

Ανασφαγιώνουμε τις περιοχές λειτουργίας του τρανζίστορ MOS

Περιοχή τριόδου (NMOS) $V_{DS} < V_{GS} - V_{th}$ (V_{th} : Τάση κτωγλίου)
(PMOS) $V_{SD} < V_{SG} - |V_{th}|$

Περιοχή κορεσμού: $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ (NMOS)
 $V_{SD} > V_{SG} - |V_{th}|$ (PMOS)

Περιοχή καθενός ανατροπής: $V_{GS} < V_{th} + 100 \text{ mV}$

$$I_D = \mu C_{ox} \frac{W}{L} (\eta - 1) \left(\frac{kT}{q_e} \right)^2 e^{\frac{V_{GS} - V_{th}}{\eta kT/q_e}} \cdot (1 - e^{-\frac{V_{DS}}{\eta kT/q_e}}) \quad \eta \approx 1.2 - 1.6$$

Περιοχή μέτριας ανατροπής: $V_{th} + 100 \text{ mV} < V_{GS} < V_{th} + 200 \text{ mV}$
δεν υπάρχει αληθής αναγυμνός τύπος

Περιοχή ισχυρής ανατροπής $V_{GS} \geq V_{th} + 200 \text{ mV}$

$$I_D = \mu C_{ox} \frac{W}{L} \left((V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right) = \beta \left[(V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right] \quad \begin{array}{l} \text{για την τριόδο} \\ V_{DS} < V_{GS} - V_{th} \end{array}$$

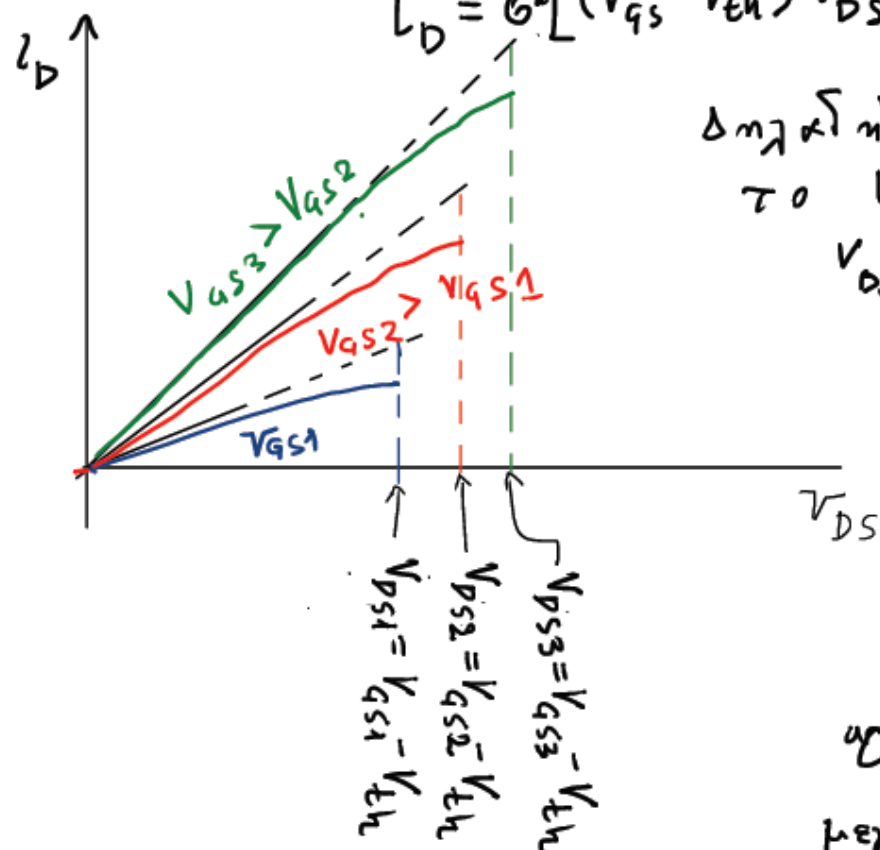
$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{DS}) = \frac{1}{2} \beta (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{DS}) \quad \begin{array}{l} \text{για την περιοχή} \\ \text{κορεσμού} \end{array}$$

$$\beta = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} \quad \begin{array}{l} \mu: \text{επιμεταγωγή} \\ C_{ox}: \frac{\text{χωρητικότητα}}{\text{επιφάνεια}} \text{ πυλιν} \end{array} \quad \begin{array}{l} W: \text{πλάτος καναλιού} \\ L: \text{μήκος καναλιού} \end{array}$$

Θα δούμε πάλι την γραμμική παράσταση του ρεύματος I_D στην ισχυρή ανάστροφη
 πηλ. για $V_{GS} \geq V_{th} + 200mV$

Όταν το V_{DS} είναι μικρότερο από το $(V_{GS} - V_{th})$ που είναι $\geq 200mV$ τότε
 η σχέση

$$I_D = \beta \left[(V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right] \text{ έχει γραμμική παράσταση}$$



δηλαδή όταν το V_{DS} είναι κυρίως μικρότερο από
 το $V_{GS} - V_{th}$ (π.χ. $200mV = 0.2V$) τότε το
 V_{DS}^2 είναι πολύ μικρό (π.χ. για $V_{DS} = 100mV$ το
 $V_{DS}^2 = 10(mV)^2$)

Έτσι η σχέση $I_D = f(V_{DS})$ θα συσχετισμένο

V_{GS} είναι σχεδόν γραμμική με

$$\mu_{\text{ηλίθη}} \quad \beta \cdot (V_{GS} - V_{th}) = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{DS}}$$

Όσο το V_{DS} πλησιάζει το $V_{GS} - V_{th}$, ο όρος $\frac{V_{DS}^2}{2}$
 μεγαλώνει και έτσι η γραμμική παράσταση
 να μην ισχύει.

Δηλαδή στην τριόδο περιοχή & στην ισχυρή ανάετροση το MOS τρανζίστορ λειτουργεί ως μια αντιστάση

$$r_{on} = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_{DS}} = \frac{1}{\beta (V_{GS} - V_{th})}$$

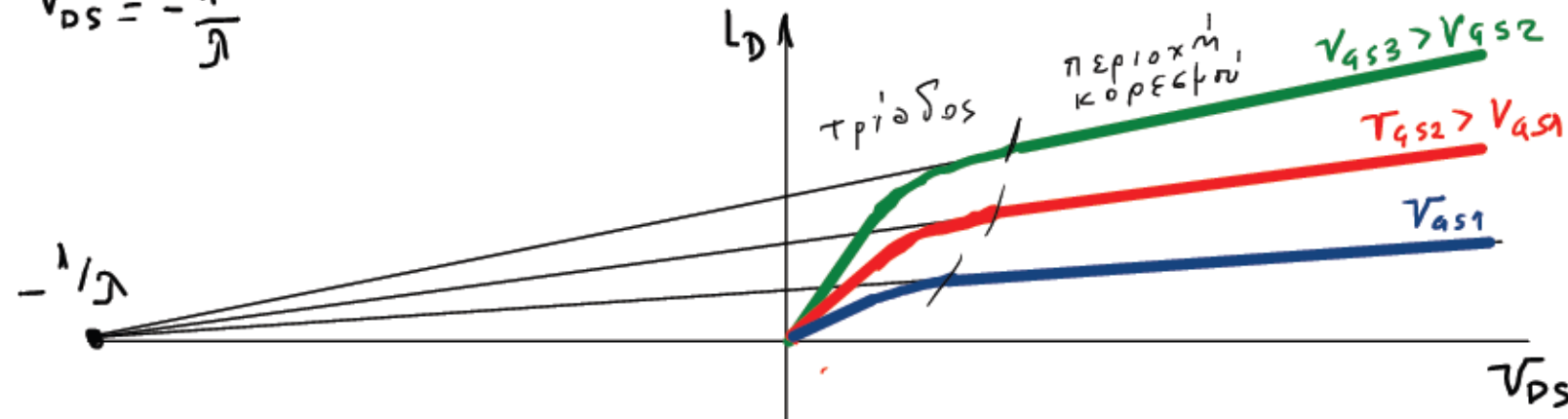
της οποίας η τιμή ρυθμίζεται από την τάση V_{GS} .

Όσο μεγαλύτερο είναι το V_{GS} τόσο μικρότερη είναι η αντιστάση.

Αυτή την ιδιότητα την χρησιμοποιούμε στους διακόπτες

Όταν το $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ το τρανζίστορ περνάει στην περιοχή υστερήσεως όπου

$I_D = \frac{1}{2} \beta (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{DS})$. Για σταθερό V_{GS} , η μορφή της γραμμής παρέκτισης γίνεται ευθεία $y = k(1 + \lambda V_{DS}) = k + k\lambda V_{DS}$. Η ευθεία αυτή έχει $y=0$ για $V_{DS} = -\frac{1}{\lambda}$



Παράδειγμα για την περιοχή λειτουργίας του τρανζίστορ. (Θεωρούμε ότι όταν $V_{GS} < V_{th}$ τότε $I_D = 0$ και ξέρουμε ότι αυτό δεν ισχύει 100%.)

Παράδειγμα 1

Ένα NMOS έχει $V_{th} = 2V$. Η πύλη G έχει $+3V$. Η πηγή S είναι γειωμένη. Να βρείτε τις περιοχές λειτουργίας για (α) $V_D = 0.5V$, (β) $V_D = 1V$, (γ) $V_D = 2V$

Λύση: $V_{GS} = V_G - V_S = 3V - 0V = 3V$. $V_{GS} - V_{th} = 3V - 2V = 1V$

(α) $V_D = 0.5V$ και $V_{DS} = V_D - V_S = 0.5 - 0 = 0.5V$ δηλ. $V_{DS} < V_{GS} - V_{th}$ άρα το τρανζίστορ είναι στην Τριόδου

(β) για $V_{DS} = 1V$ $V_{DS} = V_{GS} - V_{th}$ άρα το τρανζίστορ είναι στο όριο μεταξυ Τριόδου και κορεσμού

(γ) για $V_{DS} = 2V$ $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$ άρα περιοχή κορεσμού

Παράδειγμα 2

Ένα PMOS έχει $V_{th} = -2V$ Η πύλη G είναι γειωμένη. Η πηγή S είναι στα $+5V$. Ποιό είναι το μέγιστο V_D για το οποίο το PMOS θα παραμείνει στην περιοχή κορεσμού;

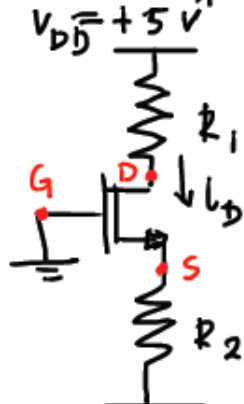
Λύση: $V_G = 0V$, $V_S = +5V$ άρα $V_{SG} = 5 - 0 = 5V$ και $V_{SG} - |V_{th}| = 5 - 2 = 3V$

Για να έχουμε περιοχή κορεσμού πρέπει $V_{SD} > V_{SG} - |V_{th}| \Rightarrow V_{SD} > 3V$ δηλαδή

$$V_S - V_D > 3V \quad 5V - V_D > 3V \Leftrightarrow 5V - 3V > V_D \Rightarrow V_D < 2V$$

Παράδειγμα :

Στο κύκλωμα:



$V_{SS} = -5V$

Να βρεθούν οι τιμές των αντιστάσεων έτσι ώστε

$$I_D = 0.4 \text{ mA}, \text{ και } V_D = 1V \quad \text{Δίνεται } V_{th} = 2V, \beta = 0.8 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}, \lambda \approx 0$$

Λύση: Η τιμή της R_1 προκύπτει από την σχέση

$$R_1 = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} = \frac{5V - 1V}{0.4 \text{ mA}} = \frac{4V}{0.4 \text{ mA}} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Η } R_2 = \frac{V_S - V_{SS}}{I_D} = \frac{V_S - (-5V)}{0.4 \text{ mA}} = \frac{V_S + 5V}{0.4 \text{ mA}}. \text{ Άρα πρέπει να βρεθεί το } V_S$$

Θεωρώ ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στον υποεξέλι. Επομένως

$$I_D = \frac{1}{2} \beta (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{DS}) \approx \frac{1}{2} \beta (V_{GS} - V_{th})^2 \quad \text{Έτσι } |V_{GS} - V_{th}| = \sqrt{\frac{I_D}{\frac{1}{2} \beta}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0.4 \text{ mA}}{0.4 \text{ mA/V}^2}} = 1V$$

$$\text{δηλ } |V_{GS} - 2| = 1 \Leftrightarrow \begin{cases} V_{GS} - 2 = 1 \Rightarrow V_{GS} = 3 \\ -(V_{GS} - 2) = 1 \Rightarrow V_{GS} = 1 \end{cases} \text{ Η τιμή αυτή}$$

απορρίπτεται γιατί

για $V_{GS} < V_{th}$ το $I_D \approx 0$ (το τρανζίστορ δεν κλεί)

$$\text{Έρα } V_{GS} = 3V \Rightarrow V_G - V_S = 3V \Rightarrow 0 - V_S = 3V \Rightarrow V_S = -3V$$

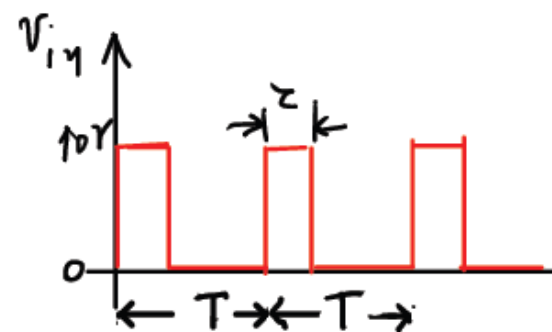
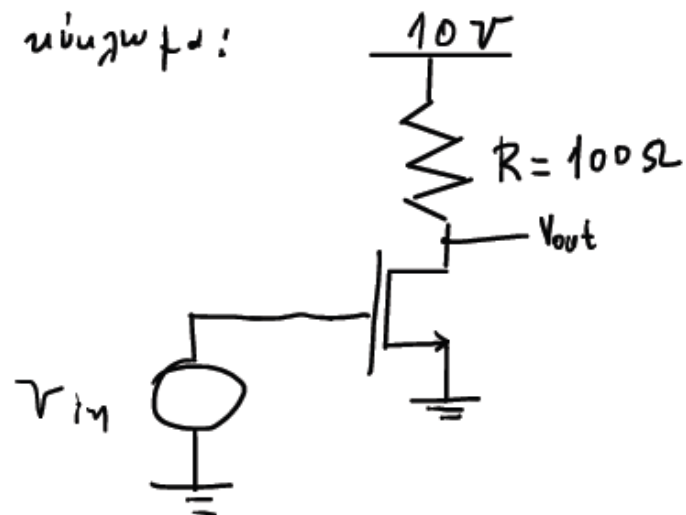
$$\text{Επομένως } R_2 = \frac{-3 + 5}{0.4 \text{ mA}} = \frac{2V}{0.4 \text{ mA}} = 5 \text{ k}\Omega$$

Επιβεβαιώνεται ότι το τρανζίστορ είναι
στην περιοχή υποεξέλι, γιατί $V_{DS} = 1V - (-3V) =$
 $= 4V > V_{GS} - V_{th} = 3V - 2V = 1V$

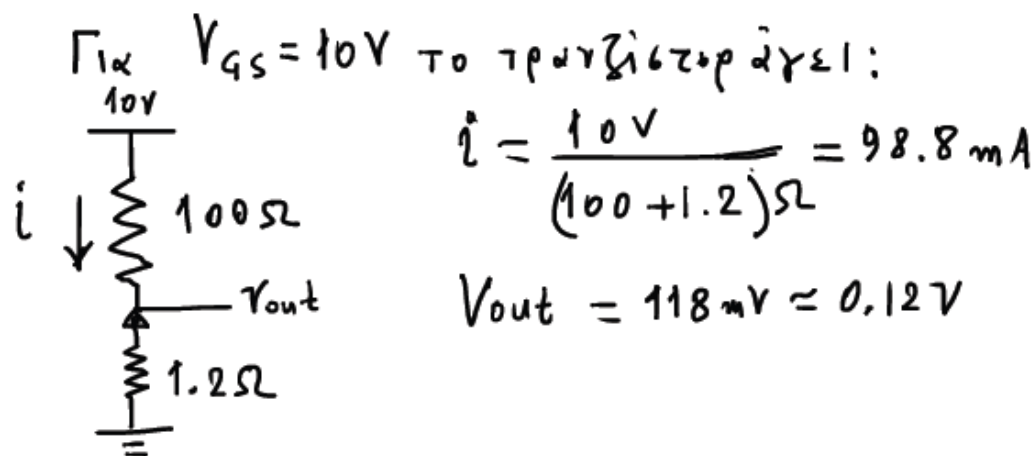
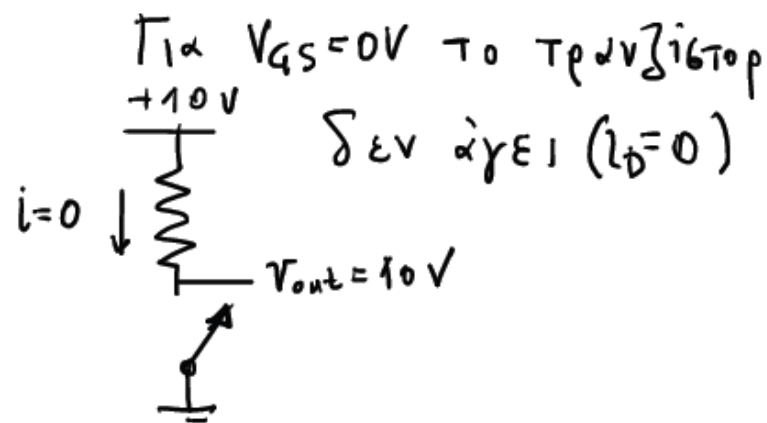
Το MOS ως διακόπτης: Ας πάρουμε το NMOS BS170

Αυτό έχει $V_{th} = 2.1V$ και $r_{ds(on)} = 1.2\Omega$ για $V_{GS} = 10V$

Έγινε το κύκλωμα:



Κύκλος
δράσης
 $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{3}$



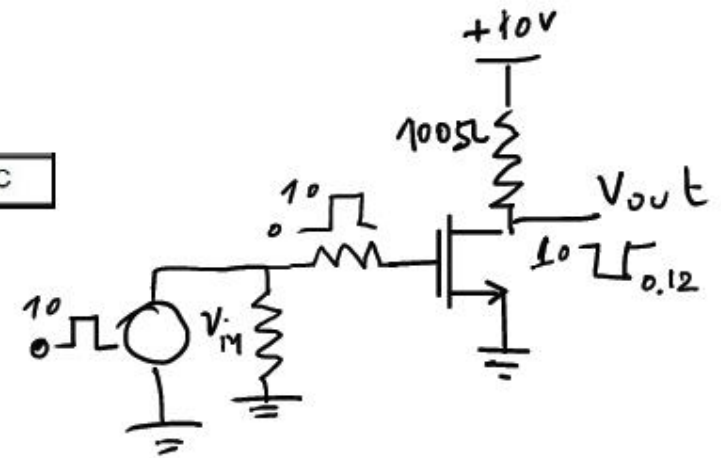
Βρείτε στο φυλλάδιο προδιαγραφών τα παρακάτω:

T_J, T_{STG}	Operating and Storage Temperature Range	- 55 to 150	$^{\circ}\text{C}$
----------------	---	-------------	--------------------

THERMAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	BS170	MMBF170	Unit
P_D	Maximum Power Dissipation Derate above 25°C	830 6.6	300 2.4	mW mW/ $^{\circ}\text{C}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	150	417	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

$R_{DS(ON)}$	Static Drain-Source On-Resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}, I_D = 200\text{ mA}$	All	-	1.2	5	Ω
--------------	-----------------------------------	---	-----	---	-----	---	----------



και βρήκατε ότι

για $V_{in} = 10\text{ V}$ το $I_D = 98.8\text{ mA}$
 αφού η ισχύς που καταναλώνεται είναι
 στο BS170 είναι $I_D^2 R_{DS(ON)} = (98.8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1.2\Omega = 117\text{ mW}$

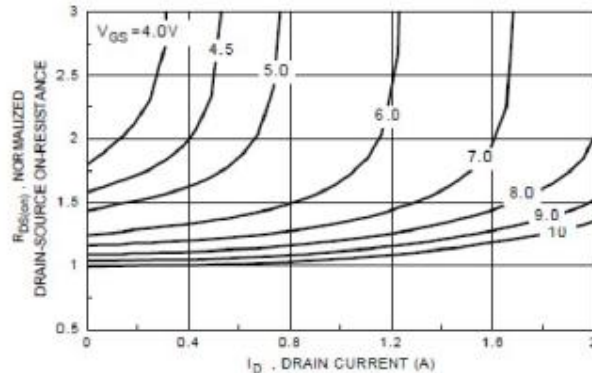


Figure 2. On-Resistance Variation with Gate Voltage and Drain Current

Αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 25°C
 τότε η ισχύς των 117 mW θα δώσει
 θερμοκρασία του τρανζίστορ $25^{\circ}\text{C} + 117\text{ mW} \cdot R_{\theta JA} =$
 $= 25^{\circ}\text{C} + 0.117\text{ W} \cdot 150^{\circ}\text{C}/\text{W} = 25^{\circ}\text{C} + 17.55^{\circ}\text{C} =$
 42.55°C

αφού πιο παρηγή από την μέγιστη θερμοκρασία
 $T_J = 150^{\circ}\text{C}$