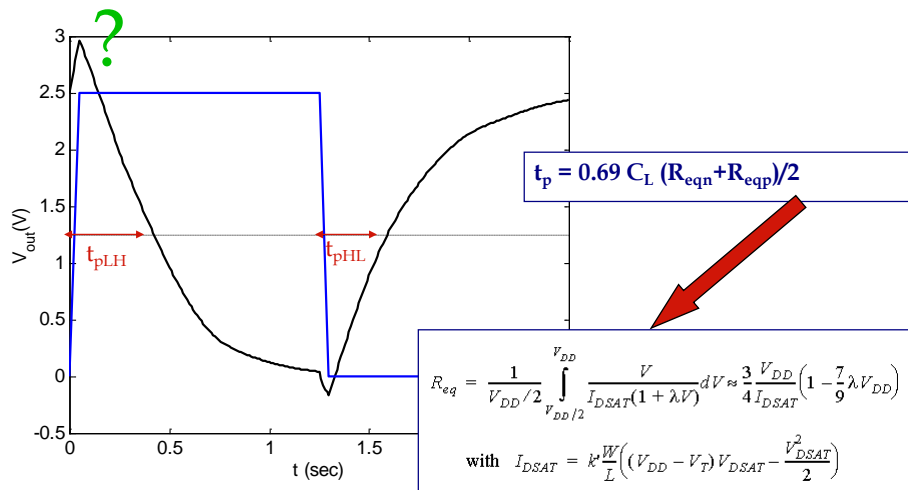
Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητας
- ▶ **Μεταβατική απόκριση**
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
- ▶ Δυναμική
- ▶ Στατική
- ▶ Διαρροής

▶ 41

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Μεταβατική Απόκριση (TRAN)



▶ 42

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

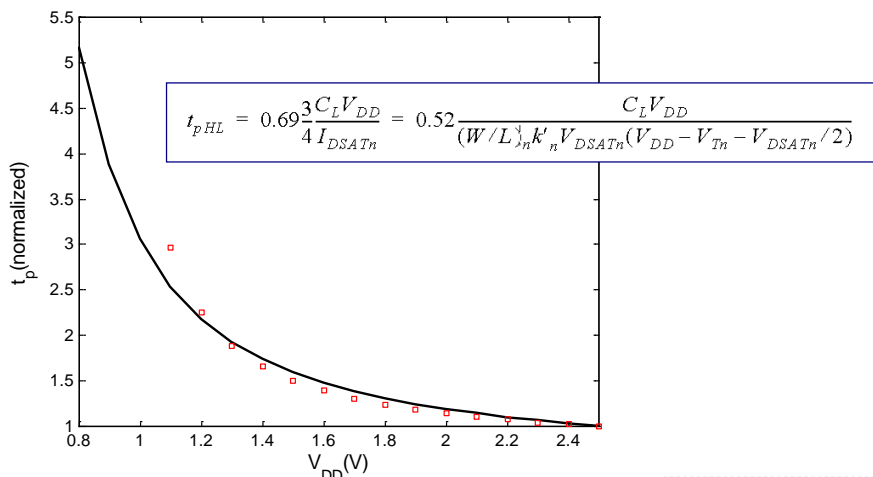
Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητων – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητων
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ **Καθυστέρηση και τάση**
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
 - ▶ Δυναμική
 - ▶ Στατική
 - ▶ Διαρροής

▶ 43

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Καθυστέρηση συναρτήσει της Τάσης



▶ 44

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

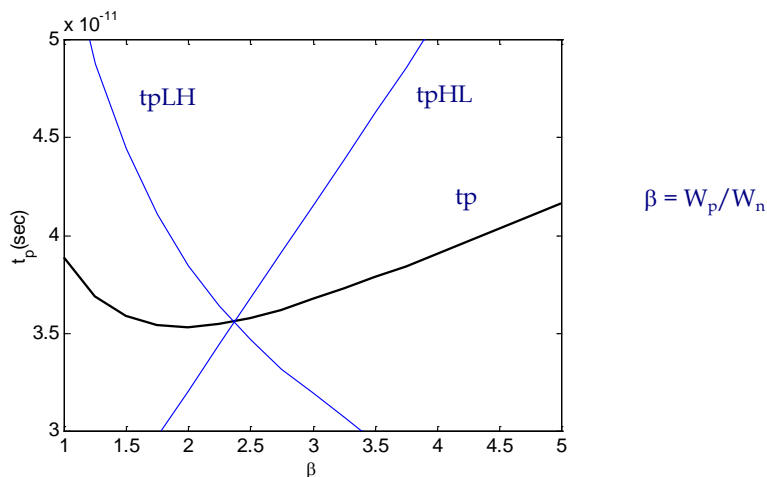
Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητας
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
 - ▶ Δυναμική
 - ▶ Στατική
 - ▶ Διαρροής

▶ 45

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Λόγος W των PMOS και NMOS



▶ 46

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

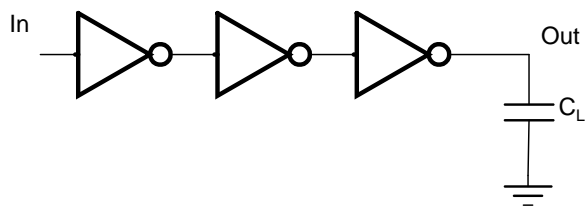
Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητας
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ **Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση**
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
 - ▶ Δυναμική
 - ▶ Στατική
 - ▶ Διαρροής

▶ 47

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Βελτιστοποίηση μεγεθών για Υψηλή Απόδοση



- ▶ Σε πολλές πρακτικές περιπτώσεις πρέπει να οδηγήσουμε ένα σήμα σε σημαντικές χωρητικότητες:
 - ▶ έξοδοι (pads) του κυκλώματος
 - ▶ σήματα ενεργοποίησης πολλαπλών bit, π.χ. 32, 64 bit
 - ▶ δέντρα ρολογιού που οδηγούν χιλιάδες καταχωρητές
- ▶ Χρειαζόμαστε έναν αλγόριθμο/ευριστικό ενίσχυσης τέτοιων διατάξεων

▶ 48

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Βελτιστοποίηση μεγεθών για Υψηλή Απόδοση

► Γενικεύουμε τα συμπεράσματα για τον αντιστροφέα:

► οι χωρητικότητες στην έξοδο μπορούν να διαχωριστούν σε:

► εσωτερικές: εγγενής χωρητικότητες της πύλης, δηλ.

- χωρητικότητες διάχυσης d, s
- χωρητικότητες επικάλυψης C_{gd} με το σχετικό φαινόμενο Miller

► εξωτερικές: εξωγενής χωρητικότητες της πύλης, δηλ.

- χωρητικότητες συνδέσεων
- φορτίο επόμενων πυλών (fan-out)

► Έτσι, με βάση την ισοδύναμη αντίσταση των τρανζίστορ, για μια πλήρως συμμετρική πύλη:

$$t_p = 0.69 R_{eq} (C_{int} + C_{ext}) = 0.69 R_{eq} C_{int} \left(1 + \frac{C_{ext}}{C_{int}}\right) = t_{p0} \left(1 + \frac{C_{ext}}{C_{int}}\right)$$

► όπου t_{p0} η καθυστέρηση ενός αντιστροφέα χωρίς φορτίο

► 49

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Βελτιστοποίηση μεγεθών για Υψηλή Απόδοση

► Για πύλη μεγέθους S , δηλ. $W = S \cdot W_{min}$, $L = L_{min}$

$$t_p = t_{p0} \left(1 + \frac{C_{ext}}{C_{int}}\right) = t_{p0} \left(1 + \frac{C_{ext}}{S C_{intref}}\right) = t_{p0} \left(1 + \frac{f}{\gamma}\right) \quad \text{όπου:} \quad C_{int} = \gamma C_g, f = \frac{C_{ext}}{C_g}$$

► Συνεπώς, μεγαλώνοντας το S :

► όταν C_{ext} της ίδιας τάξης μεγέθους με το $S \cdot C_{intref}$

► οδηγεί σε μεγαλύτερη καθυστέρηση ➔ **Αυτό-φόρτωση**

► Αυτό-φόρτωση ονομάζουμε την περίπτωση που η καθυστέρηση της πύλης κυριαρχείται από εγγενής χωρητικότητες του εαυτού της

► Επιπλέον βλέπουμε ότι για αρκετά μεγάλο S η καθυστέρηση της πύλης τείνει στο t_{p0}

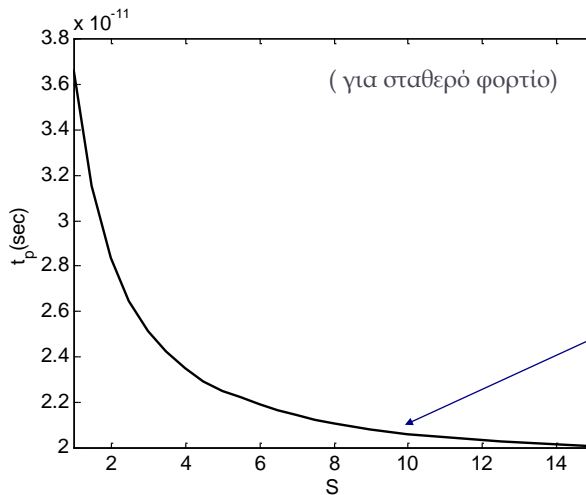
► Η δεύτερη μορφή της έκφρασης καθυστέρησης χρησιμοποιεί:

- f : λόγος μεγέθους εξωτερικής χωρητικότητας προς την χωρητικότητα της πύλης
- γ : σχέση μεγέθους πύλης και εγγενής χωρητικότητας

► 50

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Μέγεθος και Καθυστέρηση



$$C_L = C_{int} + C_{ext}$$

Αυτό-φόρτωση:
Κυριαρχούν οι
εγγενής χωρητικότητες

► 51

ΗΥ330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

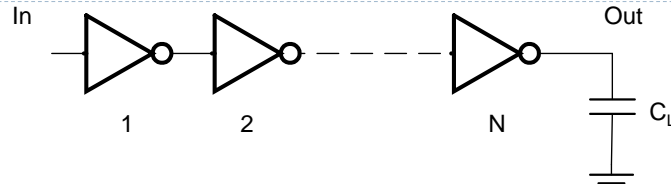
Σχεδίαση για Υψηλή Απόδοση

- Έλεγχος των παρασιτικών χωρητικότητων
 - Όσο μικρότερες είναι εφικτό
- Μεγάλα μεγέθη τρανζίστορ
 - Αυτό-φόρτωση:
 - Περίπτωση όπου η καθυστέρηση της πύλης κυριαρχείται από τις παρασιτικές χωρητικότητες των τρανζίστορ που την απαρτίζουν
 - Δηλαδή από την εγγενή χωρητικότητα της διάχυσης
 - Προσοχή στην αυτό-φόρτωση
 - Όταν μια πύλη ισχύει η αυτό-φόρτωση δεν βοηθάει να μεγαλώσουμε το μέγεθος των τρανζίστορ...
 - Μεγαλώνουμε μέχρι η εγγενής χωρητικότητα να είναι της ίδιας τάξης με την εξωτερική!
- Μεγαλύτερη τάση;
 - Αύξηση της τάσης;

► 52

ΗΥ330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Ελάχιστη Καθυστέρηση στην οδήγηση χωρητικότητας



- ▶ Στην παραπάνω λοιπόν γενική περίπτωση η συνολική καθυστέρηση In→Out είναι:

$$F = \frac{C_L}{C_{g(1)}}$$

$$t_p = t_{p1} + t_{p2} + \dots + t_{pN}$$

- ▶ Και για την πύλη j ισχύει:

$$t_{p(j)} = t_{p0} \left(1 + \frac{C_{g(j+1)}}{\gamma C_{g(j)}}\right) = t_{p0} \left(1 + \frac{f_j}{\gamma}\right) \quad \text{Όπου } f_j \text{ ο λόγος των μεγεθών των πυλών } j \text{ και } j+1$$

- ▶ Άρα: $t_p = t_{p0} \sum_{j=1}^N t_{p(j)}$ και στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί το t_p

▶ 53

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφάας 10/6/2014

Βέλτιστη κλιμάκωση των μεγεθών, f, και καθυστέρηση

- ▶ Η εξίσωση που είδαμε έχει (n-1) αγνώστους:

$$t_p = t_{p0} \sum_{j=1}^N t_{p(j)} = t_{p0} \sum_{j=1}^N \left(1 + \frac{C_{g(j+1)}}{\gamma C_{g(j)}}\right)$$

- ▶ Για ελάχιστη καθυστέρηση (n-1) παράγωγοι:

$$\frac{C_L}{C_{g(N)}} = \frac{C_{g(j+1)}}{C_{g(j)}} = \frac{C_{g(j)}}{C_{g(j-1)}} = \dots = \frac{C_2}{C_1}$$

- ▶ Συνεπώς, για ελάχιστη καθυστέρηση θέλουμε **έναν σταθερό λόγο μεγεθών** για όλες τις πύλες:

Όπου η βέλτιστη καθυστέρηση είναι:

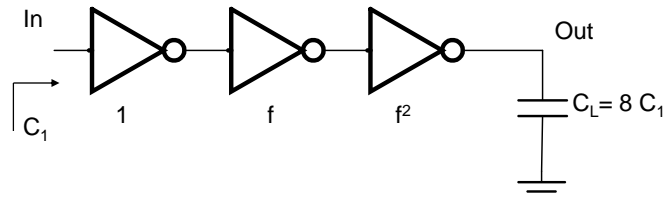
$$f = \sqrt[N]{\frac{C_L}{C_{g(1)}}} = \sqrt[N]{F} \quad t_p = N t_{p0} \left(1 + \frac{\sqrt[N]{F}}{\gamma}\right)$$

▶ 54

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφάας 10/6/2014

Παράδειγμα

- ▶ Έστω $C_L = 8 C_1$



- ▶ Έχουμε 3 συνολικά στάδια στα οποία θέλουμε να διαμοιραστεί το 8. C_1 , άρα:

$$f = \sqrt[3]{8} = 2 \quad t_p = 3t_{p0} \left(1 + \frac{2}{1}\right) = 9t_{p0}$$

Αν το N είναι άγνωστο;

▶ 55

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφάς 10/6/2014

- ▶ Για να βρούμε τον βέλτιστο αριθμό σταδίων, N:
- ▶ Θεωρούμε την παράγωγο dt_p/df και την θέτουμε 0 για να βρούμε το N

$$t_p = Nt_{p0} \left(1 + \frac{\sqrt[N]{F}}{\gamma}\right) \quad \frac{\partial t_p}{\partial f} = \gamma + \sqrt[N]{F} - \frac{\sqrt[N]{F} \ln F}{N} = 0$$

$$\frac{\partial t_p}{\partial f} = \frac{t_{p0} \ln F}{\gamma} \cdot \frac{\ln f - 1 - \gamma/f}{\ln^2 f} = 0$$

$$f = e^{(1+\gamma/f)}$$

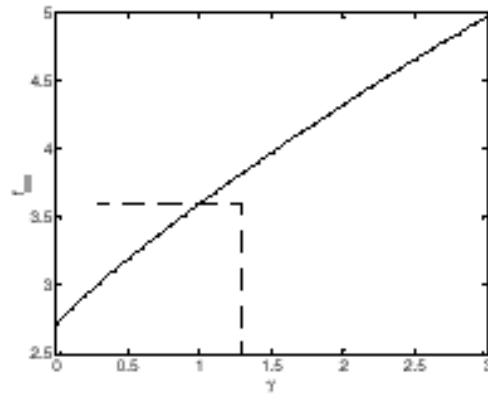
- ▶ Για $\gamma = 0$:

$$f = e = 2.71828, N = \ln F$$

▶ 56

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφάς 10/6/2014

Αριθμητική επίλυση με $\gamma \neq 0$



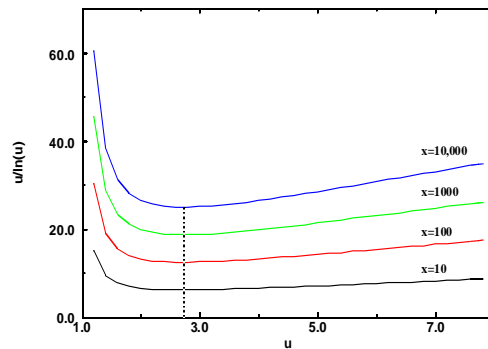
$f_{\text{opt}} = 3.6$
για $\gamma = 1$

► 57

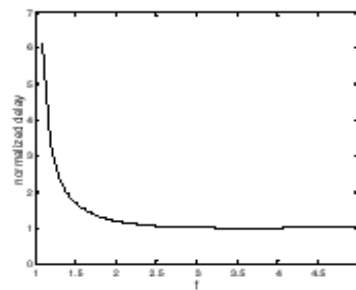
ΗΥ330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Καθυστέρηση και $\gamma \neq 0$

Με $\gamma=0$



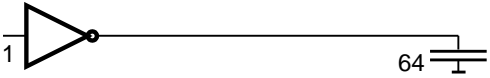
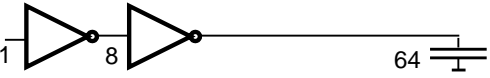
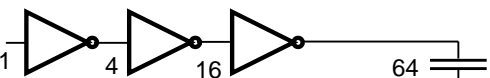

Με $\gamma=1$



► 58

ΗΥ330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Παράδειγμα Ενίσχυσης

	N	f	t_p
	1	64	65
	2	8	18
	3	4	15
	4	2.8	15.3

▶ 59

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Η επίδραση της Ενίσχυσης

F	Χωρίς Ενίσχυση	Δύο επίπεδα	Αλυσίδα Αντιστροφέων
10	;	;	;
100	;	;	;
1000	;	;	;
10000	;	;	;

▶ Υπολογίστε τις τιμές του πίνακα...

▶ 60

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Η επίδραση της Ενίσχυσης

F	Χωρίς Ενίσχυση	Δύο επίπεδα	Αλυσίδα Αντιστροφών
10	11	8.3	8.3
100	101	22	16.5
1000	1001	65	24.9
10000	10001	202	33.1

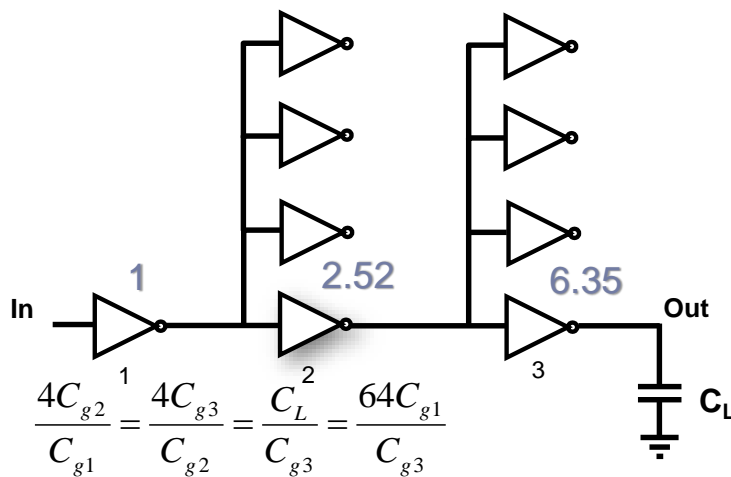
- ▶ $t_{p10}(2\text{ηστήλη}) = t_{p0} (1 + 10/1) = 11$ $t_p = t_{p0} \sum_{j=1}^N t_{p(j)} = t_{p0} \sum_{j=1}^N (1 + \frac{C_{g(j+1)}}{\gamma C_{g(j)}})$
- ▶ $t_{p10}(3\text{ηστήλη}) = t_{p0} (1 + 3.16/1 + 1 + 10/3.16) = 8.32$ $t_p = N t_{p0} (1 + \frac{\sqrt[N]{F}}{\gamma})$
- ▶ $t_{p1000}(4\text{ηστήλη})$: $N = 5, f = 3.98, t_{p1000} = 5(1 + 3.98) = 24.9$
- ▶ $t_{p10000}(4\text{ηστήλη})$: $N = 7, f = 3.72, t_{p10000} = 7(1 + 3.72) = 33.1$

▶ 61

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Παράδειγμα με ενδιάμεσες διακλαδώσεις

- ▶ Ποια τα μεγέθη C_{g1}, C_{g2}, C_{g3} ;



▶ 62

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

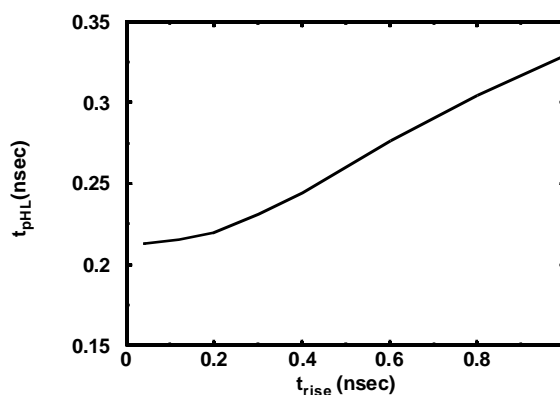
Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητας
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ **Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου**
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
- ▶ Δυναμική
- ▶ Στατική
- ▶ Διαρροής

▶ 63

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Επιρροή του Χρόνου Ανόδου/Καθόδου



$$t_p^i = t_{step}^i + \eta t_{step}^{i-1}$$

▶ 64

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Περιεχόμενα

- ▶ Διαισθητική λειτουργία
- ▶ Χαρακτηριστικά Αντιστροφέα CMOS
- ▶ Μεταβατική Λειτουργία
- ▶ Διάταξη
- ▶ Διάγραμμα φορτίου και Εξαγωγή Καμπύλης Μετάβασης
- ▶ Σημείο μετάβασης VM και προσέγγιση των VIH, VIL
- ▶ Επιρροή μεταβλητότητας
- ▶ Επιρροή τάσης
- ▶ Διεξοδική ανάλυση χωρητικότητας – μεταβατικής καθυστέρησης
- ▶ Φαινόμενο Miller
- ▶ Εξόρυξη μεγεθών
- ▶ Ανάλυση χωρητικότητας
- ▶ Μεταβατική απόκριση
- ▶ Καθυστέρηση και τάση
- ▶ Καθυστέρηση και λόγος N/P
- ▶ Βελτιστοποίηση μεγεθών για ελάχιστη καθυστέρηση
- ▶ Επιρροή χρόνου ανόδου/καθόδου
- ▶ Κατανάλωση ενέργειας
 - ▶ Δυναμική
 - ▶ Στατική
 - ▶ Διαρροής

▶ 65

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

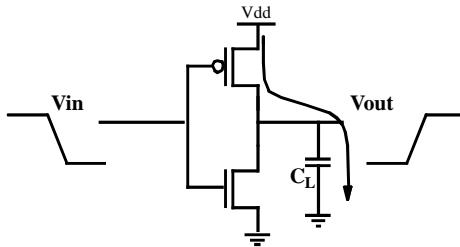
Κατανάλωση Ενέργειας

- ▶ Ποιοι είναι οι παράγοντες κατανάλωσης;
- ▶ Δυναμική Ενέργεια
 - ▶ φόρτωση και εκφόρτωση των κόμβων του κυκλώματος
 - ▶ τοπικές και παρασιτικές χωρητικότητες
- ▶ Στατική Ενέργεια
 - ▶ κατανάλωση κατά την μετάβαση μιας πύλης, όπου δημιουργείται στιγμιαία μονοπάτι από την τάση στην γείωση
- ▶ Ενέργεια Διαρροής
 - ▶ ρεύματα διαρροής των τρανζίστορ, και σχετικών διόδων

▶ 66

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Δυναμική Ενέργεια και Κατανάλωση



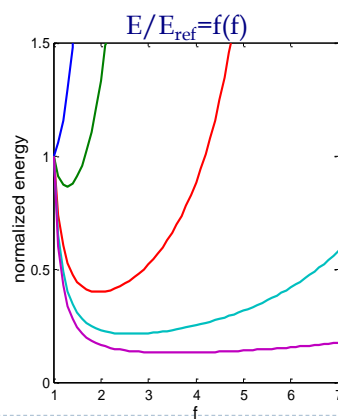
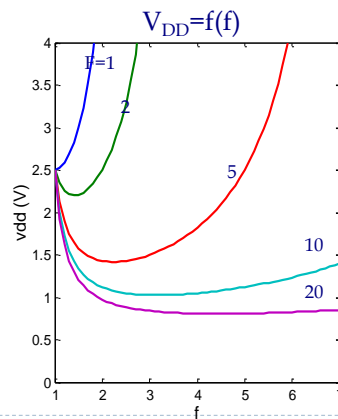
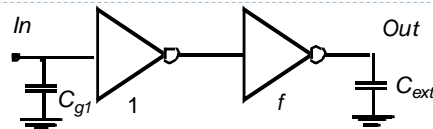
$$P_{dyn} = \alpha \cdot f_{0 \rightarrow 1} \cdot C_L \cdot V_{DD}^2$$

- ▶ Μετάβαση $0 \rightarrow 1$: απαιτείται εξωτερική ενέργεια
- ▶ Ενέργεια/μετάβαση $= C_L \cdot V_{DD}^2$
- ▶ Ενέργεια που αποθηκεύεται στον πυκνωτή $= \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot V_{DD}^2$
- ▶ Ενέργεια που εκλύεται ως θερμότητα $= \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot V_{DD}^2$
- ▶ Ισχύς $= (\text{Ενέργεια/μετάβαση}) \cdot f = C_L \cdot V_{DD}^2 \cdot f$
- ▶ **Δραστηριότητα** $\alpha = \%$ μεταβάσεων σε N κύκλους

▶ 67

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

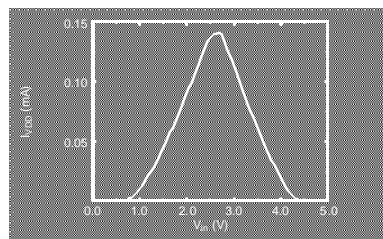
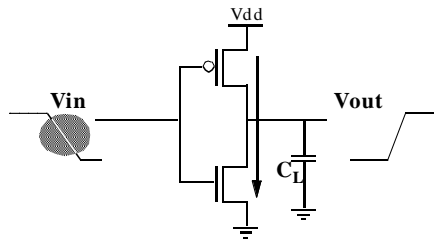
Επιλογή βέλτιστου μεγέθους για ενέργεια;



▶ 68

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

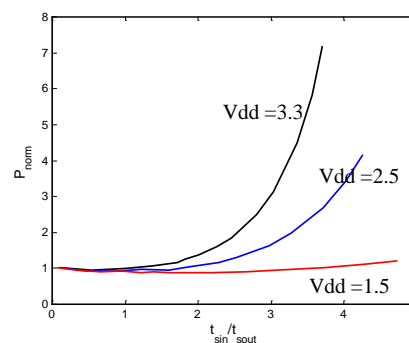
Στατική Ενέργεια – στατικό ρεύμα



▶ 69

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Στατική Ενέργεια – στατικό ρεύμα

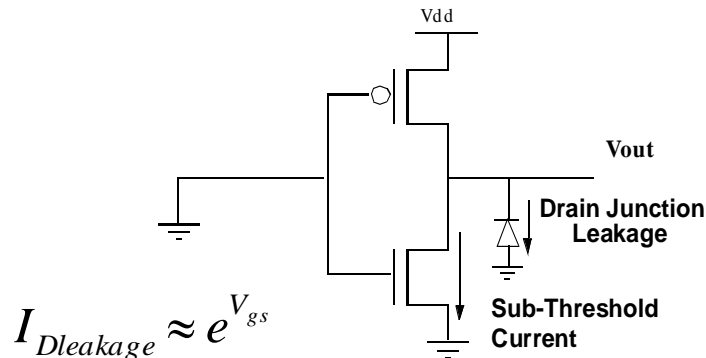


- ▶ Αν $t_r \approx t_f$, τότε η στατική κατανάλωση ελαχιστοποιείται
- ▶ Επίσης, είναι αντιστρόφως ανάλογη με την τάση

▶ 70

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Ενέργεια Διαρροής – Ρεύμα διαρροής



- ▶ Ο χειρισμός του ρεύματος διαρροής είναι από τα σημαντικότερα προβλήματα στην σημερινή σχεδίαση!!!

▶ 71

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014

Συμπεράσματα ως προς την Κατανάλωση

- ▶ βέλτιστο μέγεθος για ενέργεια < βέλτιστο μέγεθος για απόδοση
- ▶ η δυναμική ισχύς είναι $\sim V_{dd}^2$
- ▶ ενώ η καθυστέρηση με Vdd [$t_p = V_{dd}(1 - e^{-t/RC})$]
- ▶ η κλιμάκωση της τάσης είναι σημαντικός παράγοντας κέρδους ενέργειας
- ▶ για μια πύλη, τεχνολογία και έναν αντιστροφέα μπορεί να υπολογιστεί ένα βέλτιστο Vdd, έτσι ώστε EDP ελάχιστο
 - ▶ τέτοιες μελέτες καθορίζουν συνήθως την ονομαστική τάση
- ▶ Το ρεύμα διαρροής αποτελεί μεγάλη πρόκληση
 - ▶ νέες τεχνικές δοκιμάζονται και εφαρμόζονται σήμερα
 - ▶ multi-VT τεχνολογίες, power gating

▶ 72

HY330 - Διάλεξη 5η - Ο Αντιστροφέας 10/6/2014