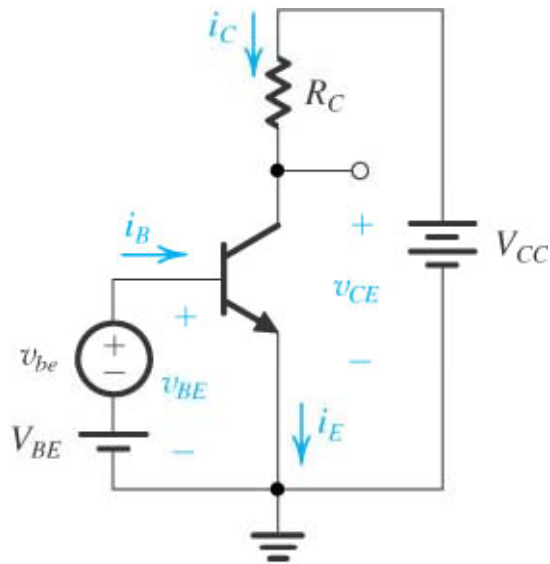


AC λειτουργία – Ισοδύναμα
κυκλώματα μικρού σήματος του
διπολικού τρανζίστορ

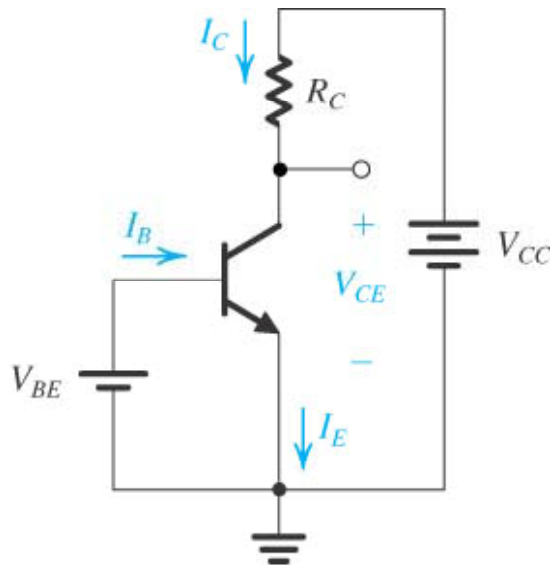
Το τρανζίστορ ως ενισχυτής



Επαλληλία της DC πόλωσης με το AC σήμα:

$$v_{BE} = V_{BE} + v_{be}$$

Το ρεύμα συλλέκτη γράφεται:



$$\begin{aligned} i_C &= I_S e^{(V_{BE} + v_{be})/V_T} \\ &= I_S e^{V_{BE}/V_T} e^{v_{be}/V_T} = I_C e^{v_{be}/V_T} \end{aligned}$$

Η διαγωγιμότητα μικρού σήματος

Για μικρό σήμα ας δηλ. $v_{be} \ll V_T$:

$$i_C = I_C e^{v_{be}/V_T} \cong I_C (1 + v_{be}/V_T)$$

$$= \underbrace{I_C}_{DC} + \underbrace{\frac{I_C}{V_T} v_{be}}_{AC}$$

Η ας συνιστώσα (σήμα) του ρεύματος συλλέκτη είναι:

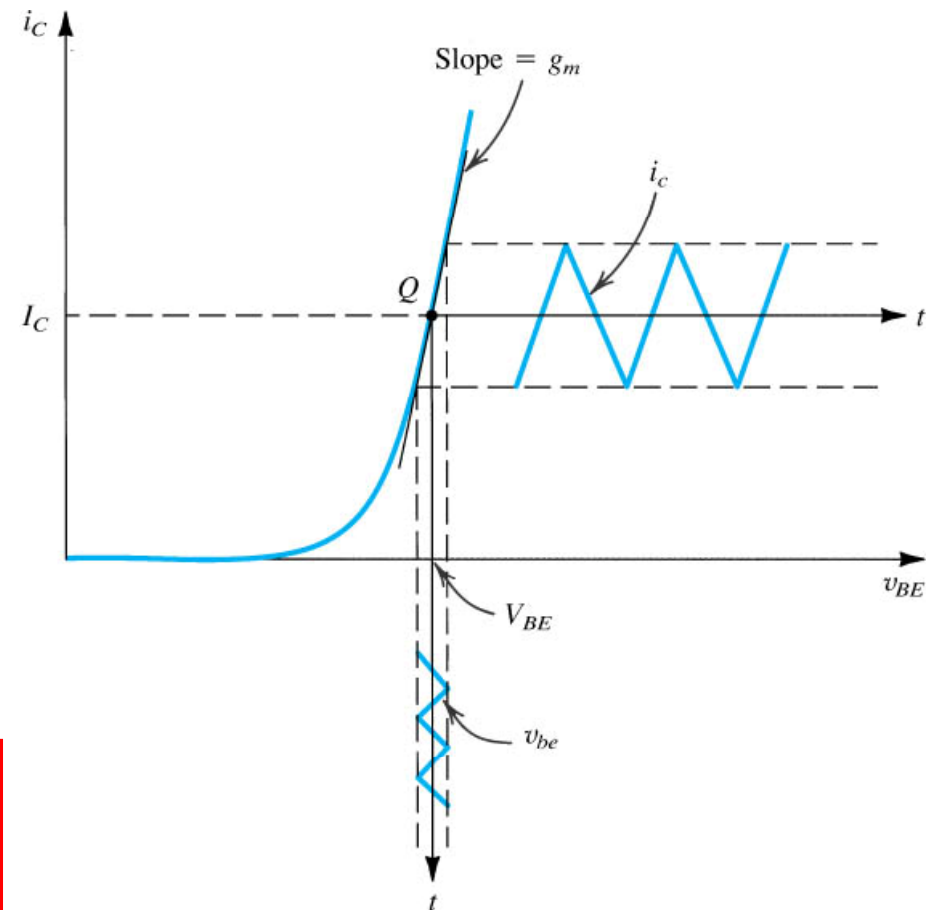
$$i_c = \frac{I_C}{V_T} v_{be}$$

Ορίζουμε:

$$g_m \equiv \frac{i_c}{v_{be}} = \frac{I_C}{V_T}$$

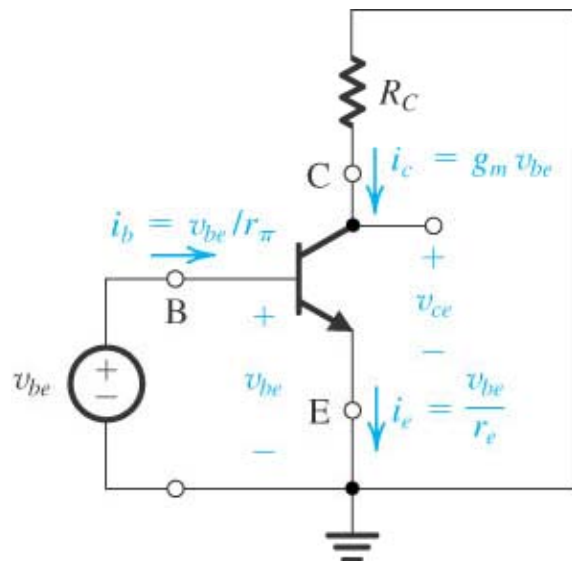
Το g_m ονομάζεται **διαγωγιμότητα** μικρού σήματος.
Για σταθερό g_m απαιτείται σταθερό I_C .

Αναπαριστά την κλίση της χαρακτηριστικής i_C - v_{BE} στο σημείο ηρεμίας Q.



$$g_m \equiv \left. \frac{i_c}{v_{be}} \right|_{v_{be} \rightarrow 0} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{BE}} \right|_{i_C = I_C}$$

Το ρεύμα Βάσης και η Αντίσταση Εισόδου στη Βάση.



Το ολικό ρεύμα Βάσης:

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \underbrace{\frac{I_C}{\beta}}_{DC} + \underbrace{\frac{1}{\beta} \frac{I_C}{V_T}}_{AC} v_{be}$$

Η συνιστώσα μικρού σήματος του ρεύματος Βάσης:

$$i_b = \frac{1}{\beta} \frac{I_C}{V_T} v_{be} = \frac{g_m}{\beta} v_{be}$$

Ορίζουμε:

$$r_{\pi} \equiv \frac{v_{be}}{i_b} = \frac{\beta}{g_m} \quad \acute{\eta} \quad r_{\pi} = \frac{V_T}{I_B}$$

Το r_{π} είναι η **αντίσταση εισόδου** μικρού σήματος μεταξύ βάσης και εκπομπού όταν κοιτάζουμε από την Βάση.

Το ρεύμα Εκπομπού και η Αντίσταση Εισόδου στον Εκπομπό.

Το ολικό ρεύμα εκπομπού:

$$i_E = \frac{i_C}{a} = \underbrace{\frac{I_C}{a}}_{DC} + \underbrace{\frac{1}{a} \frac{I_C}{V_T}}_{AC} v_{be}$$

Η συνιστώσα μικρού σήματος του ρεύματος Εκπομπού:

$$i_e = \frac{1}{a} \frac{I_C}{V_T} v_{be} = \frac{I_E}{V_T} v_{be}$$

Ορίζουμε:

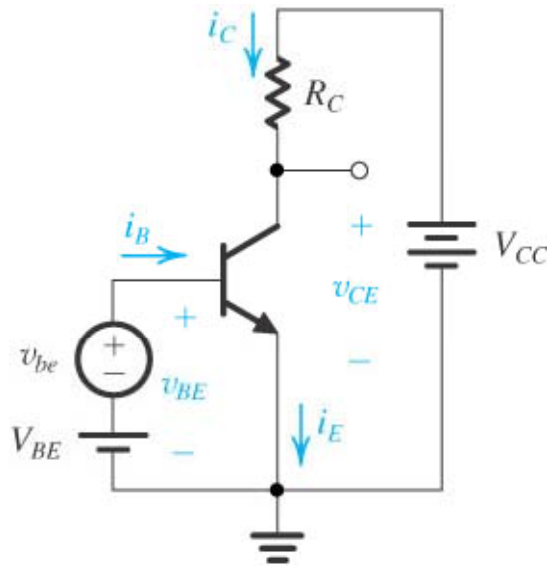
$$r_e \equiv \frac{v_{be}}{i_e} = \frac{a}{g_m} \quad \acute{\eta} \quad r_e = \frac{V_T}{I_E}$$

Το r_e είναι η **αντίσταση εισόδου** μικρού σήματος μεταξύ βάσης και εκπομπού όταν κοιτάζουμε από τον Εκπομπό.

Εύκολα μπορούμε να βρούμε ότι:

$$r_\pi = (i_e / i_b) r_e = (\beta + 1) r_e$$

Απολαβή (ενίσχυση) τάσης.



$$\begin{aligned} v_C &= V_{CC} - i_C R_C \\ &= V_{CC} - (I_C + i_c) R_C \\ &= \underbrace{(V_{CC} - I_C R_C)}_{DC} - \underbrace{i_c R_C}_{AC} = V_C - i_c R_C \end{aligned}$$

$$v_c = -i_c R_C = -g_m v_{be} R_C$$

$$\text{Απολαβή τάσης} \equiv \frac{v_c}{v_{be}} = -g_m R_C$$

Επειδή το g_m είναι ανάλογο του I_C , απαιτείται σταθερότητα του σημείου ηρεμίας για σταθερή απολαβή τάσης.

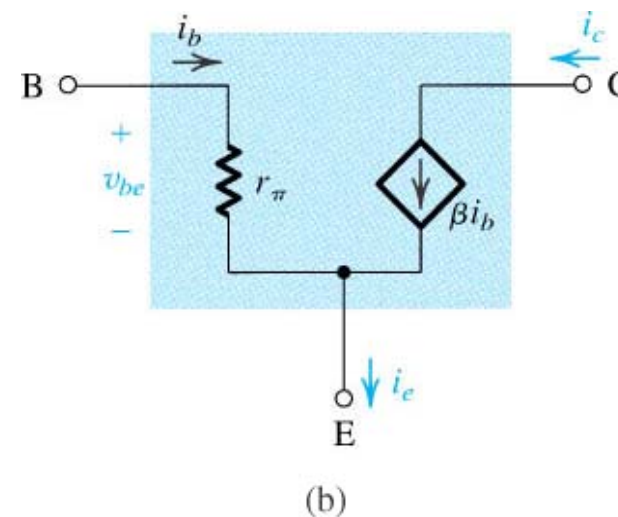
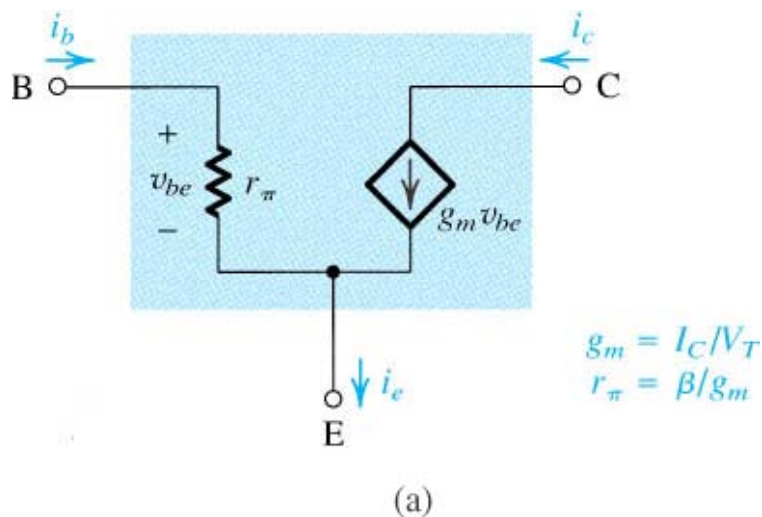
Ισοδύναμα κυκλώματα (μοντέλα) μικρού σήματος

$$\frac{i_c}{v_{be}} = g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$\frac{v_{be}}{i_b} = r_\pi = \frac{V_T}{I_B}$$

$$\frac{v_{be}}{i_e} = r_e = \frac{V_T}{I_E}$$

Υβριδικό-π μοντέλο μικρού σήματος του διπολικού τρανζίστορ



$$g_m v_{be} = g_m (i_b r_\pi) = (g_m r_\pi) i_b = \beta i_b$$

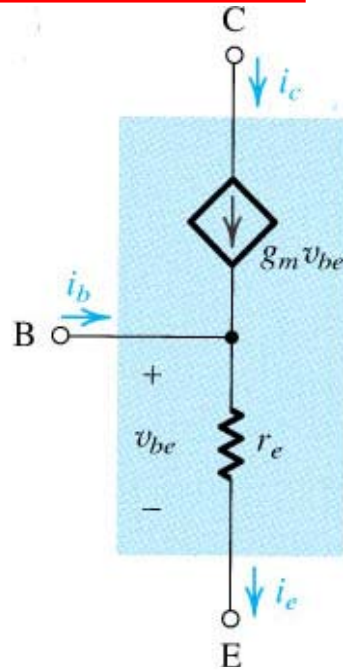
Το ισοδύναμο μικρού σήματος περιγράφει τη λειτουργία του τρανζίστορ σε ένα ορισμένο σημείο ηρεμίας αφού οι παράμετροι g_m και r_π εξαρτώνται από την τιμή του ρεύματος πόλωσης.

Μοντέλο T μικρού σήματος του διπολικού τρανζίστορ

$$\frac{i_c}{v_{be}} = g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$\frac{v_{be}}{i_b} = r_\pi = \frac{V_T}{I_B}$$

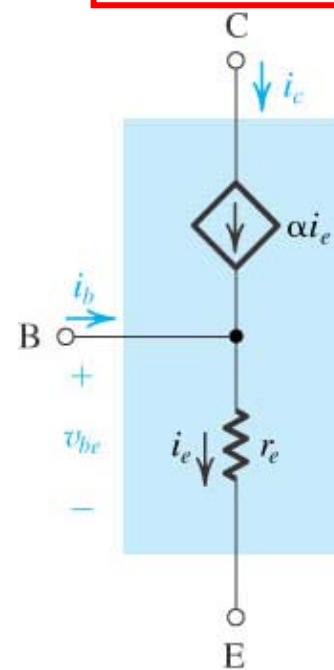
$$\frac{v_{be}}{i_e} = r_e = \frac{V_T}{I_E}$$



(a)

$$g_m = I_C / V_T$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m}$$

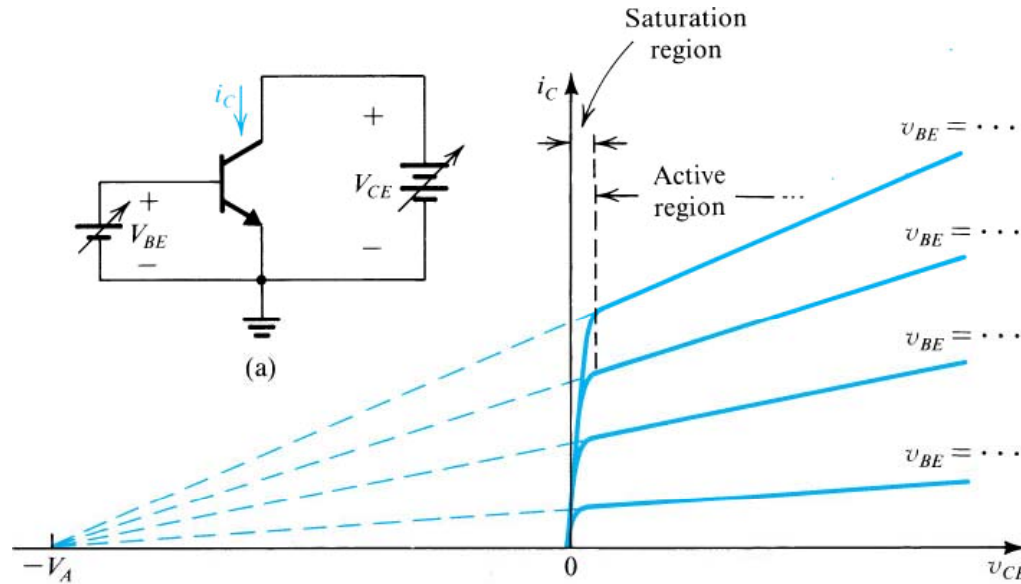


(b)

$$g_m v_{be} = g_m (i_e r_e) = (g_m r_e) i_e = \alpha i_e$$

Το μοντέλο αυτό είναι χρήσιμο σε συνδεσμολογίες κοινής βάσης.

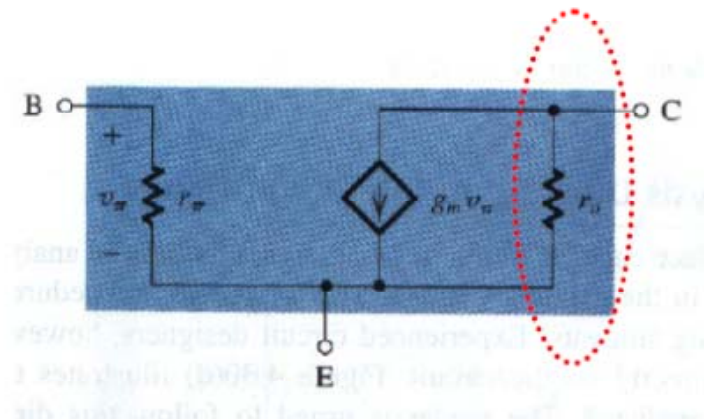
Υβρδικό-π μοντέλο που περιλαμβάνει και το φαινόμενο Early



$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T} \left(1 + \frac{v_{CE}}{V_A}\right)$$

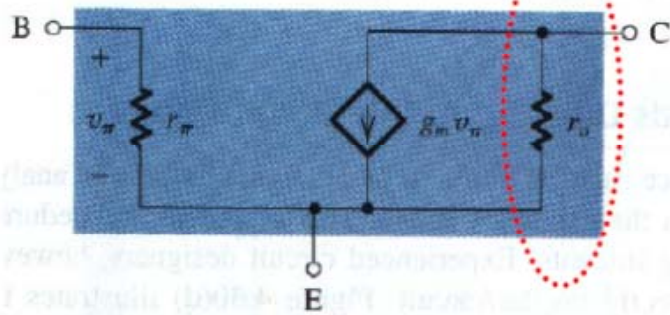
Ορίζουμε:

$$r_o = \left(\frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \bigg|_{\text{fixed } v_{BE}} \right)^{-1} = \frac{V_A + V_{CE}}{I_C} \approx \frac{V_A}{I_C}$$



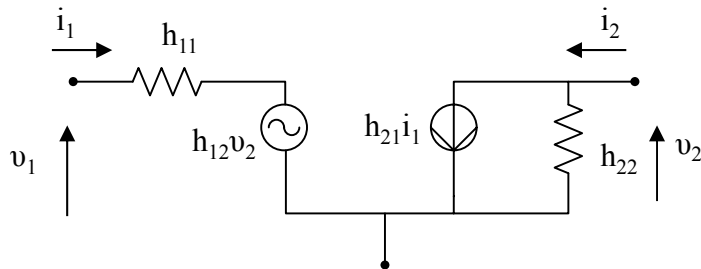
Σχέση μεταξύ π-υβριδικού και h-υβριδικού μοντέλου κοινού εκπομπού του διπολικού τρανζίστορ.

Το π-υβριδικό κοινού εκπομπού ενός τρανζίστορ



$$g_m v_{be} = g_m (i_b r_\pi) = (g_m r_\pi) i_b = \beta i_b$$

Το h-υβριδικό ενός τετραπόλου



Αντιστοιχία των γενικευμένων h-παραμέτρων με τις h-παραμέτρους του τρανζίστορ κοινού εκπομπού

$$h_{11} = h_{ie} \quad v_1 = v_{be}$$

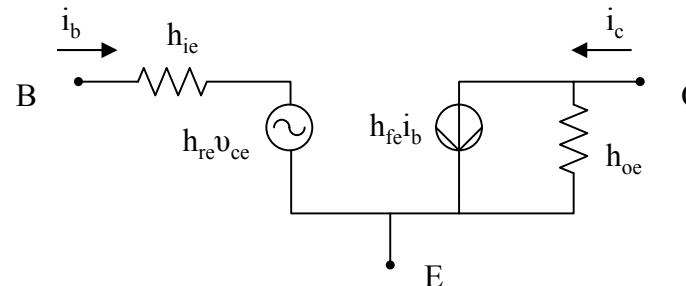
$$h_{12} = h_{re} \quad v_2 = v_{ce}$$

$$h_{21} = h_{fe} \quad i_1 = i_b$$

$$h_{22} = h_{oe} \quad i_2 = i_c$$

$$\begin{aligned} v_{be} &= h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce} \\ i_c &= h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce} \end{aligned}$$

Το h-υβριδικό κοινού εκπομπού ενός τρανζίστορ



Αντιστοιχία των h-παραμέτρων με τις π-παραμέτρους του τρανζίστορ κοινού εκπομπού

$$h_{ie} = r_\pi$$

$$h_{re} \approx 0$$

$$h_{fe} = \beta$$

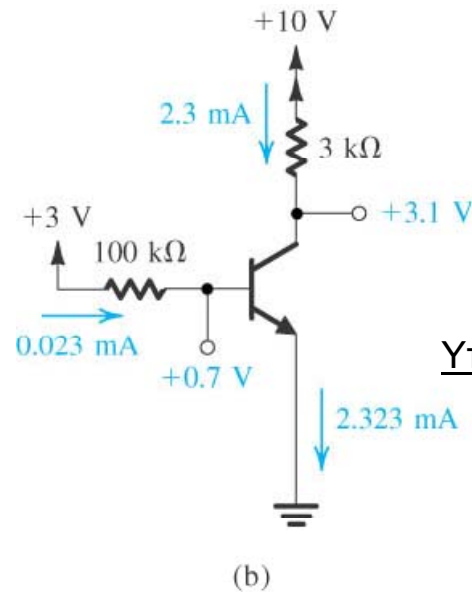
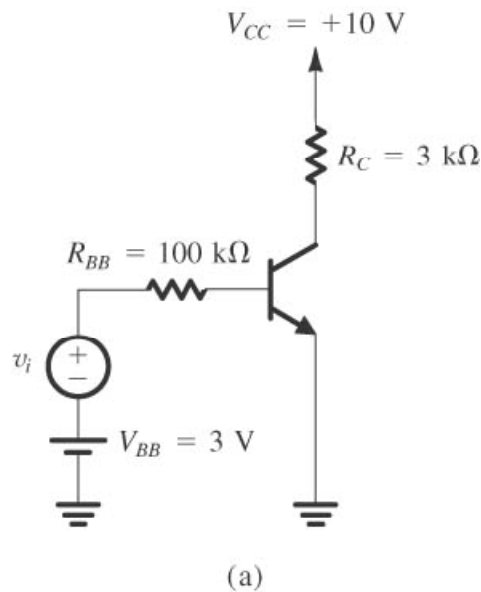
$$h_{oe} = \frac{1}{r_o}$$

Χρήση των ισοδύναμων κυκλωμάτων μικρού σήματος

Βήματα για την ανάλυση μικρού σήματος:

1. Προσδιορίζουμε το DC σημείο λειτουργίας του διπολικού τρανζίστορ.
 - Ειδικότερα το ρεύμα Συλλέκτη.
2. Υπολογίζουμε τις παραμέτρους του μοντέλου μικρού σήματος: g_m , r_π , r_e
3. Απαλείφουμε τις DC πηγές.
 - Αντικαθιστούμε τις πηγές τάσης από βραχυκύκλωμα και τις πηγές ρεύματος από ανοιχτοκύκλωμα.
4. Αντικαθιστούμε τα τρανζίστορ από τα ισοδύναμα μοντέλα μικρού σήματος.
 - Επιλέγουμε το πιο βολικό μοντέλο σε συμφωνία με το υπόλοιπο κύκλωμα.
5. Αναλύουμε το γραμμικό κύκλωμα που προκύπτει.

Παράδειγμα: Να υπολογιστεί η απολαβή μικρού σήματος του ενισχυτή με τρανζίστορ.
Υποθέτουμε $\beta=100$.



DC ανάλυση:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB}} = 0.023 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 2.3 \text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 3.1 \text{ V}$$

Υπολογισμός των παραμέτρων μικρού σήματος:

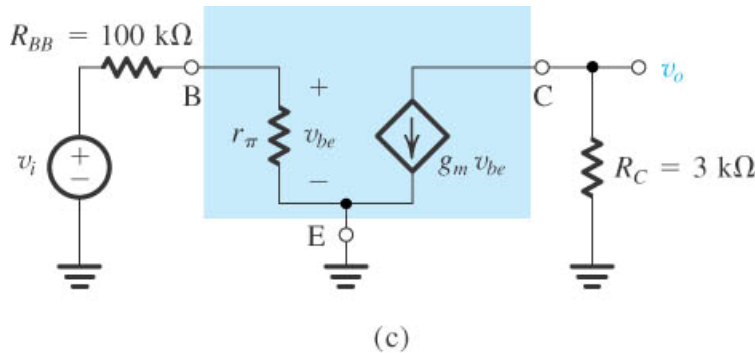
$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = 10.8 \Omega$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 92 \text{ mA/V}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = 1.09 \text{ k}\Omega$$

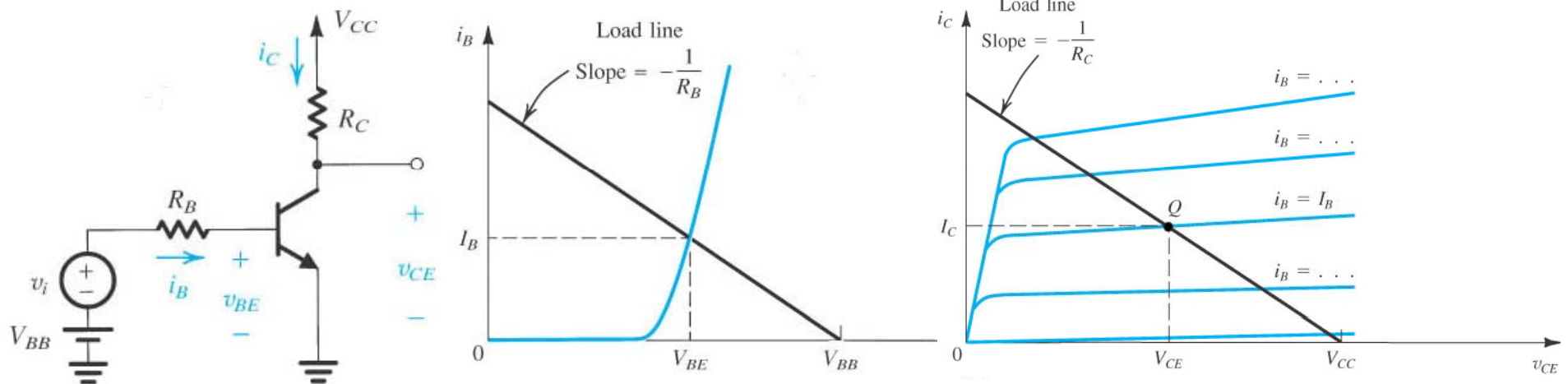
AC ανάλυση:

$$v_{be} = v_i \frac{r_\pi}{r_\pi + R_{BB}} = 0.011 v_i$$



$$v_o = -g_m v_{be} R_C = -3.04 v_i \Rightarrow \frac{v_o}{v_i} = -3.04$$

Γραφική Ανάλυση



1. Προσδιορίζουμε το DC ρεύμα Βάσης του διπολικού τρανζίστορ.

- Ευθεία φόρτου εισόδου:

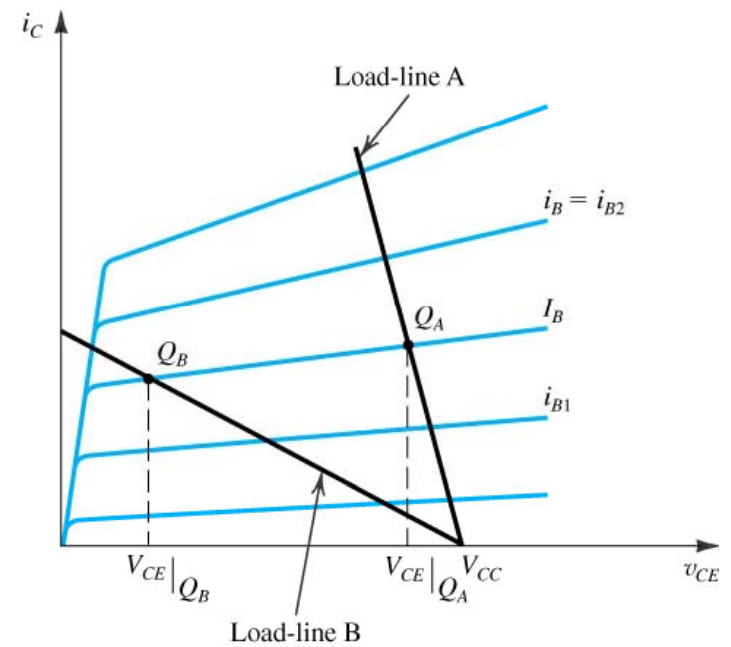
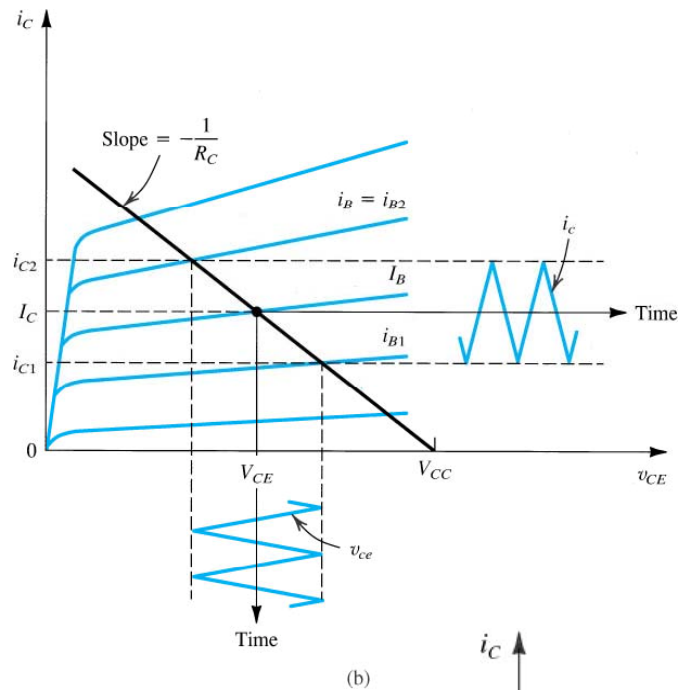
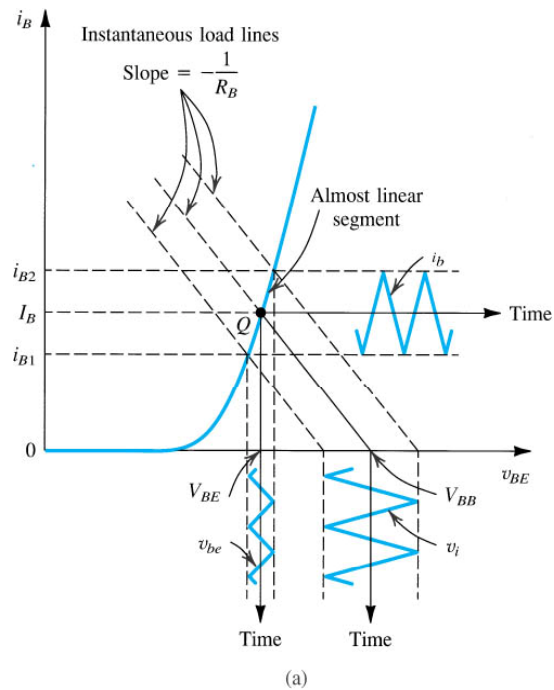
$$v_{BE} = V_{BB} - R_B i_B$$

2. Προσδιορίζουμε το DC ρεύμα Συλλέκτη του διπολικού τρανζίστορ.

- Ευθεία φόρτου εξόδου:

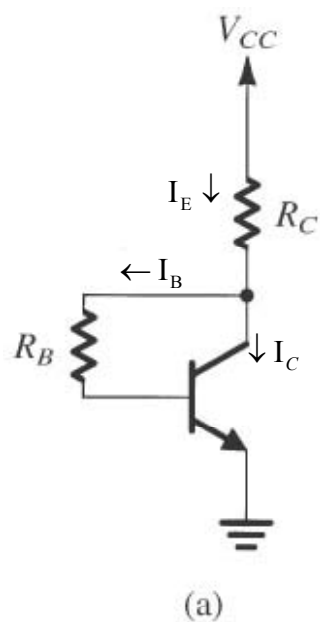
$$v_{CE} = V_{CC} - i_C R_C \Rightarrow i_C = \frac{V_{CC}}{R_C} - \frac{1}{R_C} v_{CE}$$

Εφαρμογή μικρού σήματος



Άσκηση: Να σχεδιαστεί το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος για $V_{CC}=9V$ έτσι ώστε να έχουμε ρεύμα εκπομπού $I_E=1mA$ και να εξασφαλίζεται μεταβολή σήματος στο συλλέκτη $\pm 2V$.

Δίνεται $\beta=100$.



$$V_{CC} = \underbrace{(I_C + I_B)}_{I_E} R_C + \underbrace{I_B}_{I_E / \beta + 1} R_B + V_{BE} \Rightarrow$$

$$V_{CC} - V_{BE} = I_E \left(R_C + \frac{R_B}{1 + \beta} \right) \Rightarrow$$

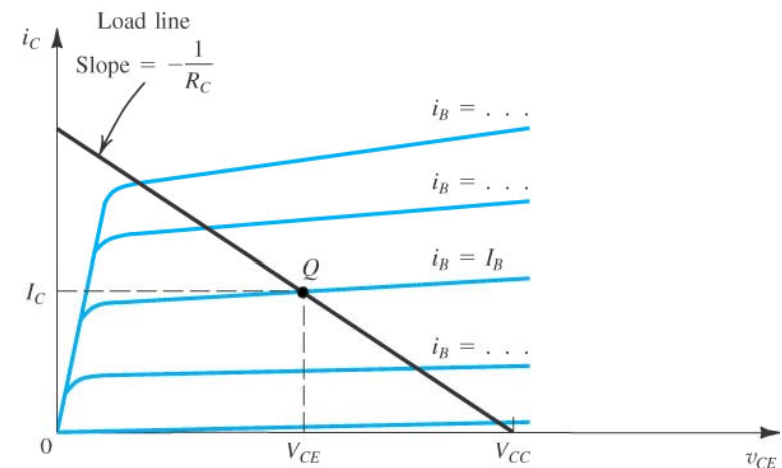
$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + \frac{R_B}{1 + \beta}}$$

$$\left. \begin{aligned} &\text{Θελουμε } \frac{R_B}{1 + \beta} \ll R_C \text{ (για σταθερότητα)} \\ &\text{Επισης } V_C > V_B = V_{BE} = 0.7V \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$V_{CQ} = 2V + 0.7V = 2.7V = V_{CB} + V_{BE}$$

$$V_{CB} = I_B R_B = 2V \Rightarrow R_B = \frac{V_{CB}}{I_E} (\beta + 1) = 202k\Omega, \quad V_{CC} = (I_C + I_B) R_C + V_{CE} \Rightarrow$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C + I_B} k\Omega = \frac{9 - 2.7}{1} k\Omega = 6.3k\Omega$$



$$A_p \approx \sqrt{R_{out} = R_C}$$


Arvid von Mülver (Agderois)
Σημειώσεις (για χρήση)

Σημειώσεις

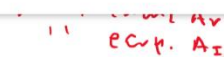
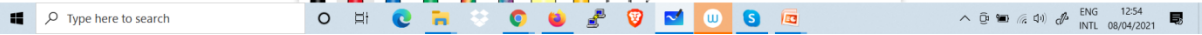
8) in unit 7 on
 ML (N) is 20
 time 02:00
 200 5000
 $\frac{V_d}{V_T} = \frac{S}{25} = \frac{1}{5}$

1

$$\begin{pmatrix} Y \\ \Sigma \end{pmatrix}$$
$$\sum v_i x_i v_i^T \approx 74745$$

- $\eta_{\text{ποσοτική}}$
 $\eta_{\text{αριθμ.}}$
 $\rightarrow \text{ΕΙΣΡΟΓΗΣ}$
- $\eta_{\text{απομάκρυνση}}$
 $\eta_{\text{GOSV υψ. μόν.}}$
 $\text{AC και } \dots$
 φ_m, r_n, r_e

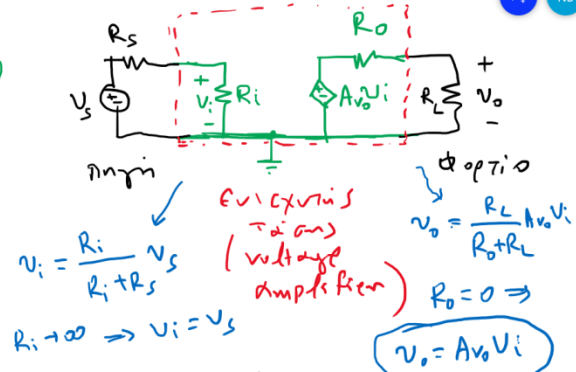
η ερσιορισμός
• διζιτάντις. Ρ_i
• " " Εξ. Ρ_o
• γριγξ. ζαίνι Α_v
• " Ερυπ. Α_I



1. $\lim_{i \rightarrow \infty} R_i = 0$

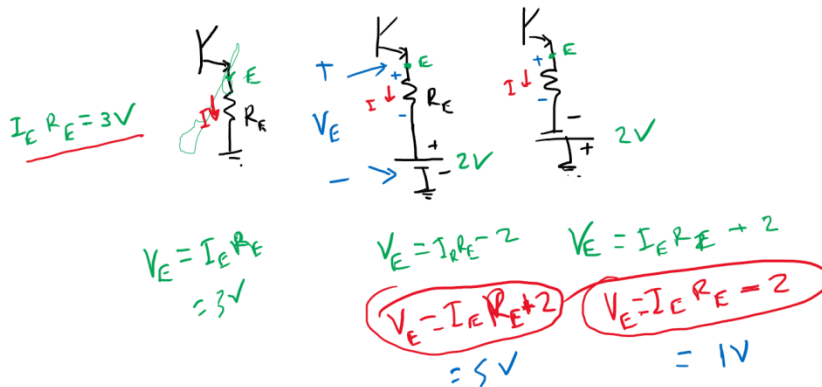


Ernisu (Impedance)
 $Z = R + jX$



Isolating: $\frac{V_o}{V_s} = A_{v0}$
 Finding: $\frac{V_o}{V_s} = A_{v0} \frac{R_i}{R_i + R_s} \cdot \frac{R_L}{R_L + R_o}$

Isolating: $\frac{V_o}{V_s} = A_{v0}$
 Finding: $\frac{V_o}{V_s} = A_{v0} \frac{R_i}{R_i + R_s} \cdot \frac{R_L}{R_L + R_o}$





$$V_T = 25 \text{ mV}$$

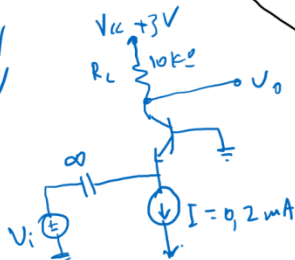
$$V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

$$f \gg \rightarrow$$

$$V_C = ?$$

$$r_e = ?$$

$$\frac{V_o}{V_i} = ?$$



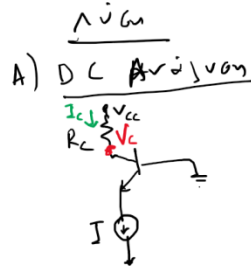
B) AC Analysis

$$V_E = I_E R_E + 2$$

$$V_E = I_E R_E = 1 \text{ V}$$

$$= 5 \text{ V}$$

$$= 1 \text{ V}$$



$$f \gg \rightarrow I_C = I_E$$

$$= I = 0,2 \text{ mA}$$

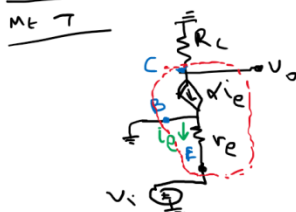
$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

$$= 3 - 0,2 \cdot 10 = 1 \text{ V}$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{0,2 \text{ mA}} = 125 \Omega$$



B) AC Analysis

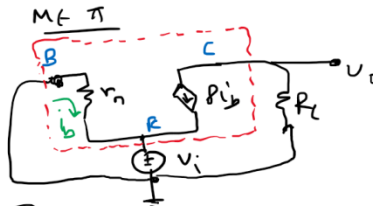


$$V_o = V_C = -\alpha i_e R_C \approx -i_e R_C \quad (1)$$

$$(\text{since } f \gg \rightarrow \alpha = 1)$$

$$i_e = \frac{-V_i}{r_e} \Rightarrow V_i = -i_e r_e \quad (2)$$

$$(1) \wedge (2) \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_C}{r_e} = 80 \text{ V/V}$$



$$\left. \begin{aligned} V_o &= -\beta i_b R_C \\ V_i &= -i_b r_n \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_o = -\beta \left(-\frac{V_i}{r_n} \right) R_C$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_C}{\frac{r_n}{\beta}} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_C}{r_e}$$

$$\text{if } r_e = \frac{r_n}{\beta + 1} \approx \frac{r_n}{\beta} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_C}{r_e} = 80 \text{ V/V}$$



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι

4ο Εξάμηνο

2020-2021

Μάθημα 08-04-2021

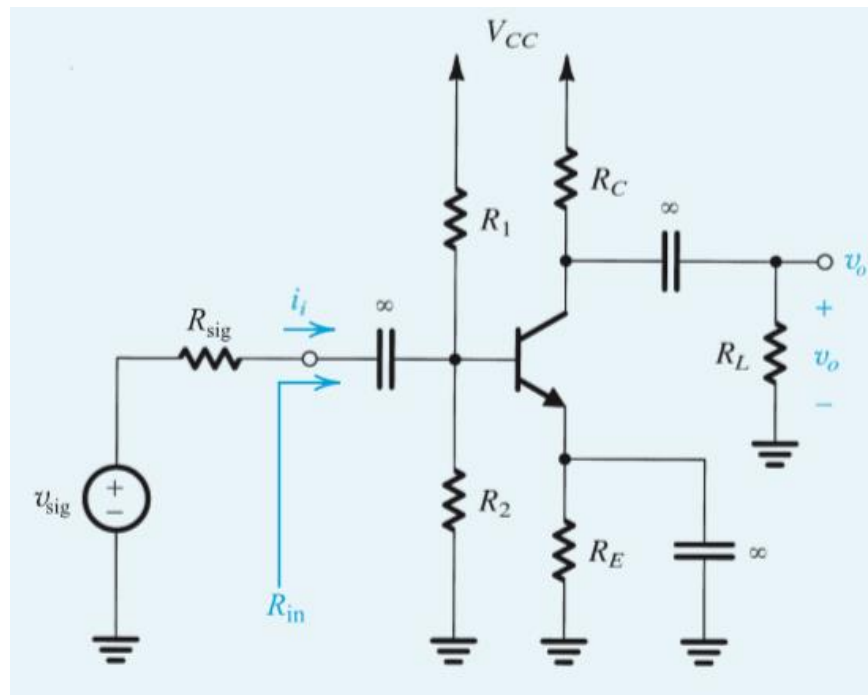
N. Βουδούκης

Άσκηση [A8: 1/2]

Ενισχυτής CE με πυκνωτή bypass παράλληλα στην R_E και χωρίς Early
(DC και AC ανάλυση)

Για το παρακάτω κύκλωμα θεωρείστε ότι το τρανζίστορ βρίσκεται στην ορθή ενεργό περιοχή και οι τιμές των παραμέτρων και των εξαρτημάτων δίνονται παρακάτω. Επίσης θεωρήστε όλους τους πυκνωτές άπειρους.

$V_T = 25 \text{ mV}$	$\beta = 100$	$V_A = \infty$ (όχι Early)	$ V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ (DC)
$V_{CC} = 15 \text{ V}$		$R_{sig} = 1 \text{ k}\Omega$	$R_1 = 100 \text{ k}\Omega$
$R_2 = 50 \text{ k}\Omega$	$R_E = 3 \text{ k}\Omega$	$R_C = 5 \text{ k}\Omega$	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$



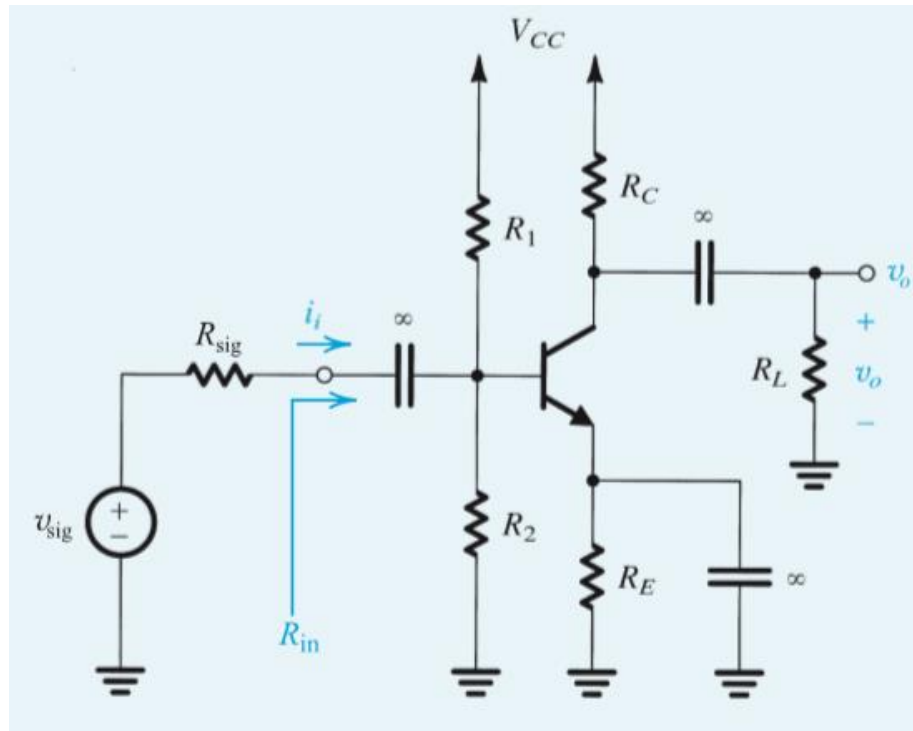
Άσκηση 8 [A8: 1/2]

A. DC Ανάλυση

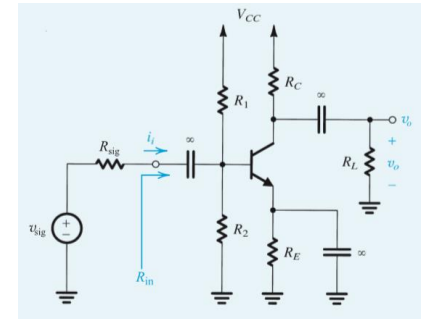
Υπολογίστε τα I_B , V_C , V_E , V_B , I_E , I_C , g_m , r_π , r_e με βάση τα δεδομένα.

B. AC Ανάλυση (Μικρού σήματος, Χαμηλών συχνοτήτων)

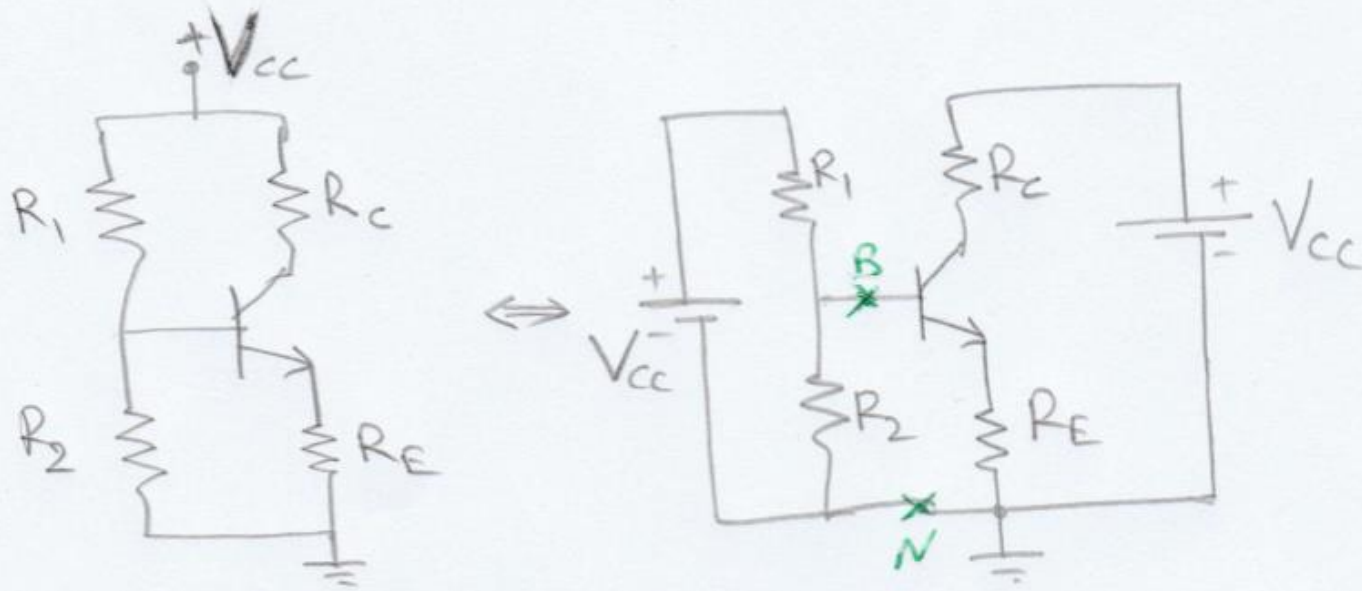
Να υπολογιστούν η αντίσταση εισόδου R_{in} η αντίσταση εξόδου R_{out} και το κέρδος τάσης $A_v = \frac{v_o}{v_{sig}}$.



Λύση [A8: 1/2]

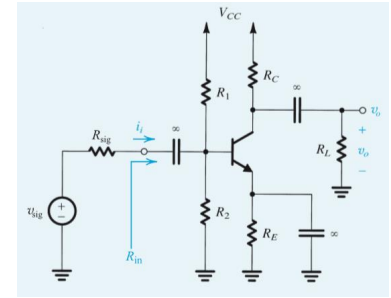
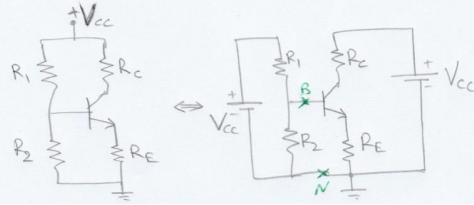


Το DC ισοδύναμο κύκλωμα είναι

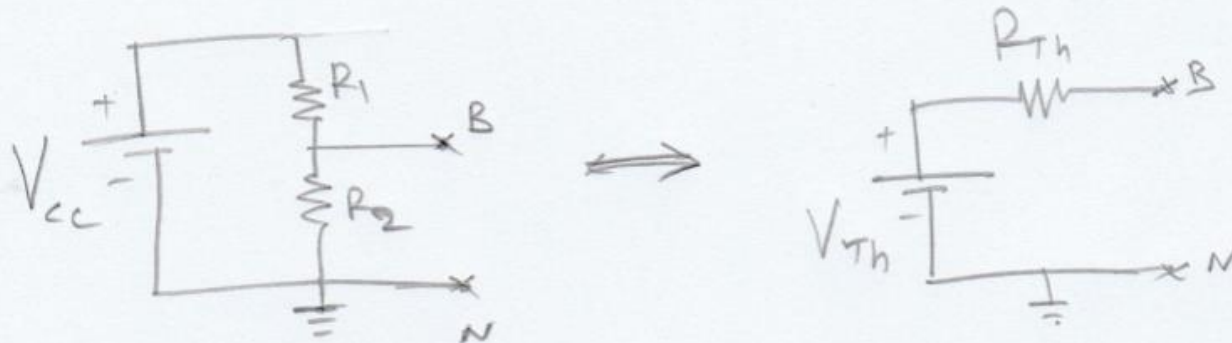


Λύση [A8: 1/2]

Το DC ισοδύναμο κύκλωμα είναι



Εφαρμόζουμε θεώρημα Thevenin για το τμήμα του κυκλώματος αριστερά των σημείων B, N.



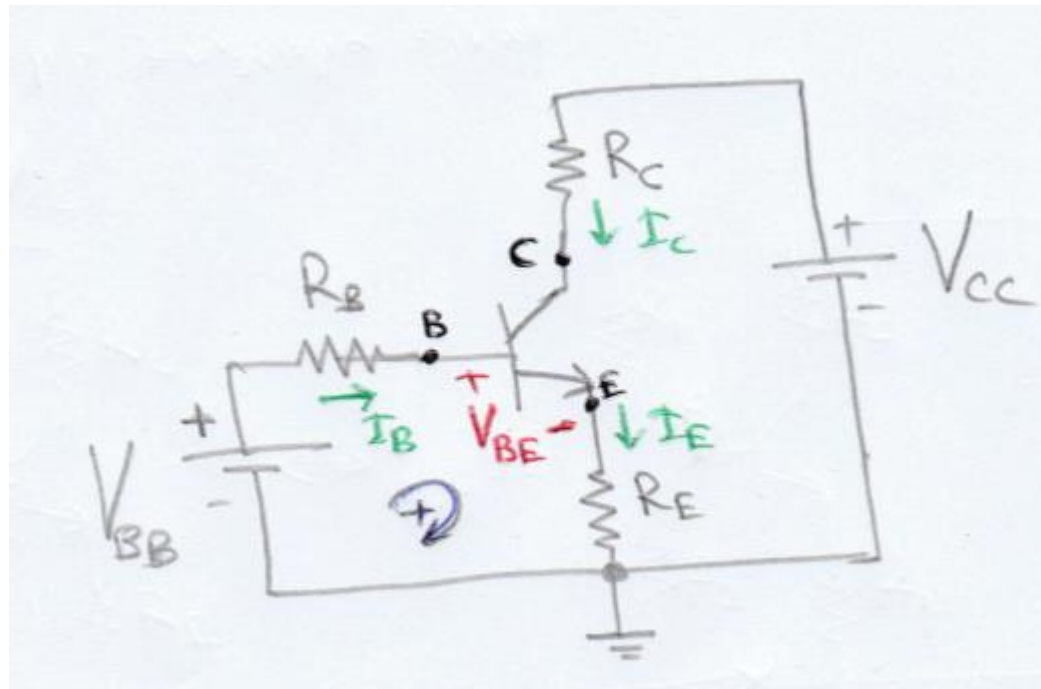
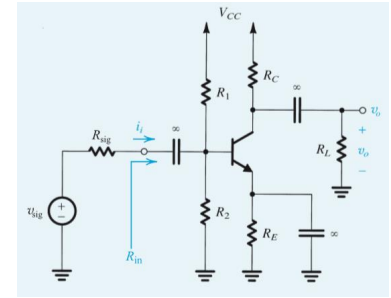
$$V_{Th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{cc} \Rightarrow V_{Th} = \frac{50}{100 + 50} 15V = \frac{1}{3} 15V \Rightarrow V_{Th} = 5V$$

$$R_{Th} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow R_{Th} = \frac{100 \cdot 50}{100 + 50} = \frac{5000}{150} \Rightarrow R_{Th} \approx 33,3 k\Omega$$

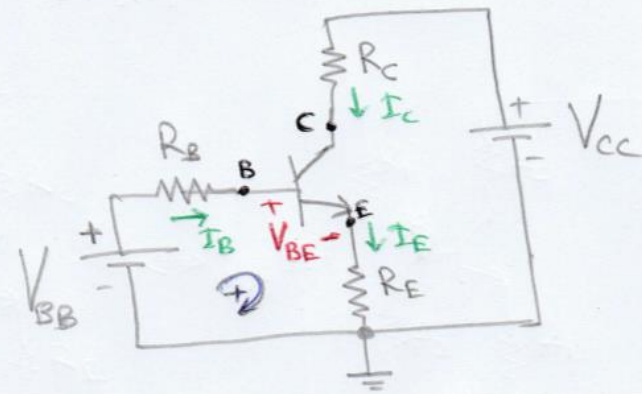
Λύση [A8: 1/2]

Ας αναζητούμε τη V_{TH} ως V_{BB} και την R_{TH} ως R_B
γιατί συνδέονται στη βάση B του τρανζίστορ.
(πολώνεται έτσι η βάση του τρανζίστορ).

Το αρχικό DC ισοδύναμο κύκλωμα δίνεται:



Λύση [A8: 1/2]



NTK (KVL) στον δρόμο εισόδου Βάσης-Εκπομπής (2) :

$$\left. \begin{aligned} V_{BB} &= I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E \\ I_E &= (\beta + 1) I_B \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_{BB} = I_B R_B + V_{BE} + (\beta + 1) I_B R_E$$

$$\Rightarrow V_{BB} - V_{BE} = [R_B + (\beta + 1) R_E] I_B$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_E}$$

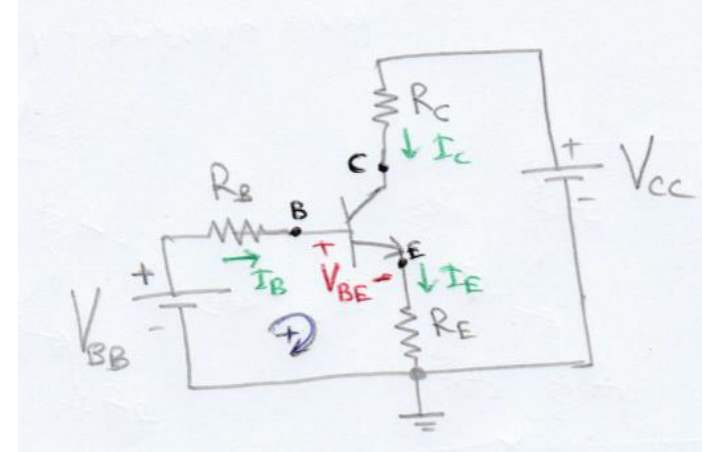
$$\Rightarrow I_B = \frac{5 - 0,7}{33,3 + 101 \cdot 3} = \frac{4,3}{336,3} \text{ mA} \Rightarrow I_B = 0,0128 \text{ mA}$$
$$\Rightarrow I_B = 12,8 \mu\text{A}.$$

Λύση [A8: 1/2]

Οπότε:

$$I_C = \beta \cdot I_B \Rightarrow I_C = 100 \cdot 0,0128 \text{ mA} \Rightarrow I_C = 1,28 \text{ mA}$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B \Rightarrow I_E = 101 \cdot 0,0128 \text{ mA} \Rightarrow I_E \approx 1,29 \text{ mA}$$



Είναι:

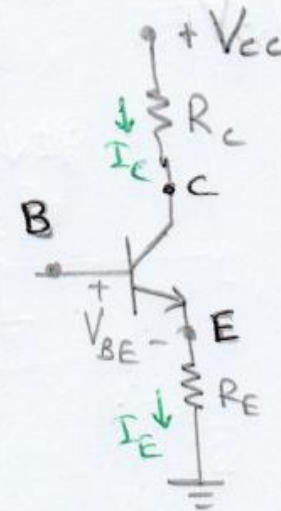
$$V_E = I_E \cdot R_E \Rightarrow V_E = 1,29 \cdot 3 \text{ V} \Rightarrow V_E \approx 3,87 \text{ V}$$

$$V_B = V_{BE} + V_E \Rightarrow V_B = (0,7 + 3,87) \text{ V} \Rightarrow V_B \approx 4,57 \text{ V}$$

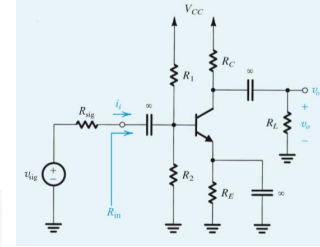
$$V_C = V_{CC} - I_C R_C \Rightarrow$$

$$V_C = 15 - 1,28 \cdot 5 = (15 - 6,4) \text{ V} \Rightarrow$$

$$V_C = 8,6 \text{ V}$$



Λύση [A8: 1/2]



Θα υπολογίσουμε τις παραμέτρους g_m , r_n , r_e του ισοδύναμου AC κυκλώματος φίλτρου (αθροίσμα) θύρας χαμηλών συχνοτήτων

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \Rightarrow g_m = \frac{1,28}{0,025} \frac{\text{mA}}{\text{V}} \Rightarrow g_m = 51,2 \text{ mA/V}$$

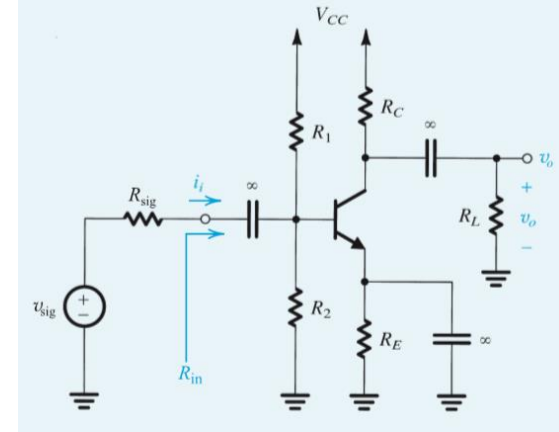
$$r_n = \frac{\beta}{g_m} \Rightarrow r_n = \frac{100}{51,2} \text{ k}\Omega \Rightarrow r_n \approx 1,953 \text{ k}\Omega$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} \Rightarrow r_e = \frac{25}{1,29} \Omega \Rightarrow r_e \approx 19,4 \Omega$$

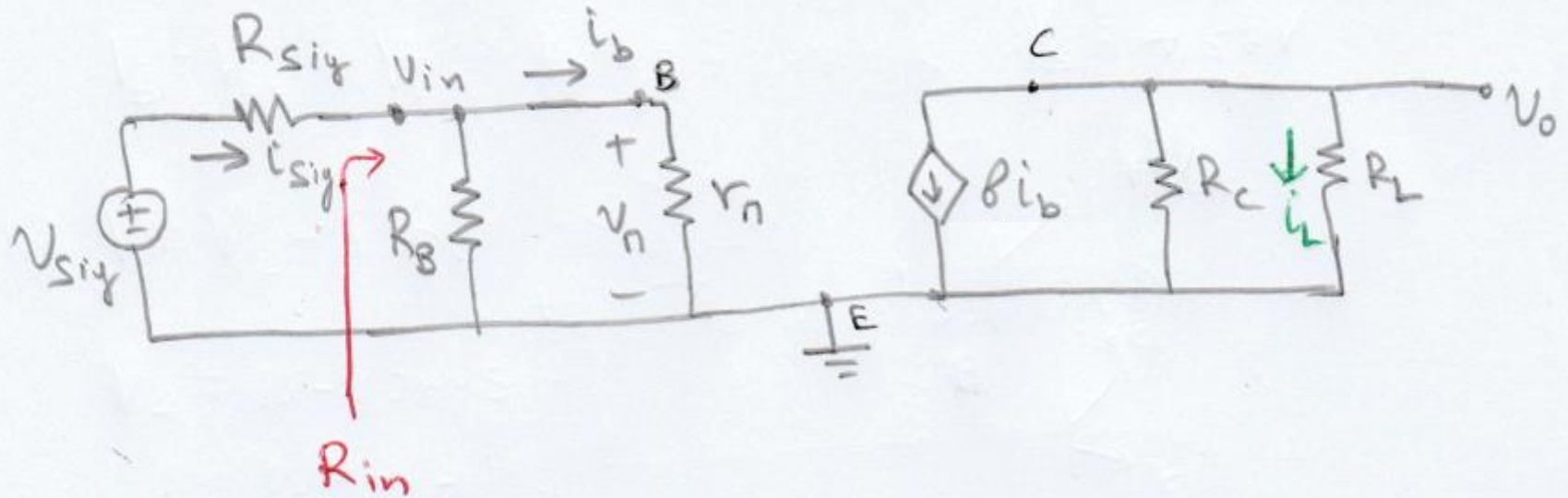
$$\text{Είναι } r_n = (\beta + 1) \cdot r_e$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} = \frac{100}{101} \approx 0,99$$

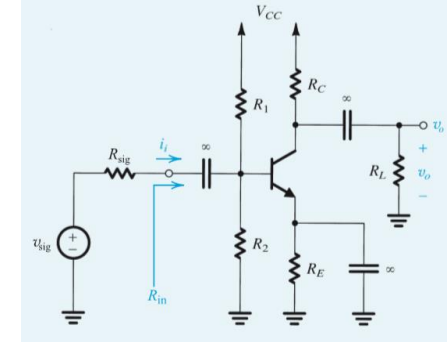
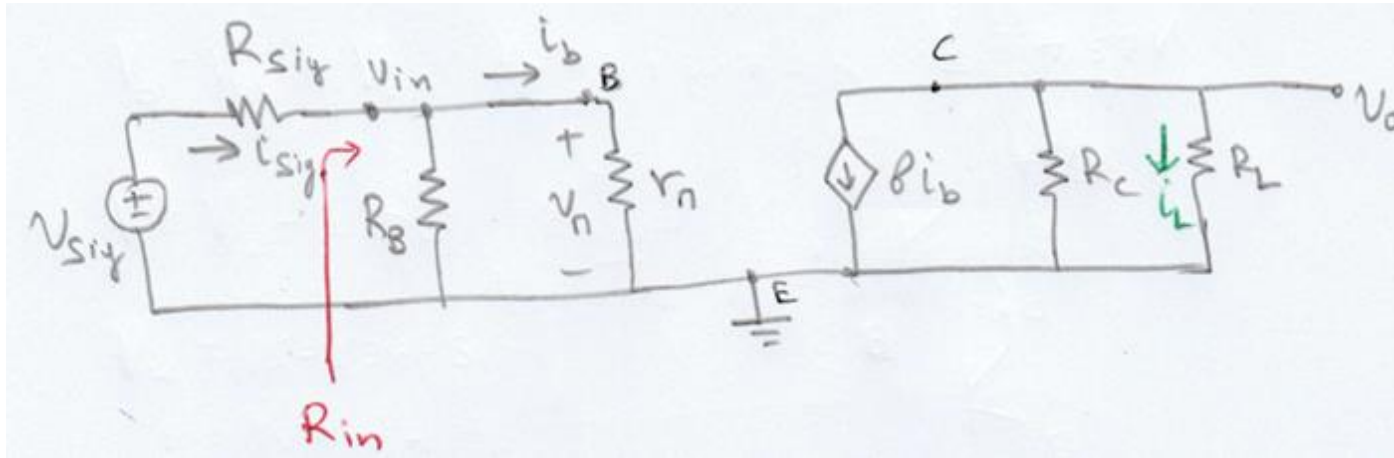
Λύση [A8: 1/2]



Το ισοδύναμο κύκλωμα AC αόρενου σήματος είναι:



Λύση [A8: 1/2]



Είναι:

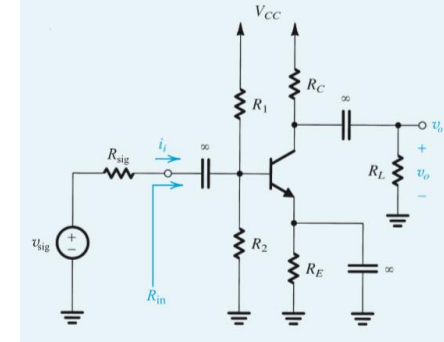
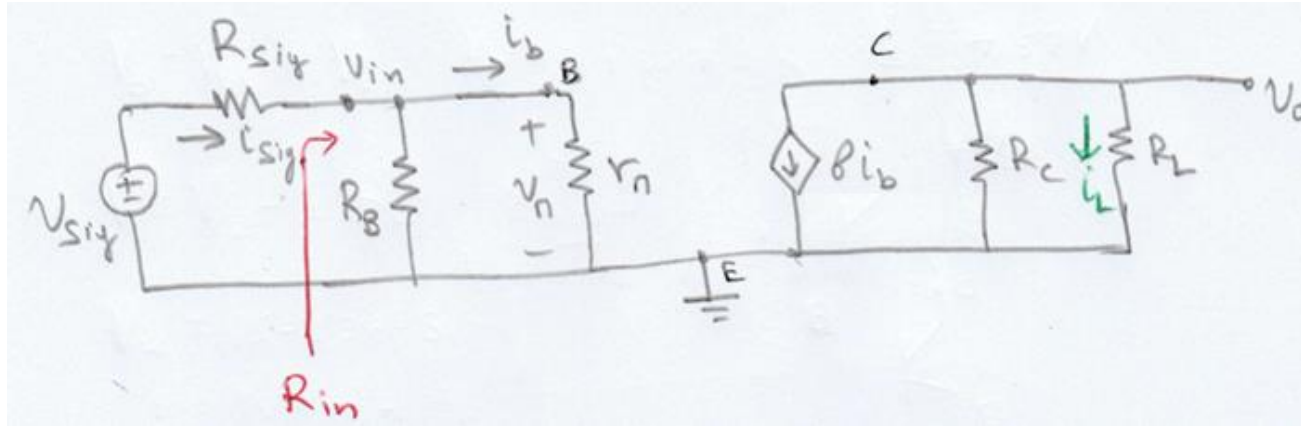
$$R_{in} \equiv \frac{v_{in}}{i_{sig}}$$

$$v_{in} = v_n = (R_B // r_n) i_{sig}$$

$$\Rightarrow R_{in} = 33,3 // 1,953 \Rightarrow R_{in} = \frac{65,03}{35,25} \Rightarrow R_{in} = 1,84 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_{in} = R_B // r_n$$

Λύση [A8: 1/2]



Για το κέρδος τάσης v_o/v_{sig} έχουμε:

$$v_o = i_L R_L$$

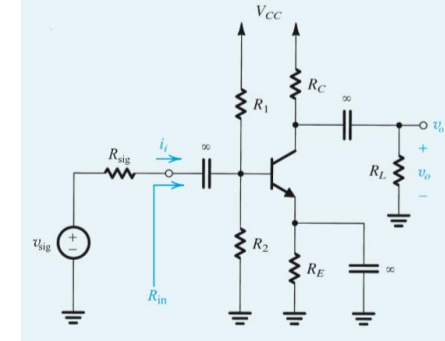
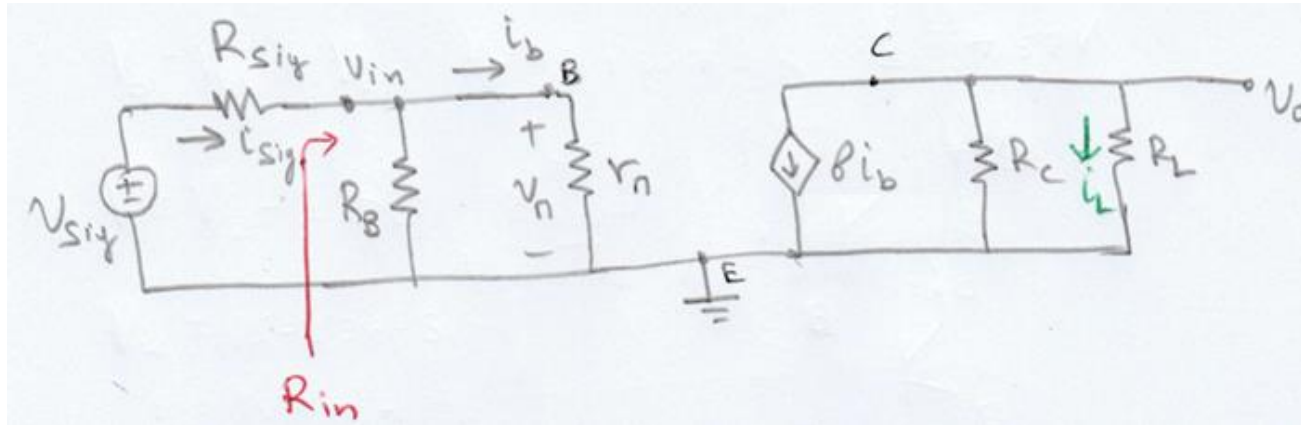
$$i_L = -\beta i_b \frac{R_C}{R_C + R_L}$$

$$i_b = \frac{v_\pi}{r_\pi}$$

$$v_\pi = \frac{R_B \parallel r_\pi}{R_{sig} + R_B \parallel r_\pi} v_{sig}$$

$$\Rightarrow v_o = -\beta \frac{R_C R_L}{R_C + R_L} \frac{1}{r_\pi} \frac{R_B \parallel r_\pi}{R_{sig} + R_B \parallel r_\pi} v_{sig}$$

Λύση [A8: 1/2]



$$R_B = R_1 \parallel R_2$$

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi$$

$$\Rightarrow A_v = \frac{v_o}{v_{sig}} = - \frac{\beta}{r_\pi} (R_C \parallel R_L) \cdot \frac{R_B \parallel r_\pi}{R_{sig} + R_B \parallel r_\pi}$$

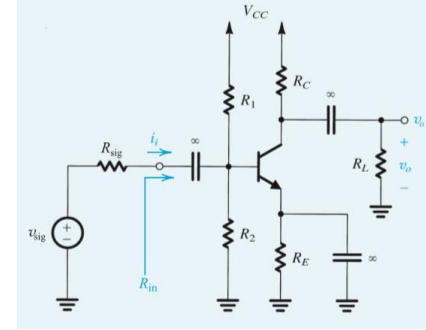
$$\Rightarrow A_v = \frac{v_o}{v_{sig}} = - \frac{\beta}{r_\pi} (R_C \parallel R_L) \cdot \frac{R_{in}}{R_{sig} + R_{in}}$$

Λύση [A8: 1/2]

Αν παίρνουμε το $g_m v_n$ αντί του βίβ θα βρούμε:

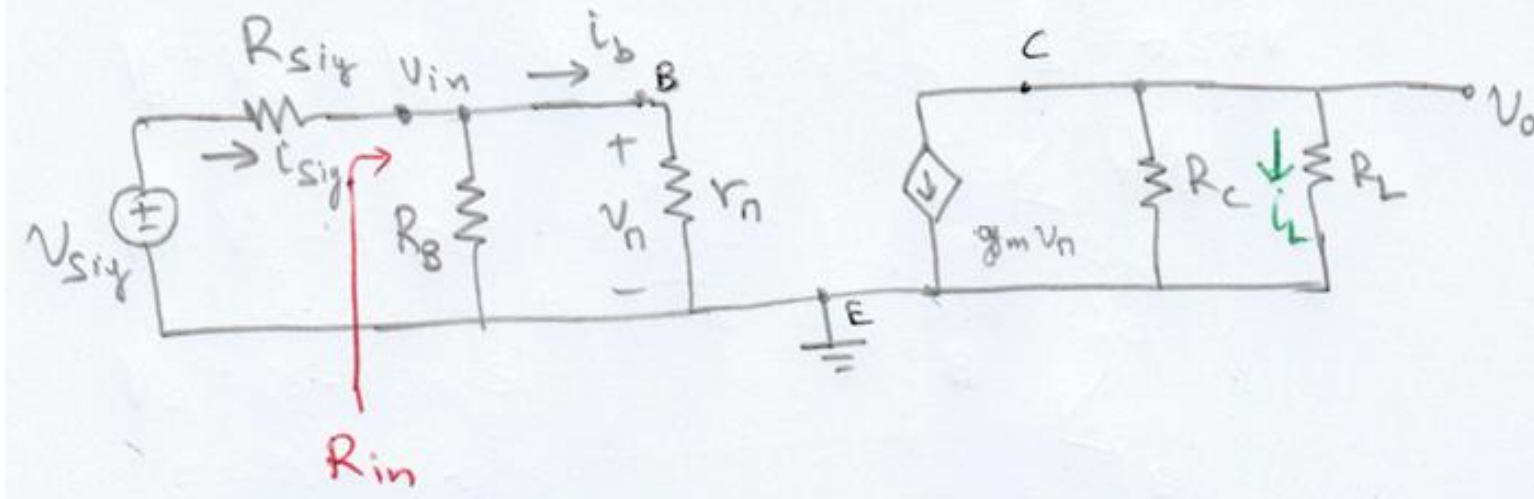
$$A_v = \frac{v_o}{v_{sig}} = -g_m (R_C \parallel R_L) \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}}$$

Πράγματι ισχύει $\frac{\partial}{\partial v_n} = g_m$

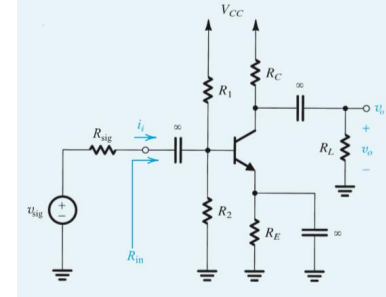
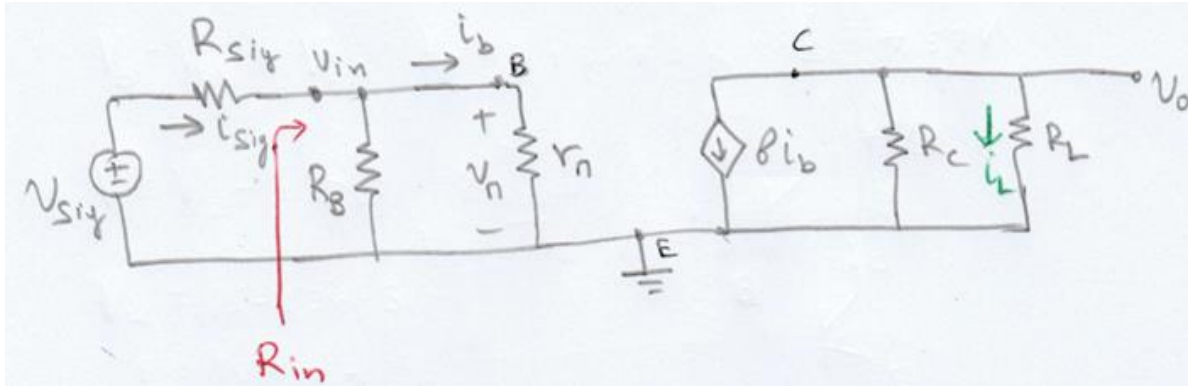


$$R_B = R_1 \parallel R_2$$

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi}$$



Λύση [A8: 1/2]



Αν προσομοιάσουμε το κύκλωμα πείρατος $A_I = \frac{i_L}{i_{sig}}$ θα είχαμε:

$$\left. \begin{aligned} i_L &= \frac{R_C}{R_C + R_L} (-\beta i_b) \\ i_b &= \frac{R_B}{R_B + r_{\pi}} i_{sig} \end{aligned} \right\} \Rightarrow i_L = -\beta \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_B}{R_B + r_{\pi}} i_{sig}$$

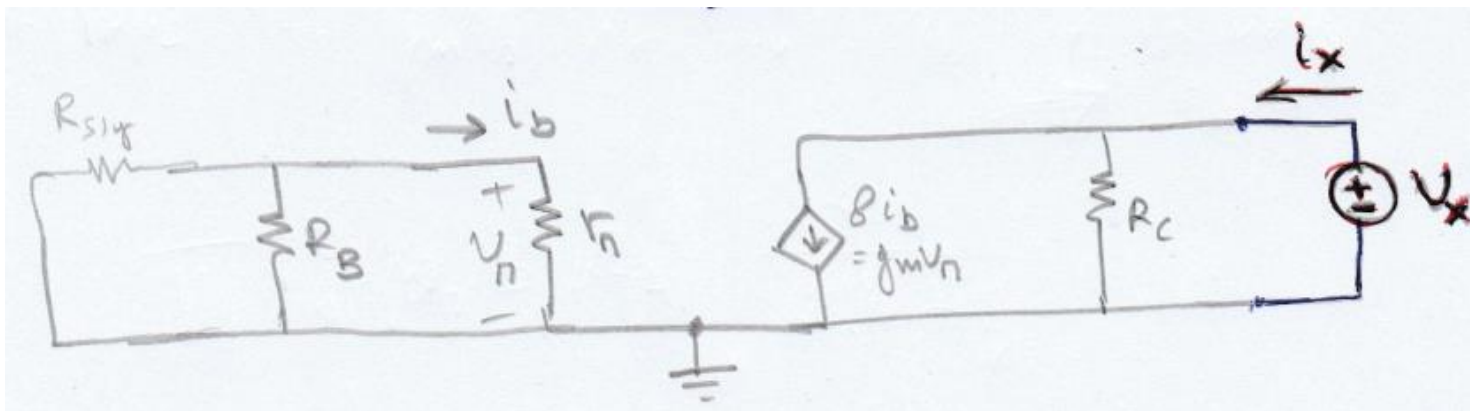
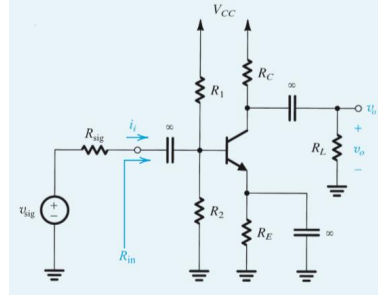
$$\Rightarrow A_I = \frac{i_L}{i_{sig}} = -\beta \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \frac{R_B}{R_B + r_{\pi}}$$

$$\Rightarrow A_I = -100 \cdot \frac{5}{5+10} \cdot \frac{3,33}{3,33+1,95} = -100 \cdot 0,33 \cdot 0,63 \Rightarrow A_I = -20,8 \text{ A/A}$$

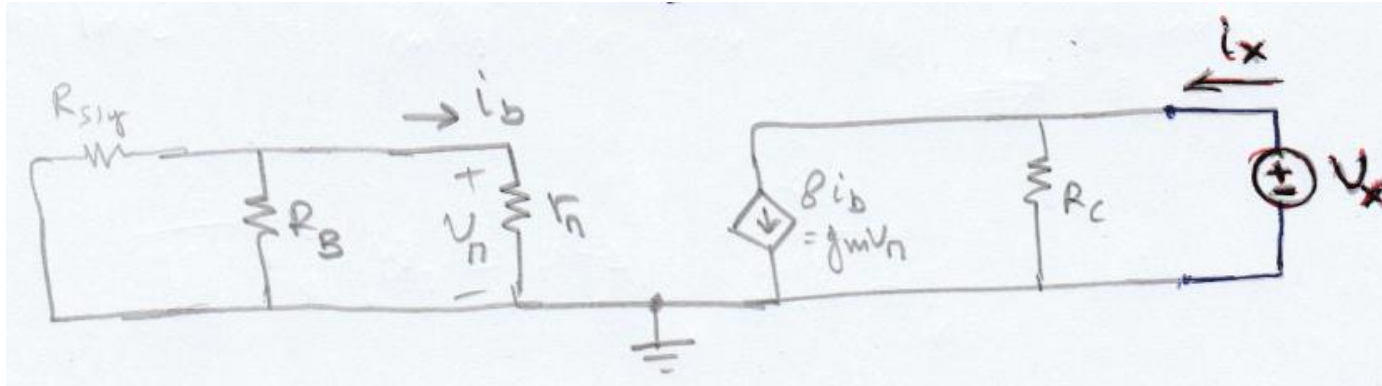
Λύση [A8: 1/2]

Για τον υπολογισμό της αντίστασης εξόδου R_{out} μηδενίζουμε την πηγή τάσης ($V_{sig}=0$)
 ανοιχτοκυκλώνουμε το φορτίο ($R_L \rightarrow \infty$)
 και θέτουμε στην έξοδο δοκιμαστική πηγή τάσης V_x
 η οποία δίνει ρεύμα i_x .

$$R_{out} \equiv \frac{V_x}{i_x} \bigg|_{\substack{V_{sig}=0 \\ R_L \rightarrow \infty}}$$

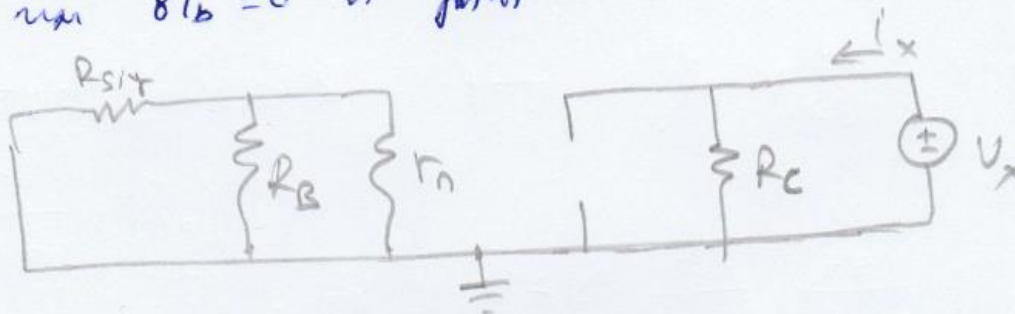


Λύση [A7: 1/2]



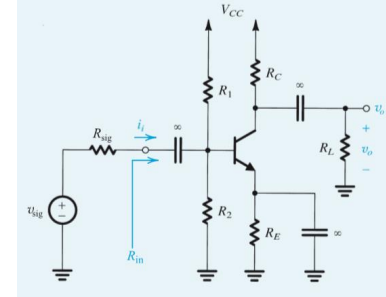
$$v_{sig} = 0 \Rightarrow i_b = 0, v_{\pi} = 0$$

$$\text{Αρα και } \beta i_b = 0 \text{ ή } g_m v_{\pi} = 0$$



$$\text{Οπότε } v_x = i_x \cdot R_C \Rightarrow \frac{v_x}{i_x} = R_C$$

$$\text{Διούτιν } R_{out} = R_C \rightarrow R_{out} = 5 \text{ k}\Omega$$



Λύση [A8: 3/6]

«Με μια ματιά»

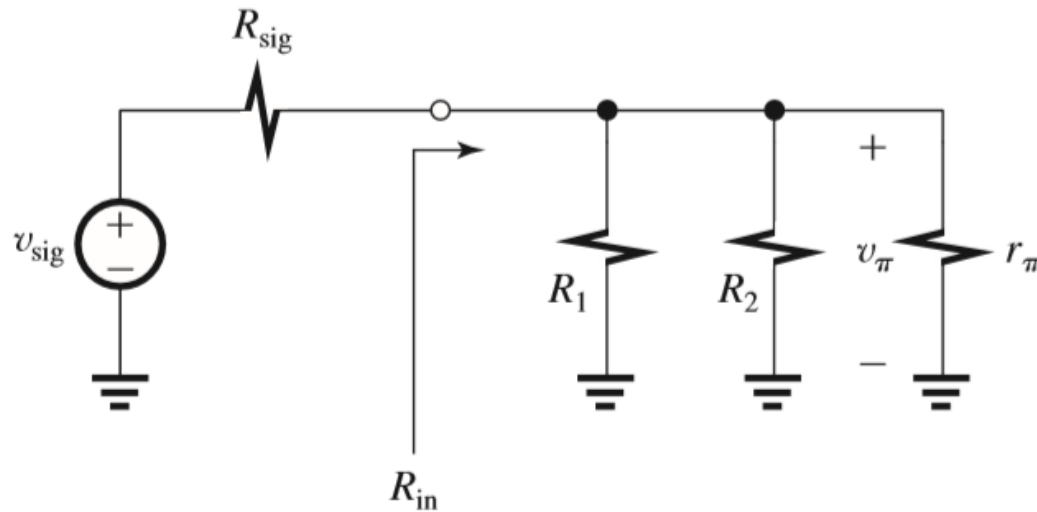
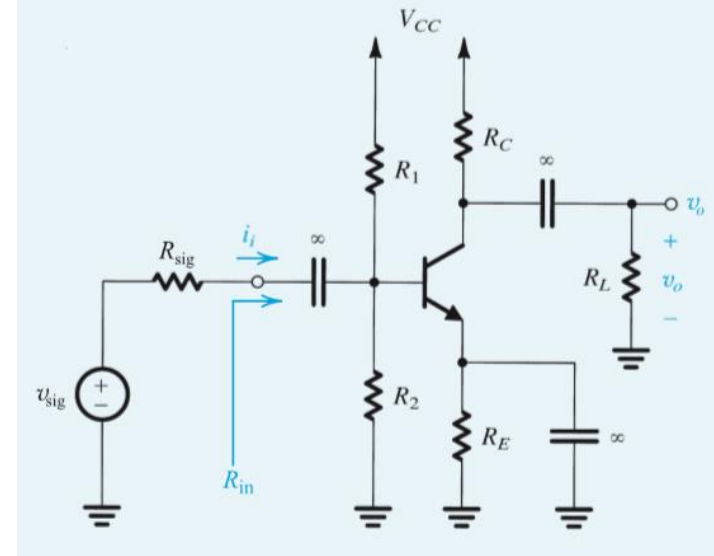
$$V_{BB} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_B = R_1 \parallel R_2$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

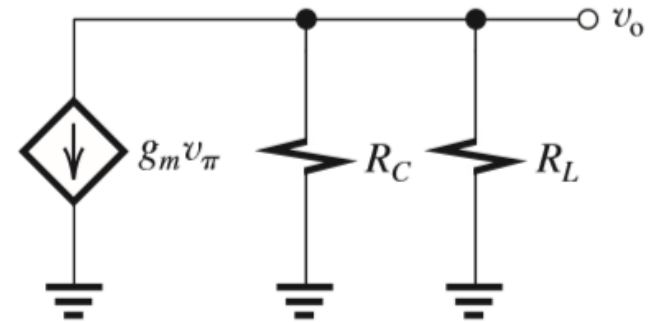
$$V_B = I_E R_E + V_{BE}$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta + 1}}$$



$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi}$$

$$\frac{v_{\pi}}{v_{sig}} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}}$$



$$\frac{v_o}{v_{\pi}} = -g_m(R_C \parallel R_L)$$

Λύση [A8: 3/6]

«Αν υπήρχε και φαινόμενο Early (r_o)»

