



# ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ VLSI

## CMOS Αναστροφέας

Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

*Γ. Τσατούχας*

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής  
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων



1



# ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ VLSI

## Διάρθρωση

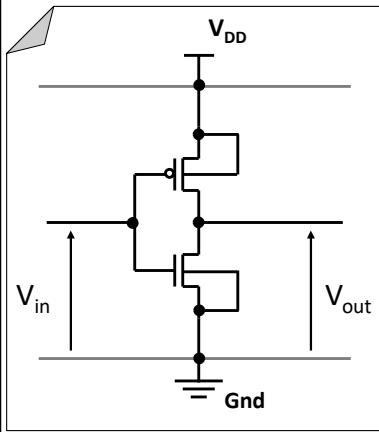
1. I-V χαρακτηριστική αναστροφέα
2. Στατική χαρακτηριστική μεταφοράς
3. Κατώφλι μετάβασης
4. Περιθώρια θορύβου
5. Φαινόμενο latch-up



VLSI Systems and Computer Architecture Lab

2

## Περιοχές Λειτουργίας MOS



CMOS Αναστροφέας

	Αποκοπή	Γραμμική	Κόρος
<b>pMOS</b>	$V_{GSp} > V_{tp}$ $V_{in} > V_{tp} + V_{DD}$	$V_{GSp} < V_{tp}$ $V_{in} < V_{tp} + V_{DD}$ $V_{DSp} > V_{GS} - V_{tp}$ $V_{in} - V_{out} < V_{tp}$	$V_{GSp} < V_{tp}$ $V_{in} < V_{tp} + V_{DD}$ $V_{DSp} < V_{GS} - V_{tp}$ $V_{in} - V_{out} > V_{tp}$
<b>nMOS</b>	$V_{GSn} < V_{tn}$ $V_{in} < V_{tn}$	$V_{GSn} > V_{tn}$ $V_{in} > V_{tn}$ $V_{DSn} < V_{GS} - V_{tn}$ $V_{in} - V_{out} > V_{tn}$	$V_{GSn} > V_{tn}$ $V_{in} > V_{tn}$ $V_{DSn} > V_{GS} - V_{tn}$ $V_{in} - V_{out} < V_{tn}$

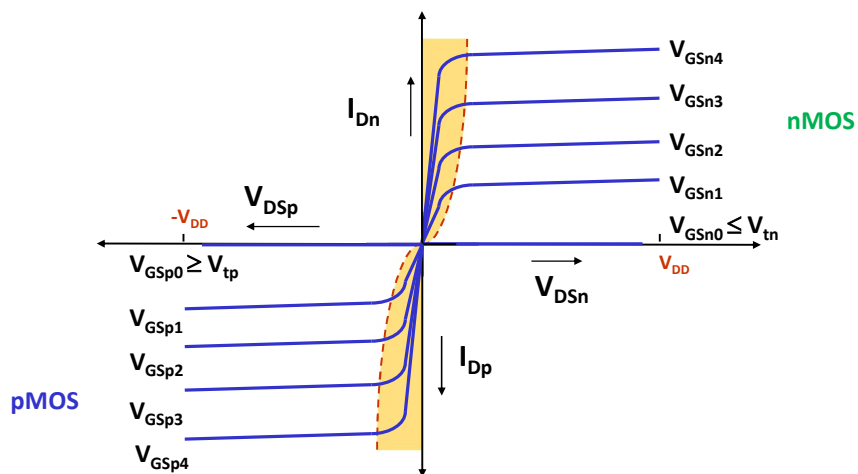


Ο CMOS Αναστροφέας

3

3

## Χαρακτηριστική CMOS Αναστροφέα (I)

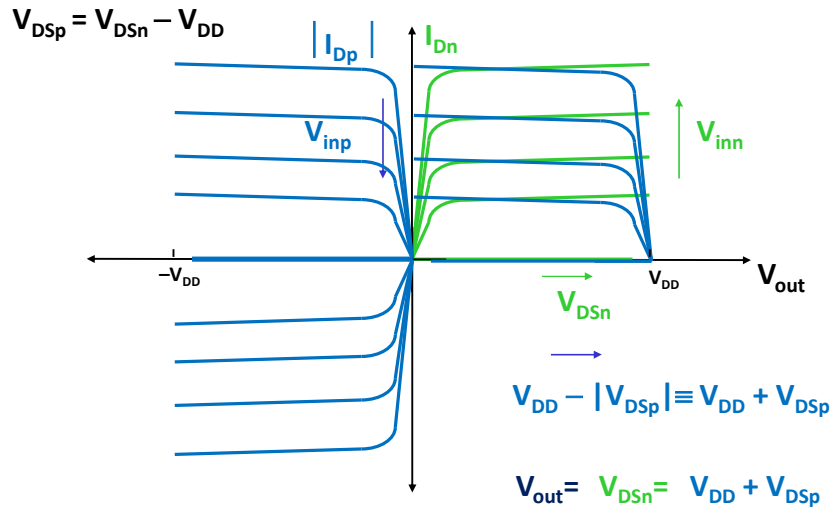


Ο CMOS Αναστροφέας

4

4

## Χαρακτηριστική CMOS Αναστροφεία (II)

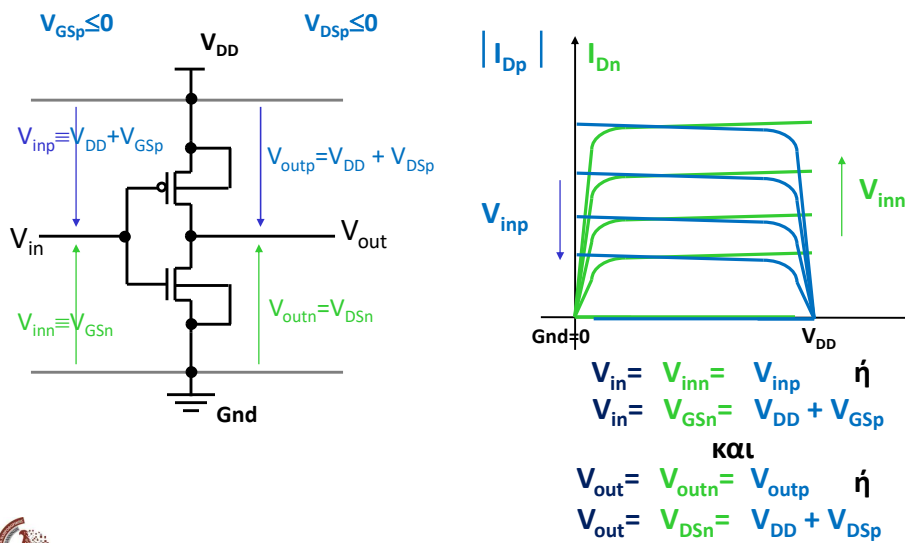


Ο CMOS Αναστροφείας

5

5

## Χαρακτηριστική CMOS Αναστροφεία (III)

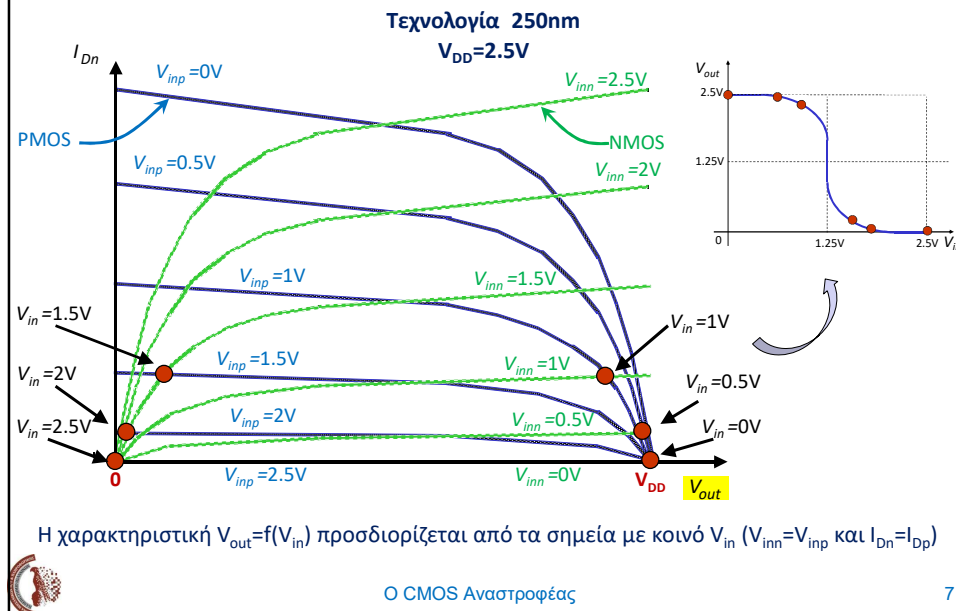


Ο CMOS Αναστροφείας

6

6

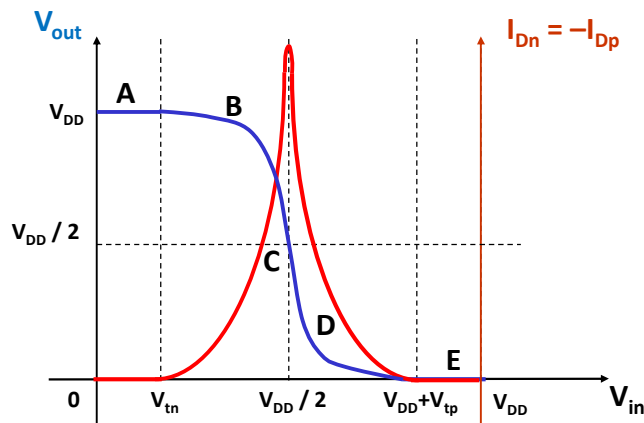
## Χαρακτηριστική CMOS Αναστροφεία (IV)



7

## Στατική (DC) Χαρακτηριστική Μεταφοράς (I)

Χαρακτηριστική Εισόδου – Εξόδου [ $V_{out}=f(V_{in})$ ]



Ο CMOS Αναστροφείας

8

8

## Ανάλυση Χαρακτηριστικής Μεταφοράς

Περιοχή	Συνθήκη	pMOS	nMOS	Έξοδος
A	$0 \leq V_{in} \leq V_{tn}$	Γραμμική	Αποκοπή	$V_{out} = V_{DD}$
B	$V_{tn} \leq V_{in} < V_{DD}/2$	Γραμμική	Κόρος	$V_{out} = f(V_{in})$
C	$V_{in} = V_{DD}/2$	Κόρος	Κόρος	$V_{out} \neq f(V_{in})$
D	$V_{DD}/2 < V_{in} \leq V_{DD}-V_{tp}$	Κόρος	Γραμμική	$V_{out} = f(V_{in})$
E	$V_{DD}-V_{tp} \leq V_{in}$	Αποκοπή	Γραμμική	$V_{out} = Gnd$

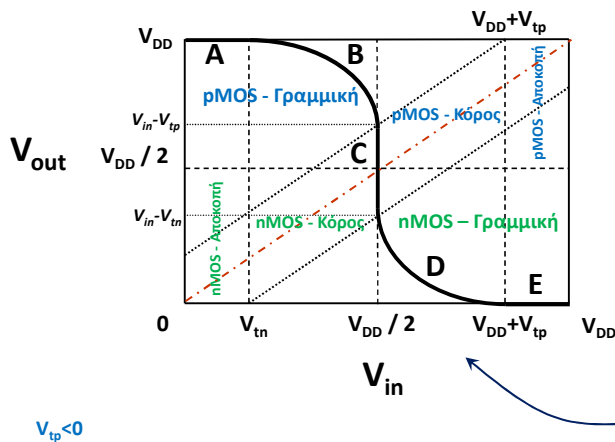


Ο CMOS Αναστροφέας

9

9

## Στατική (DC) Χαρακτηριστική Μεταφοράς (II)



Στην περιοχή C τα δύο τρανζίστορ είναι στον κόρο και συμπεριφέρονται σαν πηγές ρεύματος.

Υπάρχει μία τάση εισόδου για την οποία ισχύει  $V_{in} = V_{out}$  και η τάση αυτή ονομάζεται κατώφλι μετάβασης ( $V_M$ ) της λογικής πύλης.

Σε αυτή την τάση το σύστημα είναι σε ασταθή ισορροπία.

(Εδώ το κατώφλι μετάβασης είναι  $V_{DD}/2$ , θεωρώντας ότι ισχύει  $k_p = k_n$ ).

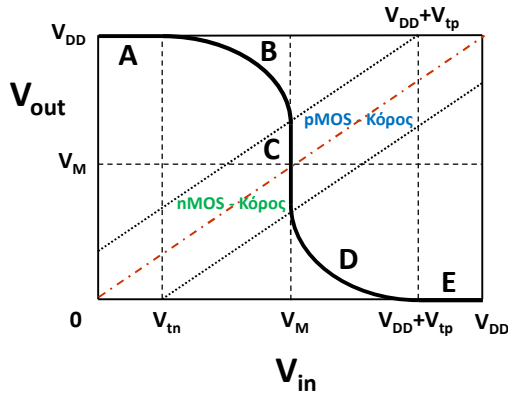


Ο CMOS Αναστροφέας

10

10

## Κατώφλι Μετάβασης



Στην περιοχή C τα δύο τρανζίστορ είναι στον κόρο. Εξισώνοντας τα ρεύματά τους για τάση  $V_{in}=V_{out}=V_M$  παίρνουμε:

$$\frac{k_n}{2}(V_M - V_{tn})^2 = \frac{k_p}{2}(V_M - V_{DD} - V_{tp})^2$$

$\Leftrightarrow$

$$\frac{k_n}{k_p} = \frac{(V_M - V_{DD} - V_{tp})^2}{(V_M - V_{tn})^2}$$

$$k_{p/n} = \frac{\mu_{p/n} \cdot \epsilon \cdot W}{t_{ox} \cdot L}$$

$$\frac{W_n}{W_p} = \frac{\mu_p}{\mu_n} \frac{(V_M - V_{DD} - V_{tp})^2}{(V_M - V_{tn})^2}$$

$$L_n = L_p$$

Αν ζητάμε κάποιο συγκεκριμένο κατώφλι μετάβασης  $V_M$  τότε ο απαιτούμενος λόγος των πλατών των τρανζίστορ (για ίδια  $L$ ) θα δίδεται από:

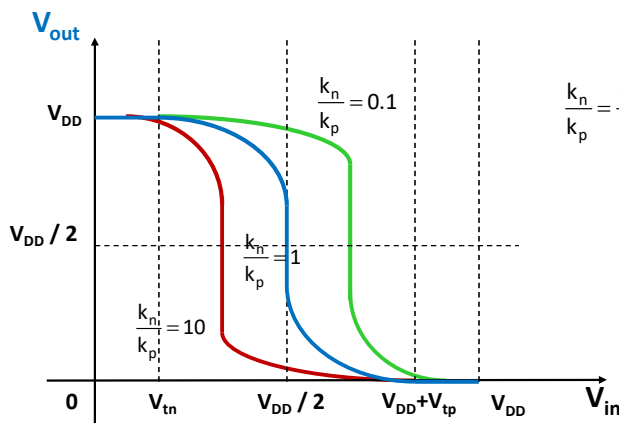


© CMOS Αναστροφέας

11

11

## $k_n/k_p$ και Χαρακτηριστική Μεταφοράς



$$\frac{k_n}{k_p} = \frac{(V_M - V_{DD} - V_{tp})^2}{(V_M - V_{tn})^2} \Big|_{V_M = \frac{V_{DD}}{2}} = 1$$

$$V_{tn} = |V_{tp}|$$

$$k_{p/n} = \frac{\mu_{p/n} \cdot \epsilon \cdot W}{t_{ox} \cdot L}$$

Με δεδομένο ότι  $\mu_n > \mu_p$ , θα πρέπει  $W_p > W_n$  ώστε  $k_p = k_n$  και  $V_M = V_{DD}/2$  !

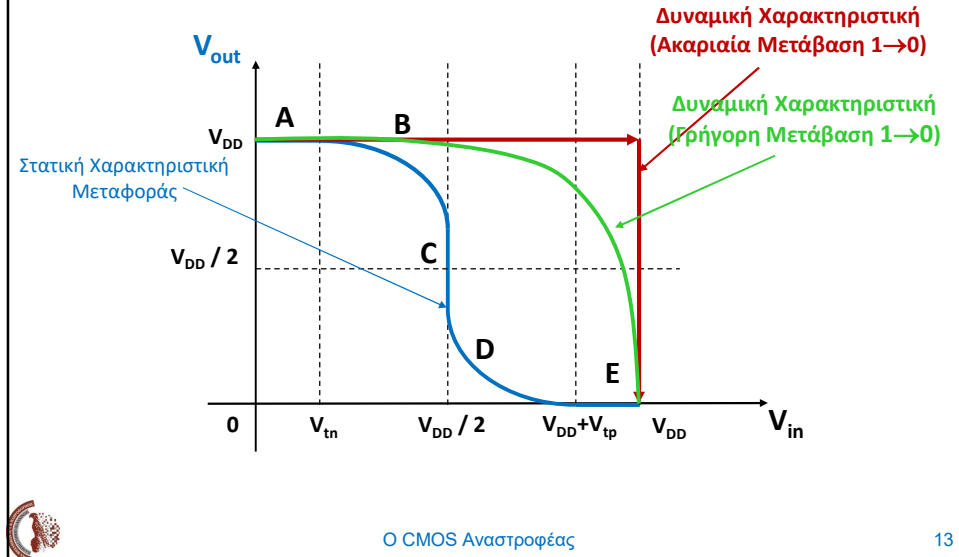


© CMOS Αναστροφέας

12

12

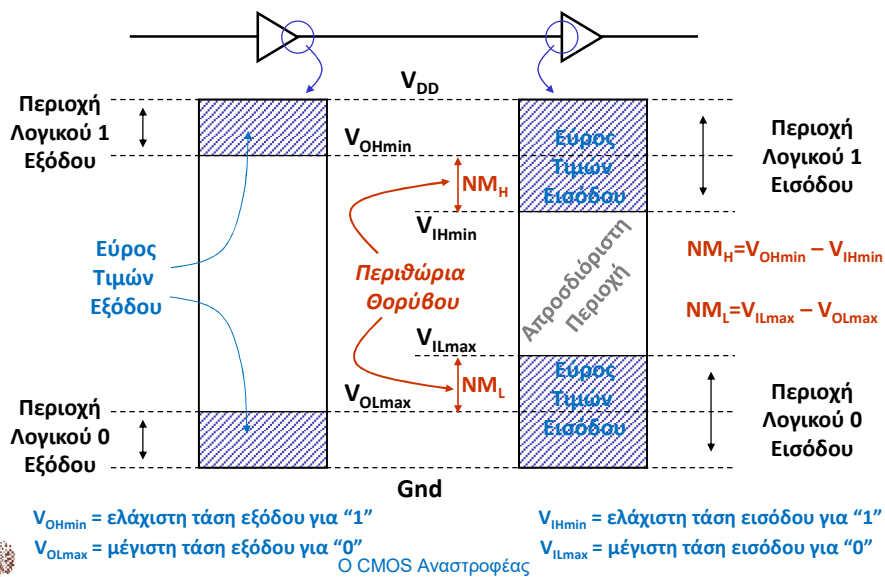
## Δυναμική Χαρακτηριστική Μεταφοράς



13

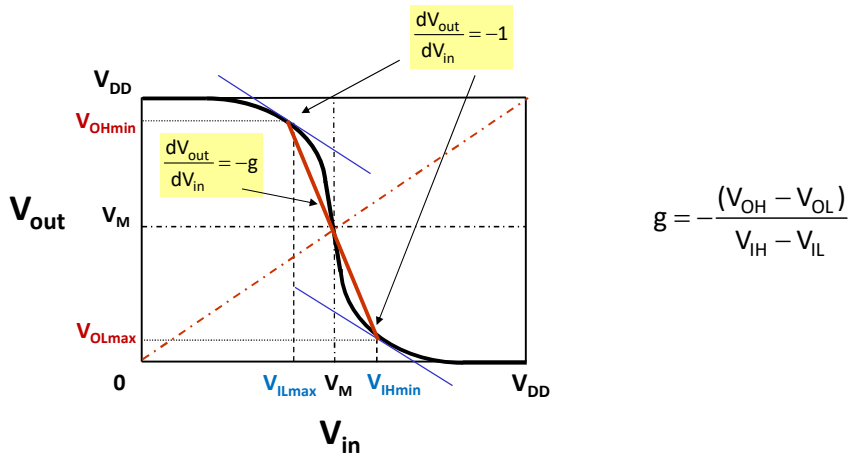
## Περιθώρια Θορύβου (I)

(Noise Margins)



14

## Περιθώρια Θορύβου (II)

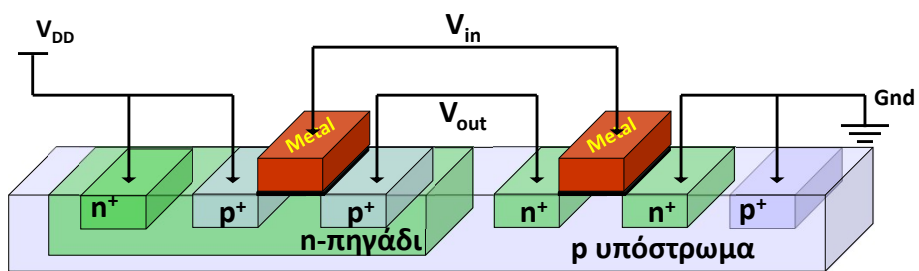


© CMOS Αναστροφέας

15

15

## Υλοποίηση CMOS Αναστροφέα



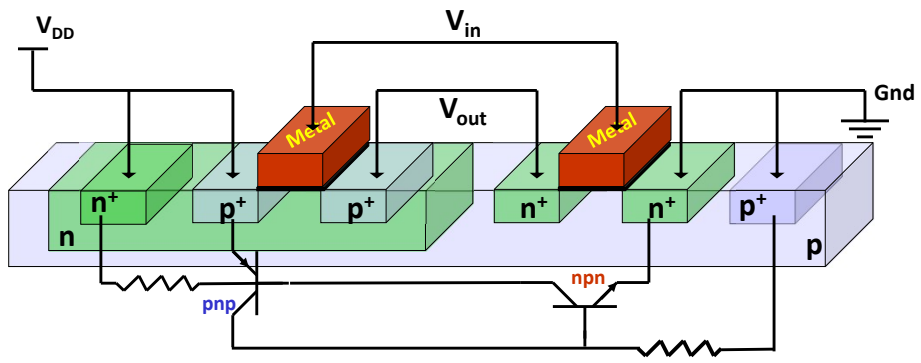
© CMOS Αναστροφέας

16

16



## Φαινόμενο Latch-Up



Ο CMOS Ανατροφέας

17

17