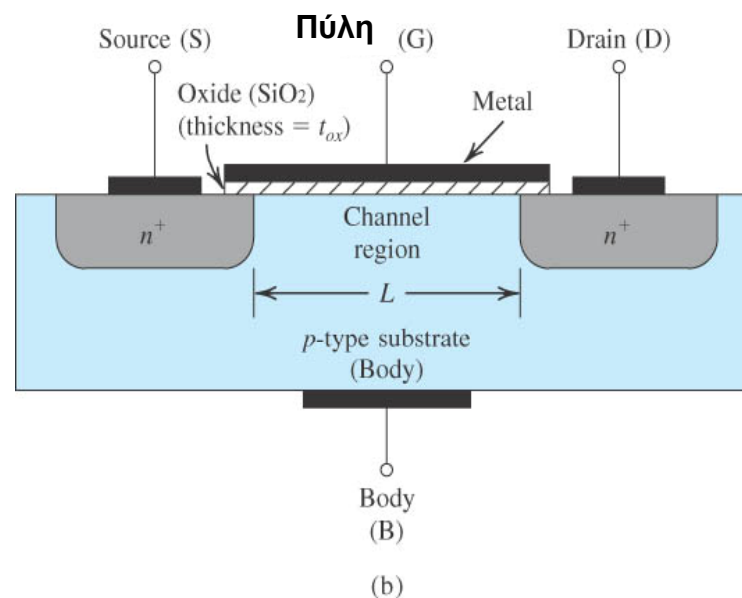
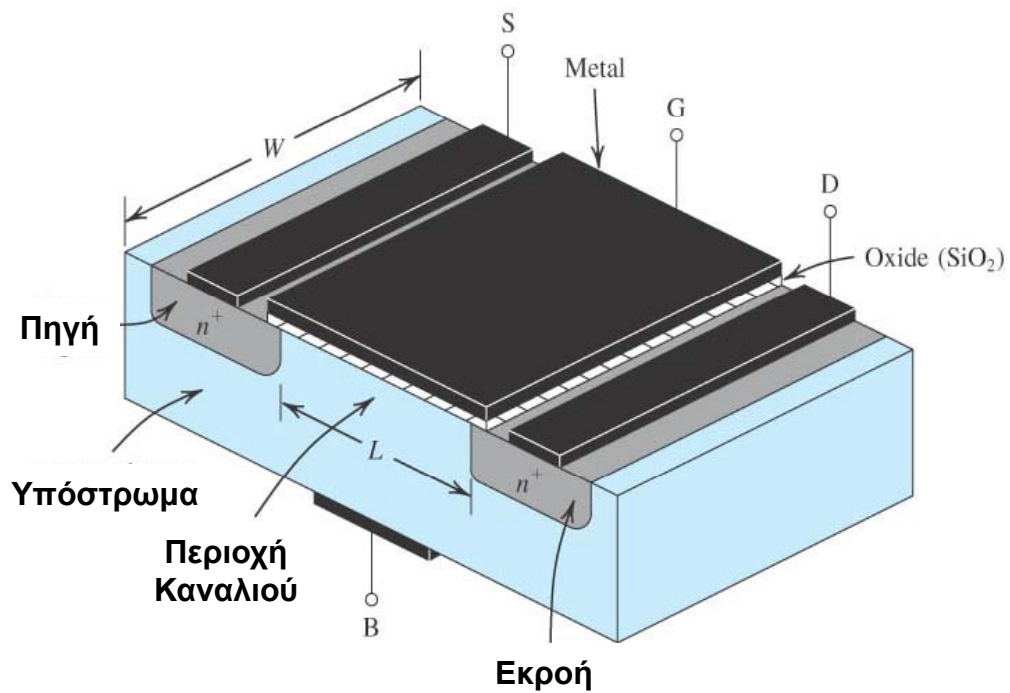


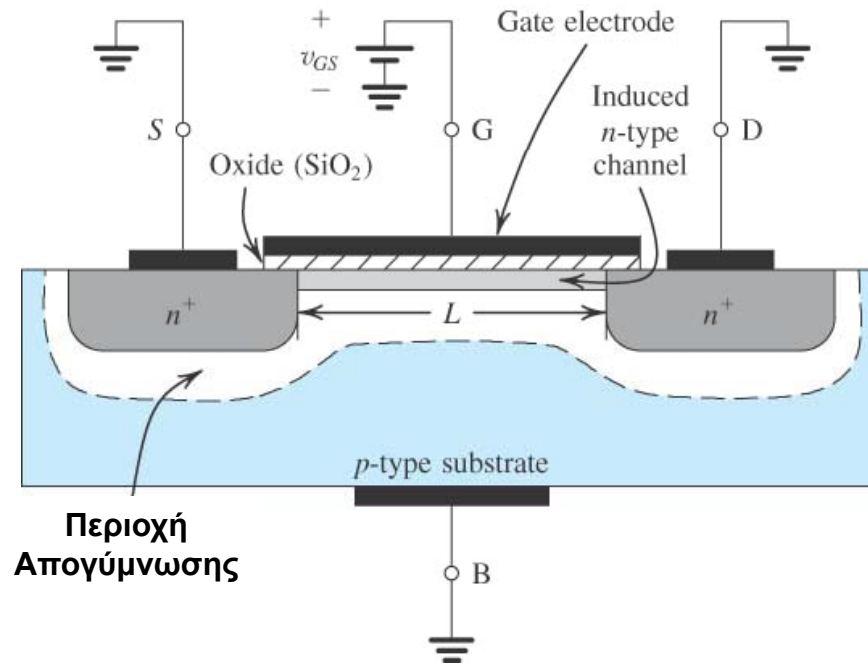
Τρανζίστορ Επίδρασης Πεδίου (FET)

Δομή του MOSFET (IGFET)



Η δομή του MOSFET έγχυσης με κανάλι τύπου-n (NMOS)

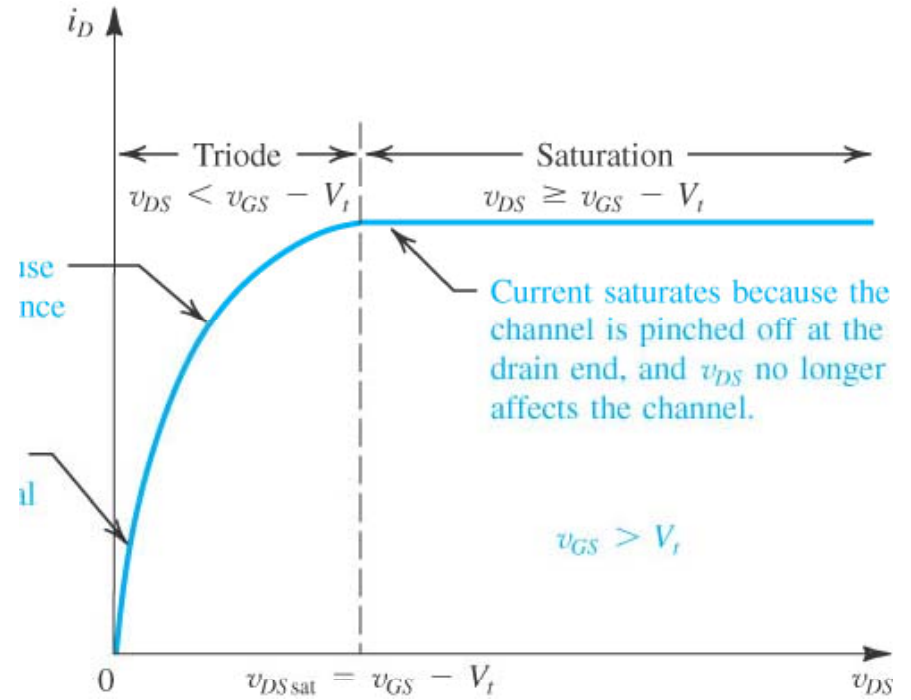
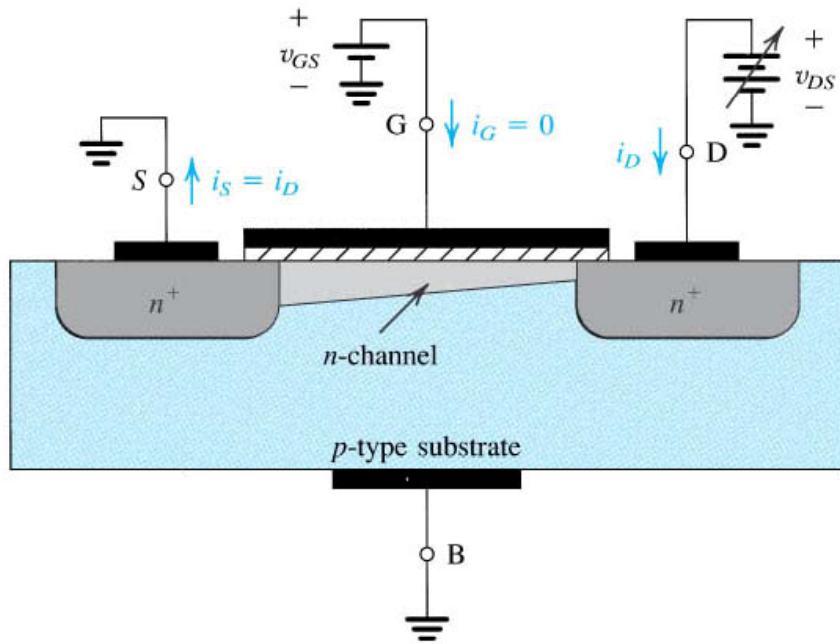
Λειτουργία του MOSFET (I)



Η δημιουργία του αγωγίμου καναλιού.

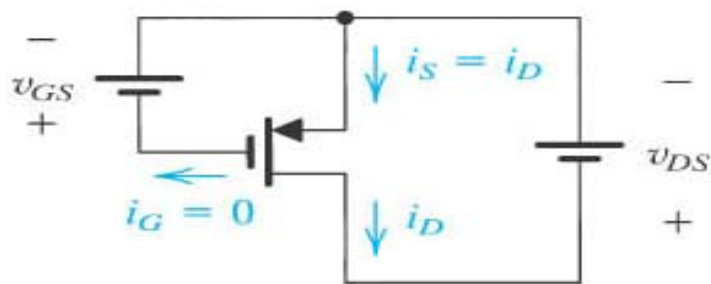
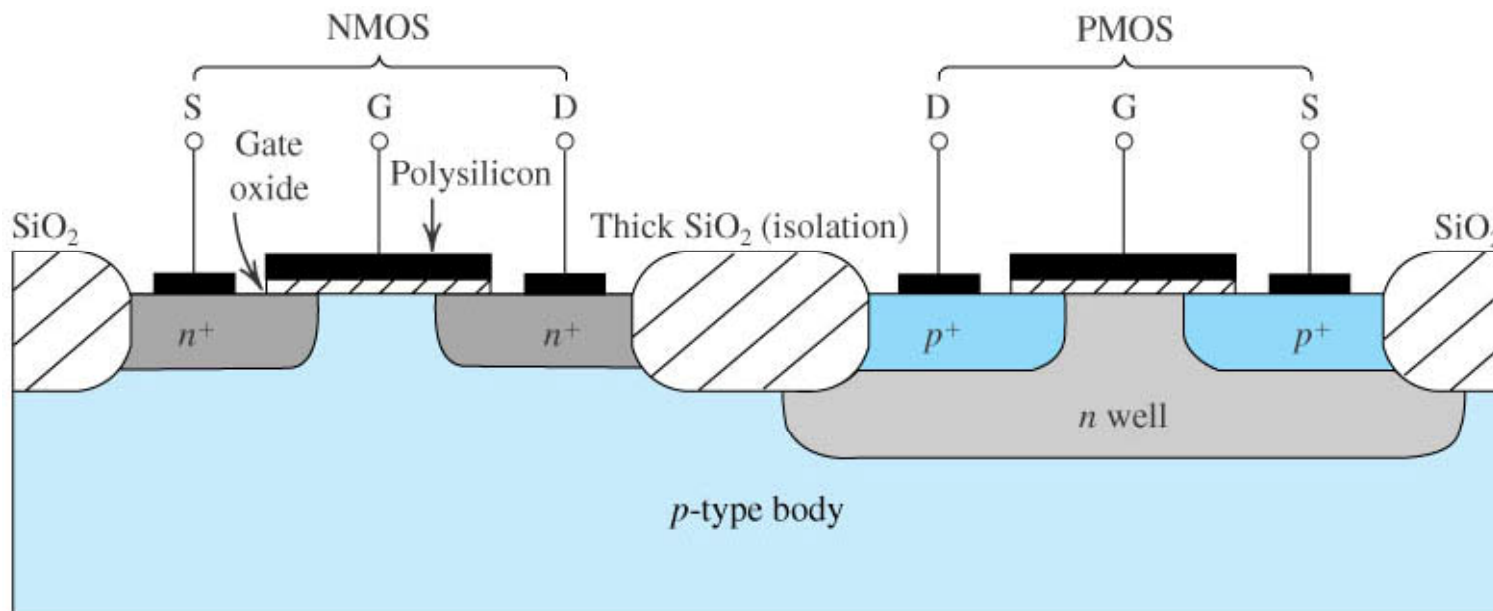
Τάση κατωφλίου: $v_{GS} = V_t$

Λειτουργία του MOSFET (II)



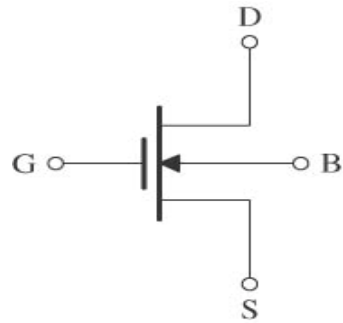
Εφαρμογή τάσης v_{DS} .

Το PMOS και η τεχνολογία CMOS

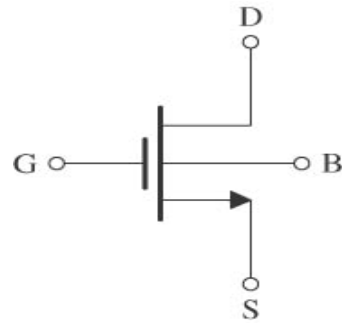


Οι τάσεις πόλωσης του PMOS είναι αντίθετες από αυτές του NMOS

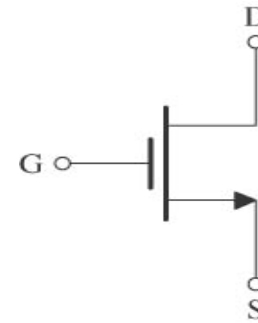
Κυκλωματικά σύμβολα του MOSFET



(a)

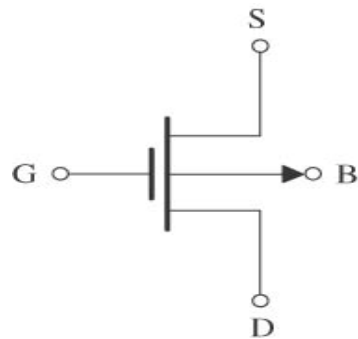


(b)

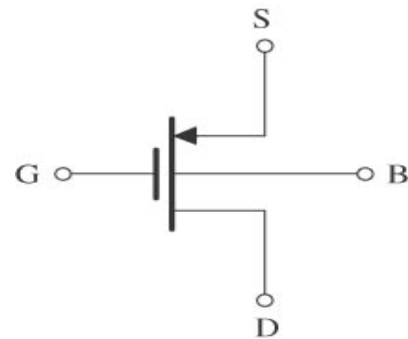


(c)

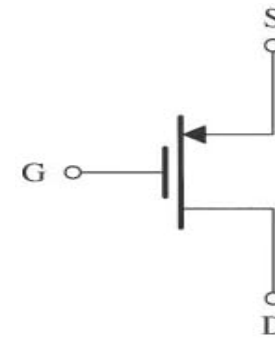
Συμβολισμοί του NMOS έγχυσης.



(a)



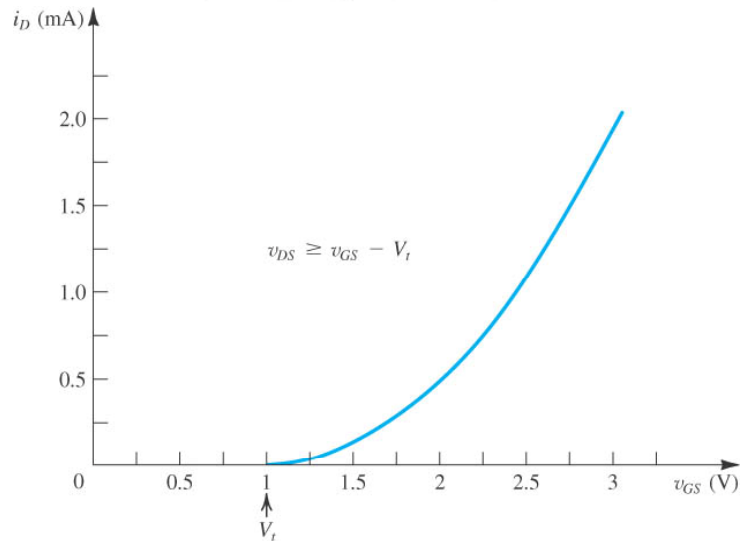
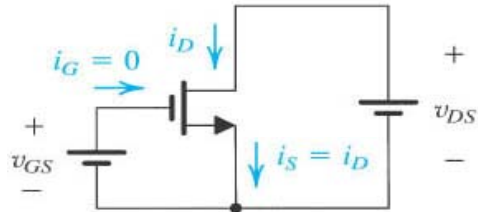
(b)



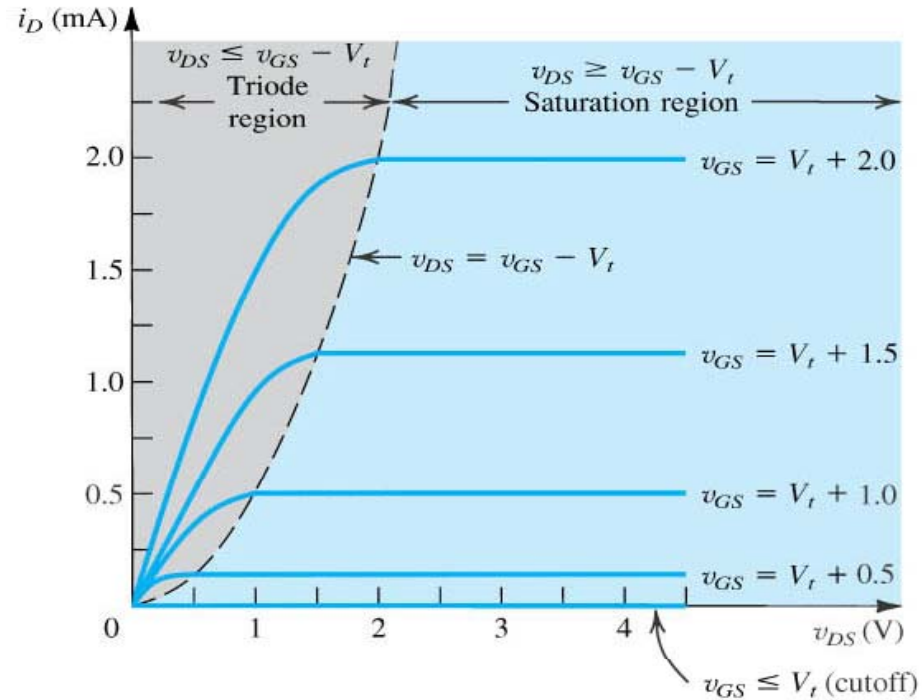
(c)

Συμβολισμοί του PMOS έγχυσης.

Χαρακτηριστικές i_D - v_{DS} του MOSFET



Χαρακτηριστική i_D - v_{GS} στον κόρο.



Στην αποκοπή: $i_D = 0$ για $v_{GS} < V_t$

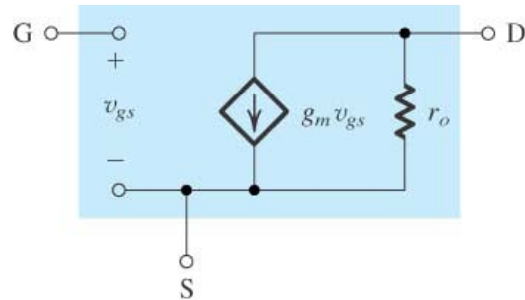
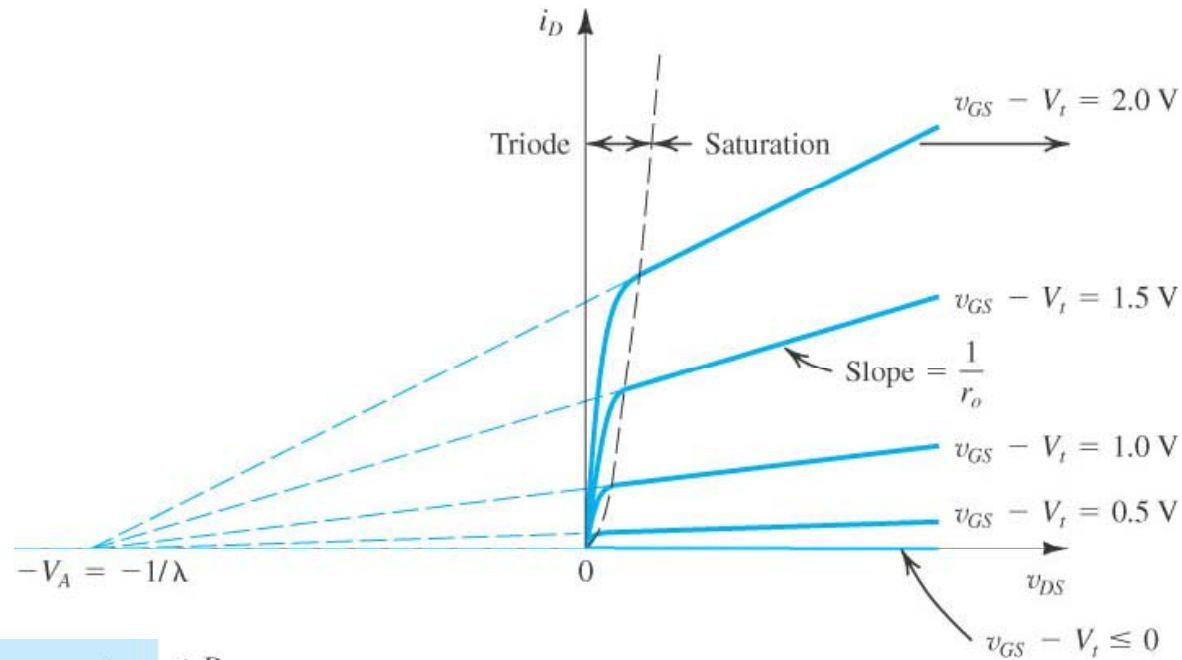
Στην τριόδο:

$$i_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) \left[2(v_{GS} - V_t)v_{DS} - v_{DS}^2 \right] \quad \text{για } v_{DS} < v_{GS} - V_t$$

Στον κόρο:

$$i_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) (v_{GS} - V_t)^2 \quad \text{για } v_{DS} > v_{GS} - V_t$$

Αντίσταση εξόδου του MOSFET

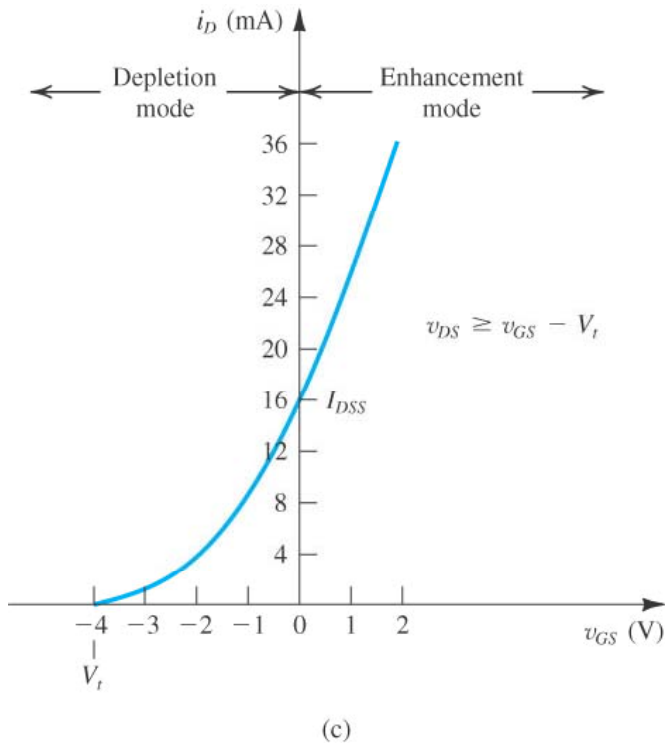
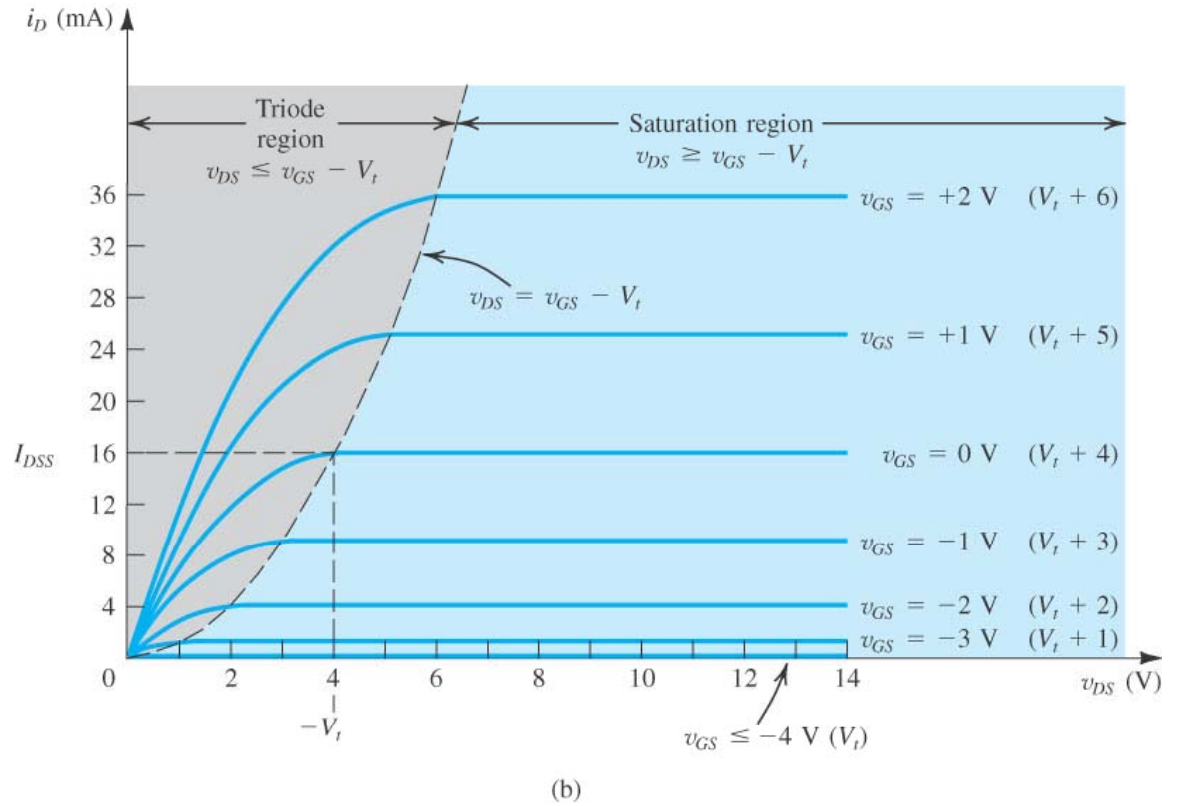
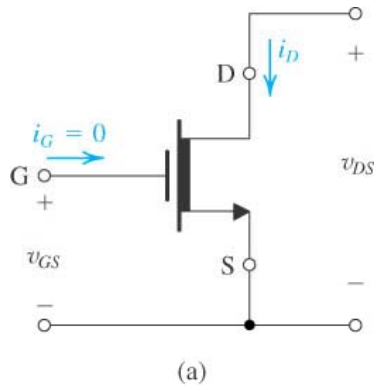


$$i_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) (v_{GS} - V_t)^2 (1 + \lambda v_{DS})$$

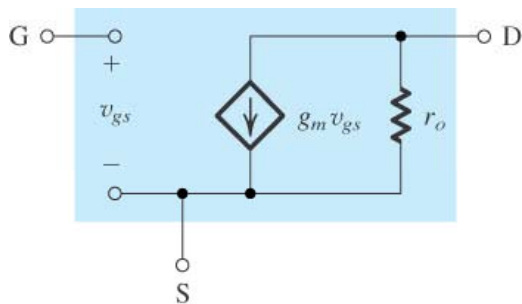
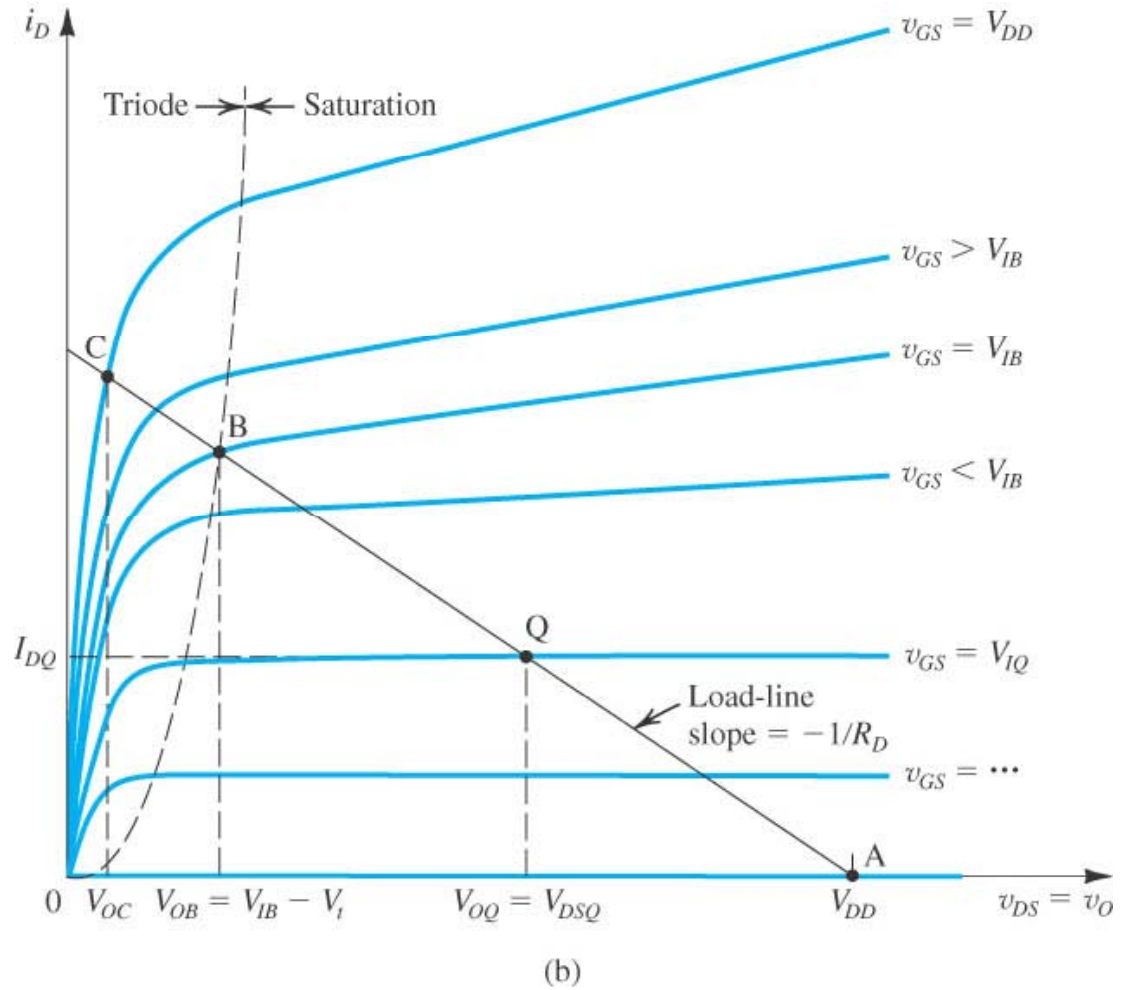
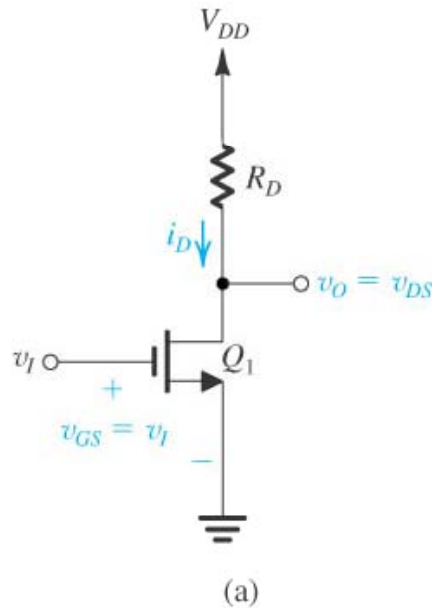
$$g_m = \left. \frac{\partial i_d}{\partial v_{gs}} \right|_{v_{GS}=V_{GS}} = \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) (v_{GS} - V_t) = \sqrt{2 \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) I_D}$$

$$r_o = \left(\frac{\partial i_d}{\partial v_{ds}} \right)^{-1} \approx \frac{V_A}{I_D} = \frac{1}{\lambda I_D}$$

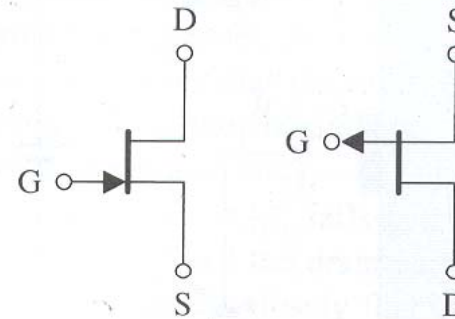
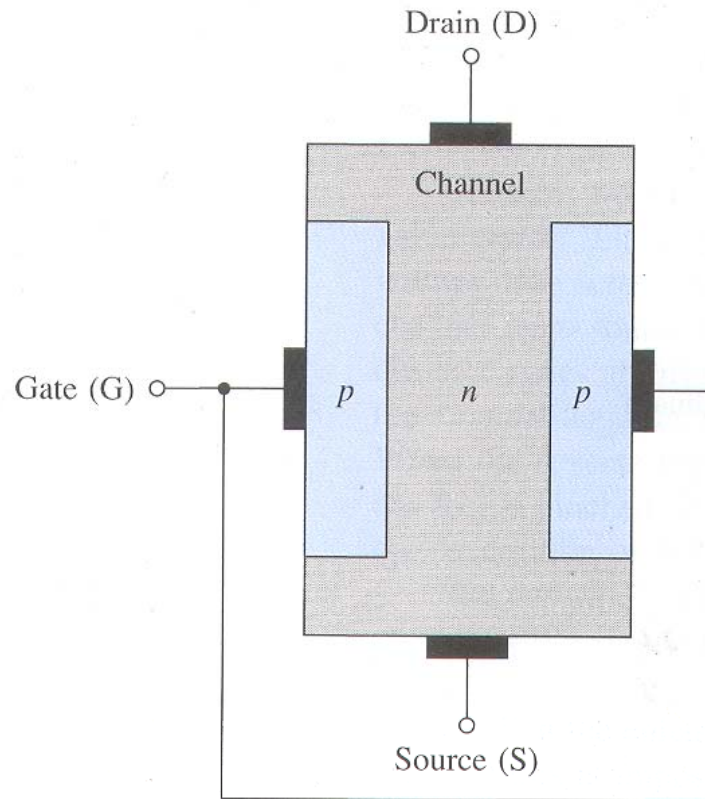
Το MOSFET απογύμνωσης



Το MOSFET σαν κυκλωματικό στοιχείο



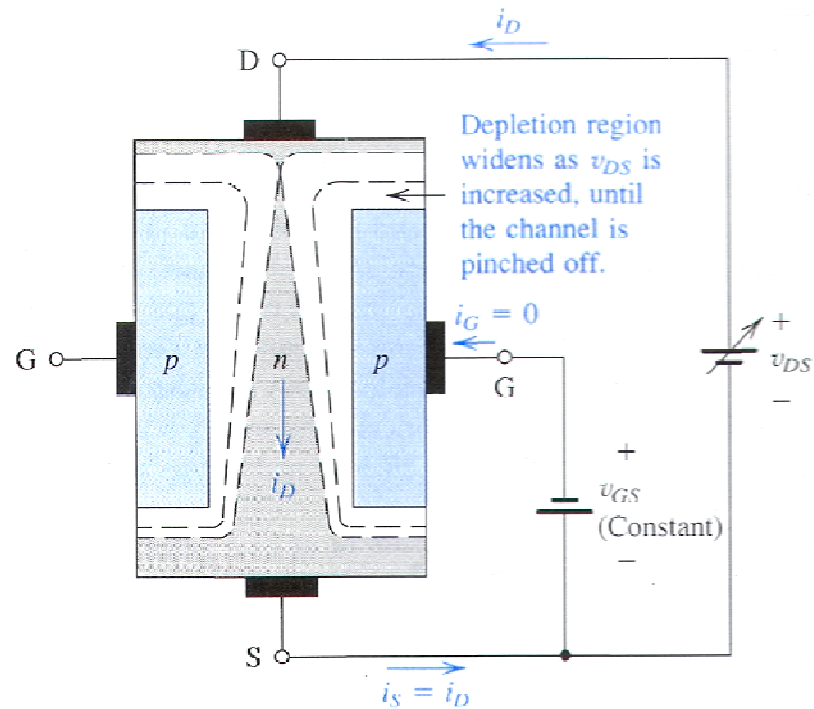
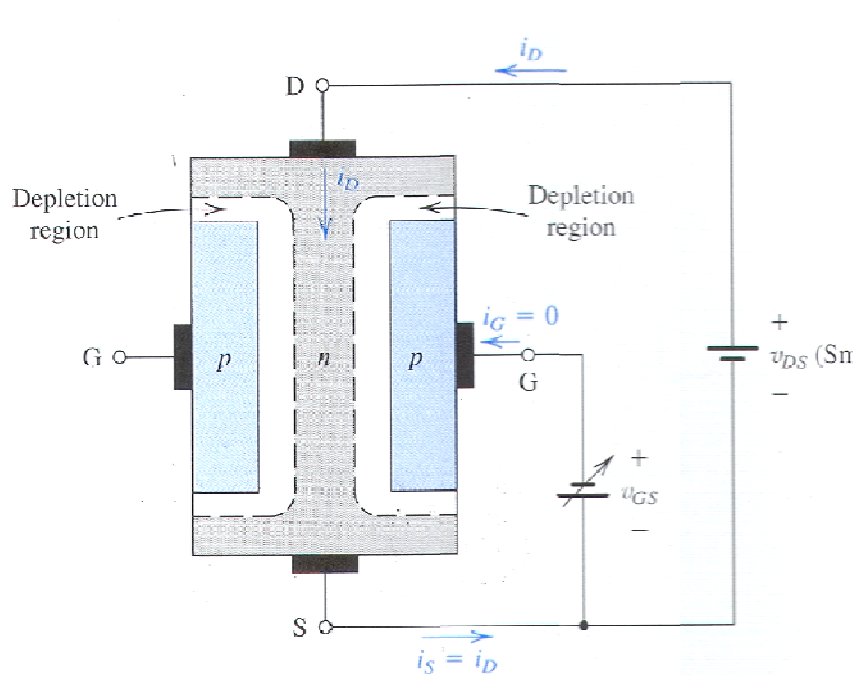
Δομή του FET Επαφής (JFET)



Κυκλωματικά σύμβολα του JFET

Δομή του JFET με κανάλι τύπου-n

Φυσική λειτουργία του JFET



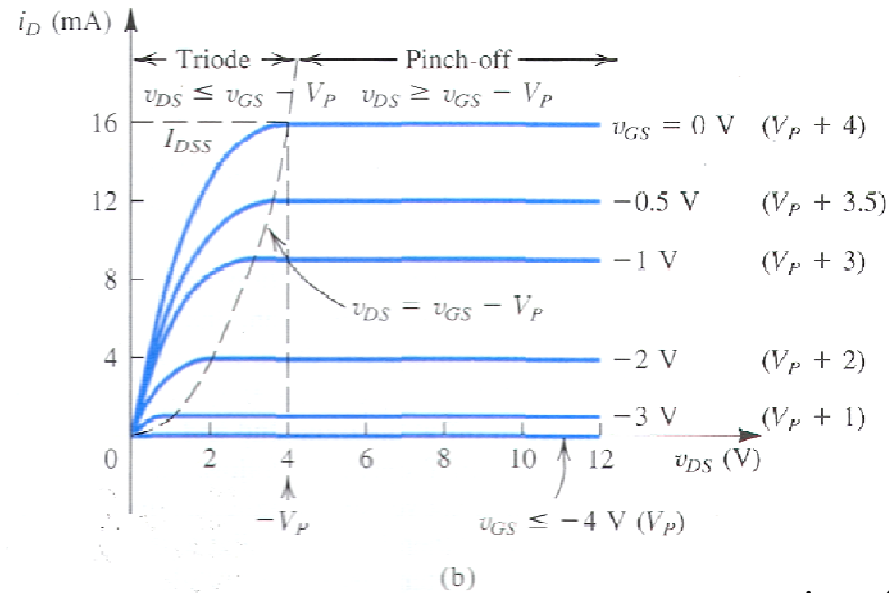
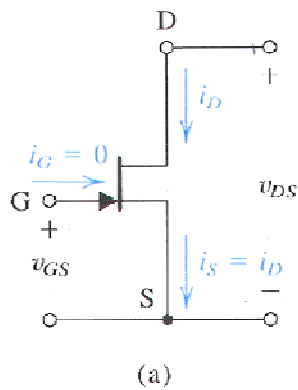
Αντίσταση καναλιού: $R_{CH} = \frac{\rho L}{t W}$

Τάση στραγγαλισμού (pinch off): V_P

Η τιμή της $v_{GS} < 0$ που μηδενίζει το πλάτος του καναλιού όταν $v_{DS} = 0$.

Γενικά: $v_{DSP} = v_{GS} - V_P$

Χαρακτηριστικές ρεύματος-τάσης



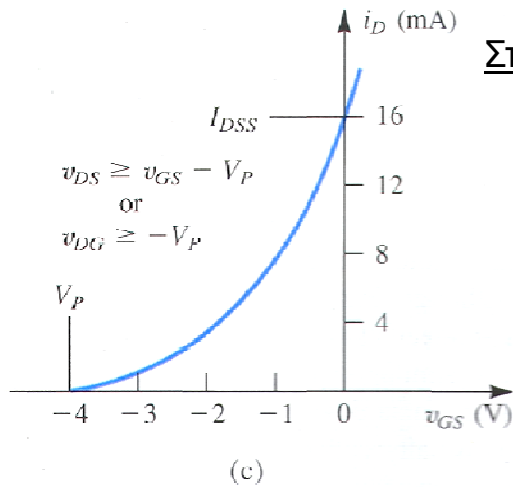
Γενικά:

$$i_G = 0 \quad \text{για} \quad v_{GS} \leq 0$$

Στην αποκοπή: $i_D = 0$ για $v_{GS} \leq V_P$ ($V_P < 0$)

Στον κόρο:
$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad \text{όπου} \quad I_{DSS} = \frac{K_n}{2} V_P^2$$

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_P} \right)^2 (1 + \lambda v_{DS}) \quad \text{για} \quad v_{DS} \geq v_{GS} - V_P \geq 0$$



Στην τριόδο:
$$i_D = \frac{2I_{DSS}}{V_P^2} \left(v_{GS} - V_P - \frac{v_{DS}}{2} \right) v_{DS}$$

για $v_{GS} \geq V_P$ και $v_{GS} - V_P \geq v_{DS} \geq 0$

JFET με κανάλι τύπου-p

Γενικά: $i_G = 0$ για $v_{GS} \geq 0$

Στην αποκοπή: $i_D = 0$ για $v_{GS} \leq V_P$ ($V_P > 0$)

Στην τριόδο: $i_D = \frac{2I_{DSS}}{V_P^2} \left(v_{GS} - V_P - \frac{v_{DS}}{2} \right) v_{DS}$ για $v_{GS} \leq V_P$ και $|v_{GS} - V_P| \geq |v_{DS}| \geq 0$

Στον κόρο: $i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_P} \right)^2 (1 + \lambda |v_{DS}|)$ για $|v_{DS}| \geq |v_{GS} - V_P| \geq 0$

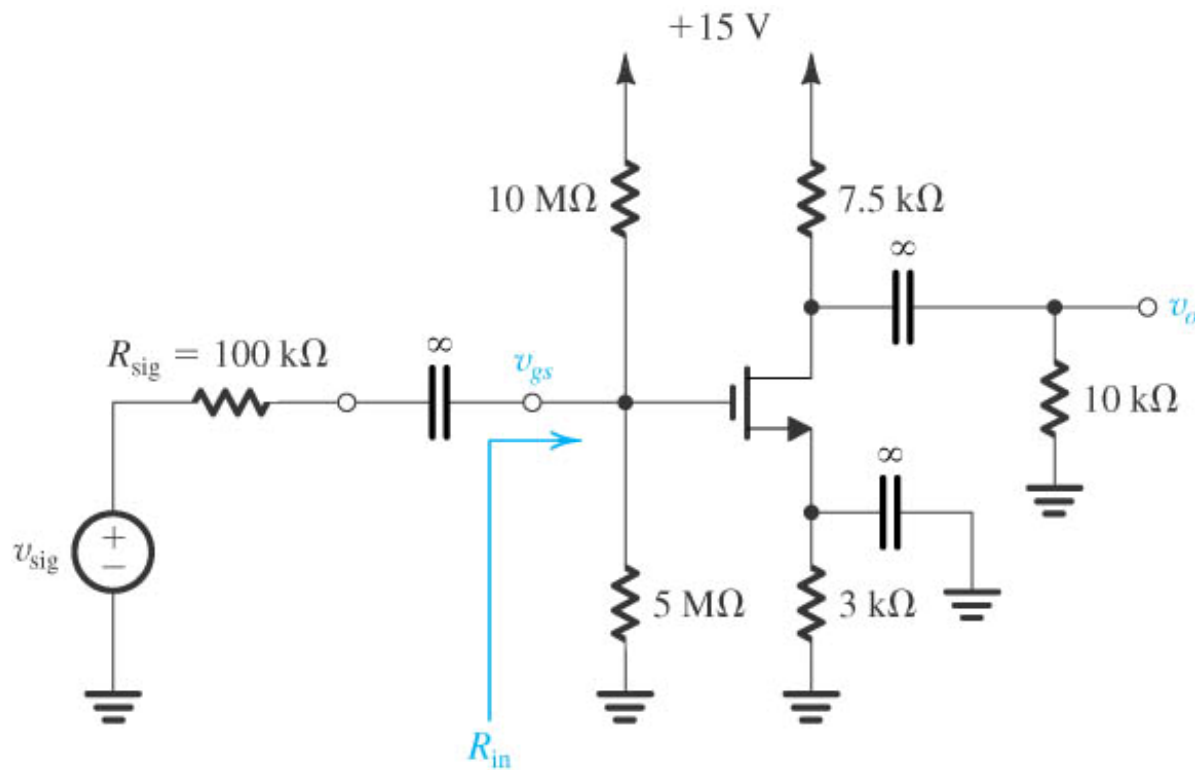
Άσκηση: Στο κύκλωμα του σχήματος το MOSFET έχει $V_t=2V$, $\mu_n C_{ox}=20\mu A/V^2$, $W/L=100$.
Η αντίσταση εξόδου του είναι $r_o=100k\Omega$.

α) Υπολογίστε τις DC ποσότητες V_G , I_D , V_{GS} και V_D .

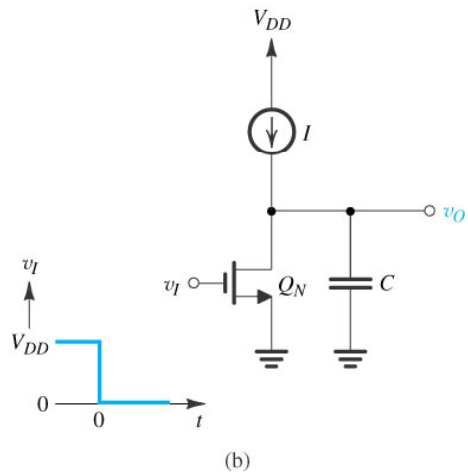
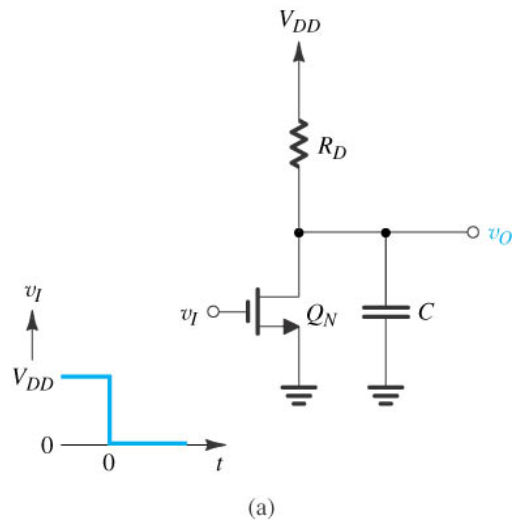
β) Υπολογίστε την g_m .

γ) Σχεδιάστε το ισοδύναμο μικρού σήματος του κυκλώματος.

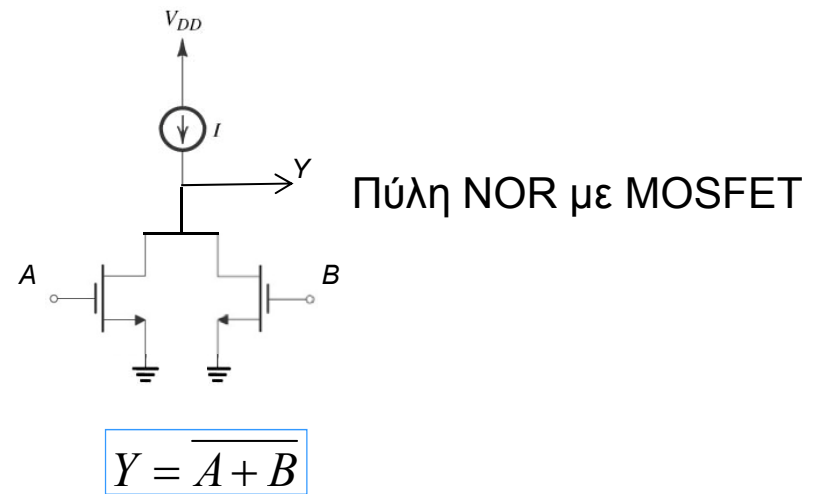
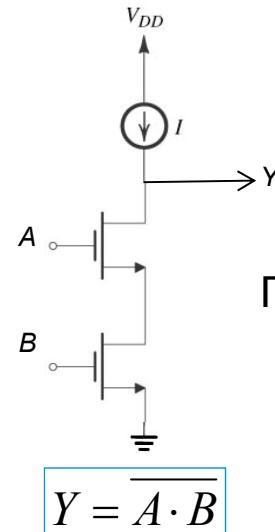
δ) Υπολογίστε την R_{in} και την απολαβή τάσης v_o/v_{sig} .



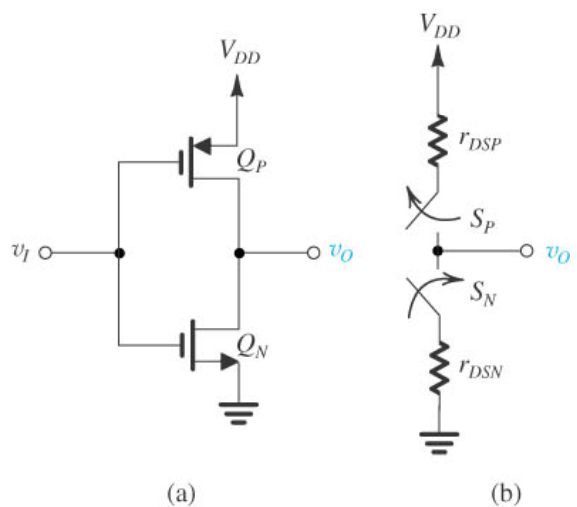
Λογικές Πύλες με MOSFET



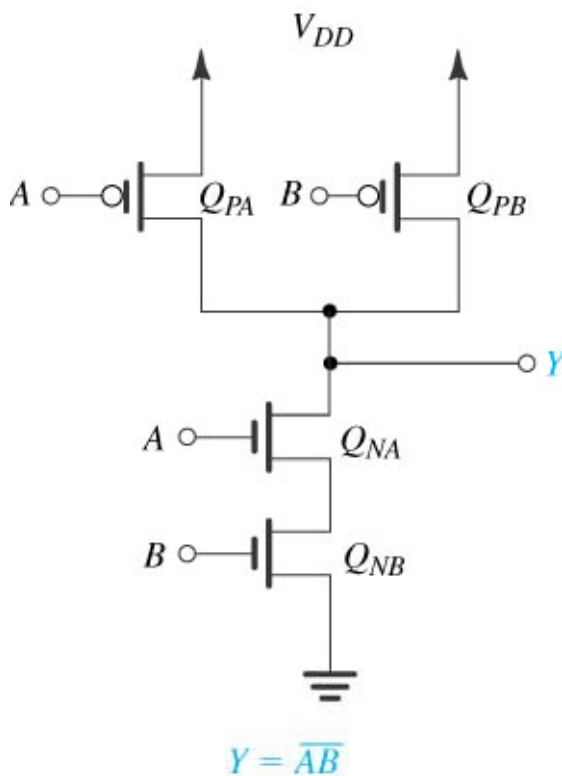
Αναστροφέας με MOSFET



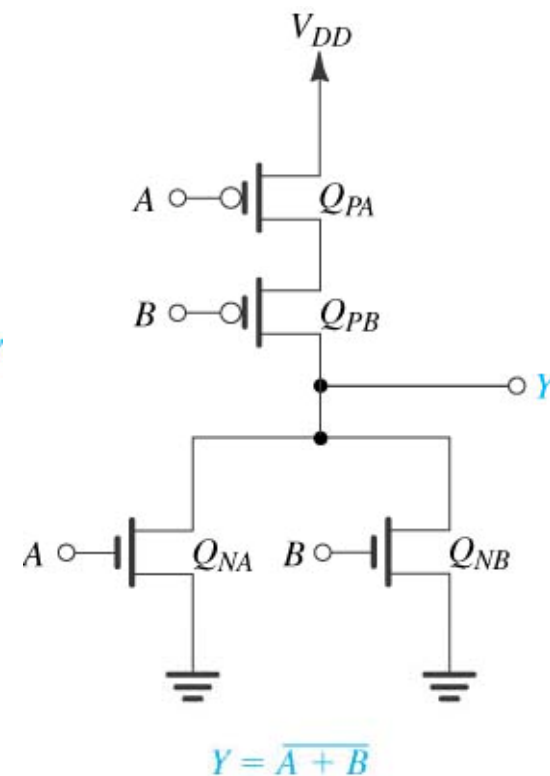
Λογικές Πύλες CMOS



Αναστροφέας CMOS



Πύλη NAND CMOS



Πύλη NOR CMOS