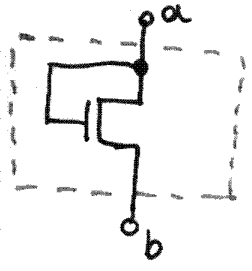
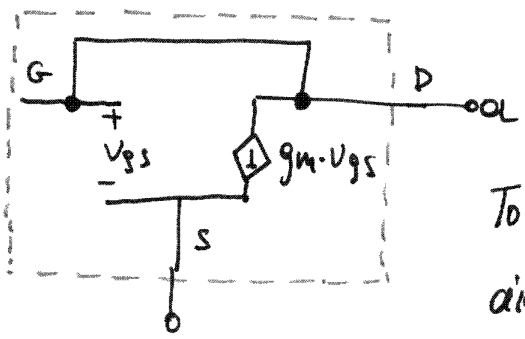


Παραδείγματα για ενισχυτή με τρανζίστορ

1) Βρείτε το ισοδύναμο μοντέλο μικρού σήματος όπως φαίνεται από τα άκρα α και β.



Εφόσον το gate του τρανζίστορ είναι σωδεδεμένο με το Drain το τρανζίστορ είναι ανενεργό στο saturation. Έτσι το ισοδύναμο μοντέλο μικρού σήματος είναι το εξής:



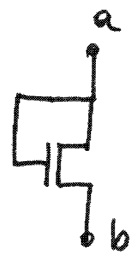
Το ρεύμα που διαρρέει τα άκρα α ή β ή ισοδύναμα του ακροδέκτη D ή S

είναι 160  $\mu\text{A}$   $i_{DS} = i_{ab} = g_m \cdot v_{gs}$ . Όμως το gate είναι σωδεδεμένο με το Drain. Έτσι  $v_{gs} = v_{DS}$ . Επομένως προκύπτει ότι

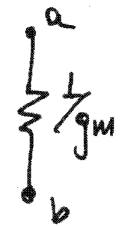
$$i_{DS} = g_m \cdot v_{gs} = g_m \cdot v_{DS} \text{ ή ισοδύναμα}$$

$$i_{ab} = g_m \cdot v_{ab}$$

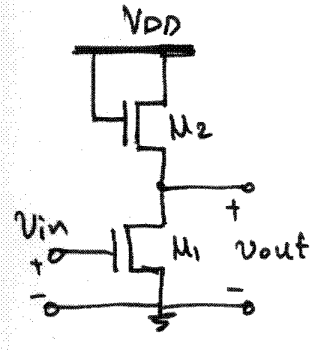
Ανσπρέφοντας την εξίσωση προκύπτει ότι  $v_{ab} = i_{ab} \frac{1}{g_m}$ . Η γραμμική αντίδραση είναι ο νόμος του Ohm για τα άκρα α ή β ενώ η ισοδύναμη αντίσταση είναι  $R_{ab} = \frac{1}{g_m}$ . Με άλλα λόγια



μικρά σήματα  
→

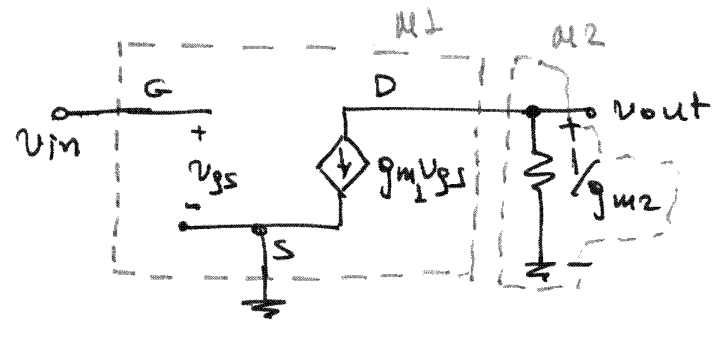


● Βρείτε το κέρδος μικρού σήματος για τον παρακάτω ενισχυτή.



Για το τρανζίστορ  $M_2$  παρατηρούμε ότι τόσο το drain όσο η το gate είναι συνδεδεμένα στο  $V_{DD}$ . Επομένως μονιμά στον κορεστό η σύμφωνα με την προηγούμενη άσκηση στο μοντέλο μικρού

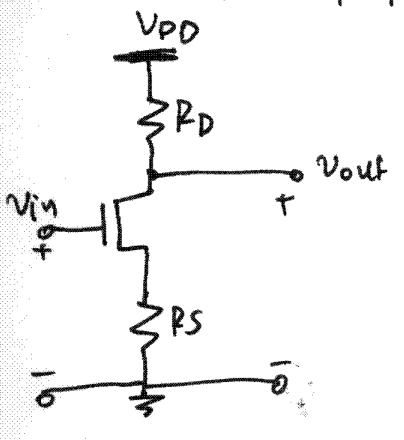
σήματος συμπεριφέρονται σαν μια αντίσταση  $\frac{1}{g_{m2}}$ . Αν με την κατάλληλη επιλογή των παραμέτρων είναι να το  $M_1$  στον κορεστό (κατάλληλο σημείο πόλωσης) τότε το ισοδύναμο μοντέλο μικρού σήματος είναι το εξής:



Η αντίσταση  $\frac{1}{g_m}$  διαρρέεται από ρεύμα  $-g_{m1} \cdot v_{gs}$ . Έτσι  $v_{out} = -g_{m1} v_{gs} \frac{1}{g_{m2}}$

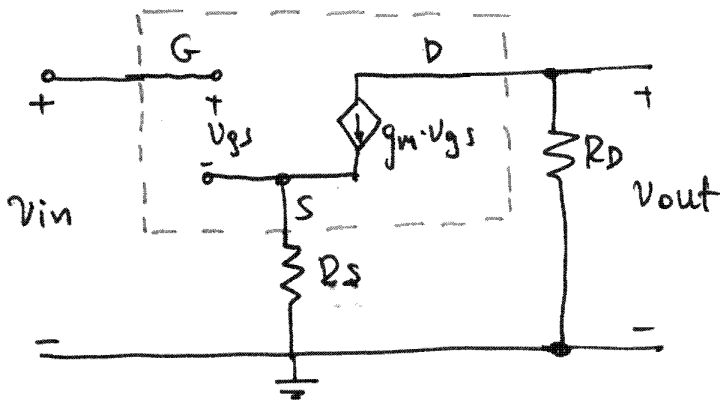
Η διαφορά δυναμικού  $v_{gs}$  είναι ίση με  $v_{in}$ . Έτσι,  $\boxed{\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{g_{m1}}{g_{m2}}}$

● Υπολογίστε το κέρδος μικρού σήματος για τον παρακάτω ενισχυτή.



Η κατάλληλη επιλογή του σημείου πόλωσης του ενισχυτή έχει καθορίσει πως το τρανζίστορ λειτουργεί στην περιοχή του κορεστού.

Έτσι, το ισοδύναμο μοντέλο μικρού σήματος είναι το εξής:



Από το μοντέλο μικρού σήματος παρατηρούμε πως  $v_{in} = v_{gs} + v_{rs}$  ή  $R_s$  διαρρέεται από ένα ρεύμα  $g_m \cdot v_{gs}$ . Έτσι,  $v_{rs} = g_m \cdot v_{gs} \cdot R_s$ . Οπότε προκύπτει ότι

$$v_{in} = v_{gs} + g_m \cdot v_{gs} \cdot R_s = v_{gs} \cdot (1 + g_m \cdot R_s) \Rightarrow$$

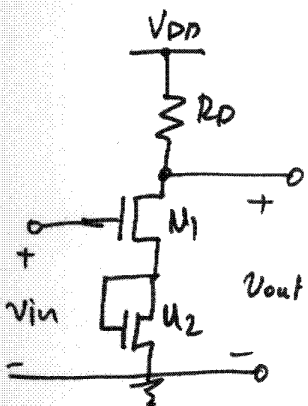
$$v_{gs} = \frac{v_{in}}{1 + g_m \cdot R_s}$$

Επίσης, το ίδιο ρεύμα  $-g_m \cdot v_{gs}$  διαρρέει και τον  $R_D$ . Οπότε  $v_{out} = -g_m \cdot v_{gs} \cdot R_D$

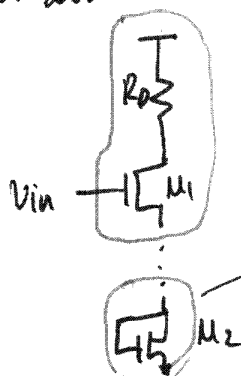
Από τις δύο σχέσεις,  $v_{out} = - \frac{g_m \cdot R_D}{1 + g_m \cdot R_s} \cdot v_{in} \Rightarrow \frac{v_{out}}{v_{in}} = - \frac{g_m \cdot R_D}{1 + g_m \cdot R_s}$

Δηλαδή το κέρδος σε σχέση με τον απλό ενισχυτή είναι μικρότερο κατά  $1 + g_m R_s$ .

⊙ Για τον παρακάτω ενισχυτή υπολογίστε το κέρδος μικρού σήματος.

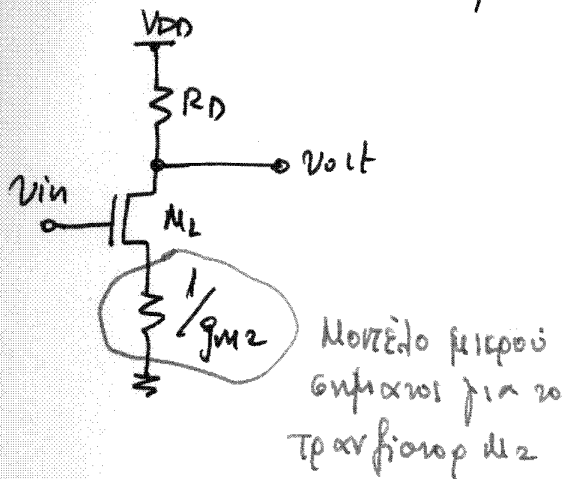


Το κύριωτα άνω ουσιαστικά αποτελείται από 2 μέρη. Το ένα είναι ο απλός ενισχυτής που βρήκαμε ή το άλλο είναι ένα τρανζίστορ όπου το gate του είναι βωδωμένο με το drain του.



Συμπεριφέρεται σαν αντίσταση για τον μικρό σήμα

Επομένως για την ανάλυση μικρών σιγμάτων χωρίς να ανοίξουμε το μοντέλο του  $M_2$  έχουμε το ισοδύναμο κύκλωμα.

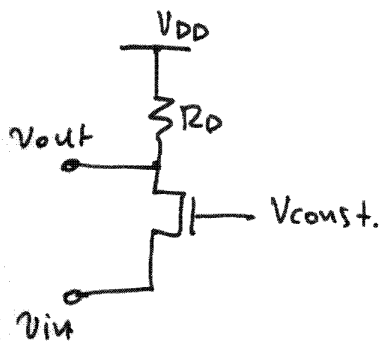


Έτσι από την προηγούμενη άσκηση ( $R_S = \frac{1}{g_{m2}}$ ) προκύπτει ότι

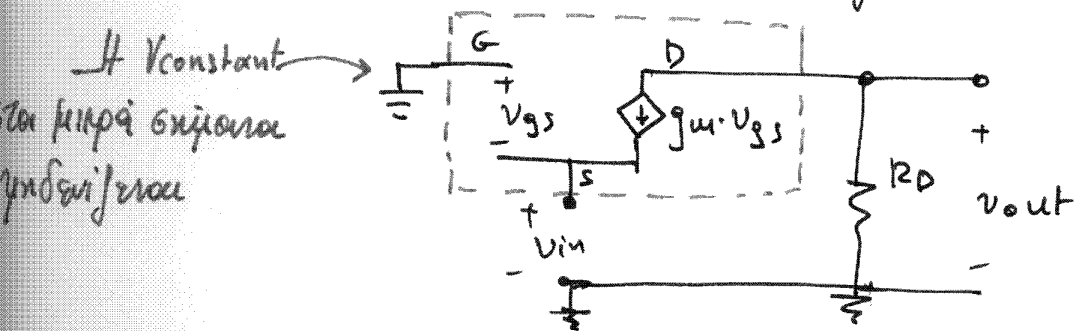
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-g_{m1} R_D}{1 + \frac{g_{m1}}{g_{m2}}}$$

\* Υπενθυμίζουμε πως οι τιμές των διασχημοσυντελεστών  $g_m$ , και  $g_{m2}$  καθορίζονται από το σημείο πόλωσης του ενισχυτή και υπολογίζονται κατά τη φάση της ανάλυσης μεγάλων σιγμάτων του ενισχυτή.

• Για τον παρακάτω ενισχυτή υπολογίστε το κέρδος μικρού σιγματος.

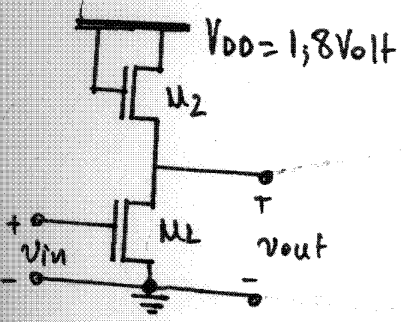


Το τρανζίστορ αποφασίζει μέσω της  $V_{const}$  και της τιμής της  $R_D$  να λειτουργεί στον κορροφό. Επομένως το ισοδύναμο μοντέλο μικρού σιγματος είναι το εξής:



Το ρεύμα που διαρρέει την  $R_D$  είναι  $-g_m \cdot v_{gs}$ . Έτσι,  $v_{out} = -g_m v_{gs} R_D$ . Από το μοντέλο  $v_{in} = -v_{gs}$ . Επομένως,  $\frac{v_{out}}{v_{in}} = g_m \cdot R_D$

Θ σχεδιάστει τον παρακάτω ενισχυτή ώστε το κέρδος μικρού σήματος να ισούται με 4 > να μην καταναλώνει περισσότερο από 1mW. Σημειώστε ότι η  $V_{GS}$  του  $M_1$  είναι μεγαλύτερη από το  $V_T$  του τρανζίστορ κατά 200mV (overdrive voltage). Επίσης, θεωρήστε ότι  $\mu C_{ox} = 200 \mu A/V^2$  και  $V_T = 0.4V$ .



- Η σχεδίαση του ενισχυτή απαιτεί
- \* Την εύρεση των μεγεθών των τρανζίστορ  $(W/L)_1$  και  $(W/L)_2$  που πληρούν τη προϋπόθεση του ενισχυτή.
  - \* Τον κoefficient του σημείου πώλησης.
  - \* Την εύρεση του κέρδους μικρού σήματος και από ποιες παραμέτρους εξαρτάται.

Επομένως, η απαιτημένη από τον σχεδιαστικό προβληματισμό περιλαμβάνει τόσο τη DC ανάλυση μεγάλων σήματος όσο και την απαιτούμενη ανάλυση μικρού σήματος.

Από τους σχεδιαστικούς περιορισμούς μπορούμε εύκολα να βρούμε το μέγεθος του  $M_1$ . Εφόσον η βολική ισχύς είναι  $P = 1mW$  τότε το ρεύμα που φορτίζεται και διαρρέει και τα δύο τρανζίστορ είναι  $P = I \cdot V_{DD} \Rightarrow I = \frac{1mW}{1.8V} \approx 0.56mA$ . Για να λειτουργεί το κύκλωμα ως ενισχυτής πρέπει το  $M_1$  να βρίσκεται στην περιοχή του κορεσμού. Τότε το ρεύμα που το διαρρέει είναι:

$$I_1 = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_1 (V_{GS1} - V_T)^2$$

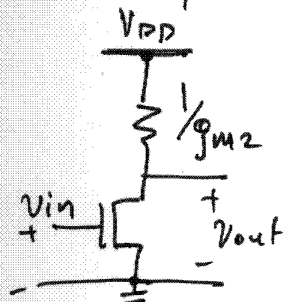
Θεωρούμε ότι  $V_{GS1} - V_T = 200mV$

$$\Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_1 = \frac{2 I_1}{\mu C_{ox} (0.2)^2} = \frac{2 \cdot 0.56mA}{200 \mu A/V^2 \cdot (0.2)^2} = 277.5$$

Για το δεδομένο σημείο πώλησης για το  $M_1$ :  $V_{GS1} - V_T = 0.2V \Rightarrow V_{GS1} = V_{BIAS} = 0.6V$

η διαγωγιμότητα του  $M_1$  είναι ίση με  $g_{m1} = \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_1 (V_{GS1} - V_T) = 200 \mu A/V^2 \cdot 277.5 \cdot 0.2 = 11.1 \frac{mA}{V}$

Στο τρανζίστορ  $M_2$  και το Gate και το Drain είναι συνδεδεμένα στο ίδιο δυναμικό  $V_{DD} = 1.8V$ . Επομένως, σύμφωνα με την πρώτη αίσθηση των παραδειγμάτων το  $M_2$  συμπεριφέρεται σαν μια αντίσταση  $\frac{1}{g_{m2}}$  στον περίπλοκο των μικρών σήματων. Έτσι, το ισοδύναμο μοντέλο μικρού σήματος για το κύκλωμα είναι:



Όπως ξέρουμε το κέρδος μικρού σήματος του ενισχυτή αυτού είναι  $-g_m \cdot R_D$ . Εφόσον στα δεξιά της  $R_D$  έχουμε την ισοδύναμη αντίσταση  $\frac{1}{g_{m2}}$  προκύπτει ότι το κέρδος είναι:

$$A = -\frac{g_{m1}}{g_{m2}}$$

Το κέρδος του ενισχυτή θέλουμε να είναι 4. Επομένως,  $g_{m2} = -\frac{g_{m1}}{4}$

Διπλασιάζοντας το αρνητικό πρόσημο)  $g_{m2} = \frac{11.1}{4} = 2.775 \frac{mA}{V}$

Για να πετύχει αυτή τη διαχωριστικότητα το τρανζίστορ  $g_{m2} = \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_2 (V_{GS2} - V_T)$  και παράλληλα να διαρρέεται από ένα ρεύμα  $I_2 = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_2 (V_{GS2} - V_T)^2$  εφόσον λόγω συνδεσμολογίας βρίσκεται στον κορεσμό πρέπει να έχει κατάλληλο μέγεθος  $\left(\frac{W}{L}\right)_2$  και κατάλληλη πόλωση  $V_{GS2}$ . Διακρίνοντας το  $g_{m2}$  από το  $I_2$  έχουμε

$$\frac{g_{m2}}{I_2} = \frac{\mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_2 (V_{GS2} - V_T)}{\frac{1}{2} \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_2 (V_{GS2} - V_T)^2} = 2 \frac{1}{V_{GS2} - V_T} = \frac{2.775 \frac{mA}{V}}{1 mA} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{GS2} - V_T = 0.72 \text{ Volt}$$

Εφόσον  $V_G = 1.8V$  σημαίνει ότι το  $V_{S2} = 0.68V$ . Με άλλα λόγια στο σημείο πόλωσης  $\underline{v_{out} = 0.68V}$

\* Αυτό αποδεικνύει ότι όπως το  $M_1$  στον κορεσμό γιατί  $v_{out} = v_{DS1} > V_{GS1} - V_T = 0.2V$

Εφόσον η διαγωγιμότητα του  $M_2$   $g_{m2} = \mu C_{ox} (W/L)_2 (V_{GS2} - V_T)$  πρέπει

να είναι  $2.775 \frac{\mu A}{V}$  ώστε να επαυξανήσει το φωτισμένο κέρδος του

Το τρανζίστορ οφείδει να έχει μήκος  $160 \text{ fF}$   $(W/L)_2 = \frac{g_{m2}}{\mu C_{ox} (V_{GS2} - V_T)} =$

$$= \frac{2.775 \frac{\mu A}{V}}{200 \frac{\mu A}{V^2} - 0.72 V} = 19.2.$$