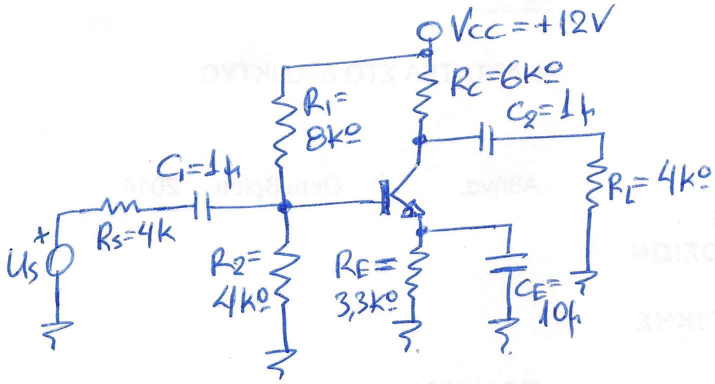
Ασκ. 7.14 σελ 696 [σχ. 7.26, σελ 694] → Ασκ. 7.15 ①



Από DC ανάλυση δίνεται $h_{fe}=100$, $I_E=1mA$, $I_C \simeq I_E = 1mA$

Επίσης για τις παραμέτρους του π-υβριδικού δίνονται

$C_\pi = 13.9pF$

$C_\mu = 2pF$

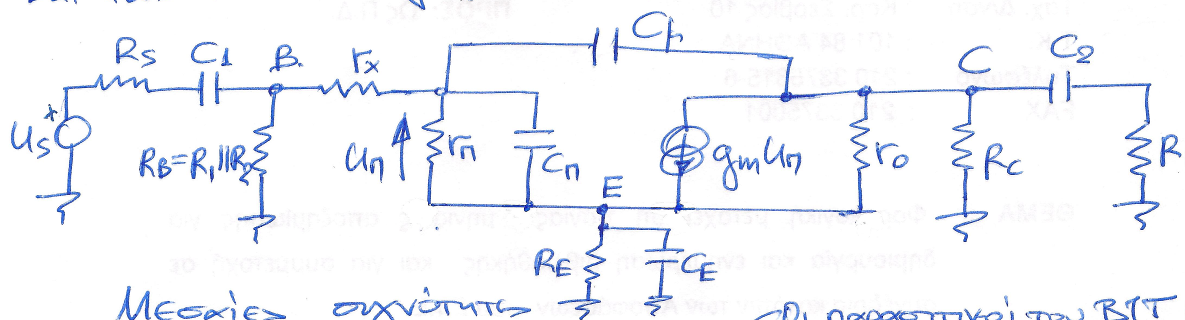
$r_o = 100k\Omega$

$r_x = 50\Omega$

$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1mA}{25mV} = 40mS$

$r_\pi = \frac{h_{fe}}{g_m} = \frac{100}{40mS} = 2.5k\Omega$

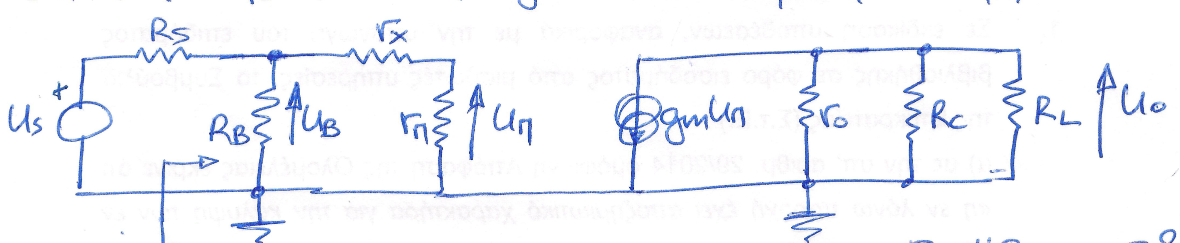
Ξεκινώ από το πλήρες AC-ισοδύναμο που χρησιμοποιεί το π-υβριδικό και τους πυκνωτές σύζευξης & παράκαμψης:



Μεσαίες συχνότητες

Όλοι οι πυκνωτές αγνοούνται: { Οι παρασιτικοί του BJT (HF) θεωρούνται ανοιχτοκυκλώματα
Οι πυκνωτές σύζευξης & παράκαμψης (LF) βραχυκυκλώνονται

οπότε το AC-ισοδύναμο γίνεται:



① $R_{in} = R_B \| (r_x + r_\pi) = \dots = 1.3k\Omega$ ② $R_L' = r_o \| R_C \| R_L = \dots = 2.3k\Omega$

Στην είσοδο

$$\left.\begin{aligned} U_B &= \frac{R_{in}}{R_s+R_{in}} \cdot U_s \\ U_\pi &= \frac{r_\pi}{r_x+r_\pi} \cdot U_B \end{aligned}\right\} \Rightarrow U_\pi = \frac{r_\pi}{r_x+r_\pi} \frac{R_{in}}{R_s+R_{in}} \cdot U_s \quad (*) \xrightarrow[r_x \ll r_\pi]{R_{in} \overset{①}{\simeq} R_B \| r_\pi}$$

$$U_\pi \simeq \frac{R_B\|r_\pi}{R_s+R_B\|r_\pi} \quad (*,*)$$

Στην έξοδο

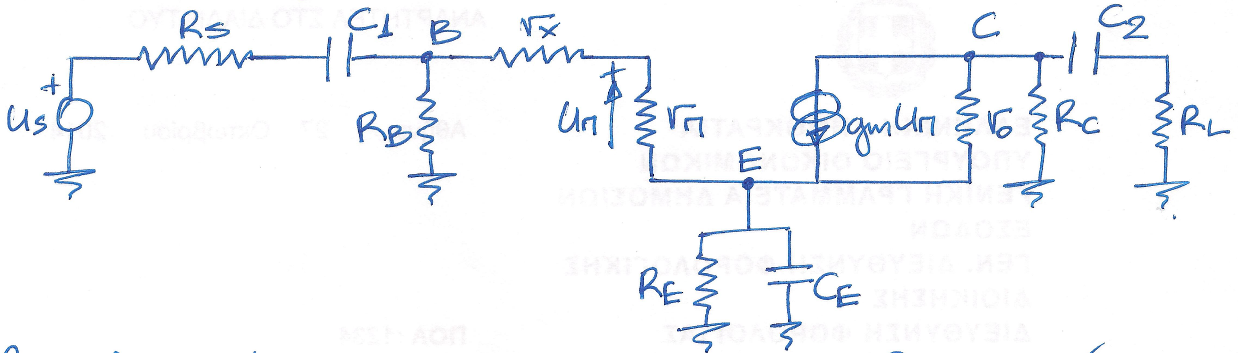
$$U_o = -g_m U_\pi \cdot R_L' \quad ③$$

$$A_M = \frac{U_o}{U_s} \xrightarrow{③,(*)} A_M = -g_m R_L' \frac{r_\pi}{r_x+r_\pi} \cdot \frac{R_{in}}{R_s+R_{in}}$$

ή $\xrightarrow{③,(**)} A_M \simeq -g_m R_L \frac{R_B\|r_\pi}{R_s+R_B\|r_\pi}$

$\simeq -22,5$ ή $(20 \log A_M) \simeq 27dB$

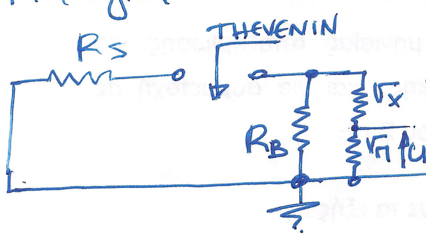
Στις χαμηλές συχνότητες (υψιπερατός παράγων), (2)
το ac-ισοδύναμο (ανοιχτοκυκλώνοντας τις παρασιτικές χωρητικότητες του BJT) γίνεται:



Ο υπολογισμός της ω_L γίνεται με τη βοήθεια των σταθερών χρόνου βραχυκύκλωσης. Υπάρχουν 3 πυκνωτές κι' έτσι

$$\omega_L \simeq \frac{1}{\tau_{C_1}} + \frac{1}{\tau_{C_2}} + \frac{1}{\tau_{C_E}} = \frac{1}{C_1 R_{C_1,s}} + \frac{1}{C_2 R_{C_2,s}} + \frac{1}{C_E R_{C_E,s}}$$

(A) Υπολογισμός του $R_{C_1,s}$: $\boxed{u_s \to \emptyset}$ κι' $\boxed{C_2, C_E \to \text{βραχυκ.}}$

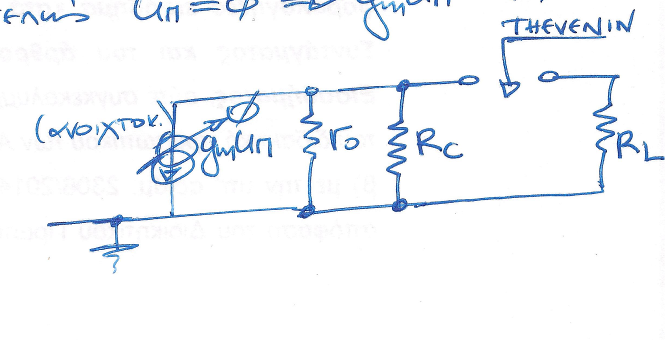


Το κύκλωμα της εξόδου είναι απομονωμένο απ' την είσοδο κι' έτσι δεν επιδρά κατά τον υπολογισμό της $R_{C1,s}$ μέσω του Θ. Thevenin. (Δεν υπάρχει διαδρομή για να επιστρέψει ρεύμα απ' το κύκλωμα εξόδου, παρόλο που η u_π, κι' άρα η πηγή $g_m u_\pi$, δεν είναι μηδέν όταν βάλουμε τη δοκιμαστική πηγή Thevenin στη θέση του C_1 για να υπολογίσουμε την $R_{TH} = R_{C1,s}$)

Έτσι φανερά $R_{C1,s} = R_s + R_B \| (r_x + r_\pi) = \dots = 5.3k\Omega$

(B) Υπολογισμός του $R_{C2,s}$: $\boxed{u_s \to 0}$ κι' $\boxed{C_1, C_E \to \text{βραχυκ.}}$

Η δοκιμαστική πηγή που μπαίνει στη θέση του C_2 δεν μπορεί να στείλει ρεύμα προς τα εμπρός κι' έτσι δεν κυκλοφορεί ρεύμα στο κύκλωμα εισόδου κι' συνεπώς $u_\pi = \emptyset \Rightarrow g_m u_\pi = \emptyset$, οπότε φανερά:

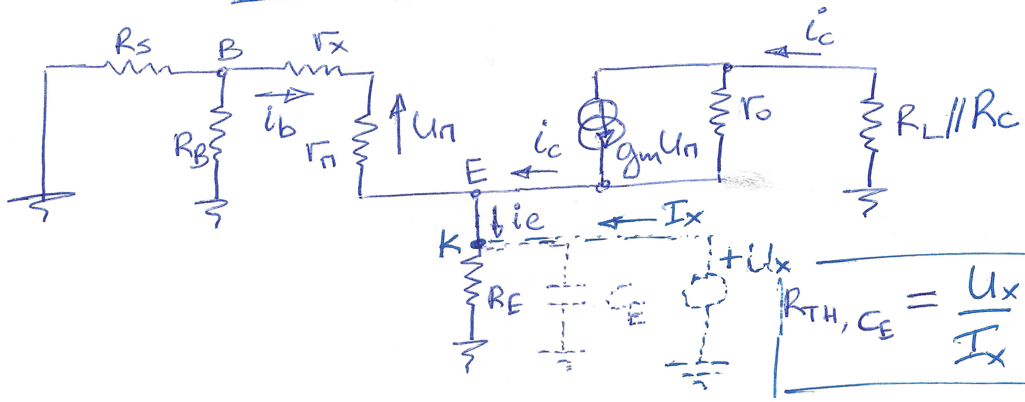


$$R_{C2,s} = R_L + R_C \| r_o = \dots = 9.66k\Omega$$

(Γ) Υπολογισμός του R_{CE} :

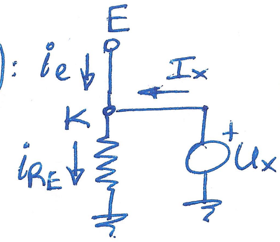
Μηδενίζοντας τη U_s κι' βραχυκυκλώνοντας τους C_1 κ' C_2

$$\boxed{U_s \to \emptyset}$$



$$\boxed{R_{TH,C_E} = \frac{U_x}{I_x}}$$

Στον κόμβο K έχουμε (KCL):



$I_x = -i_e + i_{R_E}$ ενώ $i_e = (h_{fe}+1)\, i_b$

Έτσι $I_x = -(h_{fe}+1)\cdot i_b + \dfrac{U_x}{R_E}$

ενώ $U_x = -i_b\,(r_x + r_\pi + R_B // R_s)$

$$\Rightarrow I_x = \frac{(h_{fe}+1)\,U_x}{r_x + r_\pi + R_B//R_s} + \frac{U_x}{R_E} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{I_x}{U_x} = \frac{1}{\left(\dfrac{r_x + r_\pi + R_B//R_s}{h_{fe}+1}\right)} + \frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_{C_E,s}}$$

δηλ. $R_{C_E,s} = R_E \,//\, \left(\dfrac{r_x + r_\pi + R_B//R_s}{h_{fe}+1}\right) = \ldots = 40.5\,\Omega$

Δηλ. όπως έχουμε ξαναδεί η συνολική αντίσταση στο κυκλ. βάσης απ' τον εκπομπό "φαίνεται" $h_{fe}+1$ φορές μικρότερη.

Έτσι τελικά:
$$\tau_{C_1} = C_1 R_{C_1,s} = C_1 \cdot [R_s + R_B // (r_x + r_\pi)]$$
$$\tau_{C_2} = C_2 R_{C_2,s} = C_2\,(R_L + R_C // r_o)$$
$$\tau_{C_E} = C_E R_{C_E,s} = C_E\left[R_E // \left(\frac{r_x + r_\pi + R_B//R_s}{h_{fe}+1}\right)\right]$$

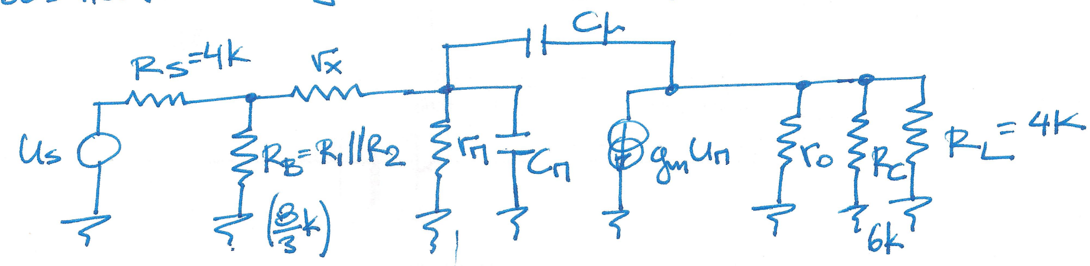
$$\omega_L = \frac{1}{\tau_{C_1}} + \frac{1}{\tau_{C_2}} + \frac{1}{\tau_{C_E}} = 2761.3\ \frac{rad}{sec}$$

$$f_c = \frac{\omega_L}{2\pi} = 439.5\ Hz$$

Ο υψιπερατός παράγοντας της συνάρτησης μεταφοράς είναι
$$T_L(s) \simeq \frac{s}{s + \omega_L}$$

Στις Υψηλές Συχνότητες

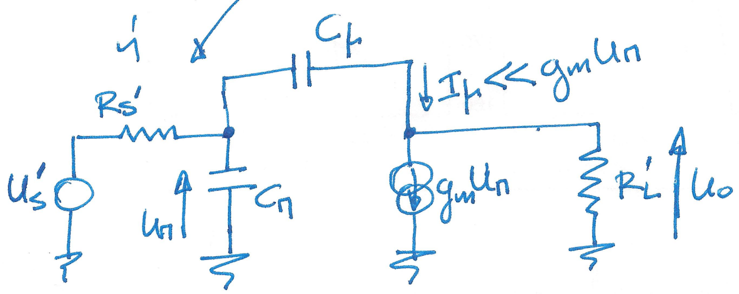
Το ισοδύναμο κύκλωμα προκύπτει βραχυκυκλώνοντας τους πυκνωτές σύζευξης ν' παράκαμψης, δηλ.



$C_\pi = 13{,}9p$
$C_\mu = 2p$
$r_o = 100k$
$r_x = 50\Omega$

THEVENIN

ή



$R_L' = r_o // R_C // R_L$

$$R_s' = r_\pi // [r_x + (R_B // R_s)]$$

$$u_s' = \frac{r_\pi}{r_x + r_\pi} \cdot \frac{R_B // (r_x + r_\pi)}{R_s + R_B // (r_x + r_\pi)} \cdot u_s \quad (*)$$

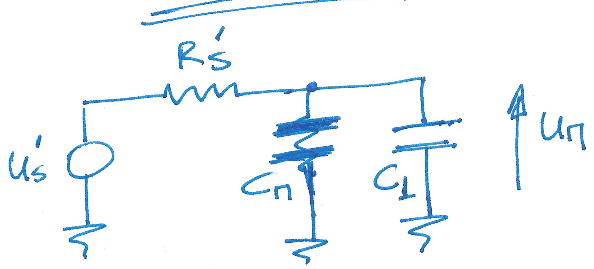
όπου $R_{in} = R_B // (r_x + r_\pi)$

Αν υποθέσουμε (με καλή ακρίβεια) ότι $I_\mu \to 0$ ($I_\mu \ll g_m u_\pi$)

στο κύκλωμα εξόδου δίνει

$$u_o \simeq -(g_m u_\pi) \cdot R_L' \Rightarrow \boxed{K_v = \frac{u_o}{u_\pi} \simeq -g_m R_L'}$$

Από Θ. Miller:



$$Y_1 = (1 - K_v) \cdot Y$$

δηλ.

$$sC_1 = (1 + g_m R_L') sC_\mu$$

δηλ.

$$\boxed{C_1 = (1 + g_m R_L') C_\mu}$$

Επίσης είναι:

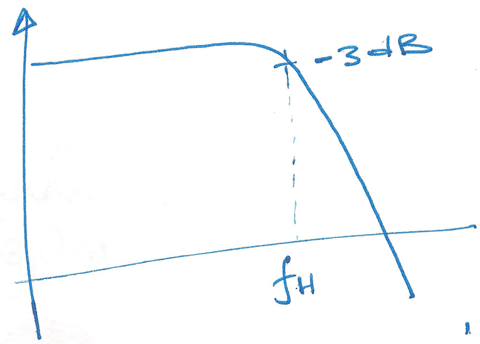
$$u_\pi = \frac{Z_{C_{in}}}{R_s' + Z_{C_{in}}}\, u_s' \quad , \text{ όπου } Z_{C_{in}} = \frac{1}{sC_{in}}$$

με $\boxed{C_{in} = C_\pi + C_1 = C_\pi + (1+g_m R_L')C_\mu}$

Δηλαδή

$$\frac{u_\pi}{u_s'} = \frac{1}{1+\frac{R_s'}{Z_{C_{in}}}} = \frac{1}{1+sC_{in}R_s'} = \frac{1}{1+\frac{s}{\omega_H}} \quad (1)$$

με $\omega_H = \dfrac{1}{C_{in}R_s'}$



Ακόμη κι' αν υπολογίσω τη συνολική ενίσχυση τάσης η συχνότητα αυτή είναι ίδια, διότι το κύκλωμα εξόδου οδηγεί σε ενίσχυση ανεξάρτητη πρακτικά της συχνότητας.

Αφού $\dfrac{u_o}{u_\pi} = -g_m R_L' \xRightarrow{(1)} \dfrac{u_o}{u_s'} = \dfrac{-g_m R_L'}{1+\frac{s}{\omega_H}} \xRightarrow{(*)}$

$$(*) \Rightarrow \frac{u_o}{u_s} = -\underbrace{\left[\frac{R_{in}}{R_s+R_{in}} \cdot \frac{r_\pi\, g_m R_L'}{r_\pi + r_x}\right]}_{A_M} \frac{1}{1+\frac{s}{\omega_H}}$$