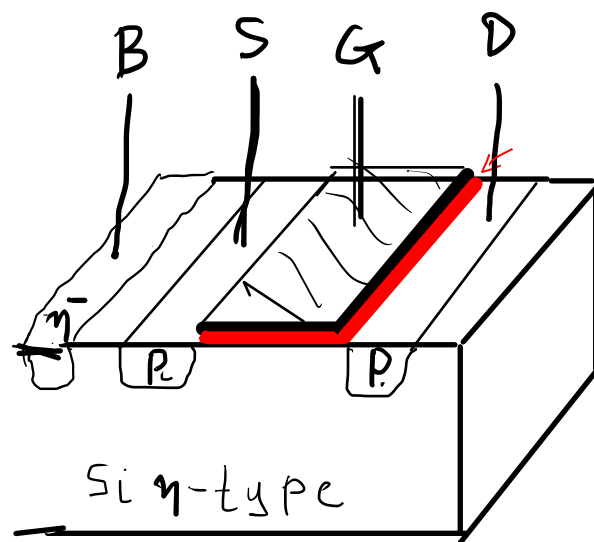
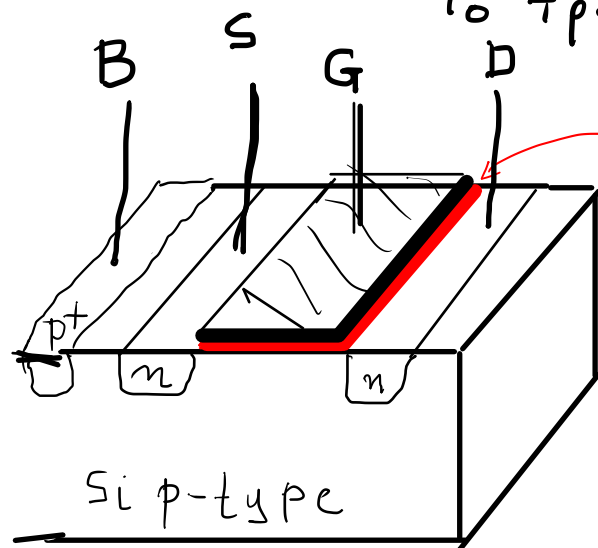
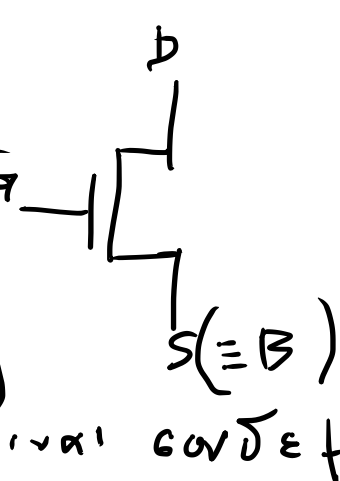
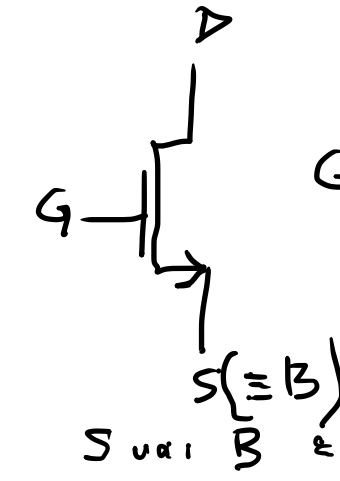
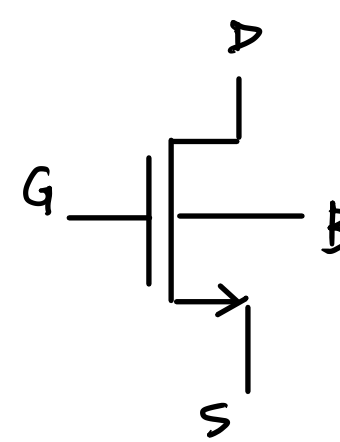
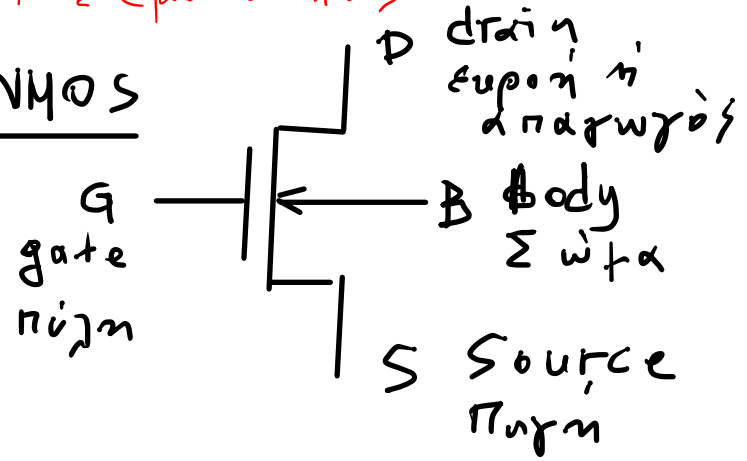


Το τρανζίστορ MOS (Metal - Oxide - Semiconductor - Field - Effect Transistor - Τρανζίστορ επίδρασης πεδίου)

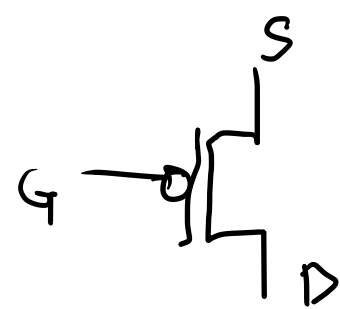
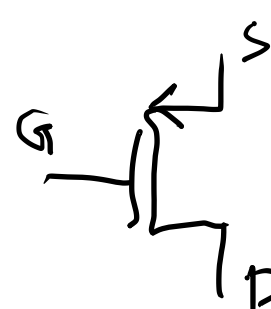
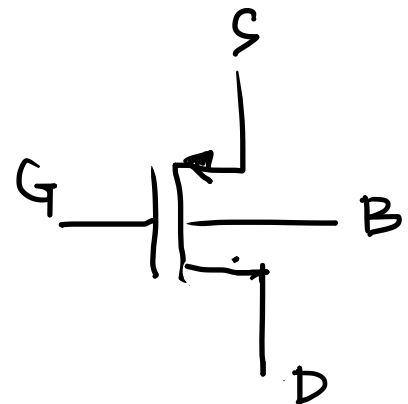
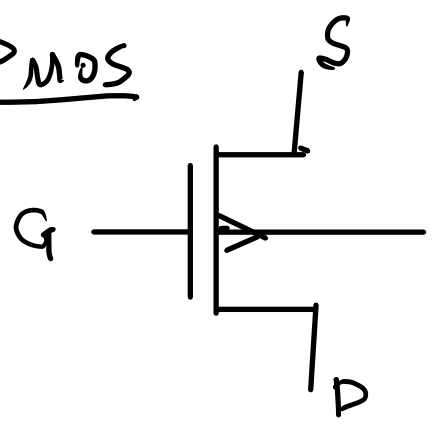


SiO_2 (μονωτής)

NMOS

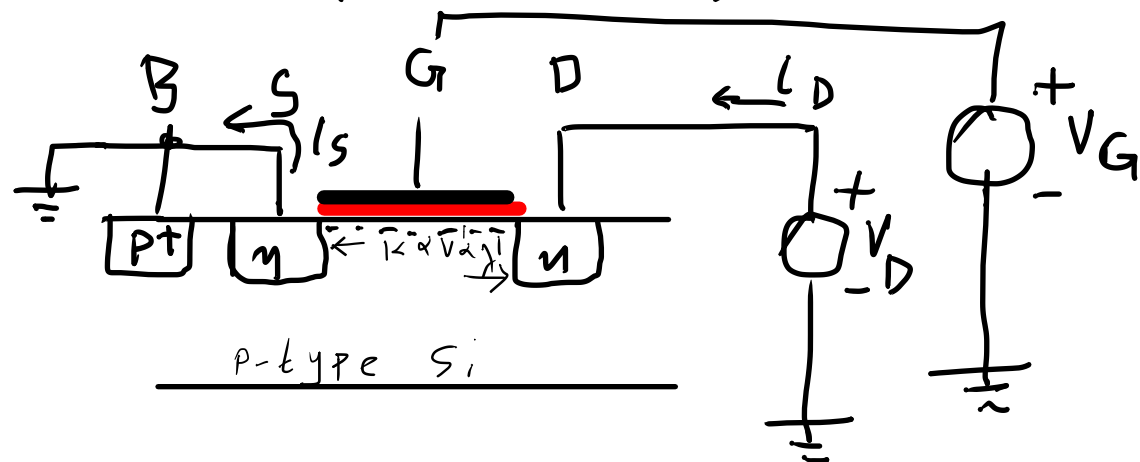


PMOS



Πως λειτουργεί το MOS τρανζίστορ

Ας δούμε το NMOS



Εστω ότι $V_p = 0$ και ότι V_G αυξάνεται ($V_G > 0$)
στην αρχή κινούνται τα υνδόμενα θετικά
φορτία (οι οπές) κάτω από τον μονωτή και
μένουν ακίνητα αρνητικά φορτία
(Περιοχή παχύς πυκνωτής)

Αυξάνοντας και άλλο την V_G ελεύθερα αρνητικά
φορτία και τις δύο η περιοχές περνούν στο κανάλι, οπότε κάτω από τον
μονωτή εμφανίζονται και κινόμενα αρνητικά φορτία. (Περιοχή ανάστροφής, γιατί
τα ελεύθερα φορτία είναι τύπου n)

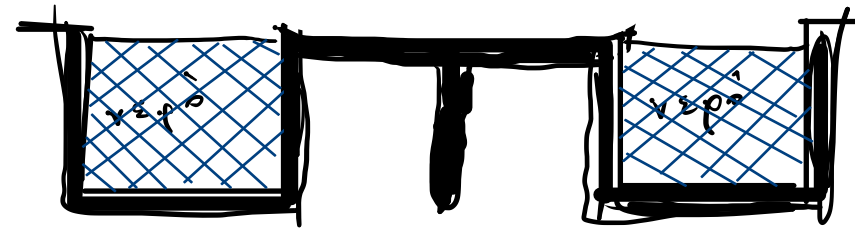
Ασθενής ανάστροφη όπου τα κινόμενα αρνητικά φορτία έχουν μειωμένη
πυκνότητα και τα ακίνητα αρνητικά φορτία στην ασθενή ανάστροφη
το $V_G < V_{\text{κατωφλίου}} - 100 \text{ mV}$)

Ισχυρή ανάστροφη όπου τα κινόμενα αρνητικά φορτία έχουν ίδια πυκνότητα
με τα κινόμενα θετικά φορτία ($V_G \geq V_{\text{κατωφλίου}} + 200 \text{ mV}$)

Μέτρια ανάστροφη έχουμε κατά μέσο όρο στις δύο παραπάνω.

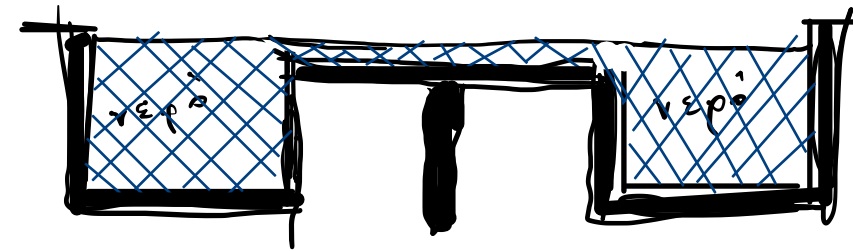
Προφανώς αν V_D γίνει $V_D > 0$ τότε τα ελεύθερα ηλεκτρόνια θα κινούνται
προς το D επομένως θα υπάρχει ρεύμα κατά μέσο όρο στο D και το S ($I_D = I_S$)

Υδραυλικό ανάλογο

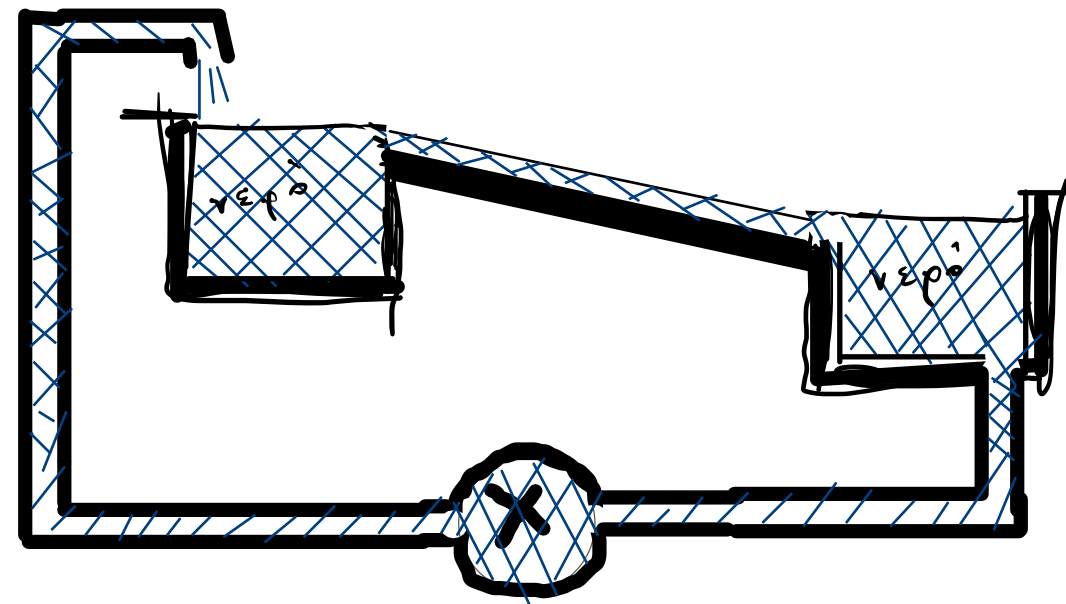


$V_g = 0$

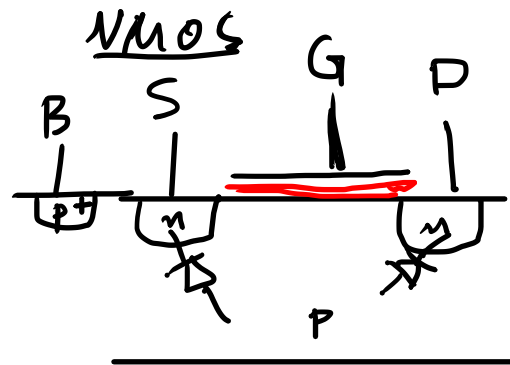
Δημιουργία καναλιού



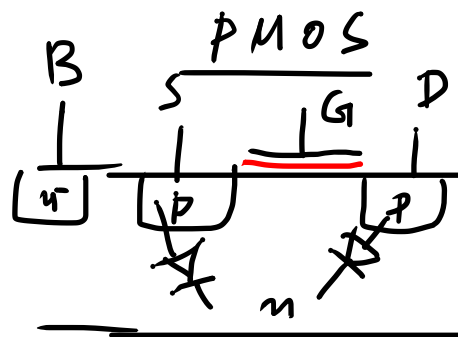
$V_g > 0$



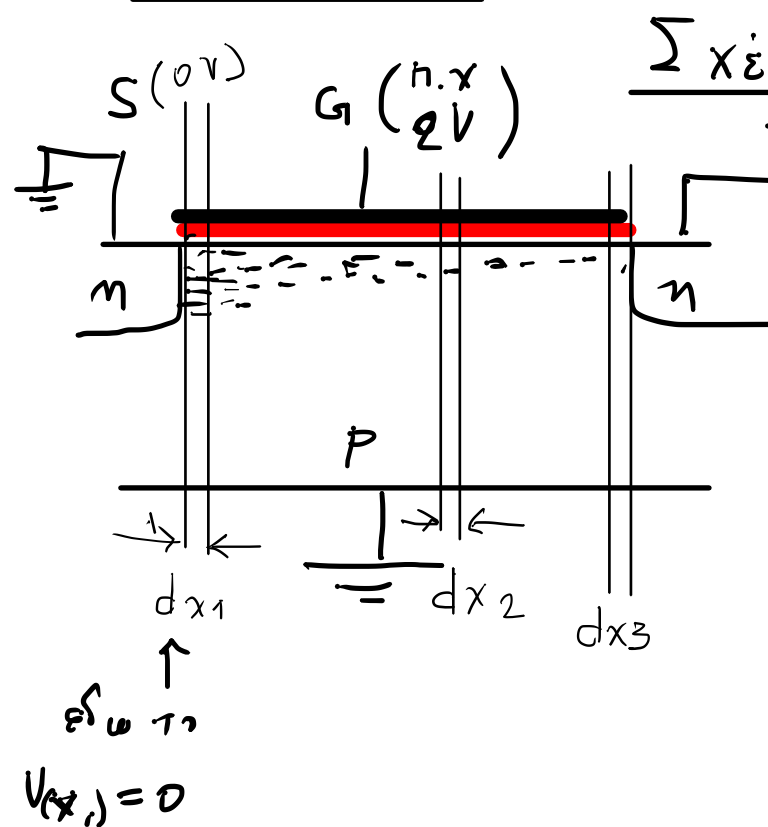
εξωτερική πηγή τάσης $V_{ds} > 0$



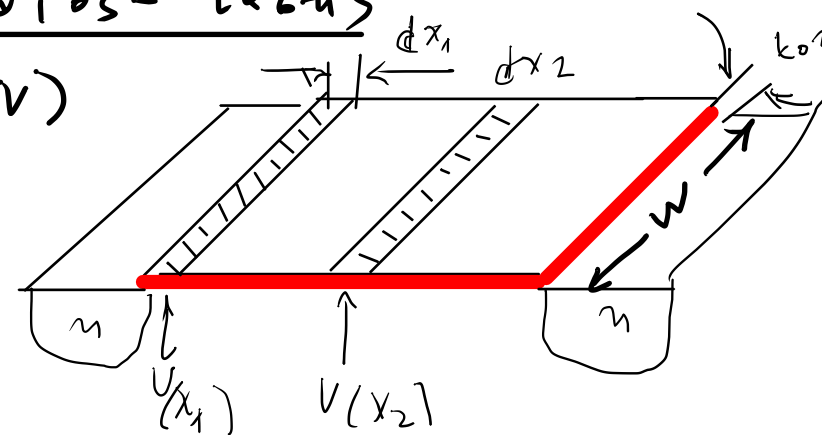
Ο, διοτο, ανάμεσα στο υπόστρωμα και τις περιοχές D και S πρέπει να μην είναι ορθά προσημειωμένες. Για τον λόγο αυτό το B πρέπει να είναι στην χαμηλότερη τάση στο κύκλωμα (π.χ. 0) στο NMOS



Ενώ στο PMOS το B πρέπει να είναι στην υψηλότερη τάση στο κύκλωμα.



Σχέση ρεύματος - Τάσης



Το dQ_1 είναι: $dQ_1 = C \cdot V$
οπου

$$C = \epsilon_{SiO_2} \cdot \frac{w \cdot dx_1}{t_{ox}}$$

$$dQ_1 = C (V_G - V_S - V_{th} - V(x_1))$$

οπου $V_{th}(\text{εκτιμώμενη}) = 0.5V$

$$\text{Το } dQ_2 = C (V_G - V_S - V_{th} - V(x_2)) \text{ αν } V(x_2) = 1V \text{ τότε}$$

$$\text{Το } dQ_2 = C (2V - 0 - 0.5 - 1V) = C \cdot 0.5V \text{ δηλ } dQ_2 < dQ_1$$

$$\text{Το } dQ_3 = C (V_G - V_S - V_{th} - V(x_3)) = C (2V - 0V - 0.5V - 1.5V) = 0$$

$$\text{Άρα } dQ = C(V_{GS} - V_{th} - V_{ch}(x)) \text{ και } C = \epsilon_{SiO_2} \frac{W \cdot dx}{t_{ox}}$$

$$\text{Όμως το ρεύμα } i = \frac{dQ}{dt} = \epsilon_{SiO_2} \frac{W}{t_{ox}} (V_{GS} - V_{th} - V_{ch}(x)) \frac{dx}{dt} \quad \text{Το } \frac{dx}{dt} \text{ είναι η}$$

ταχύτητα των ηλεκτρονίων. Η ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι $\mu_e \cdot E$ και το ηλεκτρικό πεδίο είναι $E = -\frac{dV_{ch}}{dx}$

$$\text{Επομένως } i = \epsilon_{SiO_2} \frac{W}{t_{ox}} (V_{GS} - V_{th} - V_{ch}(x)) \mu_e \frac{dV_{ch}}{dx} \Rightarrow$$

$$\int_{x=0}^L i dx = \epsilon_{SiO_2} \frac{W}{t_{ox}} \mu_e \int_{V_{ch}(x=0)}^{V_{ch}(x=L)} (V_{GS} - V_{th} - V_{ch}(x)) dV_{ch} =$$

$$i \cdot L = \epsilon_{SiO_2} \frac{W}{t_{ox}} \mu_e \left[(V_{GS} - V_{th}) V_{ch} - \frac{1}{2} V_{ch}^2 \right]_{V_{ch}(x=0)}^{V_{ch}(x=L)}$$

$$V_{ch}(x=0) = 0$$

$$V_{ch}(x=L) = V_{DS}$$

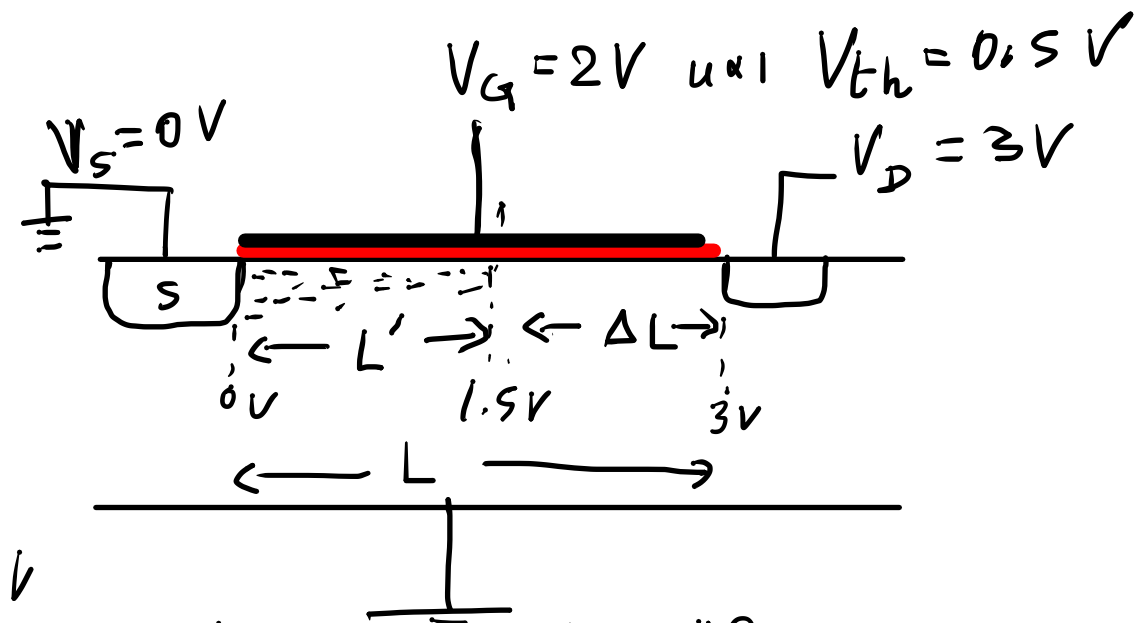
$$\text{Άρα } I = \mu_e \frac{\epsilon_{SiO_2}}{t_{ox}} \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right] = \mu_e C_{ox} \frac{W}{L} \left((V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right)$$

Όταν το $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$ τότε το ρεύμα I είναι

$$I = \mu_e C_{ox} \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_{th})(V_{GS} - V_{th}) - \frac{1}{2} (V_{GS} - V_{TH})^2 \right] \Rightarrow$$

$$I = \mu_e C_{ox} \frac{W}{L} \frac{1}{2} (V_{GS} - V_{th})^2$$

Όταν $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$ τότε



Όταν το $V_{ch} = 1.5V$ το $V_{GS} - V_{ch} = 0V$

αρα δεν θα υπάρχει για αναστροφή στο κανάλι. Όμως τα ελεύθερα ηλεκτρόνια θα περάσουν από την περιοχή που δεν υπάρχει αναστροφή, γιατί τα έχει το κλ. πεδίο, δηλ τα 3V του D έτσι το ρεύμα I

είναι $I = \mu_e C_{ox} \frac{W}{L'} \frac{1}{2} (V_{GS} - V_{th})^2$ το $L' = L - \Delta L$, άρα $\frac{1}{L'} = \frac{1}{L - \Delta L} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{1}{L'} = \frac{1}{L(1 - \frac{\Delta L}{L})} = \frac{1}{L} \left(1 + \frac{\Delta L}{L} \right) \text{ αν το } \frac{\Delta L}{L} \ll 1 \text{ όμως το } \frac{\Delta L}{L} \text{ είναι}$$

ανάλογο του V_{DS} αρα μπορού να γράψω ότι $1 + \frac{\Delta L}{L} = 1 + \lambda V_{DS}$

Επομένως $I_D = \frac{1}{2} \mu_e C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{DS})$ για $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$ (περιοχή κορεσμού)

$$I_D = \mu_e C_{ox} \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \text{ για } V_{DS} < V_{GS} - V_{TH} \text{ (Τριτοδός περιοχή)}$$

Για να βγάλουμε τις παραπάνω σχέσεις υποθέσαμε ότι το Q στο κανάλι είναι 0 αν $V_{GS} < V_{th}$ (τάση κατωγής)

Στην πραγματικότητα η παραπάνω υπόθεση είναι αησυχαστική

Ξέρουμε ότι στην περιοχή της ασθενούς ανάβρωσης ($V_{GS} < V_{th} - 100 \text{ mV}$)

$$I_D = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (n-1) \left(\frac{kT}{q_e} \right)^2 e^{\frac{V_{GS} - V_{th}}{\eta kT/q_e}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{V_{DS}}{\eta kT/q_e}} \right)$$

Για την περιοχή της μέτριας ανάβρωσης δεν υπάρχει κηλός κωλυτικός τύπος που να δίνει το ρεύμα.

Αν υάνοφε την γραφική παράσταση των άνω για $V_{GS} > V_{th}$ θα πάρουμε

