

# ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ ΜΙΑΣ ΒΑΘΜΙΔΑΣ

## ΔΙΑΛΕΞΗ 1

# Ενισχυτές ενός τρανζίστορ

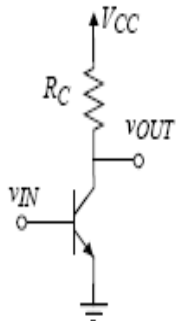
Ο στόχος αυτής της παρουσίασης είναι

1. Μελέτη των χαρακτηριστικών ενός ενισχυτή
2. Ανάλυση του ενισχυτή χρησιμοποιώντας ωμικά φορτία

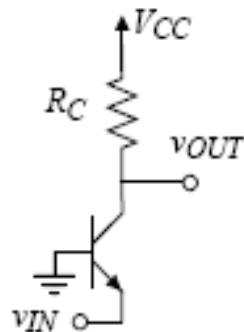
# Χαρακτηριστικά Ενισχυτών

- Μεταφορά τάσης μεγάλου σήματος (.DC)
- Περιορισμοί ταλάντωσης της τάσης μεγάλου σήματος (.DC & .TRAN)
- Μικρό σήμα, λειτουργία-απόδοση μη-εξαρτημένης από συχνότητα
- Κέρδος
- Αντίσταση εισόδου/εξόδου
- Μικρό σήμα, απόκριση συχνότητας (.AC)
- Θόρυβος (.NOISE)
- Κατανάλωση ενέργειας (.OP)
- Slew rate (.TRAN)

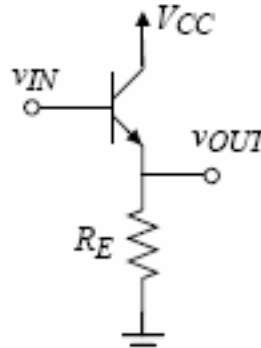
# Τύποι τρανζίστορ



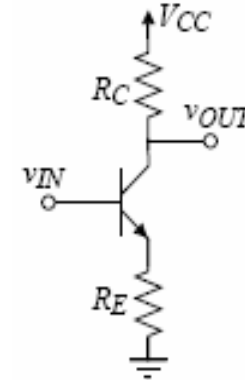
Κοινού εκπομπού



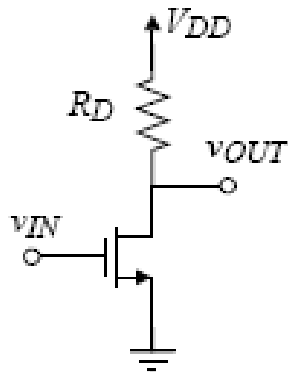
Κοινής βάσης



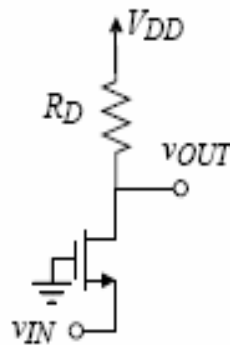
Κοινού συλλέκτη



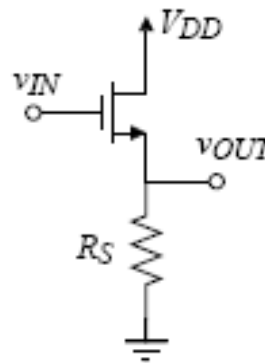
Degeneration εκπομπού



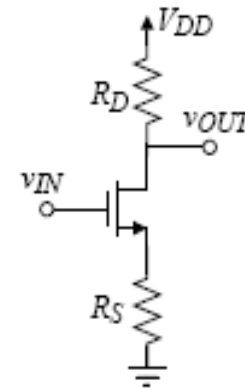
Κοινής πύλης



Κοινού πύλης



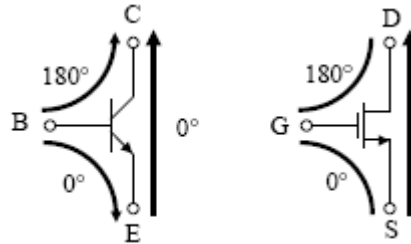
Κοινού επαγωγού



degeneration πηγής

# Ροή ρεύματος στις αντιστάσεις

- Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι τα ac σήματα μπορούν να «ρέουν» σε και από ορισμένες αντιστάσεις

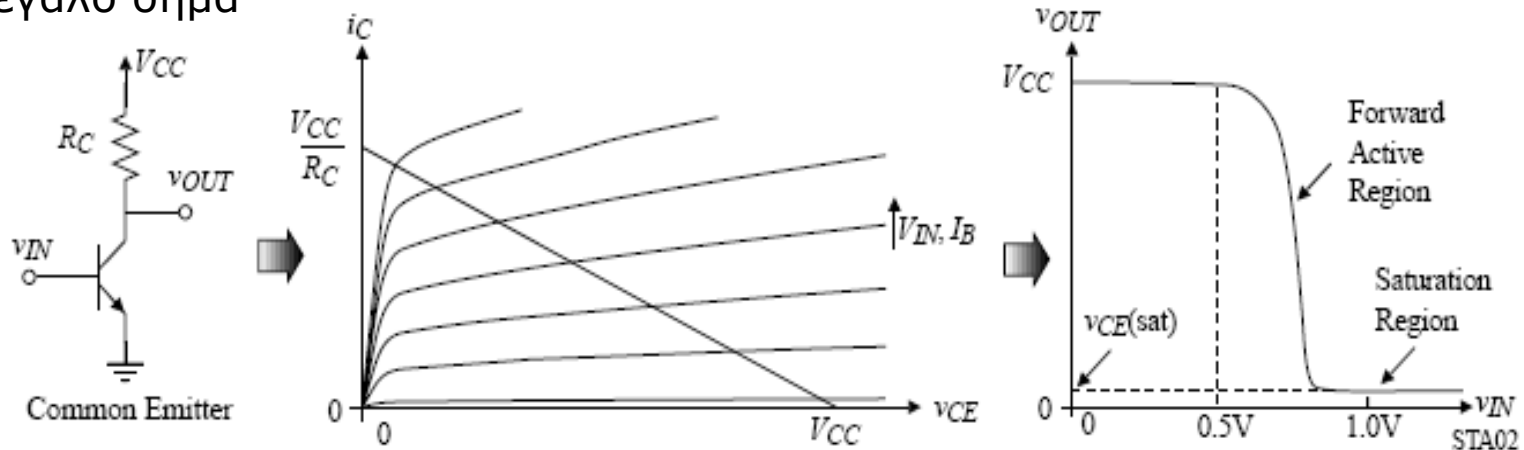


- Κανόνες
  - Ο συλλέκτης ή ο drain δεν είναι είσοδοι
  - Η βάση ή η πύλη δεν είναι έξοδοι
- Επιπλέον μερικοί «δρόμοι» σημάτων αντιστρέφουν την πολικότητα.
  - Ο «δρόμος» βάση-συλλέκτη ή gate-drain αντιστρέφει την πολικότητα. Οι υπόλοιποι συνδυασμοί δεν αντιστρέφουν την πολικότητα.

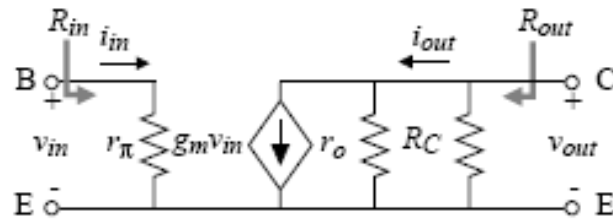
*(Υποθέτουμε ότι δεν υπάρχουν reactive στοιχεία τα οποία προκαλούν μετατόπιση φάσης)*

# BJT ενισχυτές ενός τρανζίστορ

Μεγάλο σήμα



Μικρό σήμα



$$g_m = \frac{I_C}{V_t} \quad r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

$$R_{in} = r_\pi = \frac{\beta_0}{g_m}, \quad R_{out} = \frac{r_o R_C}{r_o + R_C}, \quad \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-g_m r_o R_C}{r_o + R_C}, \quad \frac{i_{out}}{i_{in}} = \frac{\beta_0 r_o}{r_o + R_C}$$

(Σε αρκετές περιπτώσεις πρέπει να θεωρήσουμε μια αντίσταση πηγής  $R_s$  σε σειρά με την είσοδο)

# Βασικά κυκλώματα ενός τρανζίστορ

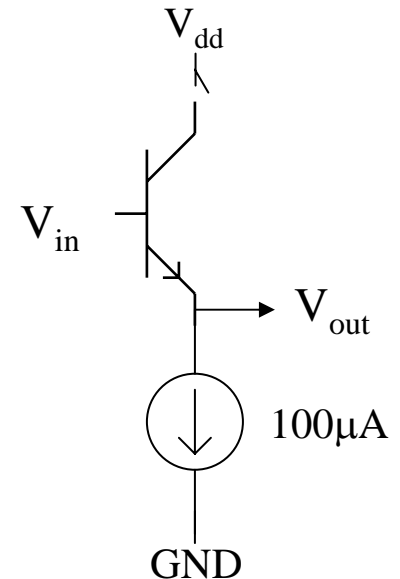
- Ακόλουθος πηγής ή ακόλουθος εκπομπού
  - Απομονώνει την είσοδο από την έξοδο
  - Για ιδανική πηγή ρεύματος έχω:

$$I_{\text{bias}} = I_{\text{eo}} e^{(V_{\text{in}} - V_{\text{out}})/U_T}$$

$$V_{\text{out}} = -U_T \ln(I_{\text{bias}}/I_{\text{eo}}) + V_{\text{in}}$$

$$I_{\text{bias}} = I_{\text{bias}} e^{(\Delta V_{\text{in}} - \Delta V_{\text{out}})/U_T}$$

$$\Delta V_{\text{out}} = \Delta V_{\text{in}}$$



# Βασικά κυκλώματα ενός τρανζίστορ (2)

- Για ιδανική πηγή ρεύματος έχω:

$$I_{\text{bias}} = I_o e^{\kappa V_{\text{in}}/U_T} e^{-V_{\text{out}}/U_T}$$

$$V_{\text{out}} = U_T \ln(I_{\text{bias}}/I_o) + \kappa V_{\text{in}}$$

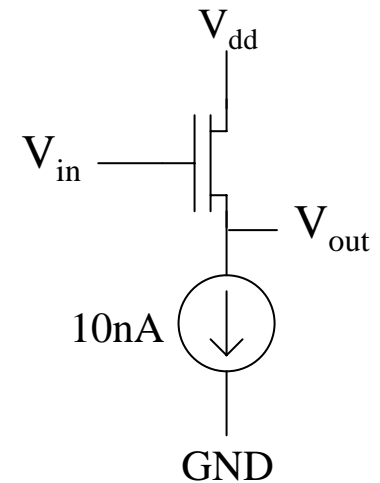
$$I_{\text{bias}} = I_{\text{bias}} e^{\kappa \Delta V_{\text{in}}/U_T} e^{-\Delta V_{\text{out}}/U_T}$$

$$\Delta V_{\text{out}} = \kappa \Delta V_{\text{in}}$$

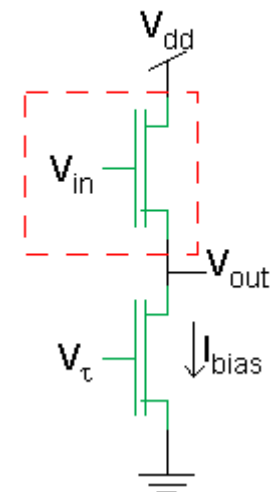
- Τρανζίστορ ως πηγή ρεύματος

$$I_d = I_{\text{bias}} e^{V_{\text{out}}/V_A} = I_o e^{\kappa V_{\text{in}}/U_T} e^{-V_{\text{out}}/U_T}$$

$$\longrightarrow V_{\text{out}} = U_T \ln(I_{\text{bias}}/I_o) + (\kappa // (V_A/U_T)) V_{\text{in}}$$



Follower Circuit

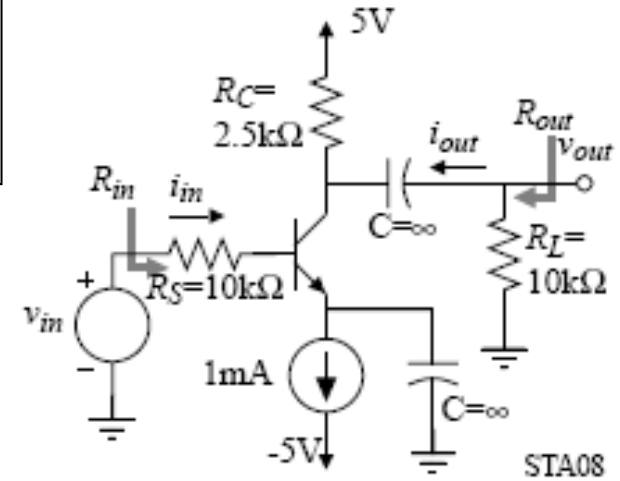
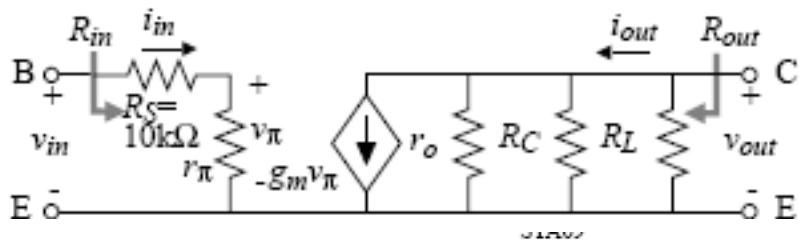




# Παράδειγμα

## BJT κοινού εκπομπού με αντίσταση πηγής

Βρείτε την αντίσταση εισόδου μικρού σήματος,  $R_{in}$ , αντίσταση εξόδου,  $R_{out}$ , κέρδος τάσης,  $v_{out}/v_{in}$ , κέρδος ρεύματος,  $i_{out}/i_{in}$  του σχήματος. Δίνονται  $\beta_0=100$ ,  $V_A=100V$ ,  $I_S=10fA$ .



$$g_m = \frac{I_C}{V_t} = \frac{1\text{mA}}{26\text{mV}} = 38.5\text{mS}, \quad r_\pi = \frac{1+\beta_0}{g_m} = \frac{101}{38.5\text{mS}} = 2.62\text{k}\Omega \quad \text{and} \quad r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{100\text{V}}{1\text{mA}} = 100\text{k}\Omega$$

$$R_{in} = R_S + r_\pi = \underline{12.62\text{k}\Omega}, \quad R_{out} = r_o \parallel R_C \parallel R_L = \underline{1.96\text{k}\Omega},$$

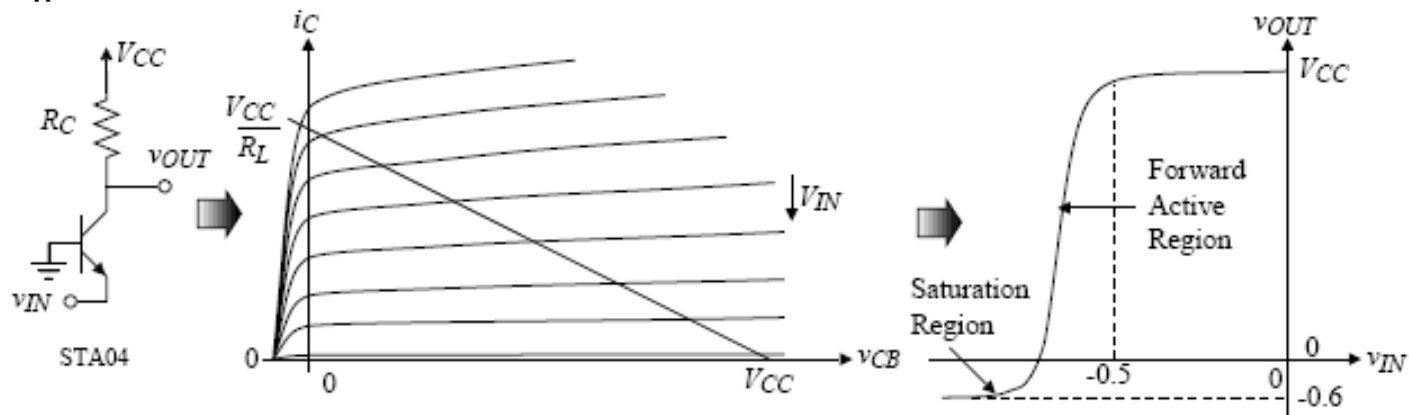
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \left( \frac{v_{out}}{v_\pi} \right) \left( \frac{v_\pi}{v_{in}} \right) = \left( \frac{r_\pi}{R_{in}} \right) (-g_m R_{out}) = \frac{2.62}{12.62} (-38.5 \cdot 1.96) = \underline{-15.66 \text{ V/V}} \Rightarrow 23.9\text{dB}$$

$$\text{and} \quad \frac{i_{out}}{i_{in}} = \left( \frac{i_{out}}{v_\pi} \right) \left( \frac{v_\pi}{i_{in}} \right) = \left( \frac{g_m (r_o \parallel R_C)}{R_L + r_o \parallel R_C} \right) r_\pi = (7.549\text{mS})(2.62\text{k}\Omega) = \underline{19.78 \text{ A/A}}$$

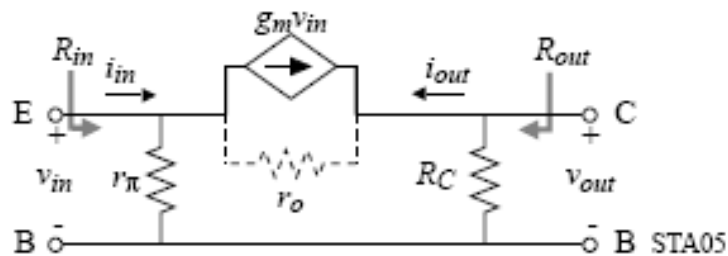
$$-V_A/V_t = -100/0.026 = -3846\text{V/V} \quad (R_S \rightarrow 0, R_C \rightarrow \infty, R_L \rightarrow \infty)$$

# Ενισχυτής κοινής πηγής

Μικρό σήμα



Μεγάλο σήμα

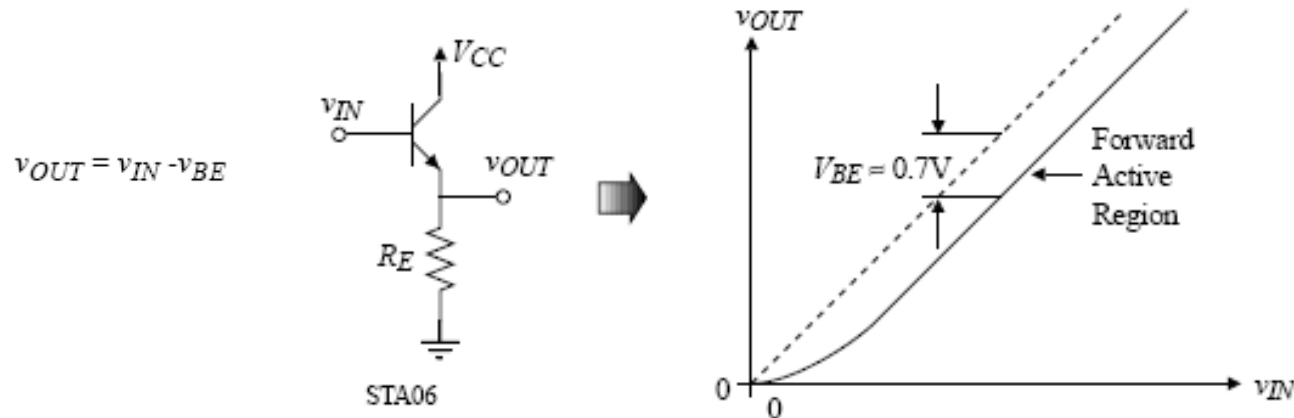


$$R_{in} = \frac{1}{g_{\pi} + g_m} \approx \frac{1}{g_m} = \frac{r_{\pi}}{\beta_o + 1}, \quad R_{out} \approx R_C, \quad \frac{v_{out}}{v_{in}} \approx g_m R_C \quad \text{and} \quad \frac{i_{out}}{i_{in}} = \frac{-g_m}{g_m + g_{\pi}} \left( \frac{\beta}{1 + \beta} \right) = -\alpha$$

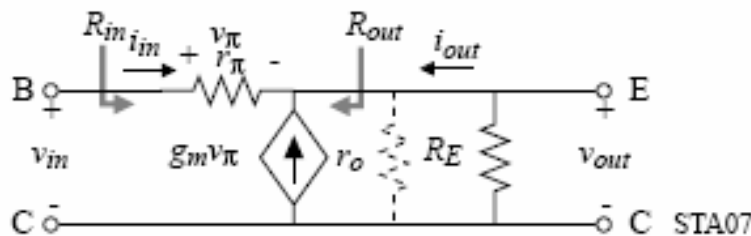
(Σε αρκετές περιπτώσεις πρέπει να θεωρήσουμε μια αντίσταση πηγής  $R_s$  σε σειρά με την είσοδο)

# CE (ακόλουθος εκπομπού)

Μικρό σήμα



Μεγάλο σήμα

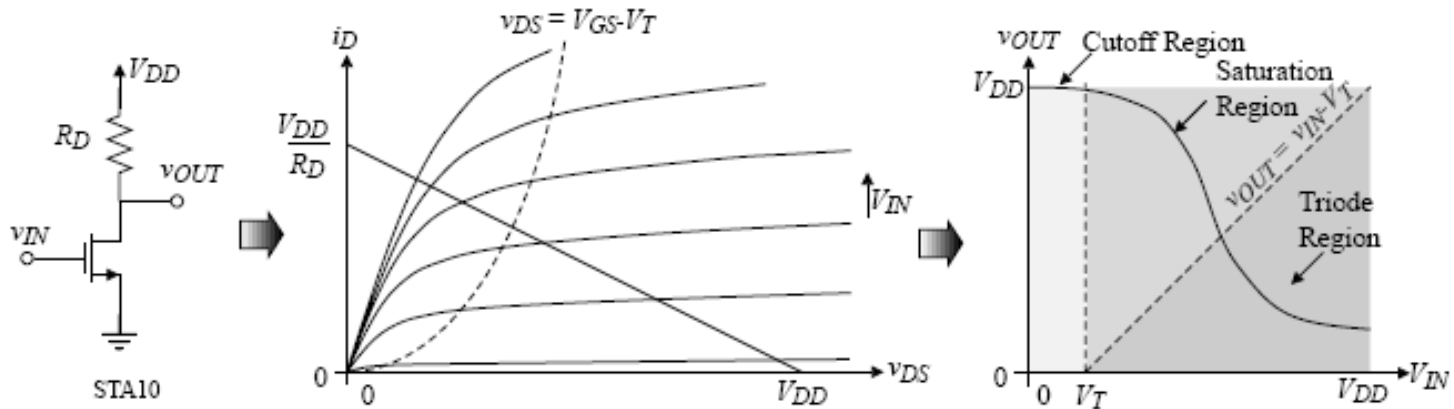


$$R_{in} = r_{\pi} + (1 + \beta_o)R_E, \quad R_{out} = \frac{r_{\pi}}{1 + \beta_o} = \frac{1}{g_m}, \quad \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m R_E}{1 + g_m R_E} \approx 1 \quad \text{and} \quad \frac{i_{out}}{i_{in}} = -(1 + \beta_o)$$

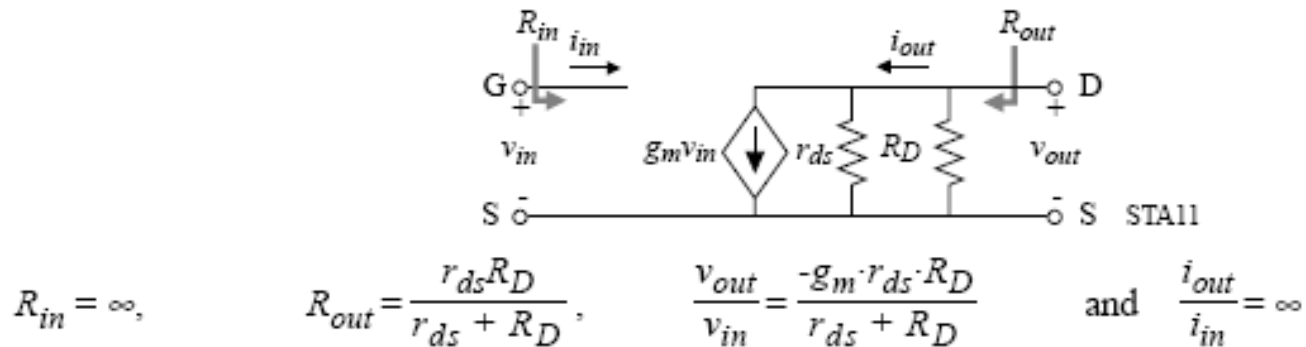
(Σε αρκετές περιπτώσεις πρέπει να θεωρήσουμε μια αντίσταση πηγής  $R_s$  σε σειρά με την είσοδο)

# MOS ενισχυτές ενός τρανζίστορ CS (common source) Ενισχυτής

Μικρό σήμα

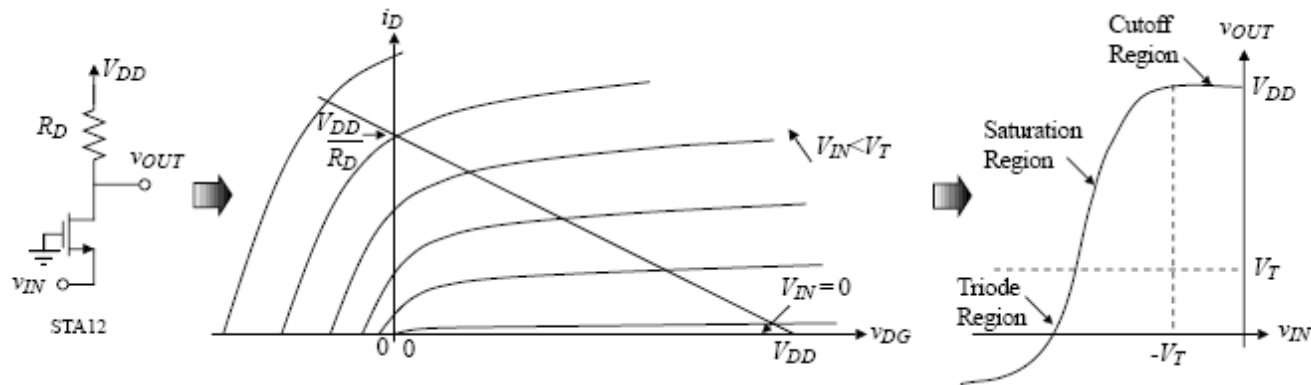


Μεγάλο σήμα

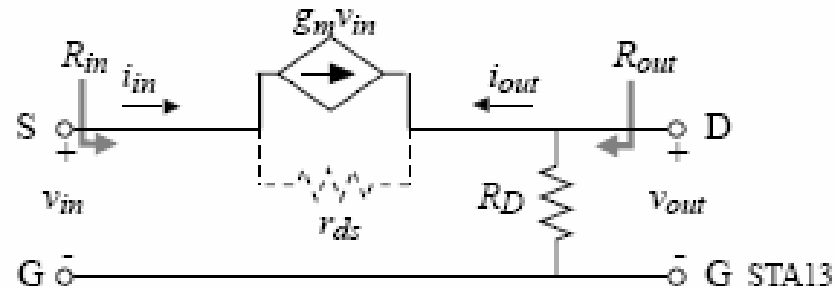


# MOS ενισχυτές ενός τρανζίστορ CG (common gate) Ενισχυτής

Μικρό σήμα



Μεγάλο σήμα



Παραλείποντας την  $r_{ds}$

$$R_{in} \approx \frac{1}{g_m}, \quad R_{out} \approx R_D, \quad \frac{v_{out}}{v_{in}} \approx g_m R_D \quad \text{and} \quad \frac{i_{out}}{i_{in}} = -1$$

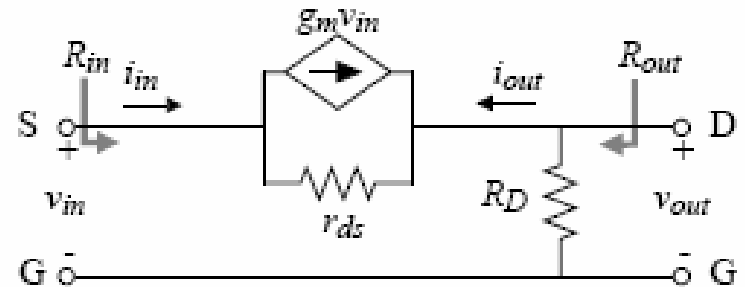
# Παράδειγμα

Βρείτε τα  $R_{in}$ ,  $R_{out}$  και  $v_{out}/v_{in}$  του CG ενισχυτή λαμβάνοντας υπόψη την  $r_{ds}$ . Δίνονται  $K_N=110\mu A/V^2$ ,  $V_T=0.7V$ ,  $\lambda_N=0.04V^{-1}$ ,  $W/L=10\mu m/1\mu m$ ,  $I_D=200\mu A$  και  $R_D$ .

Βρίσκω τις παραμέτρους του μοντέλου

$$g_m = \sqrt{\frac{2K_N'WI_D}{L}} = \sqrt{2 \cdot 110 \cdot 10 \cdot 200} = 663\mu S$$

$$\text{and } r_{ds} = \frac{1}{\lambda_N I_D} = \frac{10^6}{0.04 \cdot 200} = 125k\Omega$$



Από το μοντέλο μικρού σήματος του σχήματος έχω

$$v_{in} = (i_{in} - g_m v_{in})r_{ds} + i_{in}R_D \quad R_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{r_{ds} + R_D}{1 + g_m r_{ds}} = \frac{145k\Omega}{1 + 82.9} = \underline{\underline{1.728k\Omega}}$$

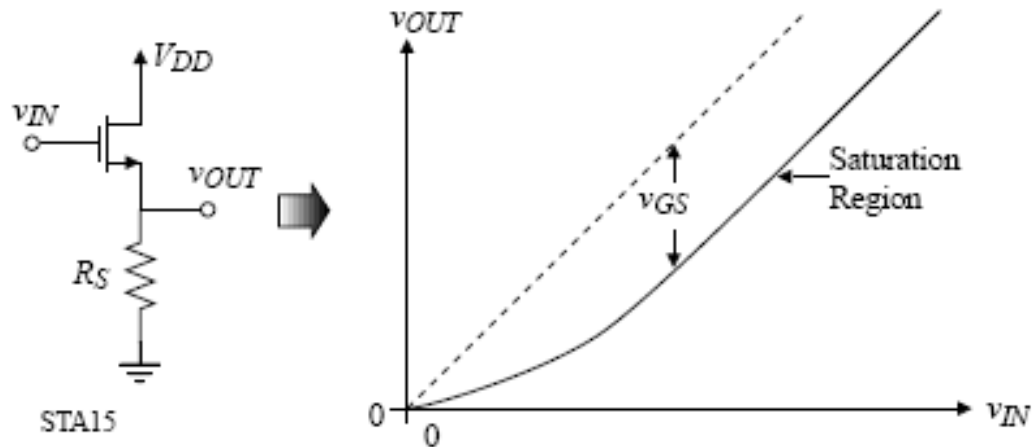
$$g_m v_{in} + g_{ds}(v_{in} - v_{out}) - G_D v_{out} \rightarrow \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m + g_{ds}}{g_{ds} + G_D} = \frac{663 + 8}{8 + 50} = \underline{\underline{11.57 \text{ V/V}}}$$

$$R_{out} = r_{ds} \parallel R_D = \underline{\underline{17.24k\Omega}}$$

# MOS ενισχυτές ενός τρανζίστορ

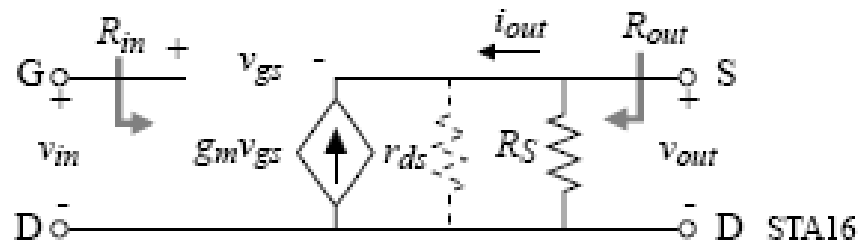
## CD (common drain-ακόλουθος πηγής) Ενισχυτής

Μικρό σήμα



Μεγάλο σήμα

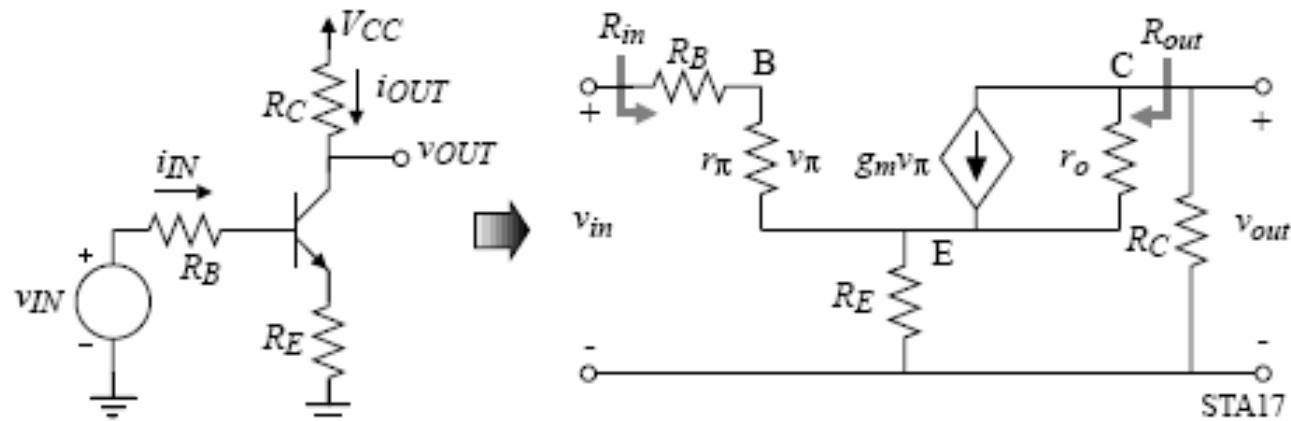
Παραλείποντας την  $r_{ds}$



$$R_{in} = \infty, \quad R_{out} = R_S \parallel (1/g_m) = \frac{R_S}{1+g_m R_S} \quad \text{and} \quad \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m R_S}{1+g_m R_S} < 1$$

# Ενισχυτές με degeneration εκπομπού/πηγής

## Degeneration εκπομπού



$$R_{in} = R_B + r_{\pi} + (1 + \beta_o) R_E$$

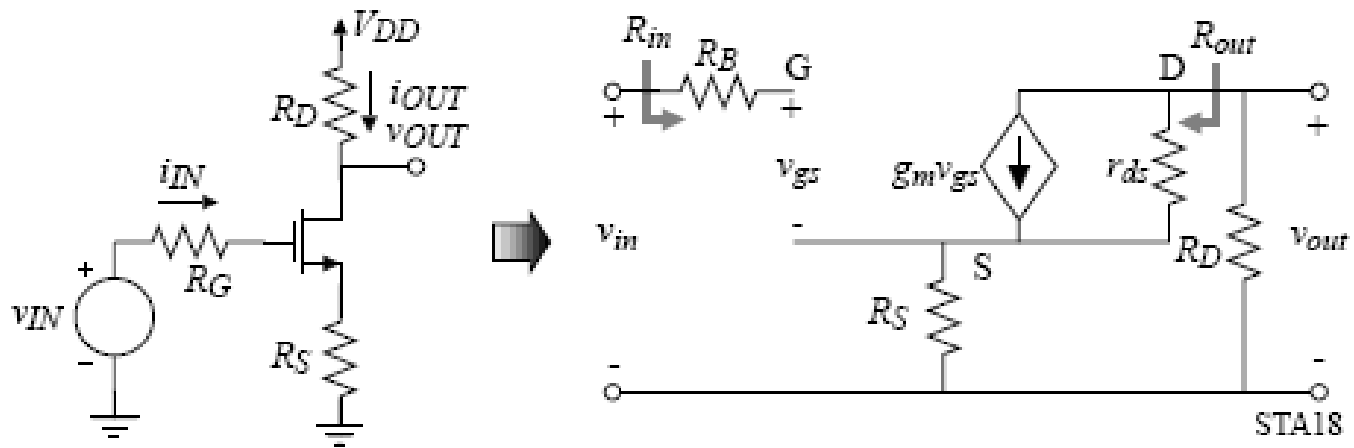
$$R_{out} = r_o \left[ 1 + \frac{\beta_o R_E}{R_B + R_E + r_{\pi}} \right] + R_E \parallel (R_B + r_{\pi}) \approx (1 + \beta_o) r_o$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = - \frac{g_m r_{\pi} r_o}{R_{in} \left[ r_o + R_C + R_E \parallel \left( \frac{r_{\pi} + R_B}{1 + \beta_o} \right) \right]} \approx - \frac{\beta_o R_C}{r_{\pi} + (1 + \beta_o) R_E} \approx - \frac{R_C}{R_E} \quad | \quad \text{max. gain}$$



# Ενισχυτές με degeneration εκπομπού/πηγής

## Degeneration πηγής



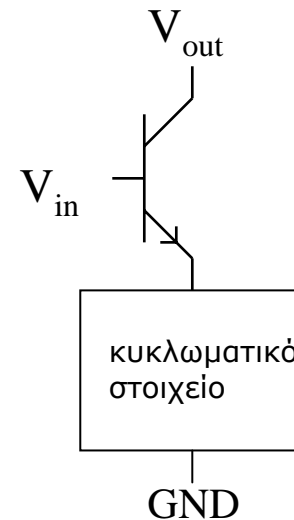
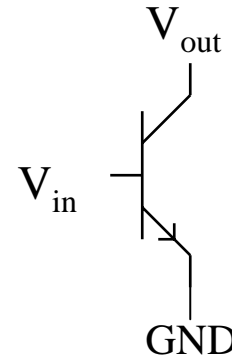
$$R_{in} = \infty$$

$$R_{out} = r_{ds}[1 + (g_m + g_{mbs})R_S] + R_S \approx r_{ds}g_m R_S$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} \approx -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} \rightarrow -\frac{R_D}{R_S} \quad | \quad \text{max. gain}$$

# Degeneration Πηγής (1/2)

- +
  - Μεγαλύτερη γραμμικότητα
  - Πιθανή ευστάθεια
- -
  - $g_m \downarrow$
  - Μικρότερο εύρος ζώνης
  - Περισσότερος θόρυβος



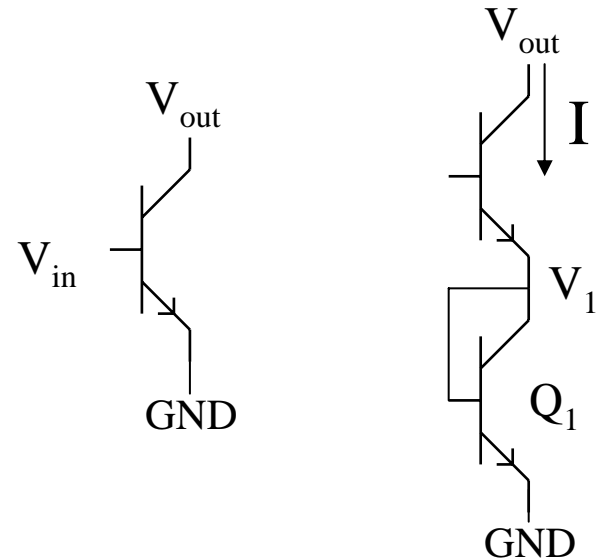
# Degeneration Πηγής (2/2)

- Παραλείποντας την  $V_A$  του τρανζίστορ  $Q_1$  έχω:

$$I = I_{eo} e^{V_1 / U_T} = I_{eo} e^{(V_{in} - V_1 + V_{out} / A_v) / U_T}$$

$$2 V_1 = V_{in} + V_{out} / A_v$$

$$I = I_{eo} e^{(V_{in} + V_{out} / A_v) / (2 U_T)}$$



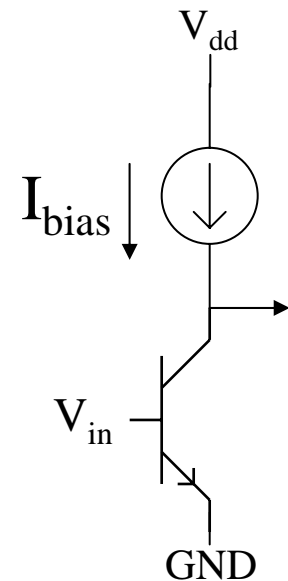
**(Το αποτέλεσμα είναι παρόμοιο και για τα MOSFET)**

# Τρανζίστορ κοινού εκπομπού - CE

- Κοινού εκπομπού/κοινής πηγής
- Ενισχύει το σήμα εισόδου στην έξοδο
- Για ιδανική πηγή ρεύματος έχω:

$$I_{\text{bias}} = I_{\text{co}} e^{V_{\text{in}}/U_T} e^{V_{\text{out}}/V_A}$$

$$V_{\text{out}} = -V_A \ln(I_{\text{bias}}/I_{\text{co}}) + - (\kappa V_A / U_T) V_{\text{in}}$$

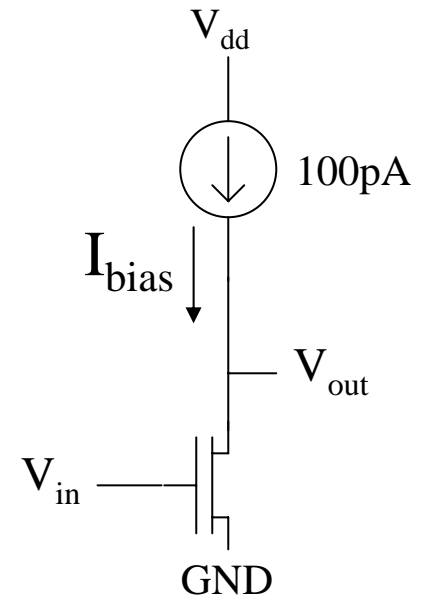


# Τρανζίστορ κοινού απαγωγού – CD (1/2)

- Ενισχύει το σήμα εισόδου στην έξοδο
- Διαγωγιμότητα εισόδου = 0

$$I_{\text{bias}} = I_{\text{bias}} e^{\kappa \Delta V_{\text{in}} / U_T} e^{\Delta V_{\text{out}} / V_A}$$

$$\Delta V_{\text{out}} = - (\kappa V_A / U_T) \Delta V_{\text{in}}$$

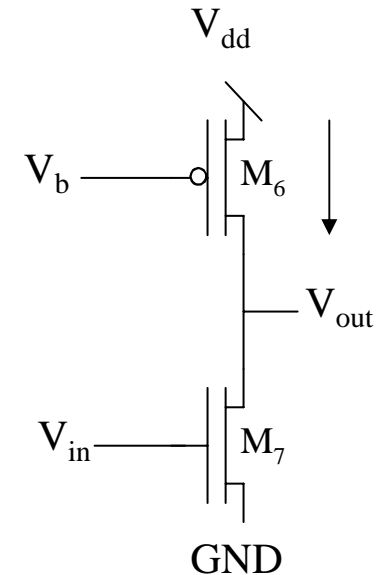


# Τρανζίστορ κοινού απαγωγού – CD (2/2)

- Πρέπει να λάβουμε υπόψη και την άλλη πηγή ρεύματος

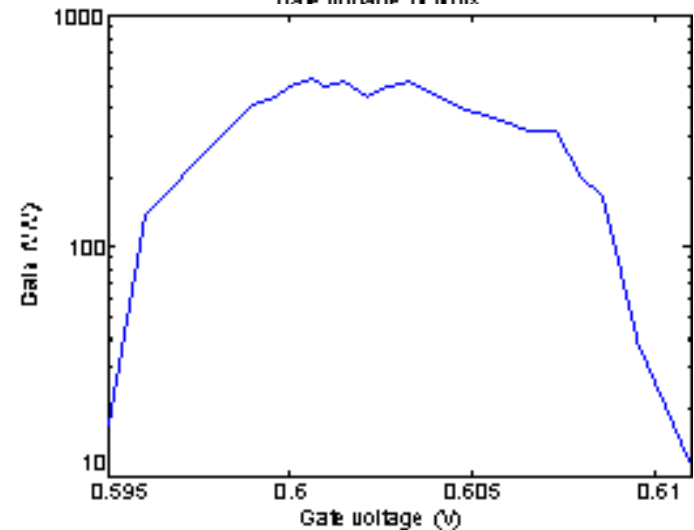
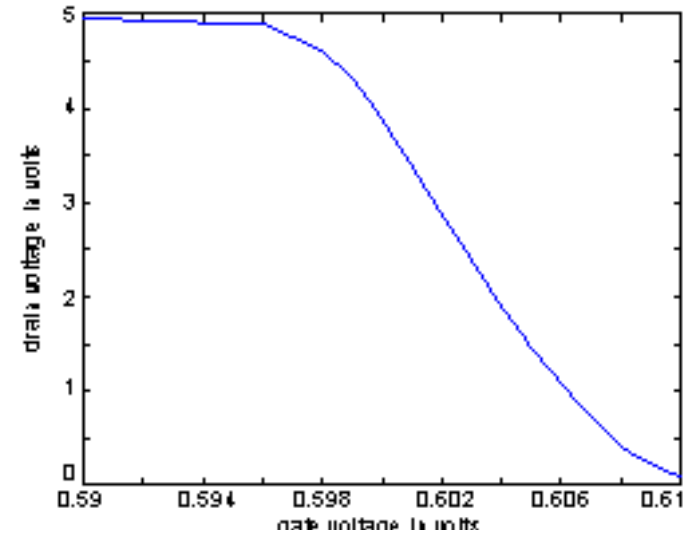
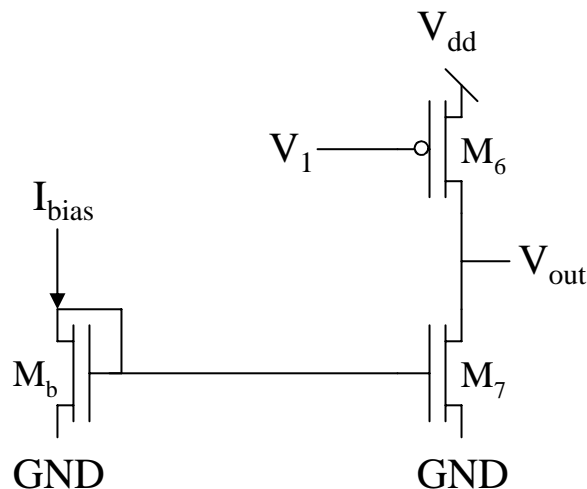
$$\begin{aligned} I_d &= I_{\text{bias}} e^{-\Delta V_{\text{out}}/V_{A_p}} \\ &= I_{\text{bias}} e^{\kappa \Delta V_{\text{in}}/U_T} e^{\Delta V_{\text{out}}/V_{A_n}} \end{aligned}$$

$$\Delta V_{\text{out}} = -(\kappa (V_{A_n} // V_{A_p}) U_T) \Delta V_{\text{in}}$$

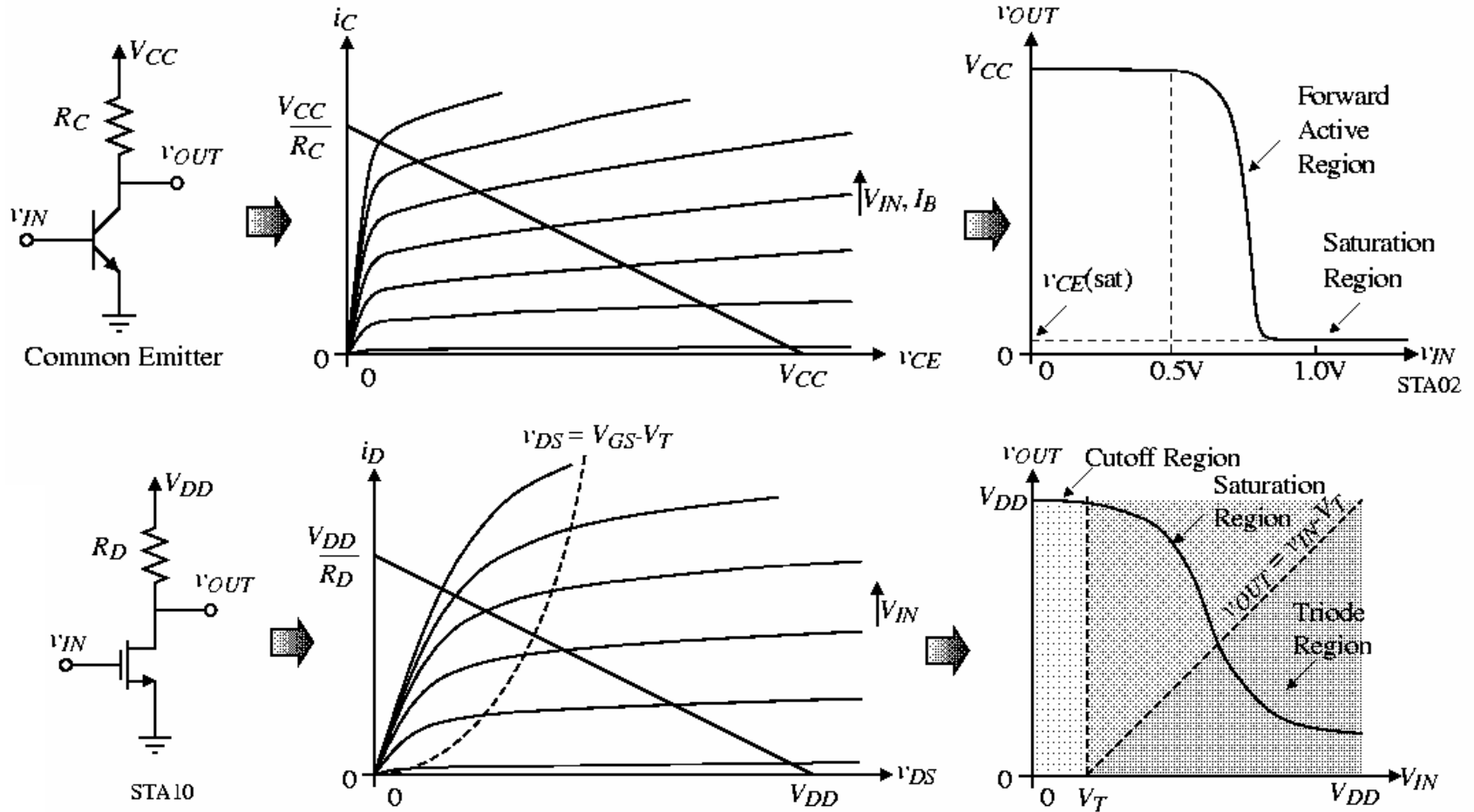


# Τρανζίστορ κοινού απαγωγού – CD

- Μετρήσεις ενισχυτή

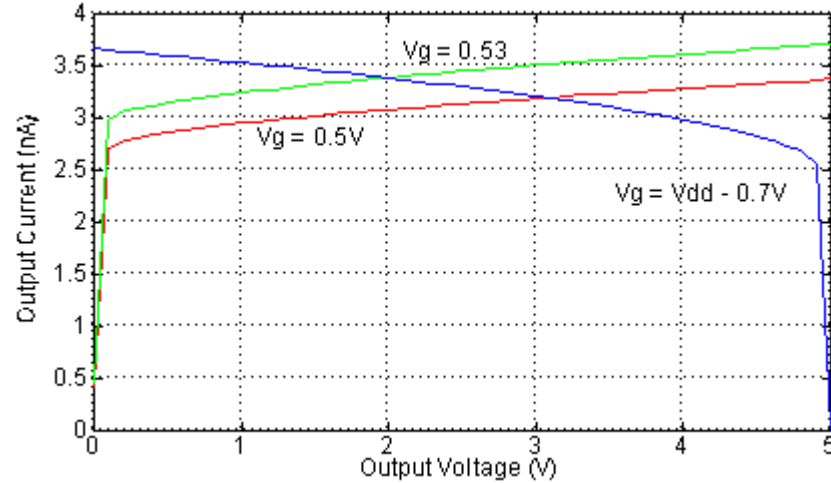
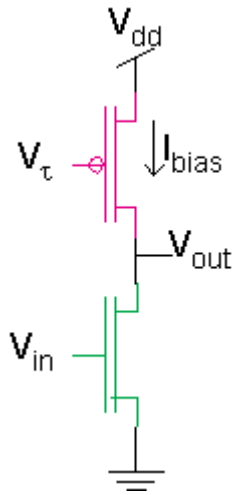


# CE/CS – ωμικό φορτίο

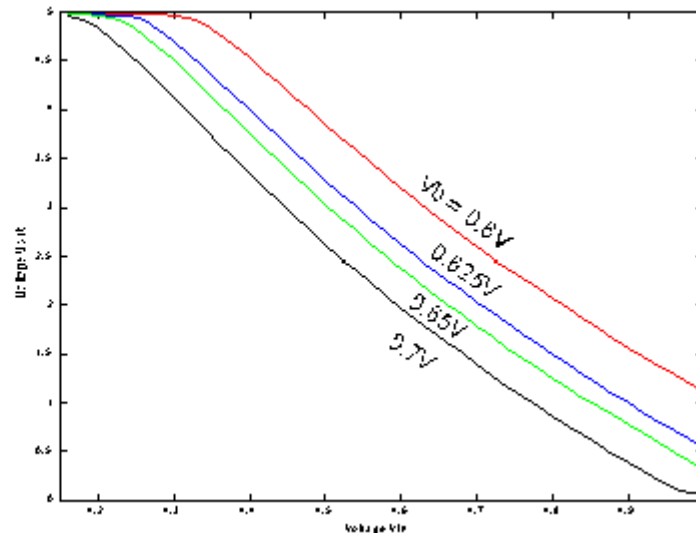
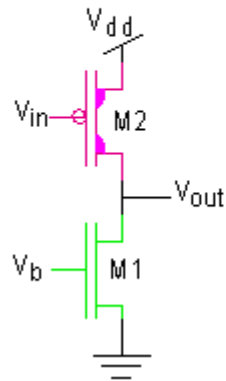




# Μετρήσεις ενισχυτή υψηλού κέρδους



Κύκλωμα ενισχυτή με DIBL FET



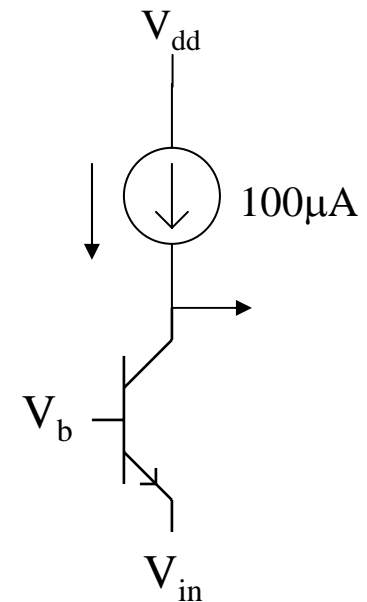
# Τρανζίστορ κοινής βάσης - CB

- Κοινής βάσης/κοινής πύλης
- Ενισχύει το σήμα εισόδου στην έξοδο (μη-ανάστροφο κέρδος)
- Για ιδανική πηγή ρεύματος έχω:

$$I_{\text{bias}} = I_{\text{co}} e^{(V_b - V_{\text{in}})/U_T} e^{V_{\text{out}}/V_A}$$

$$V_{\text{out}} = -V_A \ln(I_{\text{bias}}/I_{\text{co}}) + (V_A / U_T) V_{\text{in}} - (V_A / U_T) V_b$$

$$\text{Gain} = V_A / U_T = A_v$$



# Τρανζίστορ κοινής πύλης - CG

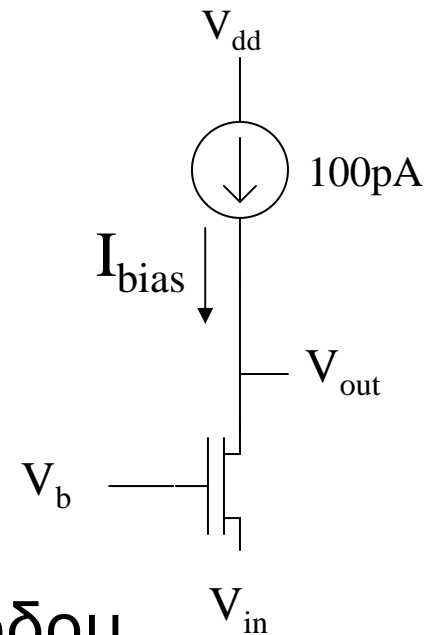
- Χρησιμοποιώντας ένα subthreshold MOSFET έχω:

$$I_{\text{bias}} = I_o e^{(\kappa V_b - V_{\text{in}})/U_T} e^{V_{\text{out}}/V_A}$$

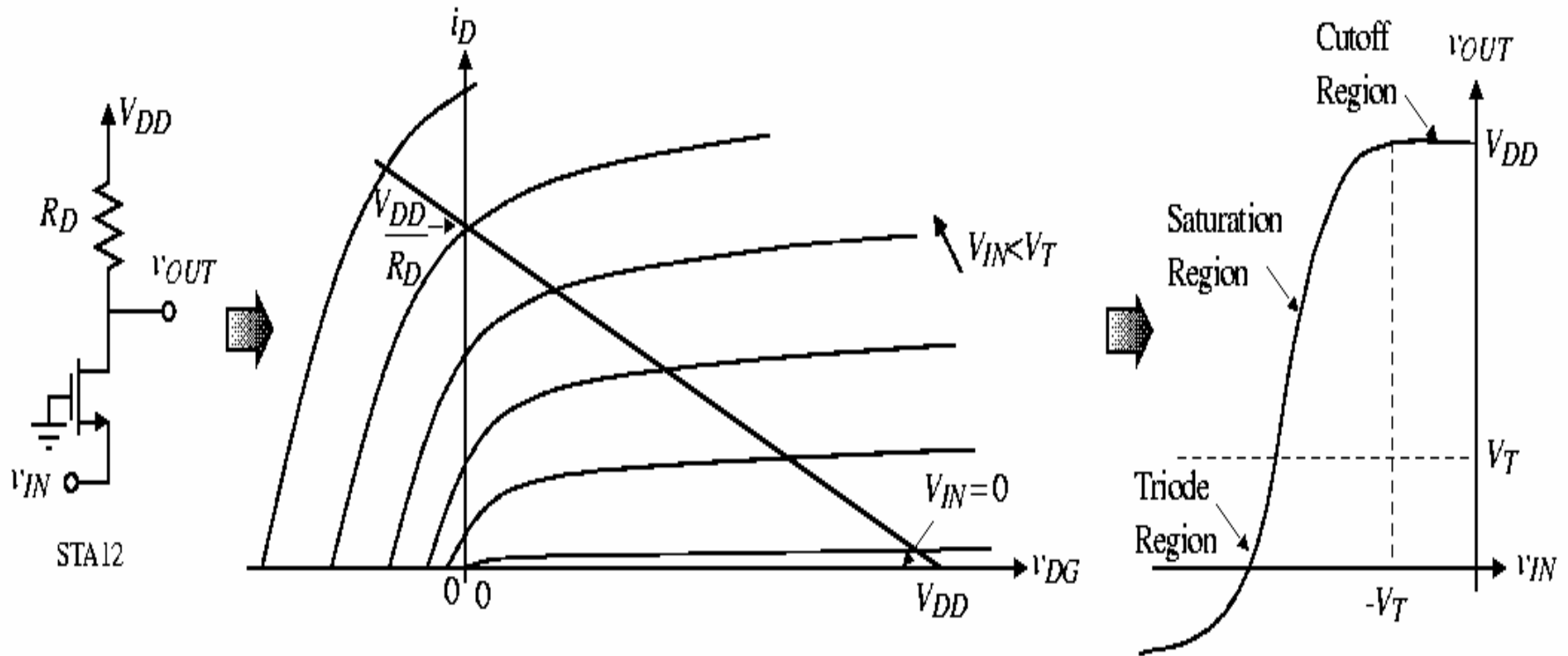
$$V_{\text{out}} = -V_A \ln(I_{\text{bias}}/I_o) + (V_A / U_T) V_{\text{in}} - (\kappa V_A / U_T) V_b$$

$$\text{Gain} = V_A / U_T = A_v$$

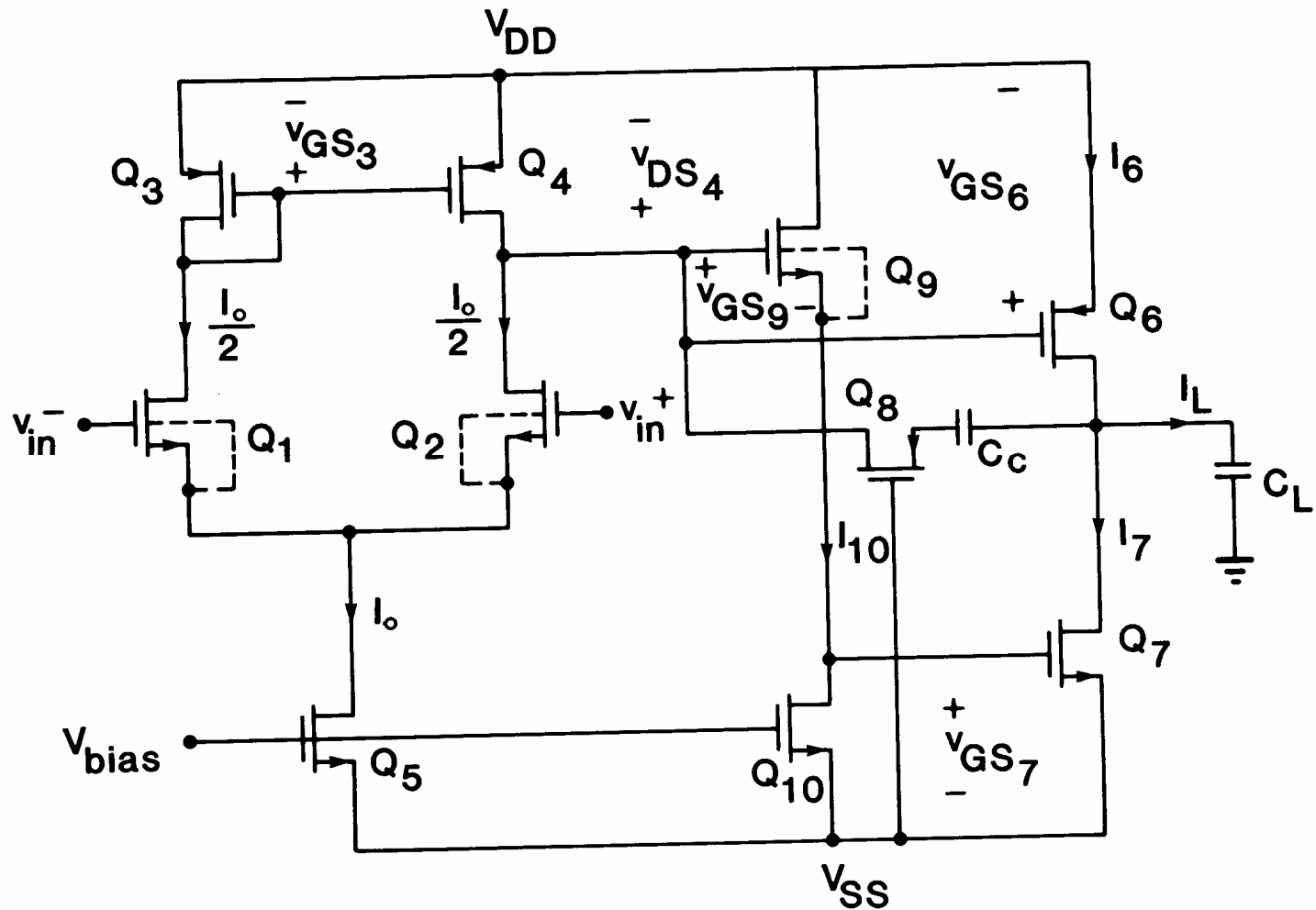
Πρόβλημα – μεγάλο ρεύμα εισόδου.



# Κοινής πύλης – ωμικό φορτίο

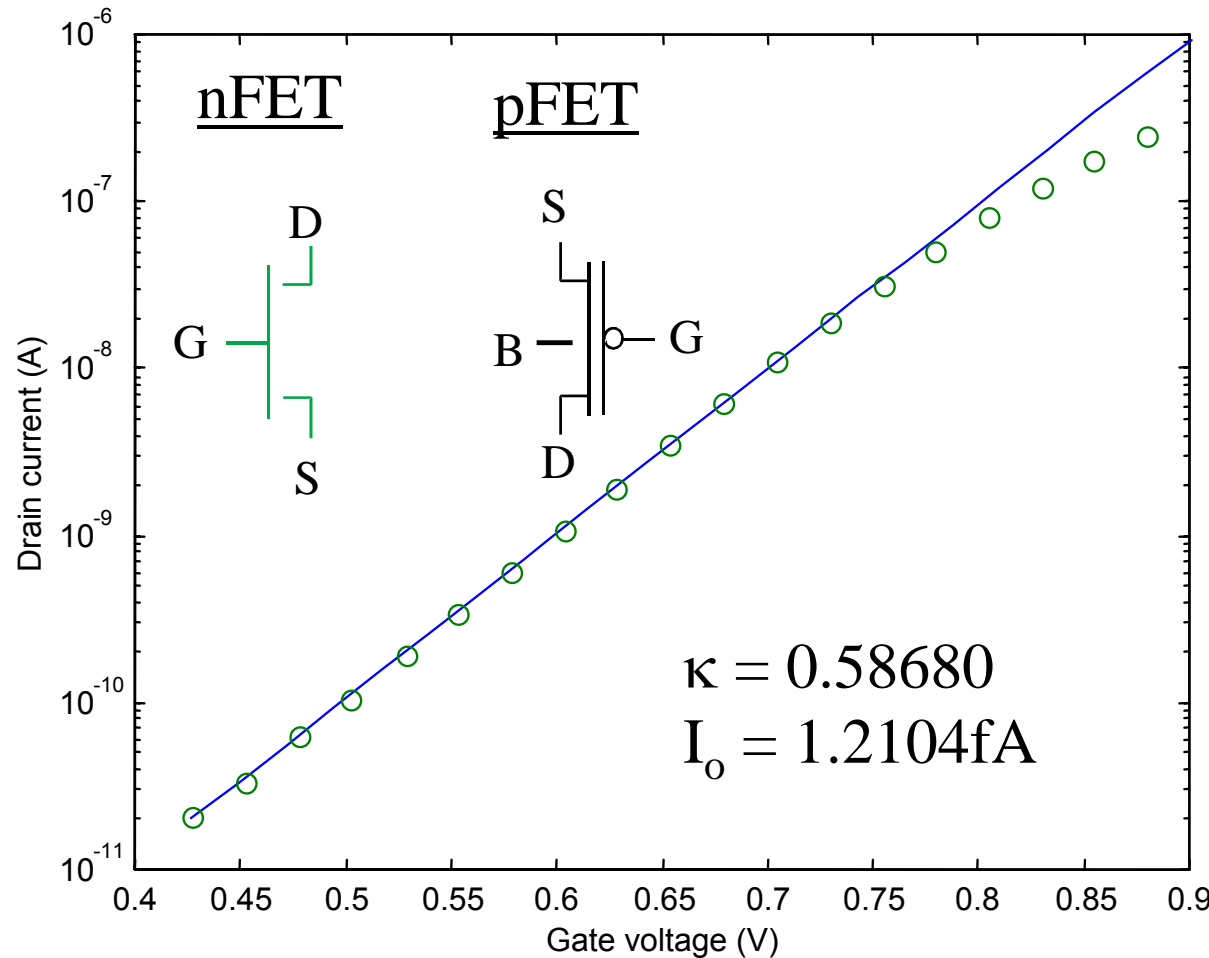


# Ένας τυπικός CMOS ενισχυτής



# Subthreshold MOSFETs

- Σε γραμμική κλίμακα έχουμε δευτεροβάθμια εξάρτηση
- Σε λογαριθμική κλίμακα έχουμε εκθετική εξάρτηση



# Καμπύλες ρεύματος/τάσης MOS

$$I = I_0 \left( e^{(kV_g - V_S)/u_T} - e^{(kV_g - V_D)/u_T} \right)$$

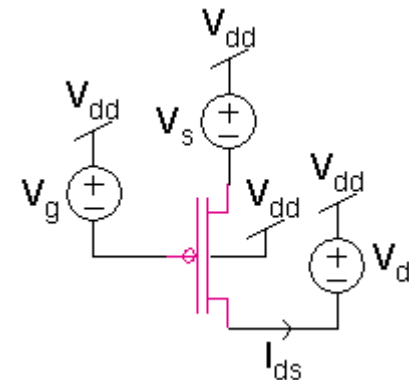
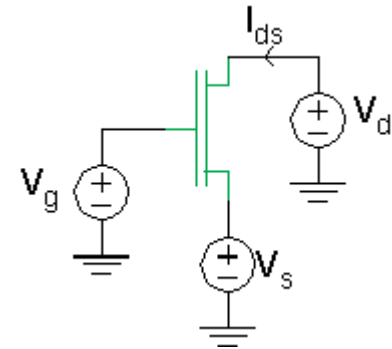
$$I_{DS} = I_0 e^{kV_G/u_T} \left( e^{-V_S/u_T} - e^{-V_D/u_T} \right)$$

$$= I_0 e^{(kV_g - V_S)/u_T} \left( 1 - e^{-(V_D - V_S)/u_T} \right)$$

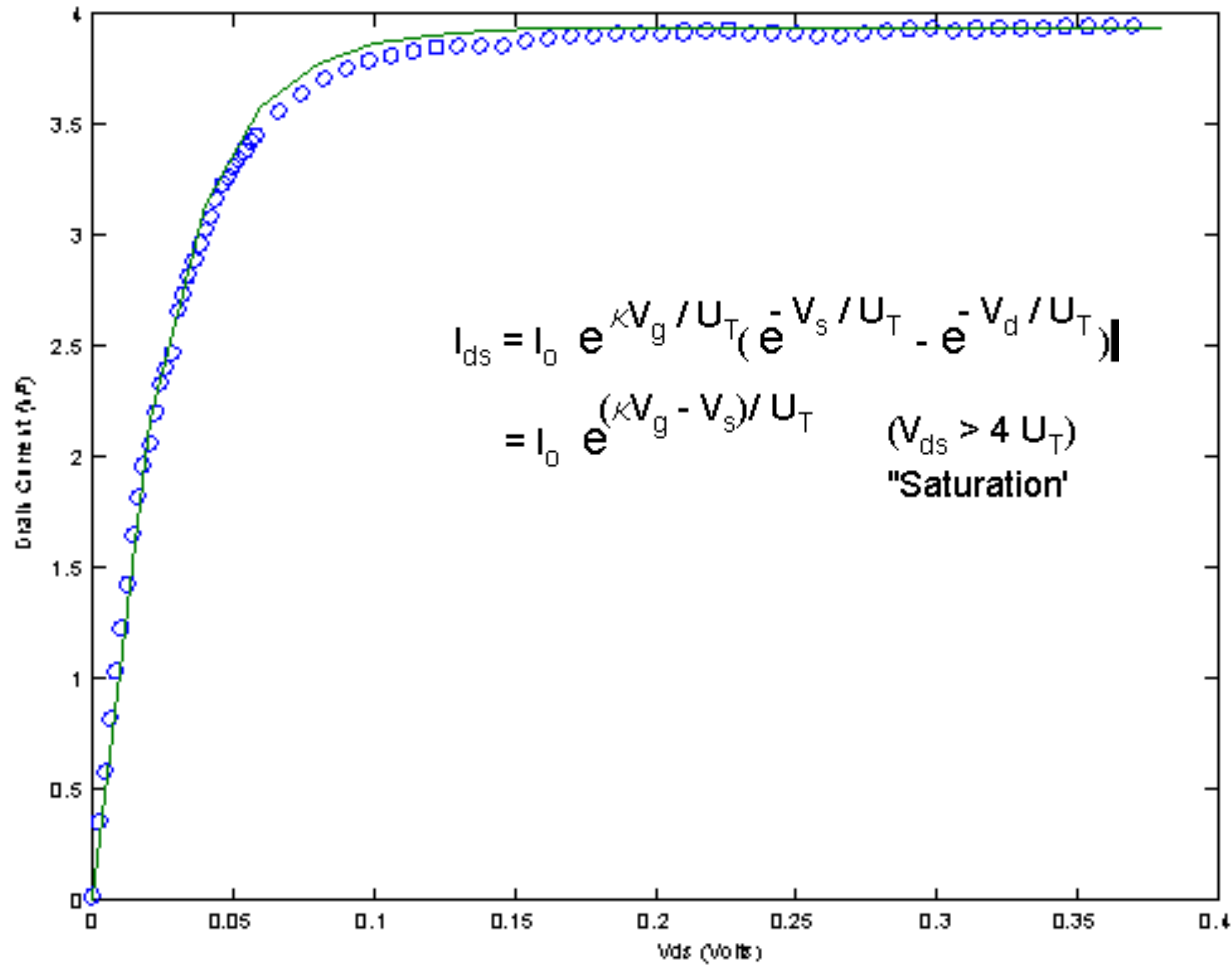
$$= I_0 e^{(kV_G - V_S)/u_T} \left( 1 - e^{-V_{ds}/u_T} \right)$$

$$= I_0 e^{(kV_G - V_S)/u_T} \quad V_{ds} > 4U_T$$

**κόρος**

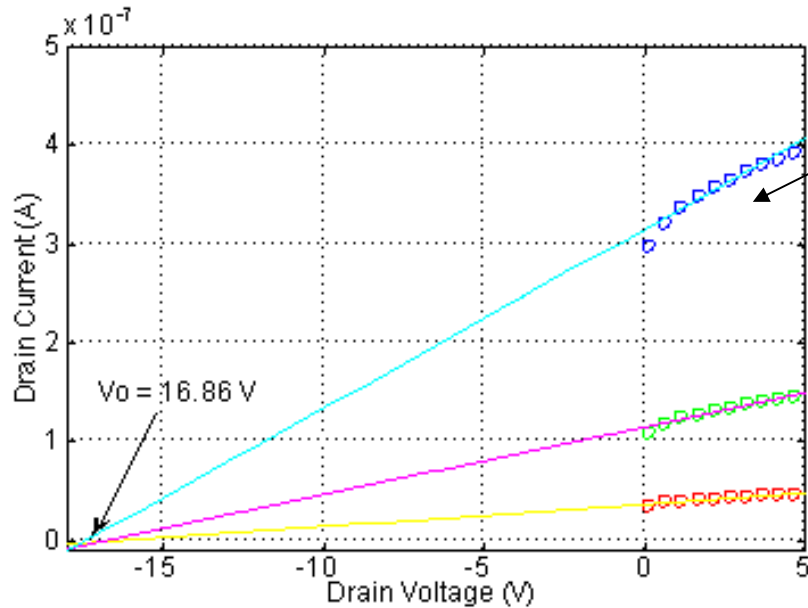


# Χαρακτηριστικά απαγωγού





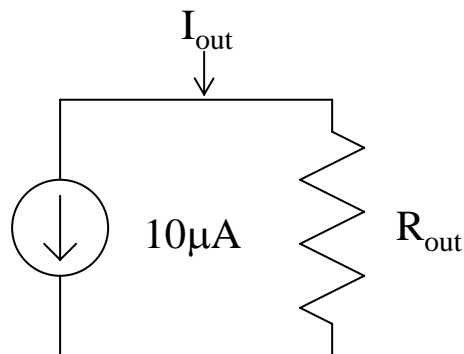
# Ρεύμα/τάση απαγωγού



**Φαινόμενο Early – μη γραμμική περιοχή (διαμόρφωση καναλιού)**

$$I_d = I_d(\text{sat}) (1 + (V_d/V_A))$$

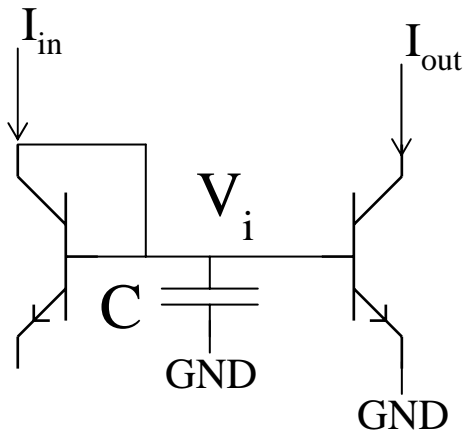
$$I_c = I_c(\text{sat}) (1 + (V_c/V_A))$$



$$I_d = I_d(\text{sat}) e^{V_d/V_A}$$

$$I_c = I_c(\text{sat}) e^{V_c/V_A}$$

# Σχέσεις διόδου-πυκνωτή



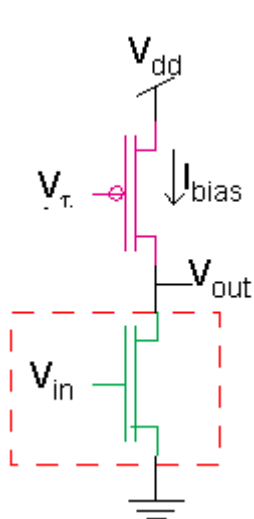
$$C (dV_i/dt) = I_{in} - I_{co} \exp(V_i/U_T)$$

$$I_{out} = I_{co} \exp(V_i/U_T)$$

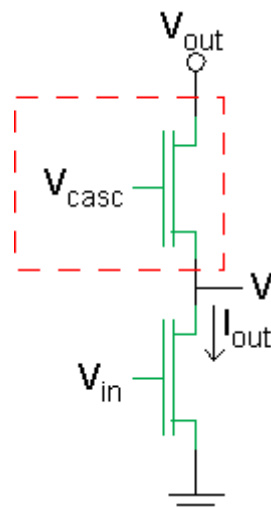
$$(C / I_{out}) (d I_{out} /dt) = I_{in} - I_{out}$$

$$C (d I_{out} /dt) = I_{out} (I_{in} - I_{out})$$

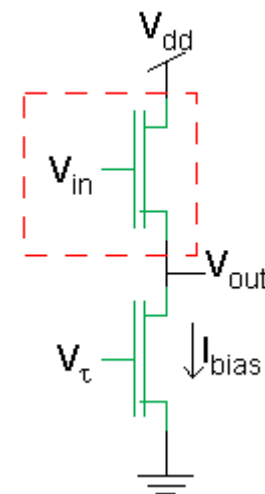
# Βασικά κυκλώματα ενός τρανζίστορ



Κοινής πηγής  
Κοινού εκπομπού



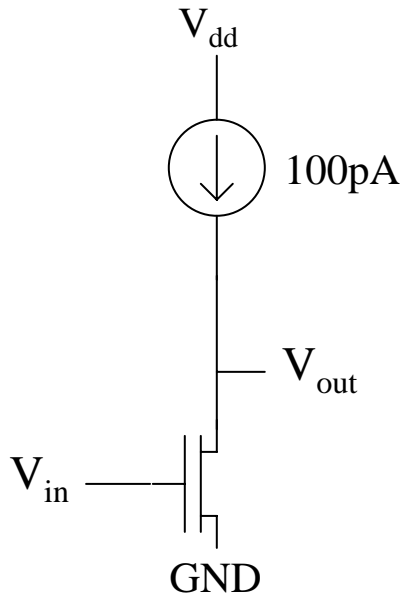
Κοινής πύλης  
Κοινού βάσης



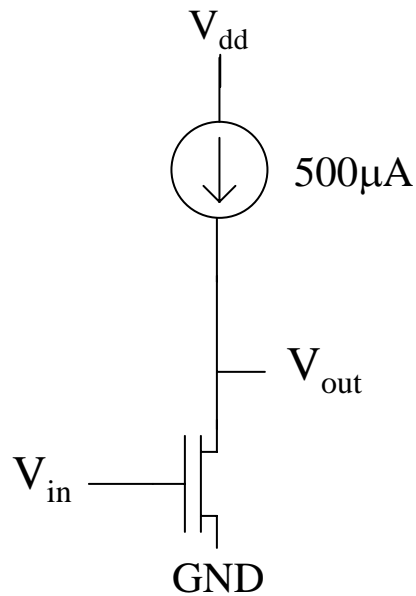
Ακόλουθος πηγής  
Ακόλουθος εκπομπού

**Το διαφορικό ζεύγος αποτελεί το θεμελιώδες κύκλωμα 2 τρανζίστορ**

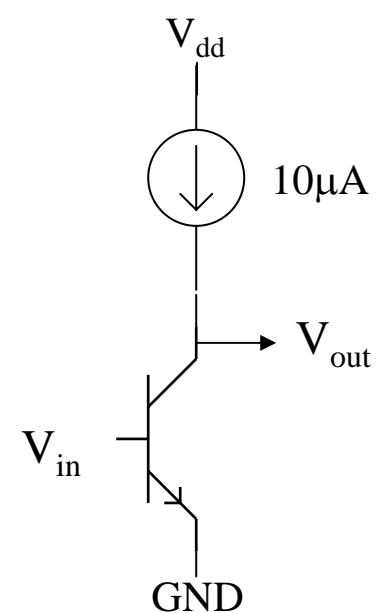
# Μερικές διατάξεις MOS τρανζίστορ



Subthreshold MOS



Above threshold MOS



Subthreshold MOS

# Εξισώσεις MOS – above threshold

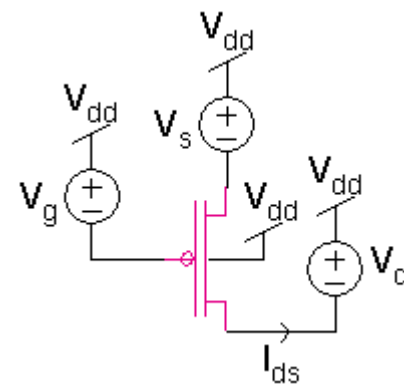
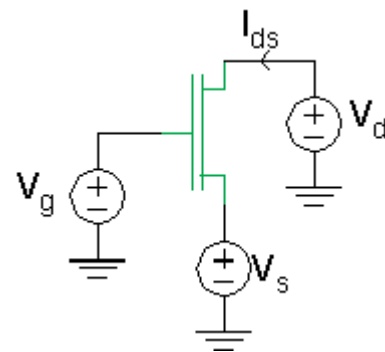
$$I = (K/2k) ( (k(V_g - V_T) - V_s)^2 - (k(V_g - V_T) - V_d)^2 )$$

AN  $k = 1$  (αγνοούμε τα back-gate φαινόμενα):

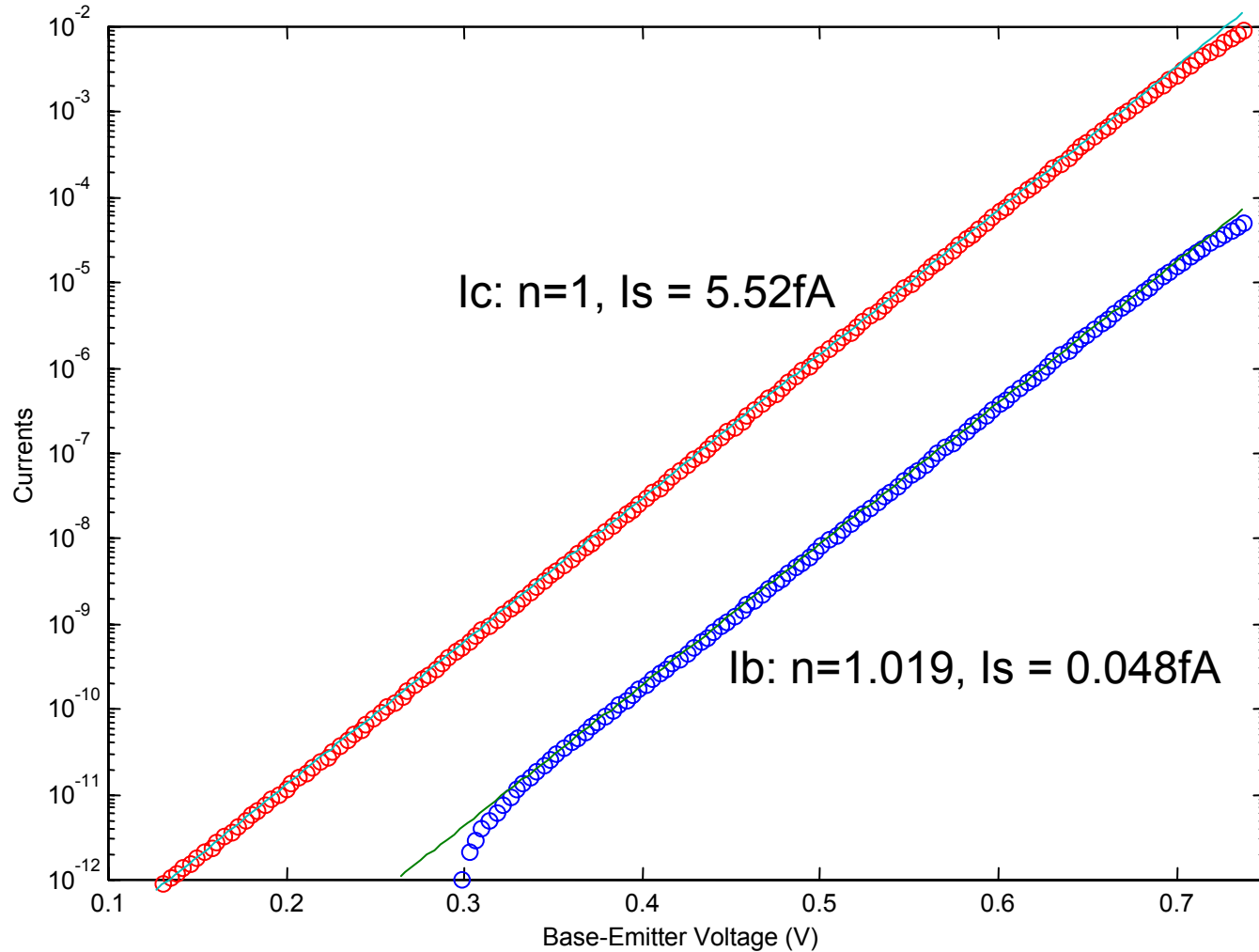
$$I = (K/2) ( 2(V_{gs} - V_T) V_{ds} - V_{ds}^2 )$$

Κόρος:  $Q_d = 0$

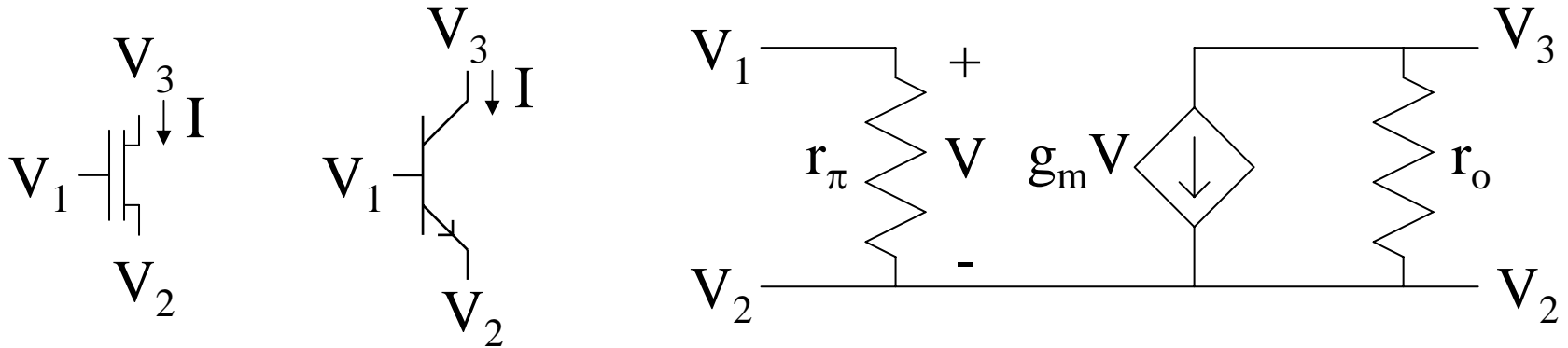
$$I = (K/2\kappa) ( (\kappa(V_g - V_T) - V_s)^2 )$$



# Διαγράμματα Gummel

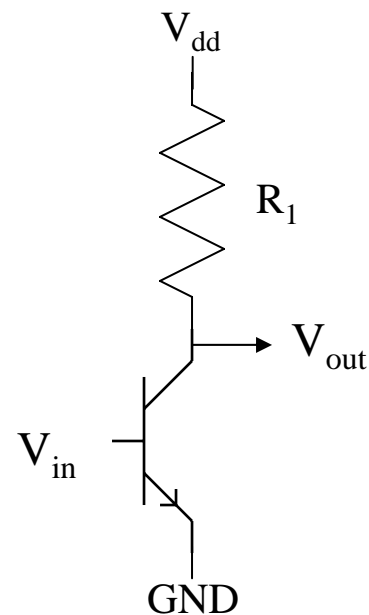
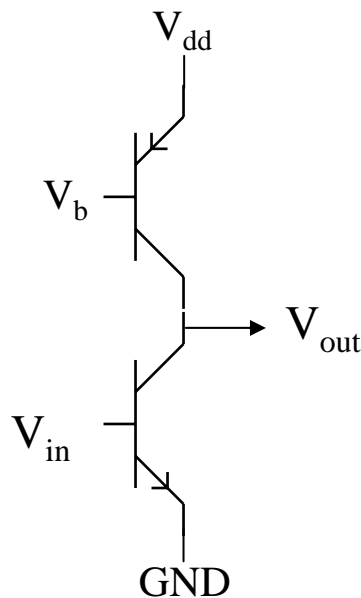
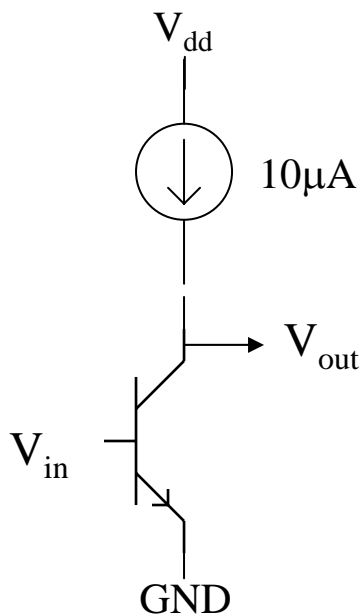


# Μοντέλο μικρού σήματος



	$r_\pi$	$g_m$	$r_o$	$A_v$
BJT	$(U_T \beta) / I$	$I / U_T$	$V_A / I$	$V_A / U_T$
Above $V_T$ MOSFET	$\infty$	$2I / (V_1 - V_2 - V_T)$	$V_A / I$	$2V_A / (V_1 - V_2 - V_T)$
	$\infty$	$\kappa I / U_T$	$V_A / I$	$\kappa V_A / U_T$

# Φάσμα των «φορτίων» ενός ενισχυτή



Ιδανικό φορτίο  
πηγής ρεύματος

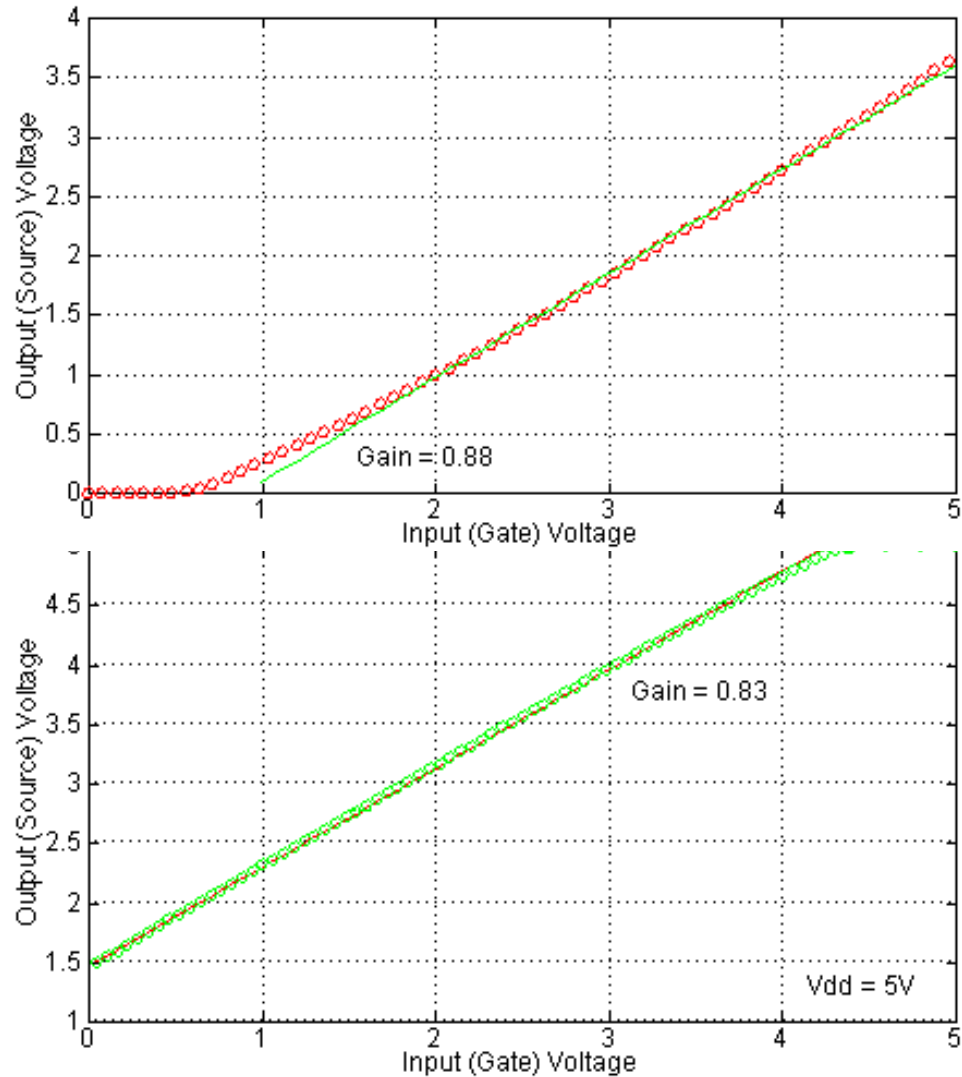
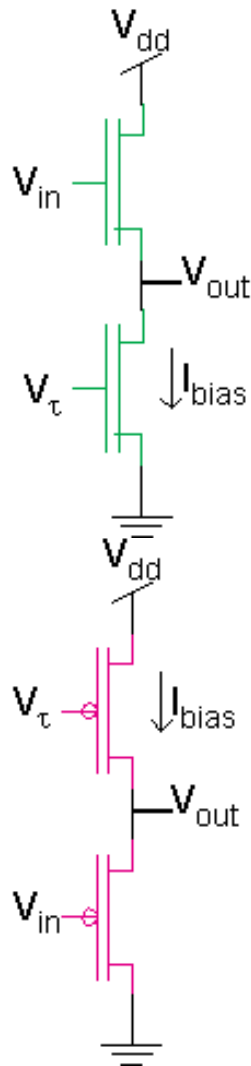
τρανζίστορ φορτίο  
πηγής ρεύματος

ωμικό φορτίο

**Τα τρανζίστορ ενός chip είναι ακριβά**



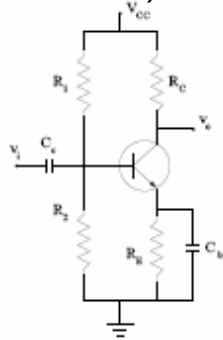
# Κυκλώματα ακόλουθου MOS



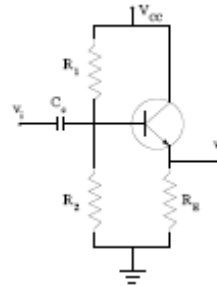
# BJT ενισχυτές – με μια ματιά

Κοινού συλλέκτη

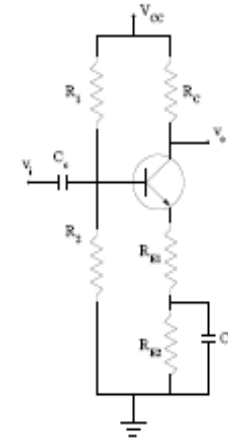
(ακόλουθος εκπομπού)



Κοινού εκπομπού



Κοινού εκπομπού με αντίσταση εκπομπού)



$$A_v = \frac{(R_E \parallel r_o)(1 + \beta)}{r_\pi + (R_E \parallel r_o)(1 + \beta)} \approx 1$$

$$R_i = R_B \parallel [r_\pi + (R_E \parallel r_o)(1 + \beta)] \approx R_B$$

$$R_o = \frac{(r_o)r_\pi}{(1 + \beta)r_o + r_\pi} \approx \frac{r_\pi}{\beta} = r_e$$

$$2\pi f_i = \frac{1}{R_i C_C}$$

$$A_v = -\frac{\beta}{r_\pi}(R_C \parallel r_o) \approx -\frac{\beta}{r_\pi}R_C = -\frac{R_C}{r_e}$$

$$R_i = R_B \parallel r_\pi$$

$$R_o = r_o$$

$$2\pi f_i = \frac{1}{R_i C_C} + \frac{1}{(R_E + r_e)C_b}$$

$$A_v = -\frac{R_C}{R_{E1} + r_e} \approx -\frac{R_C}{R_{E1}}$$

$$R_i = R_B \parallel [\beta(R_{E1} + r_e)]$$

$$R_o = r_e$$

$$2\pi f_i = \frac{1}{R_i C_C} + \frac{1}{(R_{E2} + r_e)C_b}$$

# Με μια ματιά...

## BJT Ενισχυτές ενός τρανζίστορ

Συμπεριφορά μικρού σήματος	Κοινού εκπομπού	Κοινής βάσης	Κοινού συλλέκτη
Αντίσταση εισόδου	$r_{\pi}$ (Medium)	$\frac{r_{\pi}}{1+\beta_o}$ (Low)	$r_{\pi}+(1+\beta_o)R_E$ (High)
Αντίσταση εξόδου	$r_o$ (High)	$r_o(1+\beta_o)$ (Very high)	$\frac{r_{\pi}+R_S}{1+\beta_o}$ (Very low)
Κέρδος τάσης	$-g_m R_L$	$g_m R_L$	1
Κέρδος ρεύματος	$\beta_o$	$-\alpha$	$-(1+\beta_o)$

## MOS Ενισχυτές ενός τρανζίστορ

Συμπεριφορά μικρού σήματος	Κοινής πηγής	Κοινής πύλης	Κοινού απαγωγού
Αντίσταση εισόδου	$\infty$	$\frac{r_{ds}+R_D}{1+g_m r_{ds}}$	$\infty$
Αντίσταση εξόδου	$\frac{r_{ds}R_D}{r_{ds}+R_D}$	$\frac{r_{ds}R_D}{r_{ds}+R_D}$	$\frac{R_S}{1+g_m R_S}$
Κέρδος τάσης	$\frac{-g_m r_{ds} R_D}{r_{ds}+R_D}$	$g_m R_D$	0.8
Κέρδος ρεύματος	$\infty$	-1	$\infty$

- Η διάλεξη αυτή έγινε στο πλαίσιο του ΕΠΕΑΚ ΙΙ για το μάθημα Αναλογικά Ηλεκτρονικά