



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

**ΑΝΟΙΚΤΑ** ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Σχεδιασμός Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων VLSI I

Επιμέλεια:

Γεώργιος Θεοδορίδης, Επίκουρος Καθηγητής

Οδυσσέας Κουφοπαύλου, Καθηγητής

Ανδρέας Εμερετλής, Υποψήφιος Διδάκτορας

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη Δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό αναπτύχθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

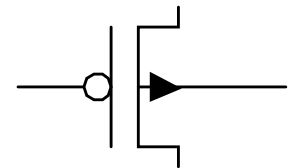
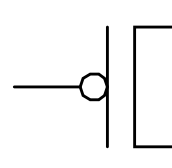
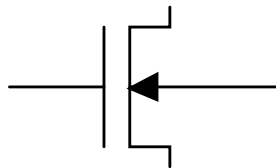
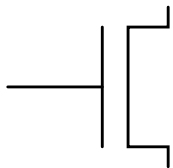
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Χαρακτηριστικά MOS Στοιχείων

- Εισαγωγή
- MOS Πυκνωτής
- nMOS I-V Χαρακτηριστικές
- pMOS I-V Χαρακτηριστικές
- Χωρητικότητες πύλης και διάχυσης

- Μέχρι τώρα τα τρανζίστορ αντιμετωπίστηκαν ως ιδανικοί διακόπτες
- Ένα ON τρανζίστορ επιτρέπει τη διέλευση (θεωρητικά) άπειρου ρεύματος
  - Εξάρτηση από τις εφαρμοζόμενες τάσεις
- Η πύλη (gate), η πηγή (source) και ο υποδοχή (drain)
  - $I = C (\Delta V / \Delta t) \rightarrow \Delta t = (C/I) \Delta V$
  - Οι χωρητικότητες και το ρεύμα καθορίζουν την ταχύτητα



- Εισαγωγή
- MOS Πυκνωτής
- nMOS I-V Χαρακτηριστικές
- pMOS I-V Χαρακτηριστικές
- Χωρητικότητες πύλης και διάχυσης

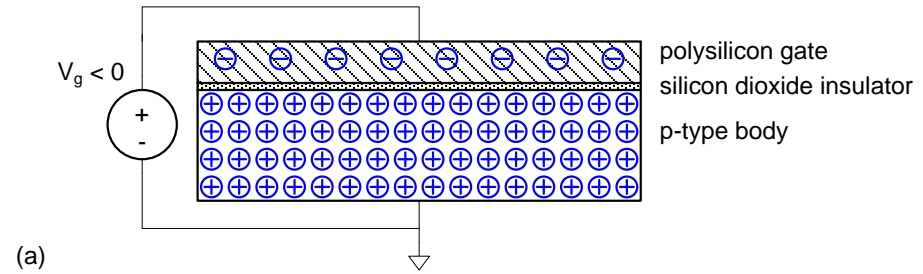


- Η πύλη και το υπόστρωμα δημιουργούν ένα πυκνωτή
- Καταστάσεις λειτουργίας

# Πυκνωτής MOS

➤ Η πύλη και το υπόστρωμα δημιουργούν ένα πυκνωτή

➤ Καταστάσεις λειτουργίας  
-Συσώρευσης (Accumulation)

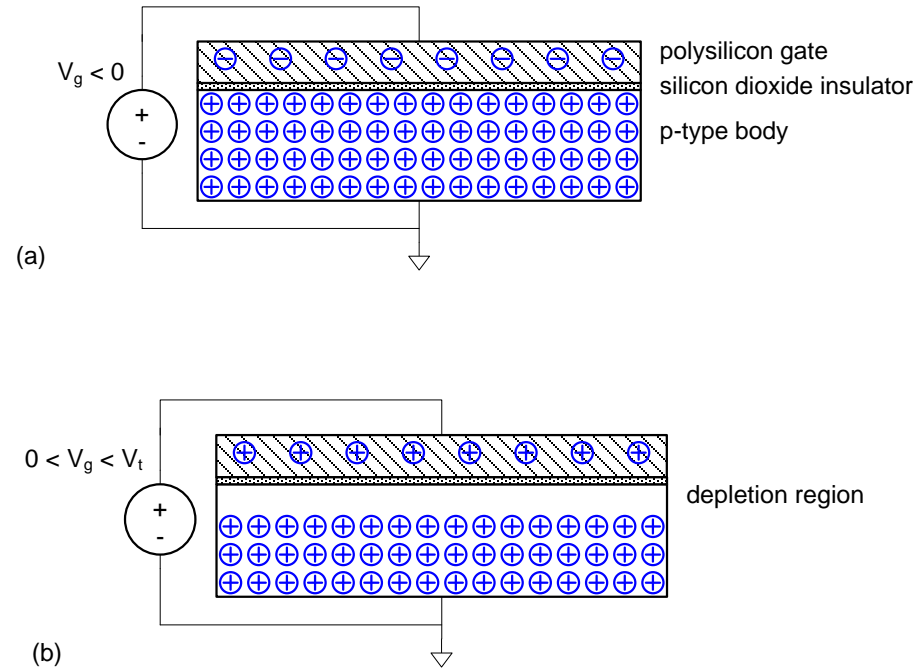


# Πυκνωτής MOS

➤ Η πύλη και το υπόστρωμα δημιουργούν ένα πυκνωτή

➤ Καταστάσεις λειτουργίας

- Συσώρευσης (Accumulation)
- Αραίωσης (Depletion)

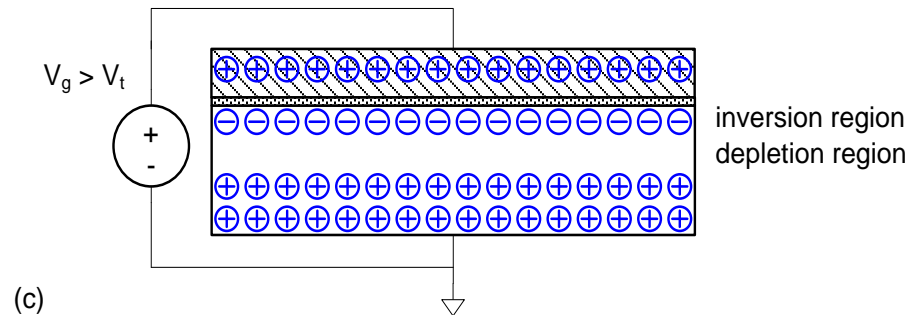
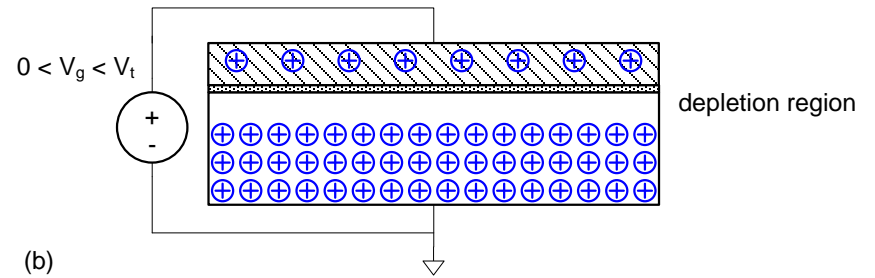
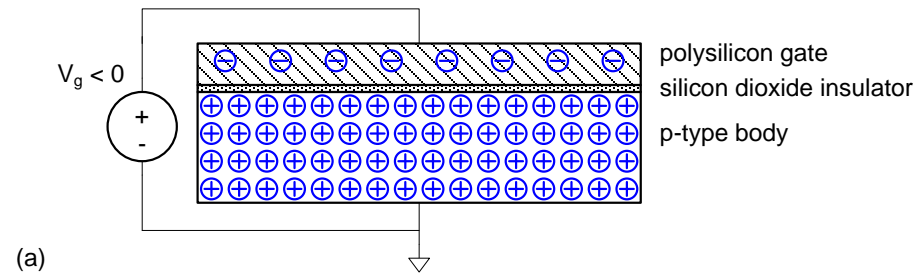


# Πυκνωτής MOS

➤ Η πύλη και το υπόστρωμα δημιουργούν ένα πυκνωτή

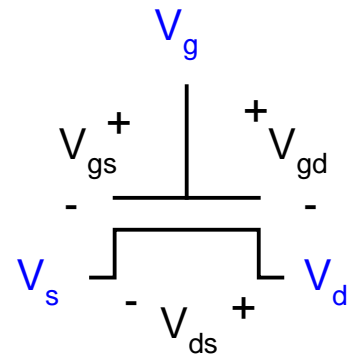
➤ Καταστάσεις λειτουργίας

- Συσώρευσης (Accumulation)
- Αραίωσης (Depletion)
- Αντιστροφής (Inversion)



➤ Η λειτουργία εξαρτάται από τις τάσεις  $V_g$ ,  $V_d$ ,  $V_s$

$$\begin{aligned} - V_{gs} &= V_g - V_s \\ - V_{gd} &= V_g - V_d \\ - V_{ds} &= V_d - V_s = V_{gs} - V_{gd} \end{aligned}$$



➤ Η πηγή και η υποδοχή είναι συμμετρικοί ακροδέκτες

- Από σύμβαση η πηγή έχει χαμηλότερο δυναμικό
- Επομένως  $V_{ds} \geq 0$

➤ Το nMOS υπόστρωμα είναι συνδεδεμένο με τη γείωση

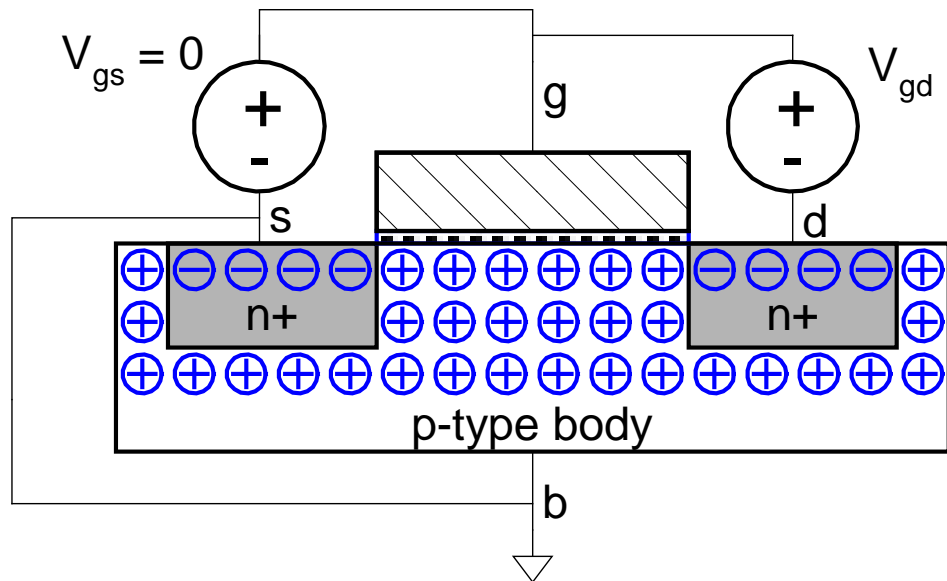
➤ Υπάρχουν τρεις περιοχές (καταστάσεις) λειτουργίας

- Αποκοπή (*Cutoff*)
- Γραμμική (*Linear*)
- Κόρος (*Saturation*)

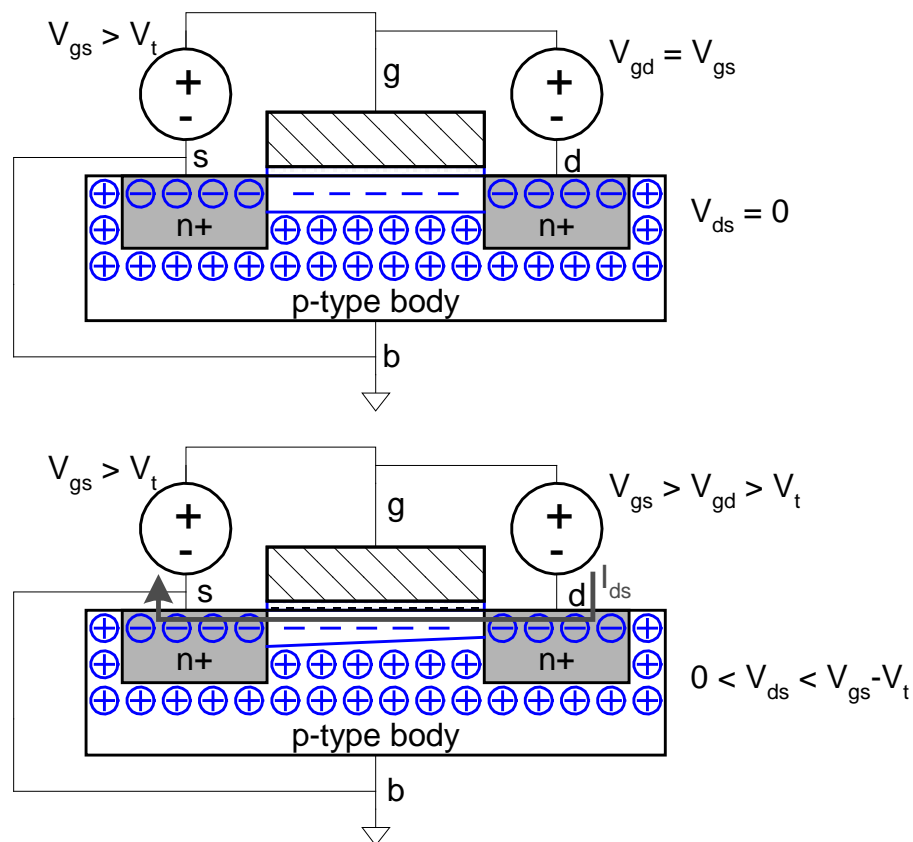
- Εισαγωγή
- MOS Πυκνωτής
- nMOS I-V Χαρακτηριστικές
- pMOS I-V Χαρακτηριστικές
- Χωρητικότητες πύλης και διάχυσης

# Αποκοπή nMOS Τρανζίστορ

- Μη ύπαρξη καναλιού
- $I_{ds} \approx 0$



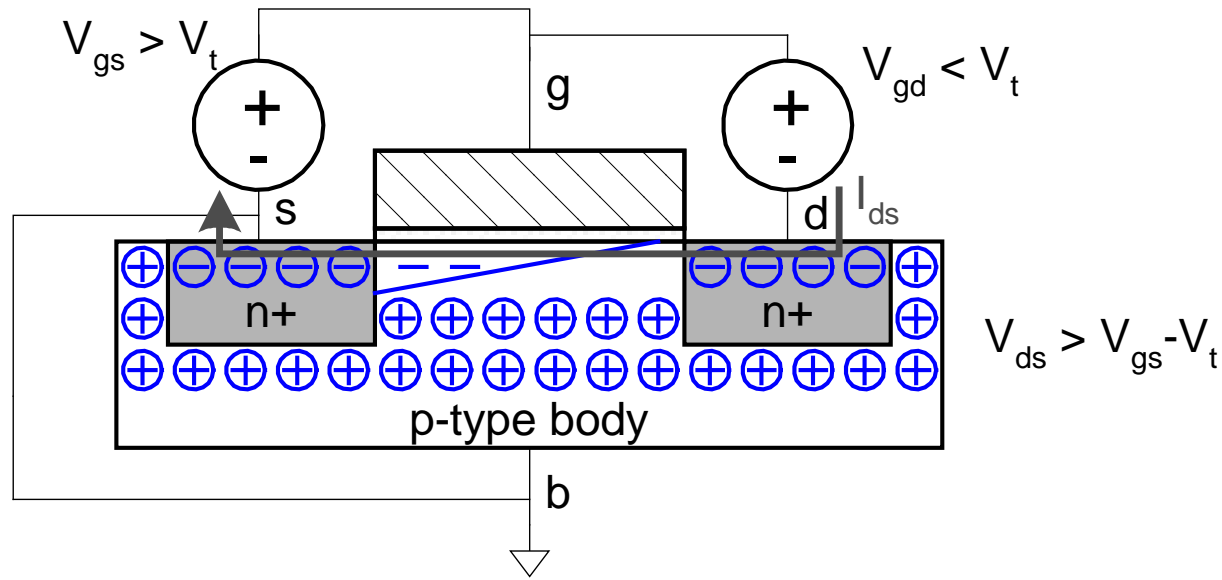
- Δημιουργία καναλιού
- Ροή ρεύματος από μεταξύ s και d
  - Τα ηλεκτρόνια ( $e^-$ ) ρέουν από το s στο d
- Το ρεύμα  $I_{ds}$  αυξάνει γραμμικά σε σχέση με την τάση  $V_{ds}$
- Λειτουργία παρόμοια με αυτή μιας γραμμικής αντίστασης





# Κόρος nMOS Τρανζίστορ

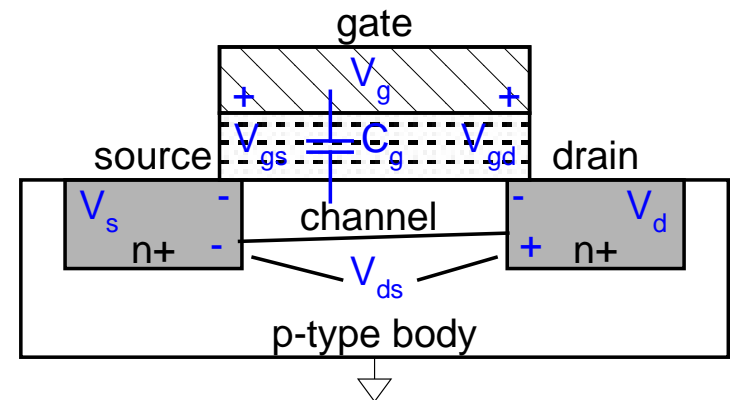
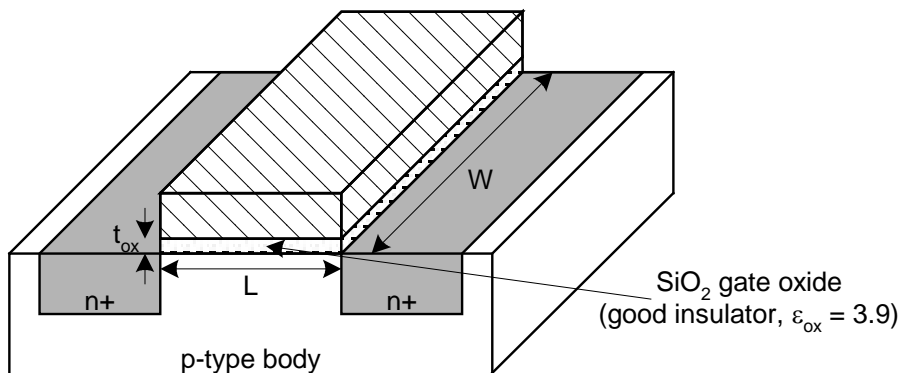
- Το κανάλι αποκόπτεται
- Ο ρεύμα  $I_{ds}$  είναι ανεξάρτητο της τάσης  $V_{ds}$
- Το τρανζίστορ μπαίνει στον κόρο
- Το ρεύμα είναι σταθερό και η λειτουργία παρόμοια με μία πηγή ρεύματος



- Στη γραμμική περιοχή το ρεύμα  $I_{ds}$  εξαρτάται από:
  - Την ποσότητα του φορτίου στο κανάλι
  - Την ταχύτητα κίνησης του φορτίου

# Φορτίο Καναλιού

- Η δομή MOS μοιάζει με ένα παράλληλο πυκνωτή  
- Πύλη - οξειδίο- κανάλι Gate - oxide - channel
- $Q_{\text{channel}} = CV$
- $C = C_g = \epsilon_{\text{ox}} WL/t_{\text{ox}} = C_{\text{ox}} WL$
- $V = V_{\text{gc}} - V_t = (V_{\text{gs}} - V_{\text{ds}}/2) - V_t$



- Το φορτίο μεταφέρεται από e-
- Τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται από εγκάρσιο ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται μεταξύ της πηγής και της υποδοχής
  - $E = V_{ds}/L$
- Η ταχύτητα των φορέων είναι ανάλογη του πεδίου
  - $v = \mu E$                        $\mu$ : καλείται ευκινησία (mobility)
- Ο χρόνος διέλευσης του καναλιού είναι
  - $t = L / v$

➤ Μέχρι τώρα γνωρίζουμε

- Πόσο φορτίο  $Q_{\text{channel}}$  υπάρχει στο κανάλι
- Πόσο χρόνο  $t$  χρειάζεται για τη διέλευση του καναλιού

$$I_{ds} = \frac{Q_{\text{channel}}}{t}$$

$$= \mu C_{\text{ox}} \frac{W}{L} \left( V_{gs} - V_t - \frac{V_{ds}}{2} \right) V_{ds}$$

$$= \beta \left( V_{gs} - V_t - \frac{V_{ds}}{2} \right) V_{ds}$$

$$\beta = \mu C_{\text{ox}} \frac{W}{L}$$

## I-V Χαρακτηριστική στον Κόρο

- Αν  $V_{gd} < V_t$ , το κανάλι αποκόπτεται κοντά στην περιοχή του drain
  - Όταν  $V_{ds} > V_{dsat} = V_{gs} - V_t$
- Το ρεύμα παραμένει σταθερό και δεν επηρεάζεται από την τάση στο drain

$$\begin{aligned}
 I_{ds} &= \beta \left( V_{gs} - V_t - \frac{V_{dsat}}{2} \right) V_{dsat} \\
 &= \frac{\beta}{2} (V_{gs} - V_t)^2
 \end{aligned}$$

➤ 1<sup>st</sup> τάξης μοντέλο (*Shockley model*)

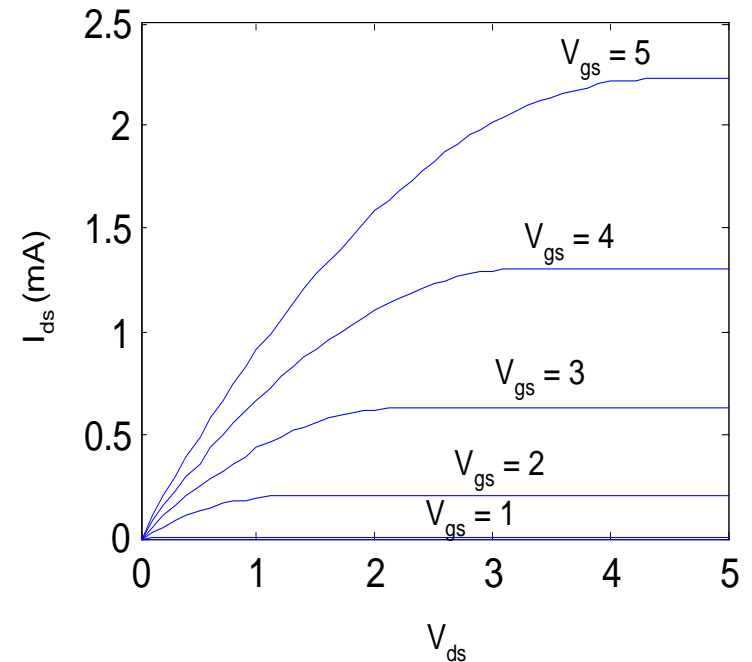
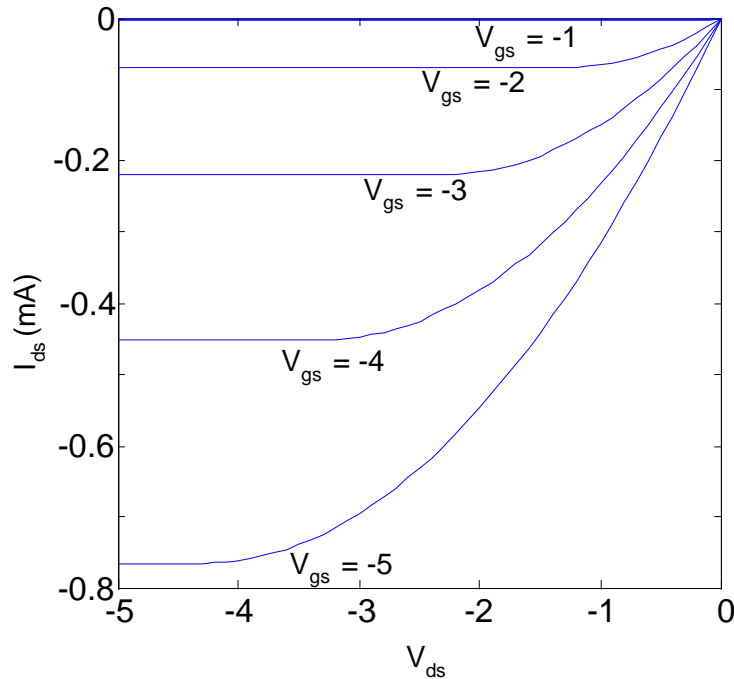
- Υποθέτει μεγάλο μήκους κανάλι
- Στις σύγχρονες τεχνολογίες δεν έχει ακριβή ισχύ
- Εξαιρετικό για υπολογισμούς με το χέρι

$$I_{ds} = \begin{cases} 0 & V_{gs} < V_t & \text{cutoff} \\ \beta \left( V_{gs} - V_t - \frac{V_{ds}}{2} \right) V_{ds} & V_{ds} < V_{dsat} & \text{linear} \\ \frac{\beta}{2} (V_{gs} - V_t)^2 & V_{ds} > V_{dsat} & \text{saturation} \end{cases}$$

- Εισαγωγή
- MOS Πυκνωτής
- nMOS I-V Χαρακτηριστικές
- pMOS I-V Χαρακτηριστικές
- Χωρητικότητες πύλης και διάχυσης



- Όλες οι προσμίξεις και οι τάσεις είναι αντίθετες στο pMOS τρανζίστορ
  - Η πηγή είναι ο πιο θετικός ακροδέκτης
- Η ευκινησία  $\mu_p$  καθορίζεται από τη μετακίνηση των οπών
  - Τυπικά είναι 2-3 φορές χαμηλότερη από την  $\mu_n$  των ηλεκτρ.
- Επομένως το pMOS πρέπει να έχει μεγαλύτερο εύρος  $W$  ώστε να δίνει το ίδιο ρεύμα

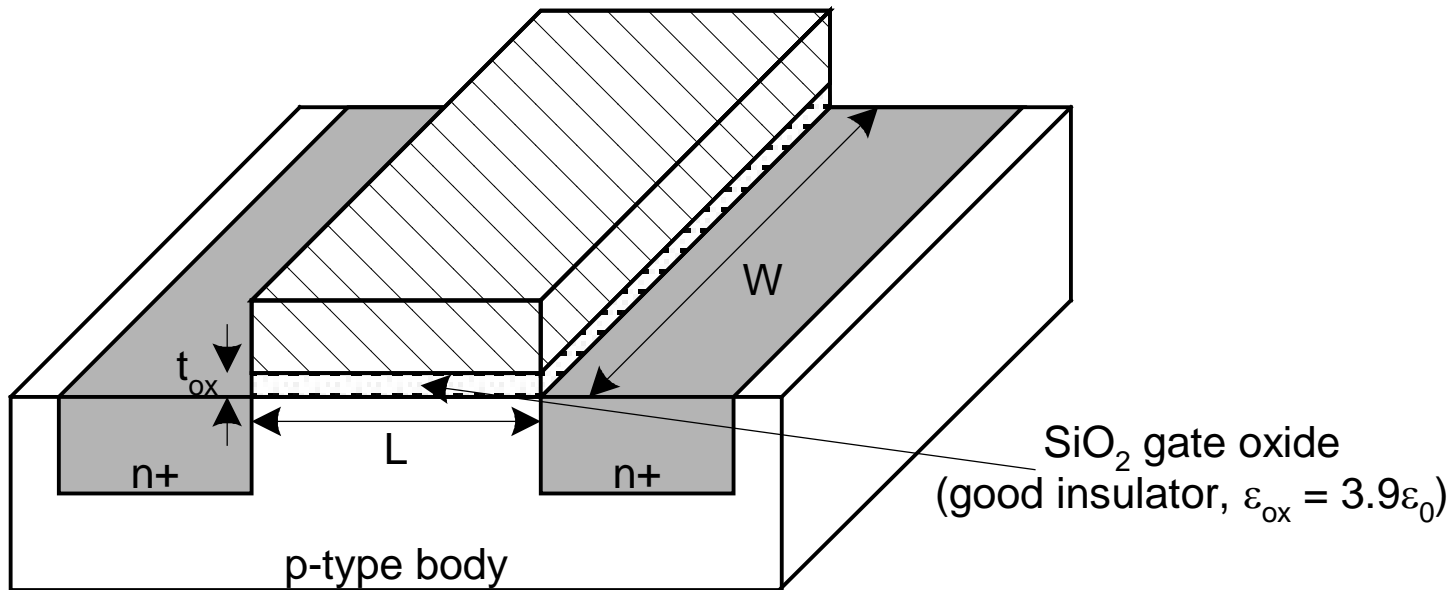


➤ Λόγω της διαφοράς στις ευκινησίες το ρεύμα του nMOS είναι μεγαλύτερο από αυτό του ρMOS

- Εισαγωγή
- MOS Πυκνωτής
- nMOS I-V Χαρακτηριστικές
- pMOS I-V Χαρακτηριστικές
- Χωρητικότητες πύλης και διάχυσης

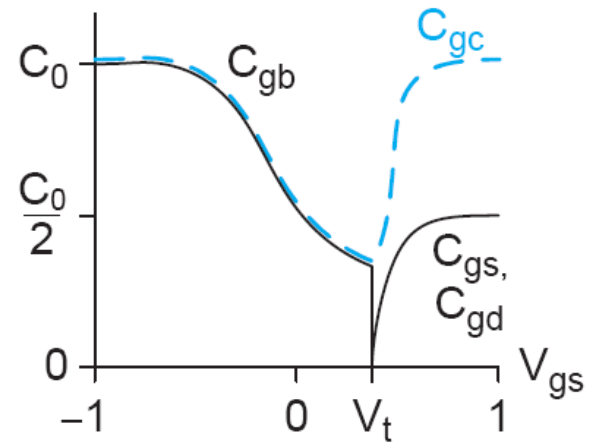
- Όταν δύο αγωγοί χωρίζονται από μονωτικό δημιουργείται πυκνωτής
- Η χωρητικότητα της πύλης είναι σημαντική
  - Δημιουργεί το κανάλι διέλευσης των φορτίων
- Η πηγή και η υποδοχή έχουν και αυτές χωρητικότητες ως προς το υπόστρωμα
  - Λόγω των ανάστροφα πολωμένων διόδων
  - Καλούνται χωρητικότητες διάχυσης
- Η κατανόηση των χωρητικοτήτων είναι πολύ σημαντική γιατί επηρεάζουν σημαντικά την ταχύτητα και την κατανάλωση ισχύος

- $C_{gs} = \epsilon_{ox} WL/t_{ox} = C_{ox} WL = C_{permicron} W$
- $C_{permicron}$  is typically about 2 fF/ $\mu\text{m}$

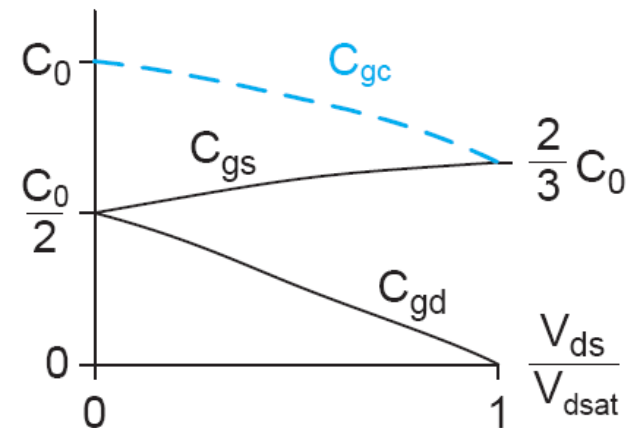


## Χωρητικότητα Πύλης (2/2)

	Cutoff	Linear	Saturation
$C_{gb}$	$C_0$	0	0
$C_{gs}$	0	$C_0/2$	$2/3 C_0$
$C_{gd}$	0	$C_0/2$	0
$C_g$	$C_0$	$C_0$	$2/3 C_0$

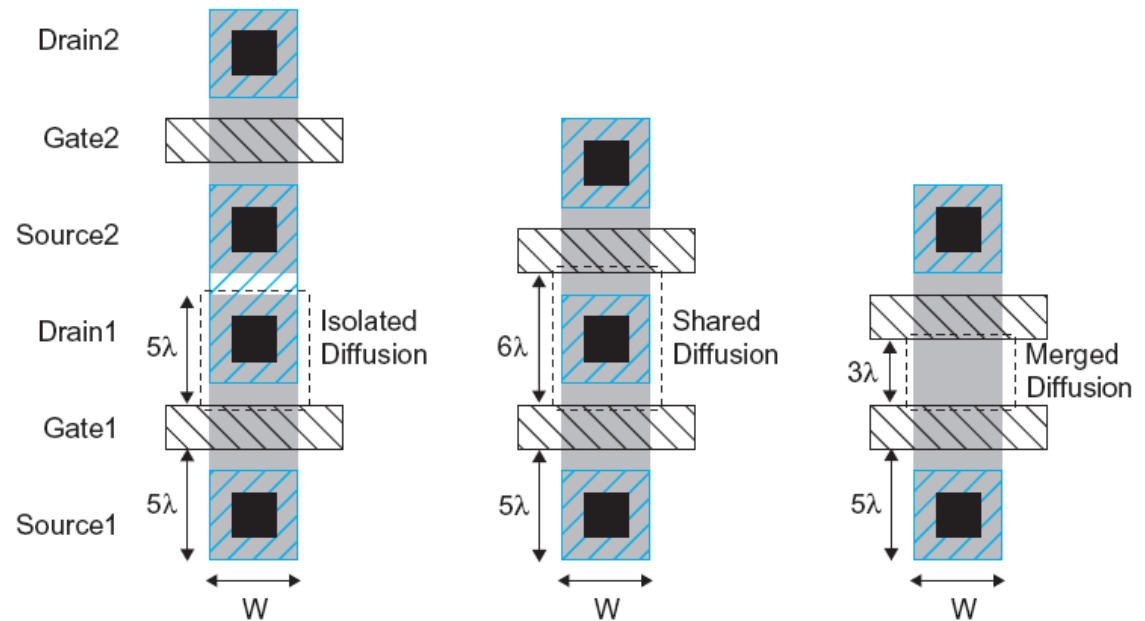


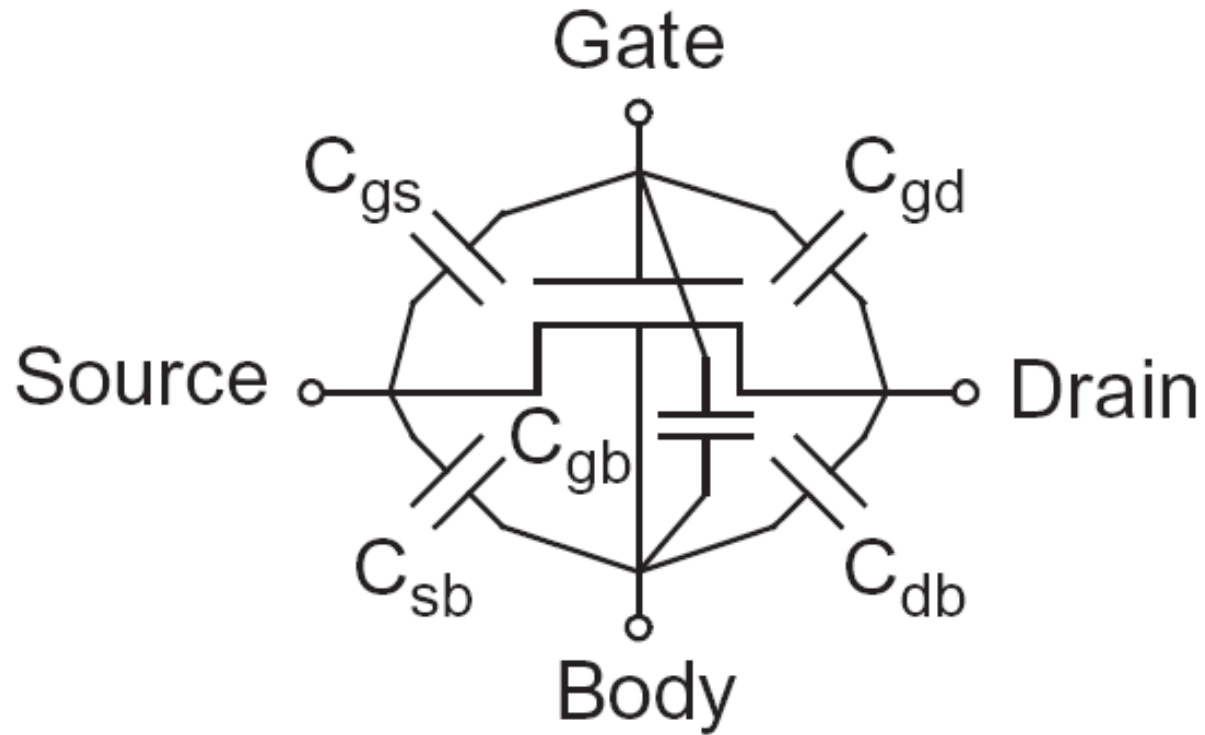
(a)



(b)

- $C_{sb}, C_{db}$
- Ανεπιθύμητες αλλά υπαρκτές – Καλούνται *παρασιτικές χωρητικότητες*
- Η χωρητικότητα εξαρτάται από τις διαστάσεις  $W, L$ 
  - Είναι συγκρίσιμες με τη  $C_g$  για contacted diff
  - $\frac{1}{2} C_g$  for uncontacted

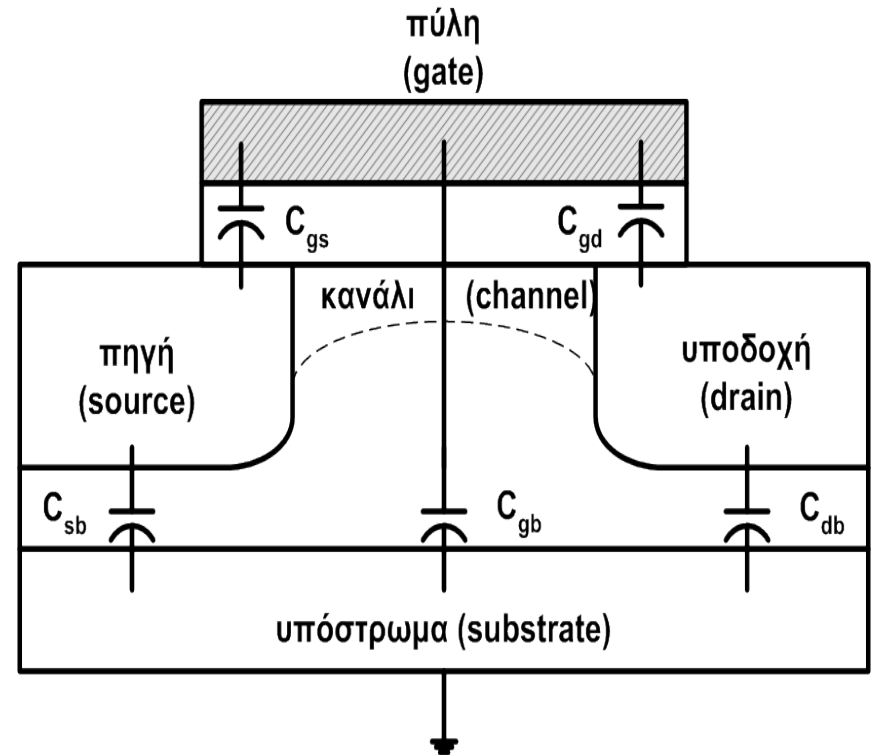




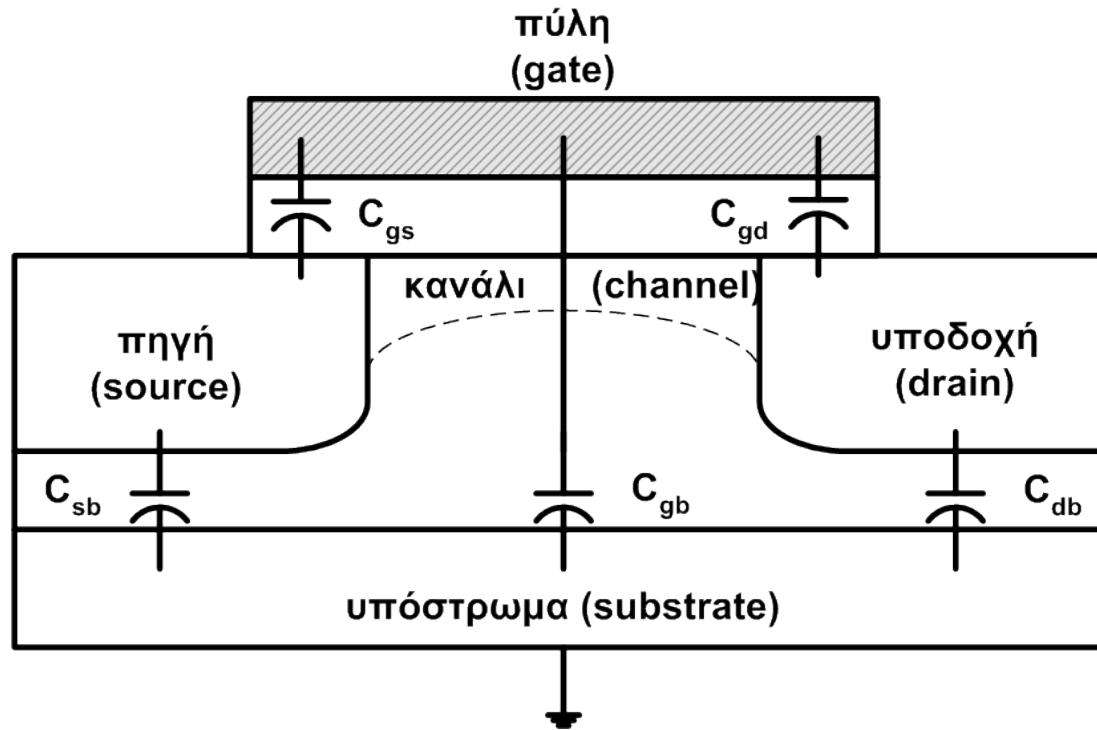


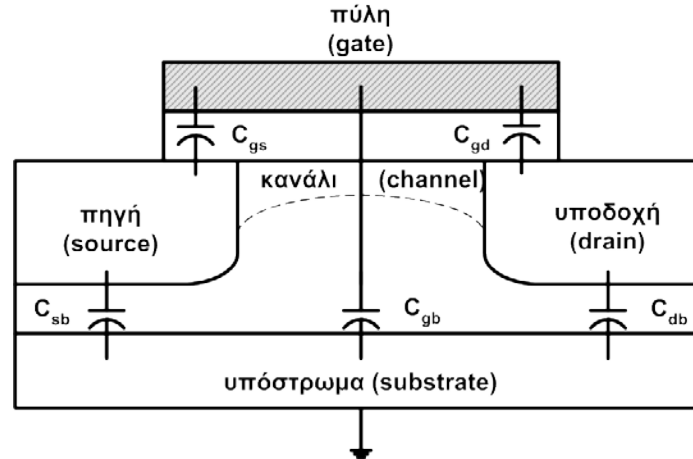
➤ Κάθε τρανζίστορ, n- ή p- τύπου, χαρακτηρίζεται από ένα πλήθος χωρητικών ποσοτήτων.

➤ Κάθε χωρητικότητα αντιστοιχεί στην επίδραση που ασκεί κάθε διακριτό μέρος του τρανζίστορ σε ένα άλλο.



$$C_g = C_{gs} + C_{gd} + C_{gb}$$





➤ Κατά προσέγγιση η ποσότητα  $C_g$  ισούται με

$$C_g = C_{ox} \cdot A$$

όπου  $C_{ox}$  (fF/ $\mu\text{m}^2$ ) είναι η χωρητικότητα του «λεπού οξειδίου» ανά μονάδα επιφάνειας και

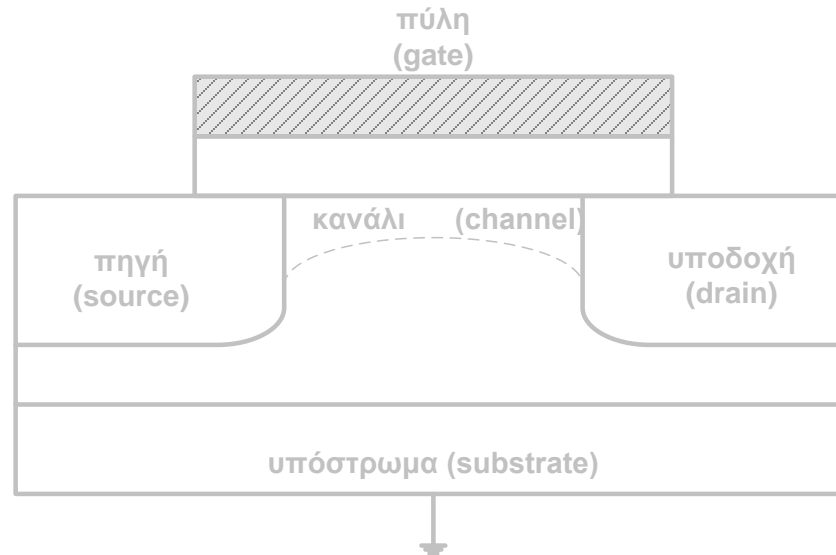
$A$  ( $\mu\text{m}^2$ ) η επιφάνεια της πύλης.

- Για τον υπολογισμό του  $C_{ox}$  χρησιμοποιείται ο τύπος

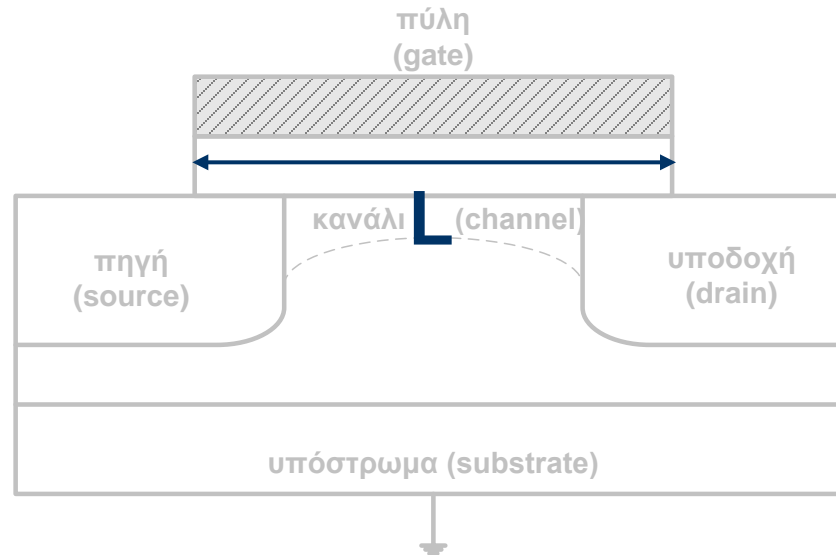
$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{t_{ox}}$$

- $\epsilon_{ox}$  σταθερά του οξειδίου,  $t_{ox}$  το πάχος του σε Å.

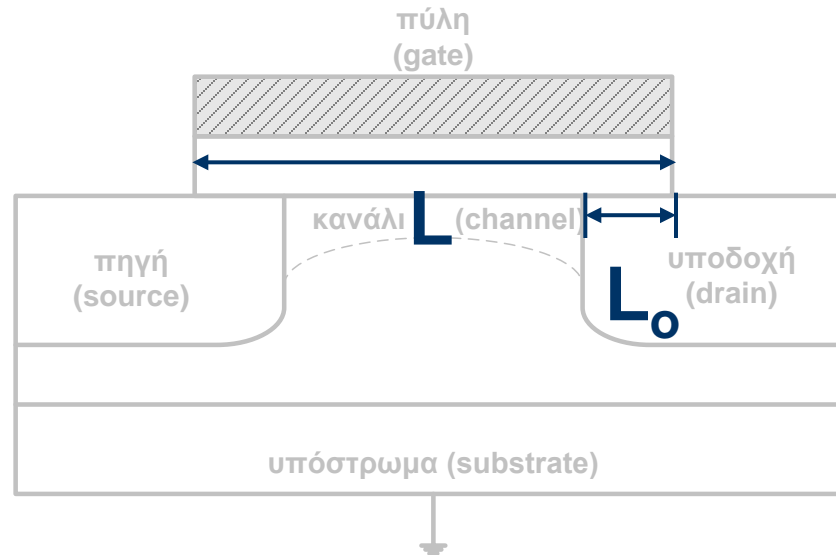
- Ως ενεργό  $L$  ( $L_{\text{eff}}$ ) ορίζεται η διαφορά του  $L$  από το  $L_0$ , το μήκος που αντιστοιχεί στο κοινό μέρος της πύλης με την υποδοχή και την πηγή.



- Ως ενεργό  $L$  ( $L_{\text{eff}}$ ) ορίζεται η διαφορά του  $L$  από το  $L_0$ , το μήκος που αντιστοιχεί στο κοινό μέρος της πύλης με την υποδοχή και την πηγή.

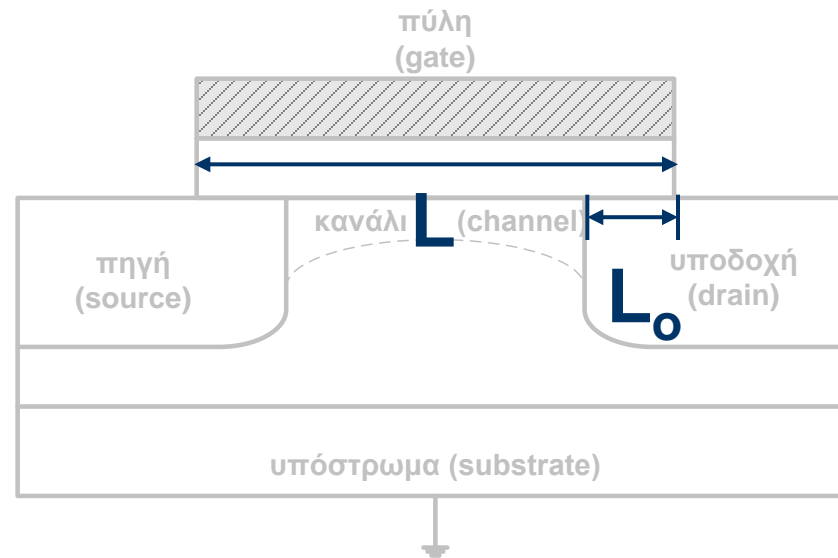


- Ως ενεργό  $L$  ( $L_{\text{eff}}$ ) ορίζεται η διαφορά του  $L$  από το  $L_0$ , το μήκος που αντιστοιχεί στο κοινό μέρος της πύλης με την υποδοχή και την πηγή.



## Γεωμετρικές εξαρτήσεις

- Ως ενεργό  $L$  ( $L_{\text{eff}}$ ) ορίζεται η διαφορά του  $L$  από το  $L_0$ , το μήκος που αντιστοιχεί στο κοινό μέρος της πύλης με την υποδοχή και την πηγή.



Το  $L_0$  αναφέρεται  
και ως  $x_d$



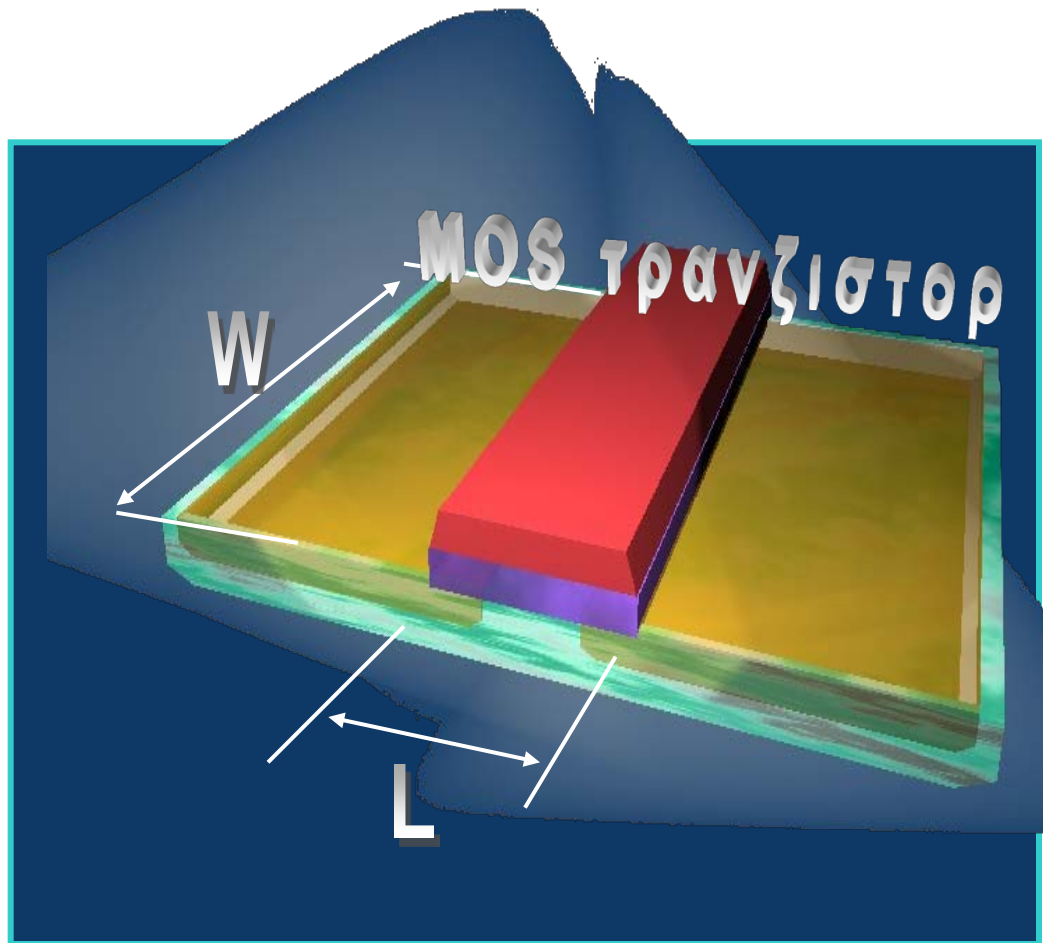
- Το  $L_{eff}$  δίνεται από τον τύπο:

$$L_{eff} = L - 2 \cdot L_o$$

- Από το  $L_o$  μπορεί να υπολογιστεί το  $C_o$

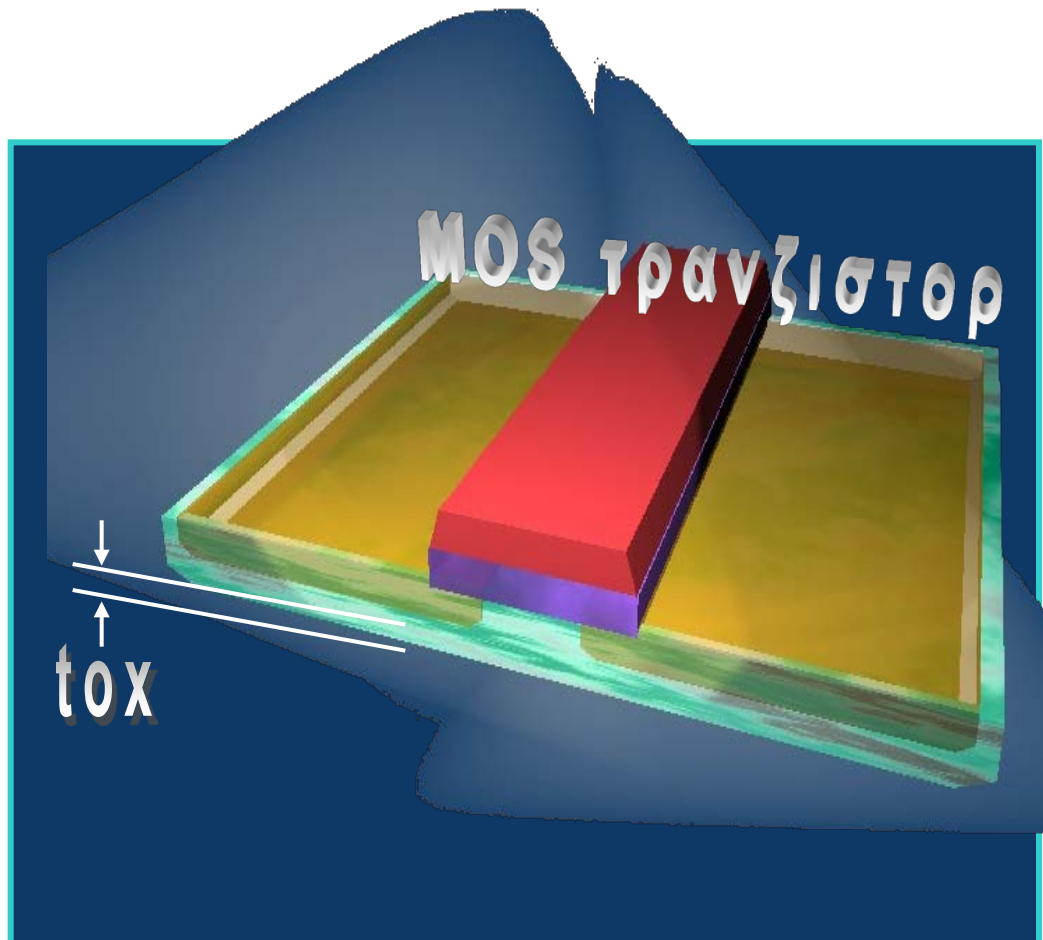
$$C_o = C_{ox} \cdot L_o \cdot W$$

➤ Από τα  $L$  και  $W$   
γνωρίζουμε το εμβαδό



➤ Από τα  $L$  και  $W$   
γνωρίζουμε το εμβαδόν

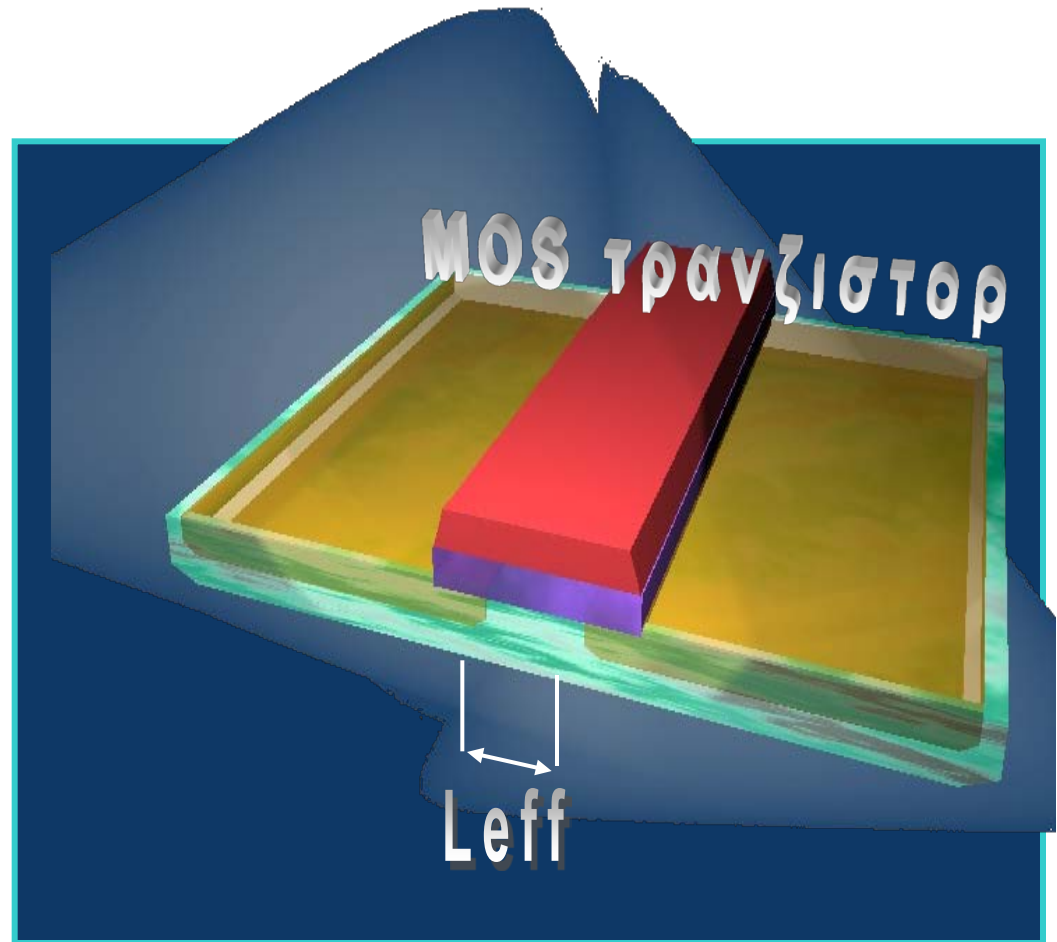
➤ Από το  $t_{ox}$  μαθαίνουμε το  
 $C_{ox}$



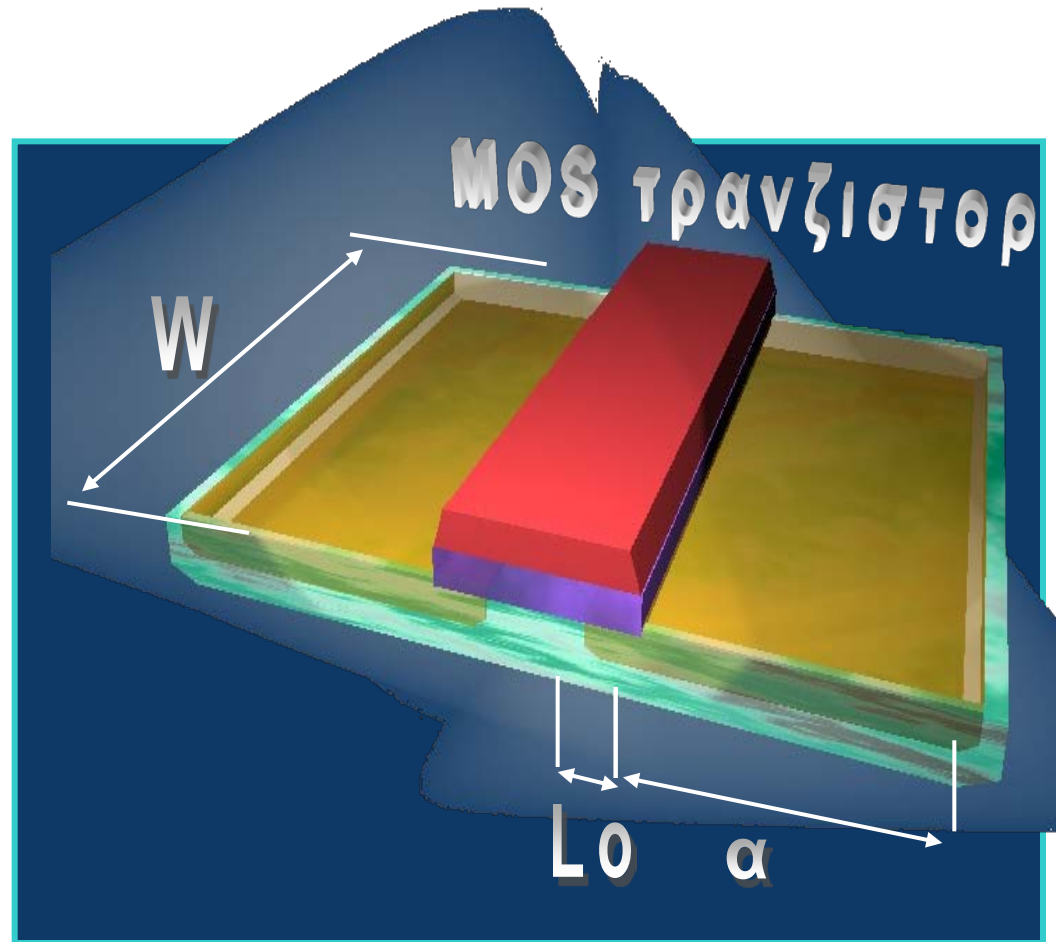
➤ Από τα  $L$  και  $W$  γνωρίζουμε το εμβαδόν.

➤ Από το  $t_{ox}$  μαθαίνουμε το  $C_{ox}$

➤ Από το  $L_0$  υπολογίζουμε το  $L_{eff}$



- Από τα  $L$  και  $W$  γνωρίζουμε το εμβαδόν.
- Από το  $t_{ox}$  μαθαίνουμε το  $C_{ox}$
- Από το  $L_0$  υπολογίζουμε το  $L_{eff}$
- Από τα  $a$ ,  $L_0$  και  $W$  γνωρίζουμε εμβαδόν και περιφέρεια υποδοχής/πηγής



- Η χωρητικότητα εξόδου μίας σύνθετης πύλης υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$C_{out} = C_{GDn} + C_{GDp} + C_{DBn} + C_{DBp} + C_{line} + C_L$$

$C_{GDn}$ ,  $C_{GDp}$ : χωρητικότητα πύλης – υποδοχής

$C_{DBn}$ ,  $C_{DBp}$ : χωρητικότητα διάχυσης – υπόστρωμα

$C_{line}$ : χωρητικότητα διασυνδέσεων

$C_L$ : χωρητικότητα φορτίου ( $C_{in}$  εισόδου)

- Η χωρητικότητα πύλης-υποδοχής υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$C_{GDn} = \frac{1}{2} \cdot C_{ox} \cdot (W_n \cdot L_{eff}) + C_{on}$$

$$C_{GDp} = \frac{1}{2} \cdot C_{ox} \cdot (W_p \cdot L_{eff}) + C_{op}$$

$W_n, W_p$ : πλάτος n- και p-δομής αντίστοιχα

$C_{on}, C_{op}$ : χωρητικότητα που εισάγει το κοινό  $L_o$

➤ Η χωρητικότητα διάχυσης-βάσης υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$C_{DBn} = C_{DBn,bot} + C_{DBn,sw}$$

$$C_{DBp} = C_{DBp,bot} + C_{DBp,sw}$$

όπου  $C_{DBn,bot}$  αντιστοιχεί στη χωρητικότητα επαφής

$C_{DBn,sw}$  αντιστοιχεί στη χωρητικότητα των τοιχωμάτων



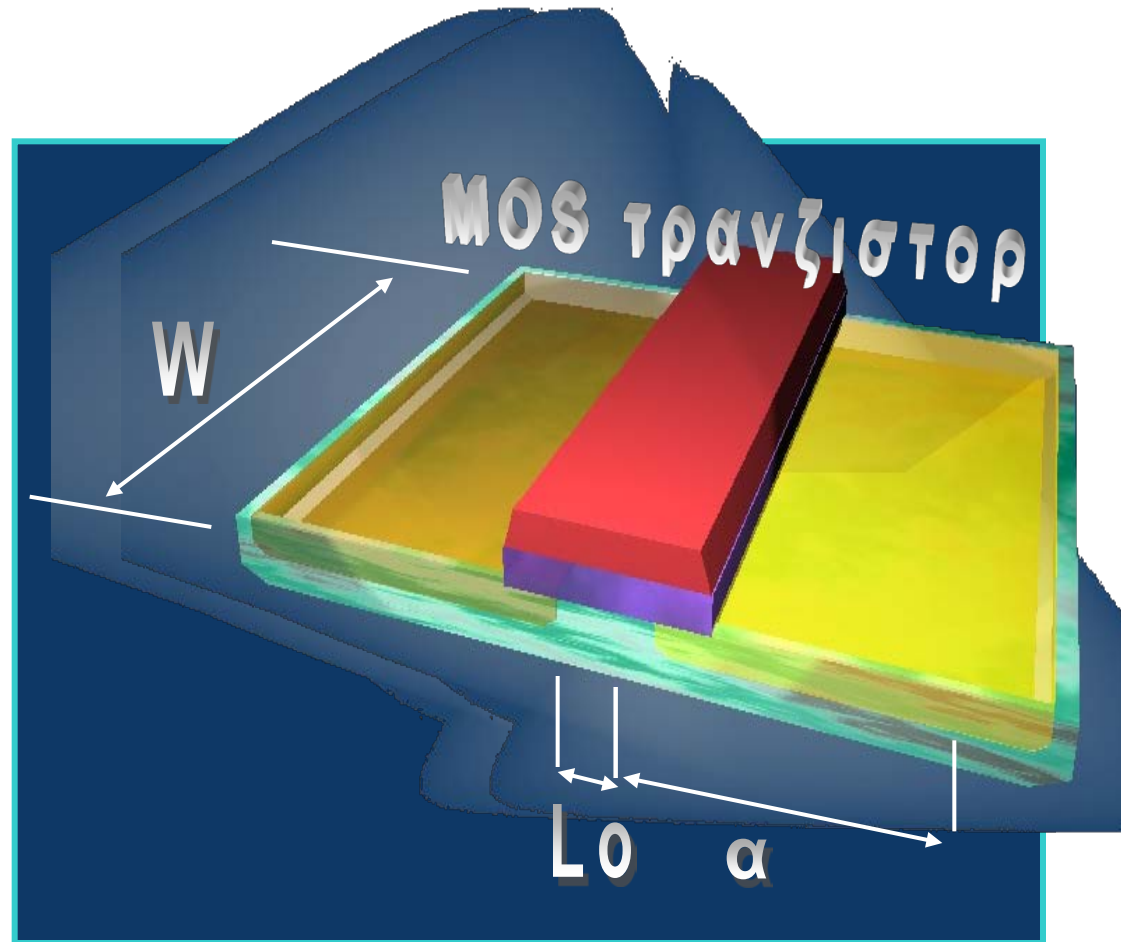
➤ Βρίσκουμε τα  $L_o$ ,  $W$   
και  $\alpha$ .

➤ Υπολογίζουμε τα εμ-  
βαδόν  $A$ , περιφέρεια  $I$

$$A = W \cdot (L_o + \alpha)$$

$$\text{Per} = 2 \cdot (W + L_o + \alpha)$$

➤ Άρα  $C_{\text{DB,bot}} = C_{\text{bot}} \cdot A$   
και  $C_{\text{DB,sw}} = C_{\text{sw}} \cdot \text{Per}$



- Η χωρητικότητα διασυνδέσεων υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$C_{line} = l \cdot C_{met,sub}$$

$l$  το μήκος του μετάλλου που είναι συνδεδεμένο στην έξοδο

$C_{met,sub}$  αντιστοιχεί στη χωρητικότητα του μετάλλου με το υπόστρωμα ανά μονάδα μήκους ( $\mu\text{m}$ )

➤ Η χωρητικότητα φορτίου (ή εισόδου  $C_{in}$ ) υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$C_L = \sum_1^{fan-out} (C_g + C_{met,sub} + C_{poly,sub})$$

$C_{met,sub}$  αντιστοιχεί στη χωρητικότητα του μετάλλου με το υπόστρωμα ανά μονάδα μήκους ( $\mu\text{m}$ )

$C_{poly,sub}$  αντιστοιχεί στη χωρητικότητα του πολυπυριτίου με το υπόστρωμα ανά μονάδα εμβαδού ( $\mu\text{m}^2$ )

## Παράδειγμα (1/8)

➤ Να βρεθεί η συνεισφορά στη χωρητικότητα εξόδου του τμήματος που βρίσκεται πάνω από τη διακεκομμένη γραμμή. Θεωρήστε ότι η έξοδος οδηγεί 1 αντιστροφή

Δίνονται:

$$C_{ox} = 1,208 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$$

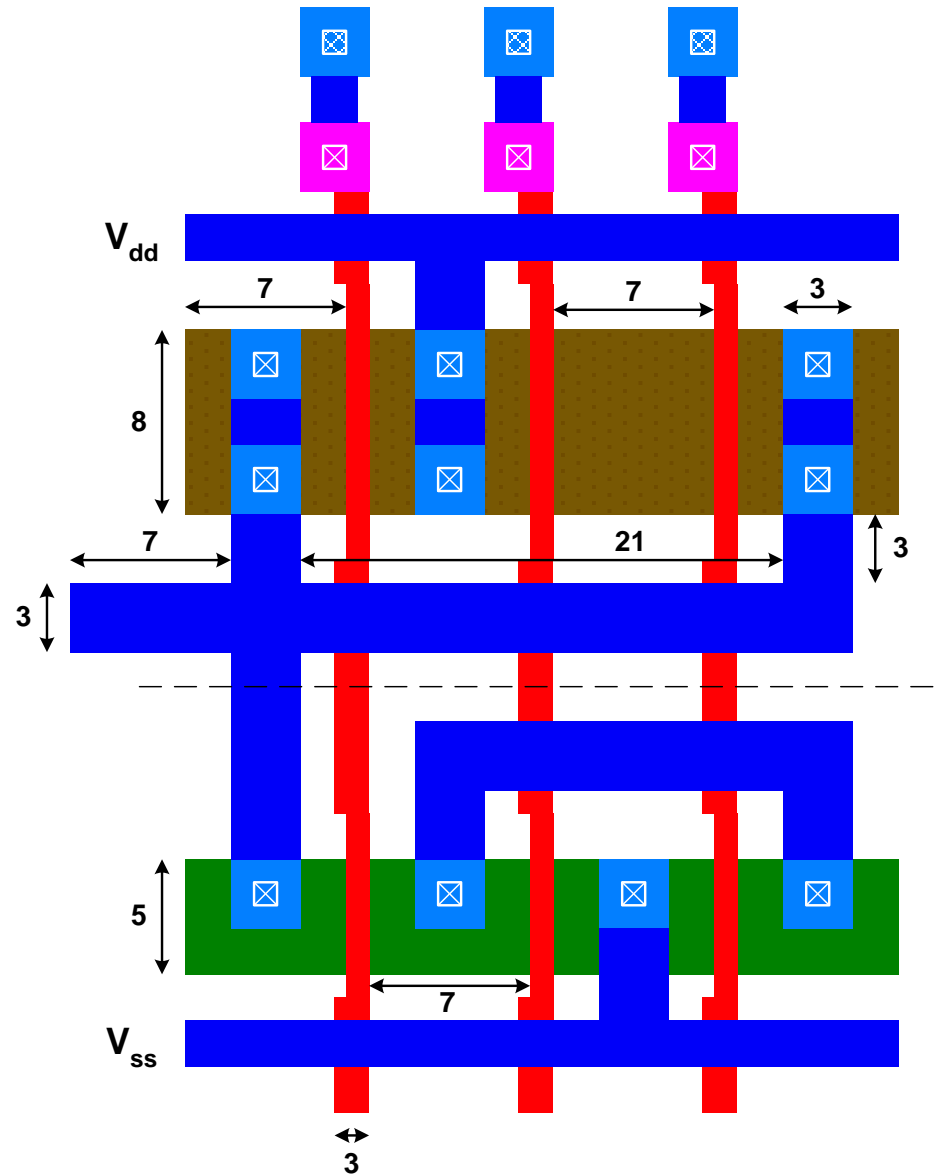
$$C_{sw,p} = 0,4 \text{ fF}/\mu\text{m}$$

$$C_{bot,p} = 0,2208 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$$

$$C_{met,sub} = 0,04 \text{ fF}/\mu\text{m}$$

$$C_{poly,sub} = 0,03 \text{ fF}/\mu\text{m}$$

$$L_o = 1 \mu\text{m}, \lambda = 1 \mu\text{m}$$



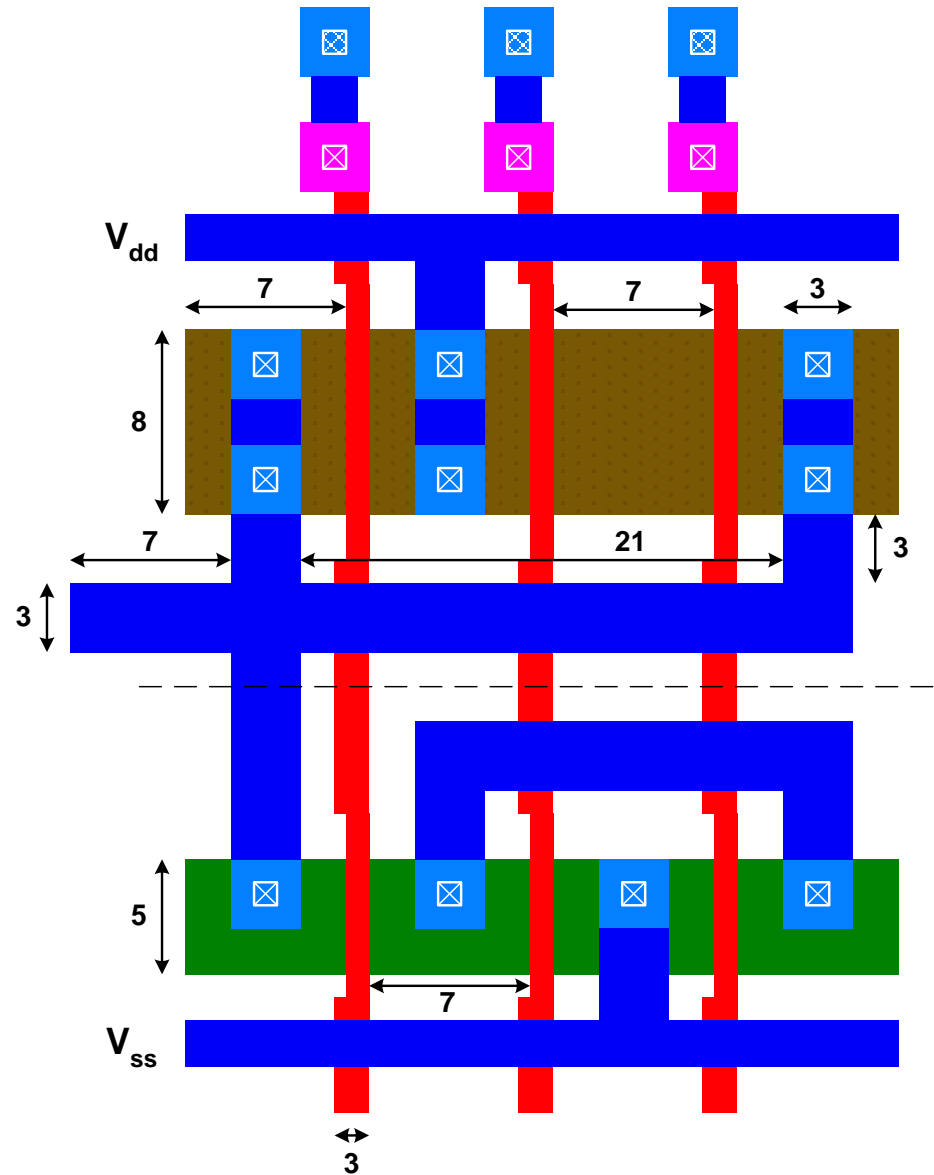
## Παράδειγμα (2/8)

➤  $L_{\text{eff}} = 3 \cdot \lambda - 2 \cdot L_o = 3 - 2 = 1 \mu\text{m}$

➤  $W_p = 8 \cdot \lambda = 8 \mu\text{m}$

$$C_{op} = C_{ox} \cdot L_o \cdot W_p =$$

$$1,208 \cdot 1 \cdot 8 \text{ fF} = 9,664 \text{ fF}$$



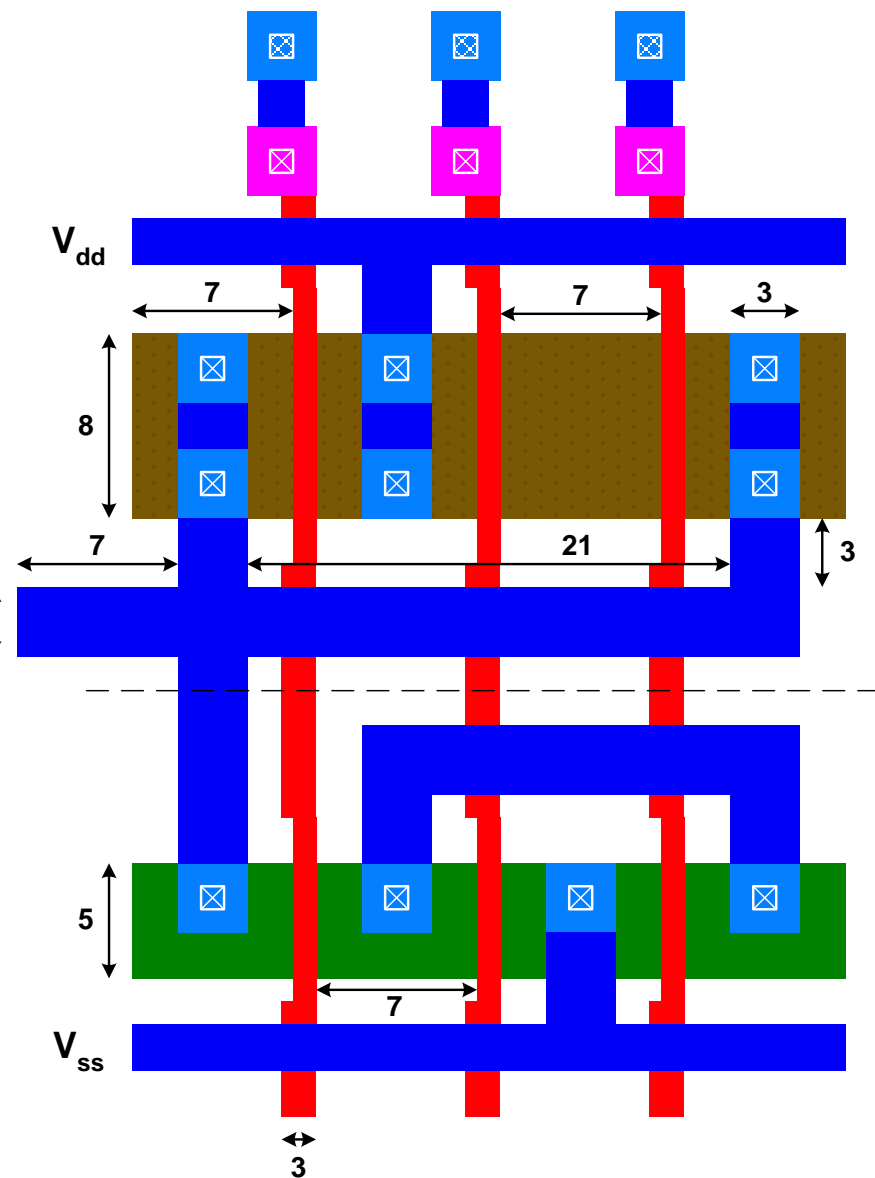
## Παράδειγμα (3/8)

➤ Δύο επαφές στο p-μήμα  
συνεισφέρουν στη  $C_{out}$ .

$$C_{GD,p} = 2 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot C_{ox} \cdot (W_p \cdot L_{eff}) + C_{op} \right) \Rightarrow$$

$$C_{GD,p} = 1,208 \cdot 8 \cdot 1 \text{ fF} + 2 \cdot 9,664 \text{ fF} \Rightarrow$$

$$C_{GD,p} = 28,992 \text{ fF}$$



## Παράδειγμα (4/8)

$$C_{DBp} = 2 \cdot (C_{DB,bot} + C_{DB,sw})$$

$$C_{DBp,bot} = C_{bot,p} \cdot W_p \cdot (\alpha + L_o) \Rightarrow$$

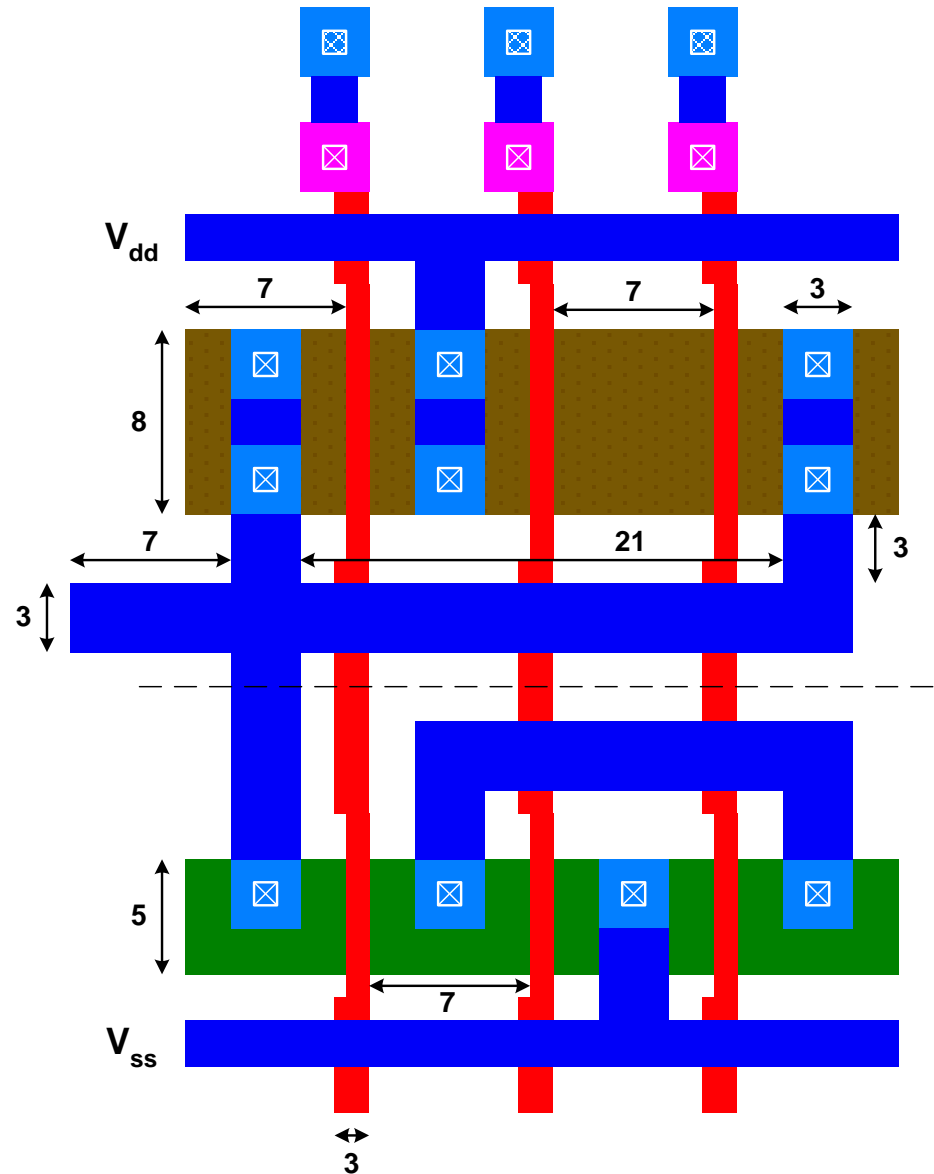
$$C_{DBp,bot} = 0,125 \cdot 8 \cdot (7 + 1) \Rightarrow$$

$$C_{DBp,bot} = 8 \text{ fF}$$

$$C_{DBp,sw} = C_{sw,p} \cdot 2 \cdot (W_p + L_o + \alpha) \Rightarrow$$

$$C_{DBp,sw} = 0,19 \cdot 2 \cdot (8 + 1 + 7) \text{ fF} \Rightarrow$$

$$C_{DBp,sw} = 6,08 \text{ fF}$$



## Παράδειγμα (5/8)

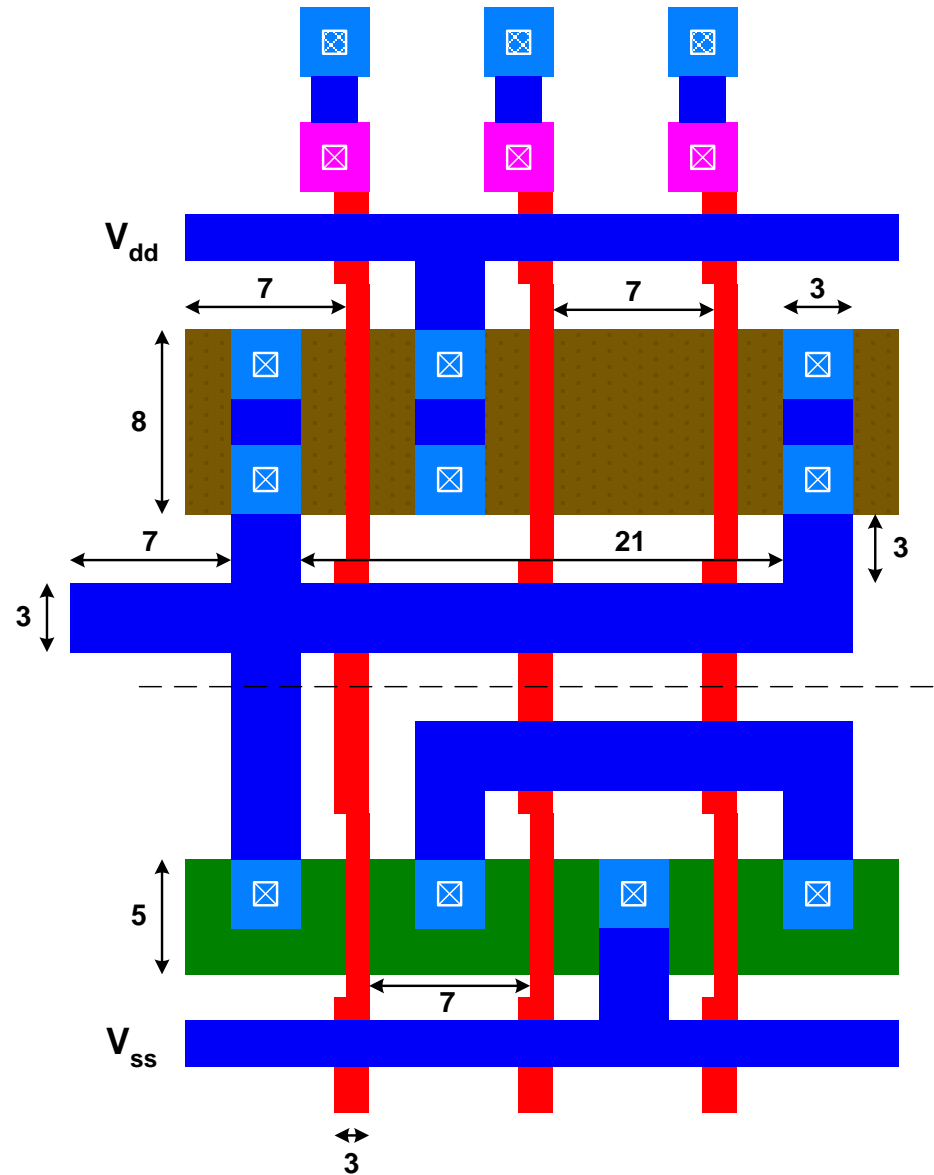
➤ Μήκος μετάλλου:

$$l = 2 \cdot (8 + 3) + (7 + 3 + 21 + 3) = 56 \mu\text{m}$$

$$C_{line} = l \cdot C_{met-sub} \Rightarrow$$

$$C_{line} = 56 \cdot 0,04 \text{ fF} \Rightarrow$$

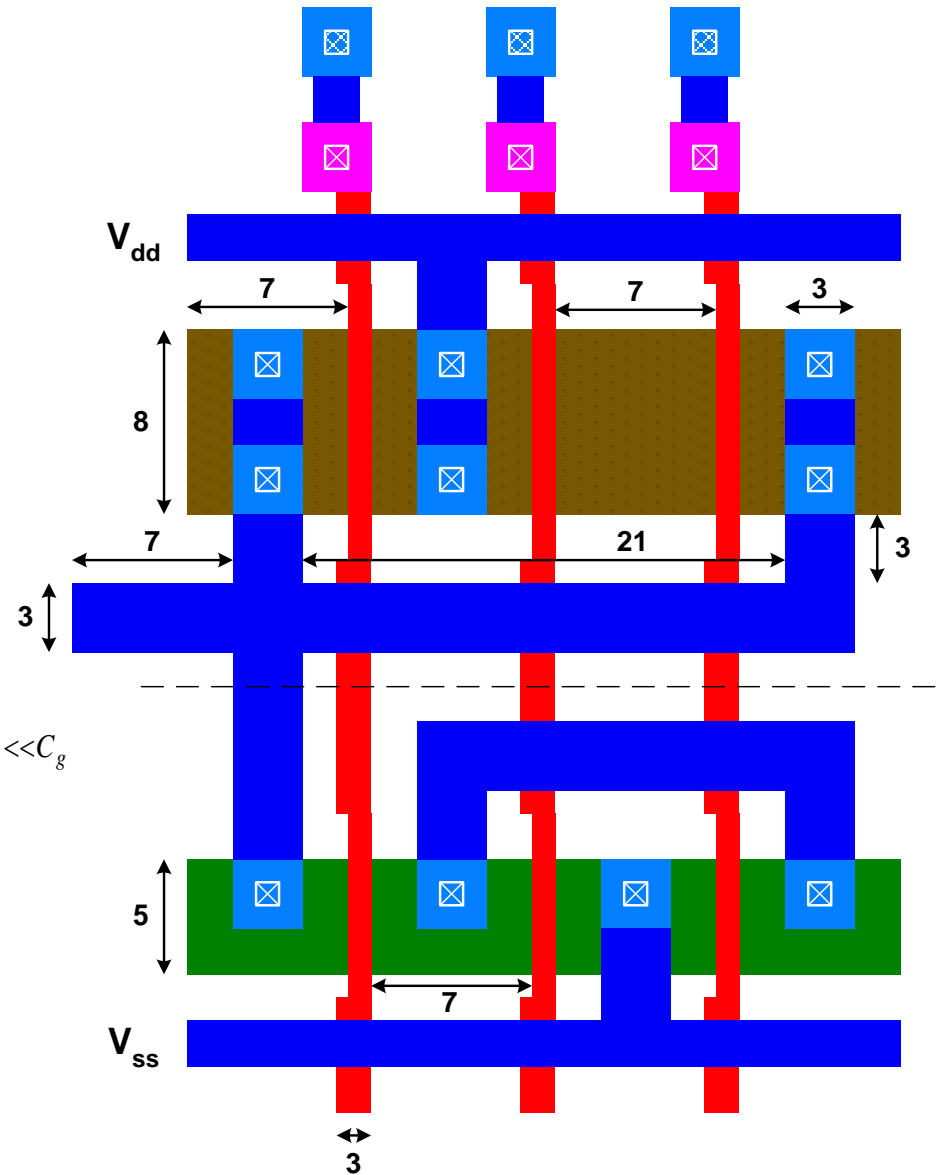
$$C_{line} = 2,24 \text{ fF}$$





## Παράδειγμα (6/8)

➤ Έχει οριστεί φορτίο εξόδου  
ίσο με έναν αντιστροφέα



$$C_L = \sum_1^1 (C_g + C_{met-sub} + C_{poly-sub}) \quad \Rightarrow \quad C_{met-sub} + C_{poly-sub} \ll C_g$$

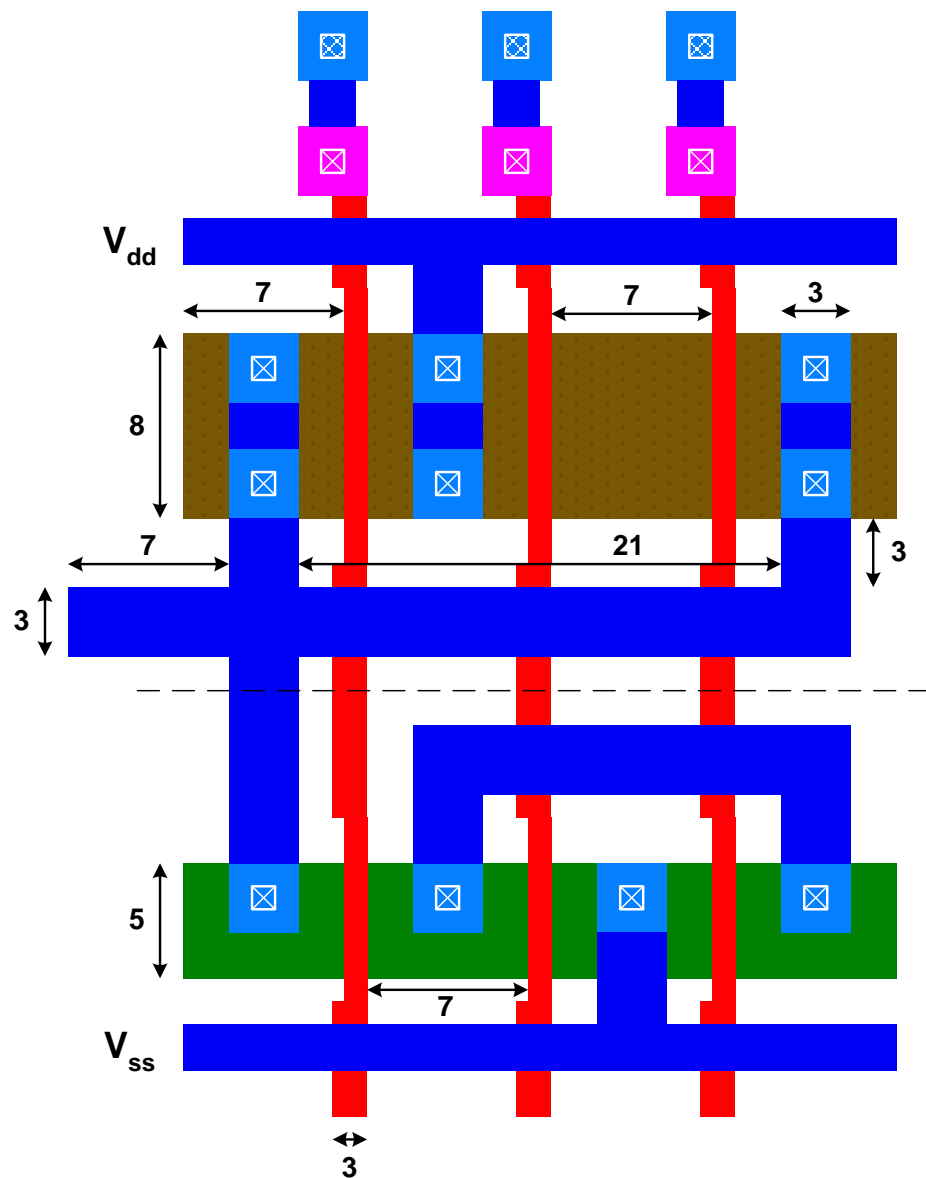
$$C_L = C_g \Rightarrow C_L = C_{ox} \cdot (W \cdot L) \Rightarrow$$

$$C_L = 1,208 \cdot (8 \cdot 3) \text{ fF} = 28,992 \text{ fF}$$

## Παράδειγμα (7/8)

### ΠΡΟΣΟΧΗ!!!

Αν δεν ορίζεται σαφώς από το πρόβλημα, δεν θεωρούμε ότι οδηγεί αντιστροφέα ή οποιοδήποτε άλλο κύκλωμα



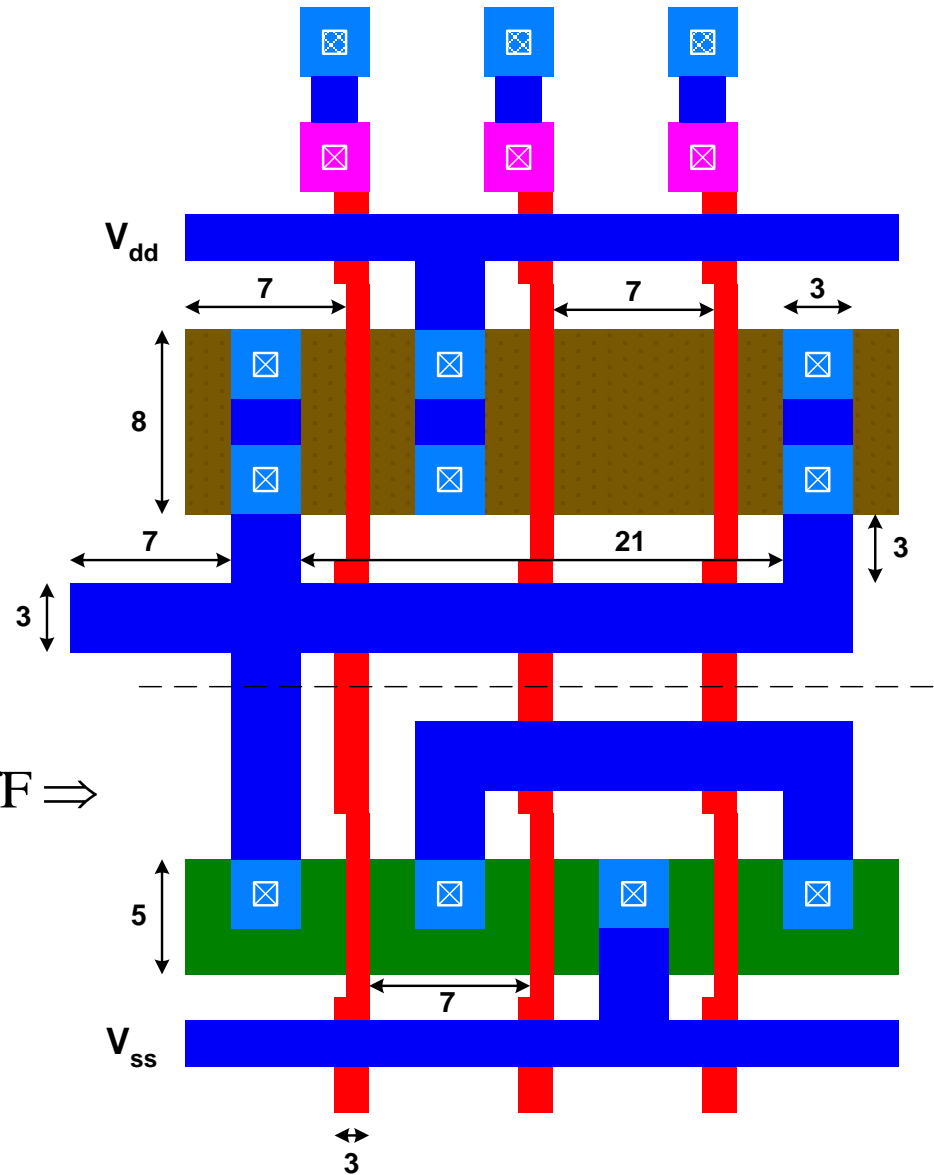
## Παράδειγμα (8/8)

➤ Η συνεισφορά του πάνω τμήματος στη χωρητικότητα εξόδου είναι:

$$C_{out} = C_{GD} + C_{DB} + C_{line} + C_L \Rightarrow$$

$$C_{out} = 28,992 + 28,16 + 2,24 + 28,992 \text{ fF} \Rightarrow$$

$$C_{out} = 88,384 \text{ fF}$$



- Η ανάπτυξη της παρουσίασης βασίστηκε στις διαφάνειες του συγγράμματος «CMOS VLSI Design: A Circuits and Systems Perspective (4<sup>th</sup> Edition)», Neil H.E. Weste, David Money Harris, Pearson, 2011.
- Διαθέσιμες στη διαδικτυακή διεύθυνση  
<http://pages.hmc.edu/harris/cmosvlsi/4e/index.html>  
© 2011 David Money Harris

- Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών,  
Γεώργιος Θεοδωρίδης, Οδυσσέας Κουφοπαύλου,  
«Σχεδιασμός Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων (VLSI) I».  
Έκδοση: 1.0 Πάτρα 2015
- Διαθέσιμο στη διαδικτυακή διεύθυνση  
<https://eclass.upatras.gr/courses/EE891/>

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου των διδασκόντων καθηγητών.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «**Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση**» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ