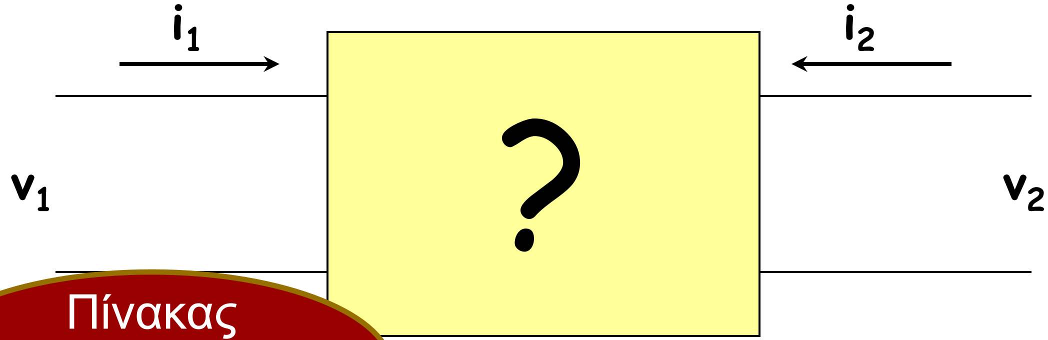
Υβριδικό Ισοδύναμο Μοντέλο transistor BJT & ενισχυτές

1

Ηλεκτρονική
Γ' Τάξη /Β' εξάμηνο
Επίκ. Καθηγήτρια Ε. Καραγιάννη

Ισοδύναμα Κυκλώματα



Πίνακας σύνθετων αντιστάσεων

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

Πίνακας σύνθετων αγωγιμοτήτων

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_2 \\ -i_2 \end{bmatrix}$$

Εύκολος τρόπος απεικόνισης για δίκτυα που συνδέονται σε σειρά

Υβριδικές Παράμετροι

Το υβριδικό ισοδύναμο κύκλωμα περιγράφει την **τάση εισόδου και το ρεύμα εξόδου ως εξαρτημένες μεταβλητές**. Αυτές εξαρτώνται από το ρεύμα εισόδου και την τάση εξόδου (ανεξάρτητες μεταβλητές). Ονομάζεται υβριδικό επειδή οι h-παράμετροι έχουν διαφορετικές διαστάσεις. Η h_{11} διαστάσεις αντίστασης. Η h_{12} είναι καθαρός αριθμός. Η h_{21} είναι καθαρός αριθμός. Η h_{22} έχει διαστάσεις αγωγιμότητας.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} v_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot v_2 \, (1) \\ i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot v_2 \, (2) \end{cases}$$

Επομένως, για να σχεδιάσουμε το υβριδικό ισοδύναμο κύκλωμα, πρέπει στην **είσοδο** (εξίσωση 1) να τοποθετήσουμε έναν **διαιρέτη τάσης της v_1** σε $h_{11}i_1$ και $h_{12}v_2$. Η πρώτη τάση ($h_{11}i_1$) εφαρμόζεται πάνω σε μία αντίσταση h_{11} η οποία διαρρέεται από ρεύμα i_1 ενώ η δεύτερη τάση $h_{12}v_2$ φαίνεται να είναι μία εξαρτημένη πηγή τάσης από την v_2 (η οποία πολλαπλασιάζεται με τον παράγοντα h_{12}).

Με όμοιο τρόπο σκεφτόμαστε ότι στην **έξοδο** πρέπει να τοποθετήσουμε έναν **διαιρέτη ρεύματος του ρεύματος εξόδου i_2** σε δύο ρεύματα: Το $h_{21}i_1$ το οποίο είναι μία εξαρτημένη πηγή ρεύματος του i_2 από το i_1 και το $h_{22}v_2$ το οποίο είναι ένα ρεύμα που διαρρέει μια αντίσταση $\frac{1}{h_{22}}$

Υβριδικές Παράμετροι

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} v_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot v_2 \,(1) \\ i_2 = h_{21} \cdot i_1 + h_{22} \cdot v_2 \,(2) \end{cases}$$

Προκειμένου να μετρήσουμε τις h_{11} και h_{12} παραγωγίζουμε την εξίσωση (1) ως προς i_1 και v_2 αντίστοιχα:

Παρόμοια αποτελέσματα για τις μετρήσεις των h_{21} και h_{22} θα προκύψουν αν παραγωγίσουμε την εξίσωση (2) ως προς i_1 και v_2 αντίστοιχα:

$$h_{11} = \left.\frac{dv_1}{di_1}\right|_{v_2=\sigma\tau\alpha\theta\varepsilon\rho\acute{o}} \qquad h_{12} = \left.\frac{dv_1}{dv_2}\right|_{i_1=\sigma\tau\alpha\theta\varepsilon\rho\acute{o}}$$

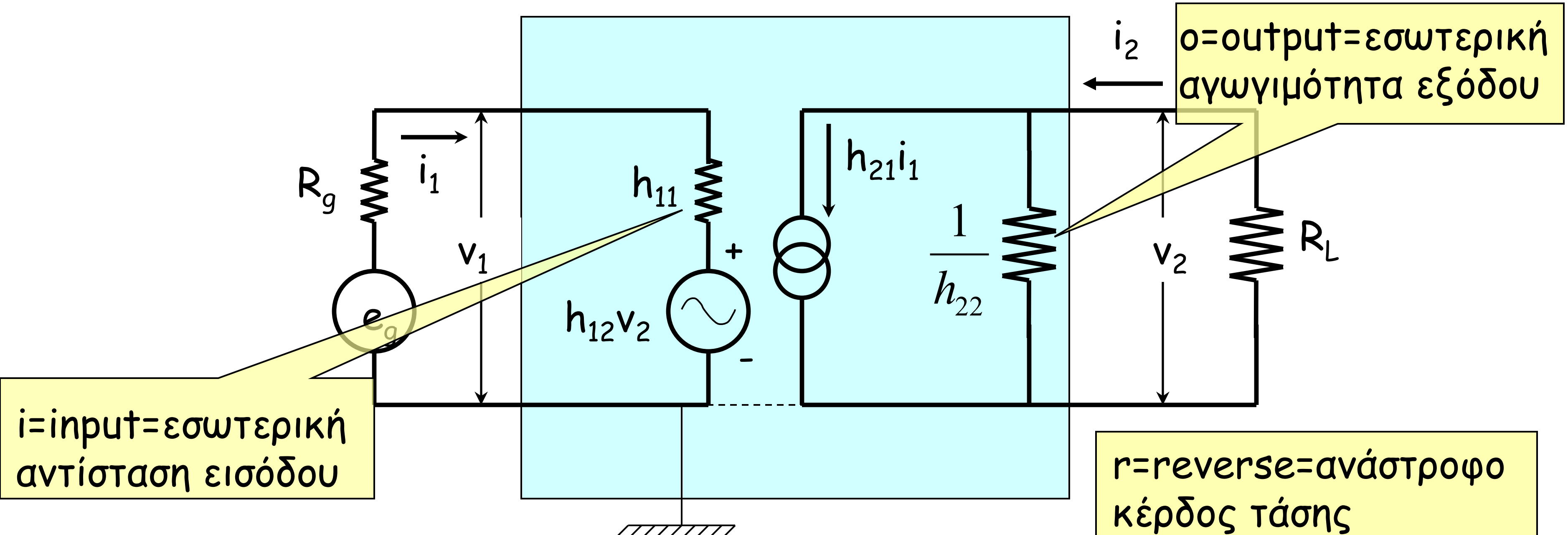
$$h_{21} = \left.\frac{di_2}{di_1}\right|_{v_2=\sigma\tau\alpha\theta\varepsilon\rho\acute{o}} \qquad h_{22} = \left.\frac{di_2}{dv_2}\right|_{i_1=\sigma\tau\alpha\theta\varepsilon\rho\acute{o}}$$

Μία απλοποιημένη έκφραση των 4 προηγούμενων σχέσεων θα δώσει σε απλοποιημένη μορφή τους ορισμούς των υβριδικών παραμέτρων:

$$h_{11} = \left.\frac{v_1}{i_1}\right|_{v_2=0} \qquad h_{12} = \left.\frac{v_1}{v_2}\right|_{i_1=0}$$

$$h_{21} = \left.\frac{i_2}{i_1}\right|_{v_2=0} \qquad h_{22} = \left.\frac{i_2}{v_2}\right|_{i_1=0}$$

Υβριδικό Ισοδύναμο Κύκλωμα



$$\begin{bmatrix} v_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_i & h_r \\ h_f & h_o \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

f=forward=κέρδος ρεύματος

Υβριδικό Πρότυπο

Αντίσταση

$$h_{11} = \left.\frac{v_1}{i_1}\right|_{v_2=0}$$

$$h_{12} = \left.\frac{v_1}{v_2}\right|_{i_1=0}$$

Ανάστροφη ενίσχυση τάσης ανοιχτού κυκλώματος

Κέρδος ρεύματος βραχυκύκλωσης

$$h_{21} = \left.\frac{i_2}{i_1}\right|_{v_2=0}$$

$$h_{22} = \left.\frac{i_2}{v_2}\right|_{i_1=0}$$

Αγωγιμότητα

Το υβριδικό πρότυπο εφαρμόζεται με επιτυχία στη συνδεσμολογία BJT κοινής βάσης και κοινού εκπομπού

Γενικευμένο Υβριδικό Κύκλωμα

Νόμος Ohm $$v_2 = -i_2 \cdot R_L \qquad (1)$$

Νόμος Ρευμάτων $$i_2 = h_{21} \cdot i_1 + \frac{v_2}{1/h_{22}} \qquad (2)$$

Νόμος Τάσεων $$v_1 = h_{11} \cdot i_1 + h_{12} \cdot v_2 \qquad (3)$$

Από (2) διαιρώντας με i_1 $$\frac{i_2}{i_1} = h_{21} + h_{22}\frac{v_2}{i_1}$$

Χρησιμοποιώντας την (1) $$\frac{i_2}{i_1} = h_{21} - h_{22}\frac{i_2}{i_1}R_L$$

Κέρδος Ρεύματος A_I

$$\boxed{\frac{i_2}{i_1} = \frac{h_{21}}{1 + h_{22}R_L}} \qquad (4)$$

Διαιρώντας την (3) με την (1) και χρησιμοποιώντας την (1) και την (4)

$$\frac{v_1}{v_2} = h_{12} - \frac{h_{11}(1 + h_{22}R_L)}{R_L h_{21}}$$

Ομοίως, προκύπτουν: Αντίσταση Εισόδου και Αντίσταση Εξόδου

$$\boxed{R_i = \frac{v_1}{i_1} = \frac{h_{11} + \Delta h \cdot R_L}{1 + h_{22} \cdot R_L}}$$

$$\boxed{R_o = \frac{v_2}{i_2} = \frac{R_g + h_{11}}{\Delta h + h_{22}R_g}}$$

ΠΡΟΣΟΧΗ: Στον υπολογισμό της **αντίστασης εξόδου** έχουμε ανοικτοκυκλωμένη την έξοδο $R_L \to \infty$ και βραχυκυκλώνουμε την πηγή εισόδου (V_g=0). Οι εξισώσεις (1) και (3) δεν ισχύουν!

Θέτοντας $$\Delta h = h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21}$$

Κέρδος Τάσης A_V

$$\boxed{\frac{v_2}{v_1} = -\frac{h_{21}R_L}{h_{11} + \Delta h \cdot R_L}}$$

Υπολογισμός Σύνθετης Αντίστασης Εισόδου, Κέρδους Ρεύματος και Ανάστροφου Κέρδους Τάσης

$$v_2 = -i_2 \cdot R_L \qquad (1)$$

$$i_2 = h_f \cdot i_1 + h_o \cdot v_2 \qquad (2)$$

$$v_1 = h_i \cdot i_1 + h_r \cdot v_2 \qquad (3)$$

$$\Delta h = h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21}$$

Από (2) $\dfrac{i_2}{i_1} = h_f + h_o \dfrac{v_2}{i_1}$

Αντικαθιστώ την (1) $\dfrac{i_2}{i_1} = h_f - h_o \dfrac{i_2}{i_1} R_L$

$$A_i = \frac{i_2}{i_1} = \frac{h_f}{1 + h_o R_L}$$

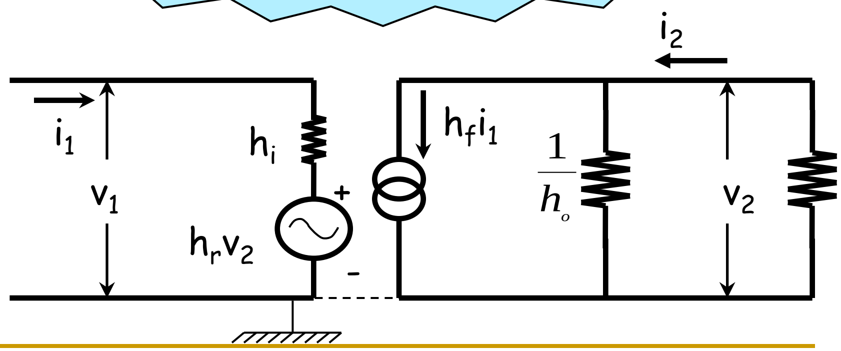
$$R_i = \frac{v_1}{i_1} = h_i + h_r \cdot \frac{v_2}{i_1} = h_i - h_r \cdot \frac{i_2 \cdot R_L}{i_1}$$

$$R_i = h_i - \frac{h_r \cdot h_f \cdot R_L}{1 + h_o \cdot R_L} = \frac{h_i + h_i \cdot h_o \cdot R_L - h_r \cdot h_f \cdot R_L}{1 + h_o \cdot R_L}$$

$$R_i = \frac{h_i + \Delta h \cdot R_L}{1 + h_o \cdot R_L}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = h_r - \frac{h_i(1 + h_o R_L)}{R_L h_f}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = -\frac{h_f R_L}{h_i + \Delta h \cdot R_L}$$



Υπολογισμός σύνθετης αντίστασης εξόδου

$$v_g = 0 \qquad (1)$$

$$i_2 = h_f \cdot i_1 + h_o \cdot v_2 \qquad (2)$$

$$v_g = (R_g \cdot h_i) i_1 + h_r \cdot v_2 \qquad (3)$$

$$0 = (R_g + h_i) i_1 + h_r \cdot v_2 \Rightarrow i_1 = -\frac{h_r \cdot v_2}{R_g + h_i}$$

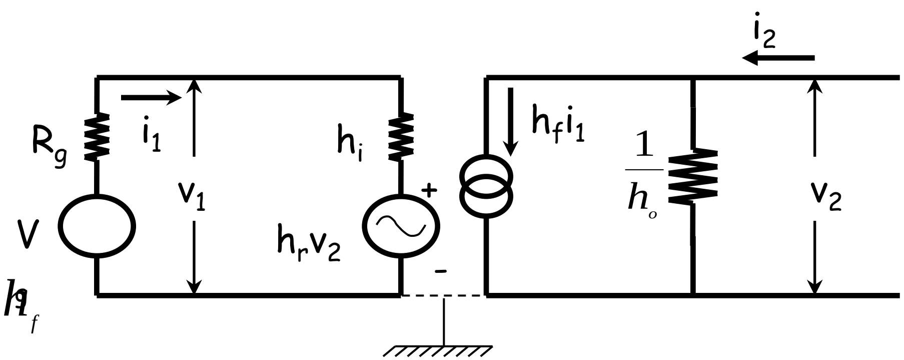
διαιρώ i_2

$$i_2 = h_f \cdot i_1 + h_o \cdot v_2 \Rightarrow i_2 = -h_f \cdot \frac{h_r \cdot v_2}{R_g + h_i} + h_o \cdot v_2 \Rightarrow 1 = \left(-\frac{h_f \cdot h_r}{R_g + h_i} + h_o\right) \cdot \frac{v_2}{i_2} \Rightarrow$$

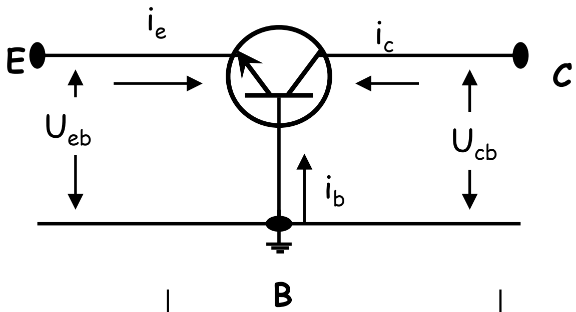
$$\frac{1}{\dfrac{h_o h_i - h_r \cdot h_f + h_o R_{g\,f}}{R_g + h_i}} = \frac{R_g + h_i}{h_o h_i - h_r \cdot h_f + h_o R_g} \Rightarrow \boxed{R_o = \frac{v_2}{i_2} = \frac{R_g + h_i}{\Delta h + h_o R_g}}$$

Κατά τη δημιουργία του ισοδύναμου κυκλώματος μικρού σήματος, οι πηγές σταθερής τάσης και οι πυκνωτές αντιμετωπίζονται ως **βραχυκυκλώματα** ενώ οι πηγές σταθερού ρεύματος ως ανοικτοκυκλώματα.

$$\Delta h = h_i h_o - h_r h_f$$



Συνδεσμολογία BJT Κοινής Βάσης



$$A_V = \frac{v_{cb}}{v_{eb}} = -\frac{h_{fb} R_L}{h_{ib} + h_{ob} \cdot R_L}$$

$$h_{ib} = \left.\frac{v_{eb}}{i_c}\right|_{v_{cb}=0} \qquad h_{rb} = \left.\frac{v_{eb}}{v_{cb}}\right|_{i_e=0}$$

$$h_{fb} = \left.\frac{i_c}{i_e}\right|_{v_{cb}=0} \qquad h_{ob} = \left.\frac{i_c}{v_{cb}}\right|_{i_c=0}$$

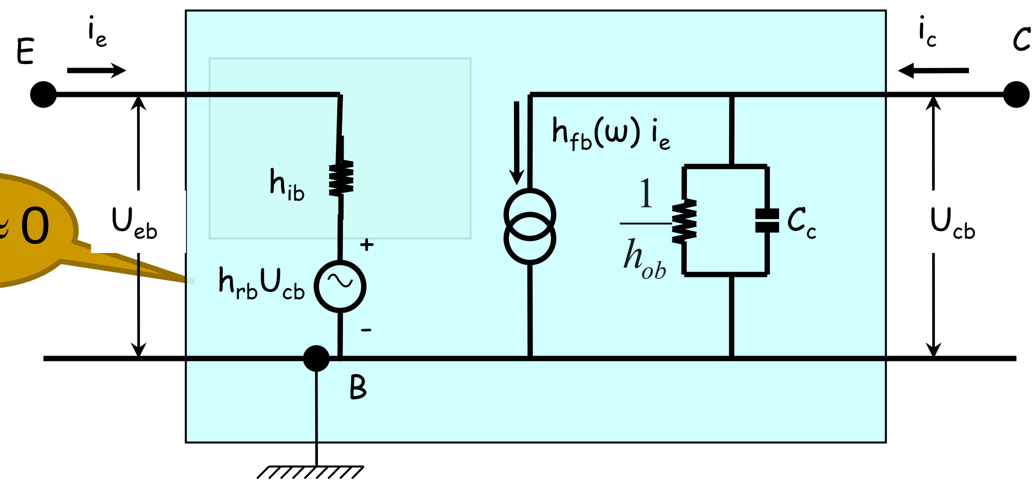
Στο πρότυπο χαμηλών συχνοτήτων δεν λαμβάνουμε υπ' όψη μας τους πυκνωτές

$$v_{cb} = -i_c \cdot R_L$$

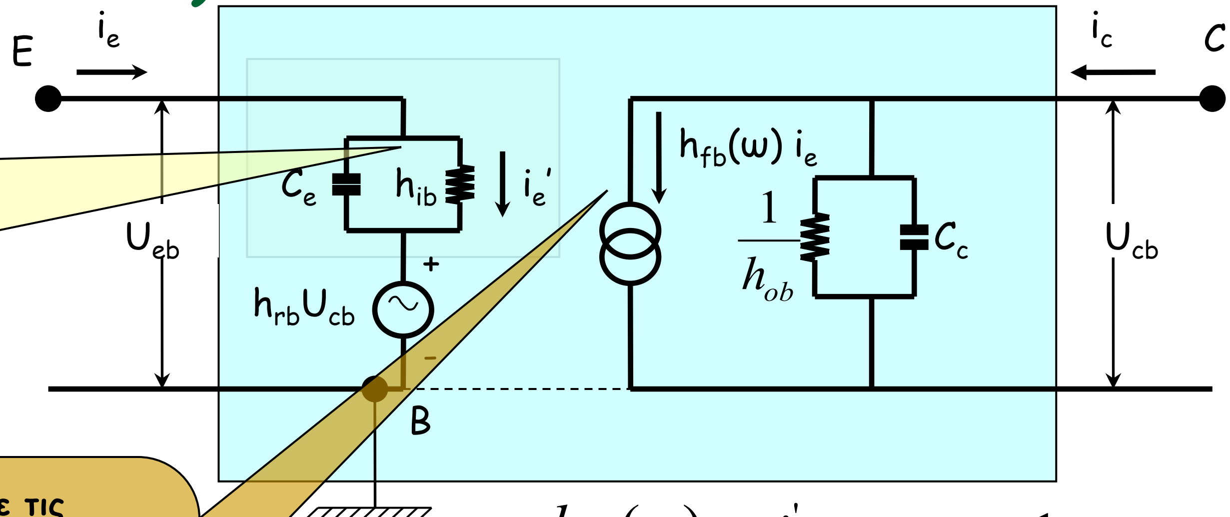
$$i_c = h_{fb} \cdot i_e + \frac{v_{cb}}{1/h_{ob}}$$

$$v_{eb} = h_{ib} \cdot i_e + h_{rb} \cdot v_{cb}$$

$$h_{rb} \approx 0$$



Ισοδύναμο ενισχυτή Κοινής Βάσης
(επίδραση πυκνωτών)



Διαιρέτης ρεύματος:

$$\frac{i_e'}{i_e} = \frac{\frac{1}{h_{ib}}}{\frac{1}{h_{ib}} + j\omega \cdot C_e}$$

Αν αγνοήσουμε τις χωρητικότητες τότε το h_{fb} δεν εξαρτάται από το ω

$$\left.\begin{aligned} h_{fb} &= \frac{i_c}{i_e'} \\ h_{fb}(\omega) &= \frac{i_c}{i_e} \end{aligned}\right\} \Rightarrow h_{fb}(\omega)\cdot i_e = h_{fb}\cdot i_e'$$

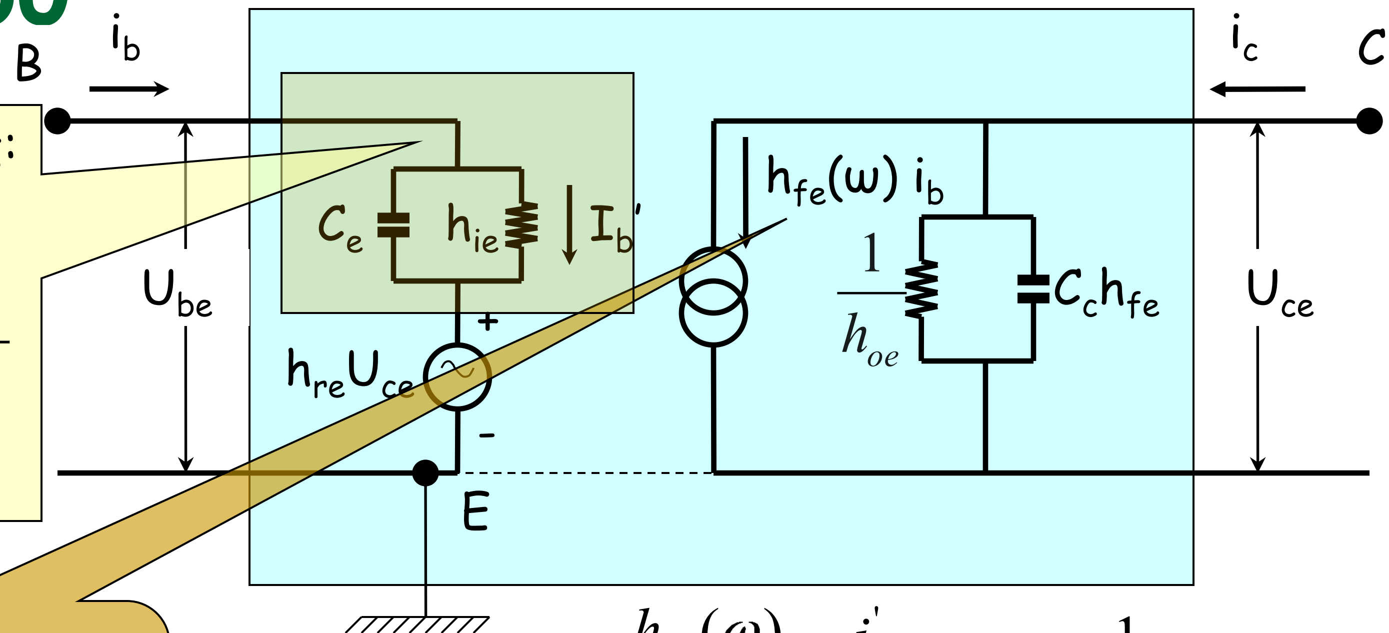
$$\frac{h_{fb}(\omega)}{h_{fb}} = \frac{i_e'}{i_e} = \frac{1}{1 + j\omega \cdot h_{ib} \cdot C_e}$$

$$h_{fb}(\omega) = \frac{h_{fb}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_\alpha}}$$

Συχνότητα αποκοπής

$$\omega_\alpha = \frac{1}{C_e \cdot h_{ib}}$$

Ισοδύναμο ενισχυτή Κοινού Εκπομπού



Διαιρέτης ρεύματος:

$$\frac{i_b'}{i_b} = \frac{\frac{1}{h_{ie}}}{\frac{1}{h_{ie}} + j\omega \cdot C_e}$$

Αν αγνοήσουμε τις χωρητικότητες τότε το h_{fe} δεν εξαρτάται από το ω

$$h_{fe}(\omega) \cdot i_b = h_{fe} \cdot i_b'$$

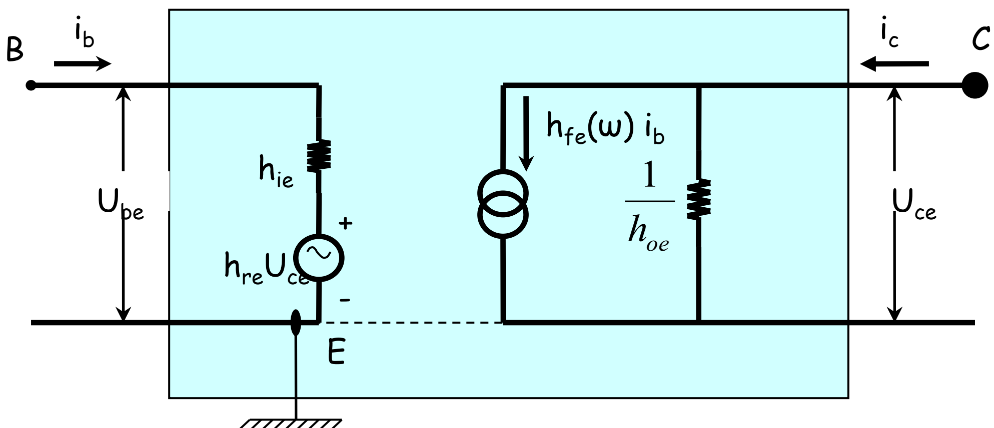
$$\frac{h_{fe}(\omega)}{h_{fe}} = \frac{i_b'}{i_b} = \frac{1}{1 + j\omega \cdot h_{ie} \cdot C_e}$$

$$\omega_\beta = \frac{1}{C_e \cdot h_{ie}}$$

$$h_{fe}(\omega) = \frac{h_{fe}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_\beta}}$$

Ισοδύναμο κοινού εκπομπού (χαμηλών συχνοτήτων)

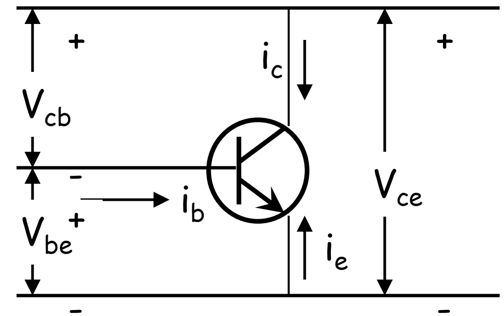
Μετατροπές h παραμέτρων



$$v_{ce} = -i_c \cdot R_L$$

$$i_c = h_{fe} \cdot i_b + h_{oe} \cdot v_{ce}$$

$$v_{be} = h_{ie} \cdot i_b + h_{re} \cdot v_{ce}$$



$$i_c + i_b + i_e = 0 \quad (1)$$

$$v_{ce} = v_{cb} + v_{be} \quad (2)$$

$$v_{be} = h_{ie} \cdot i_b + h_{re} \cdot v_{ce} \quad (3)$$

$$i_c = h_{fe} \cdot i_b + h_{oe} \cdot v_{ce} \quad (4)$$

Αντικαθιστώ στις (3) και (4) το Ib και το Vce από τις (1) και (2) αντίστοιχα. Στις εξισώσεις που προκύπτουν κάνω απαλειφή του Vbe και θεωρώντας hre<<1 και hoehie<<1 προκύπτει η σχέση

$$i_c = -\frac{h_{fe}}{1+h_{fe}} \cdot i_e + \frac{h_{oe}}{1+h_{fe}} \cdot v_{cb}$$

$$i_c = h_{fb} \cdot i_e + h_{ob} \cdot v_{cb}$$

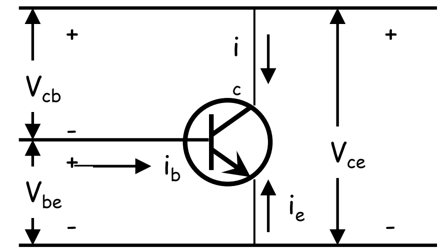
Μετατροπές h παραμέτρων

$$i_c + i_b + i_e = 0 \quad (1)$$

$$v_{ce} = v_{cb} + v_{be} \quad (2)$$

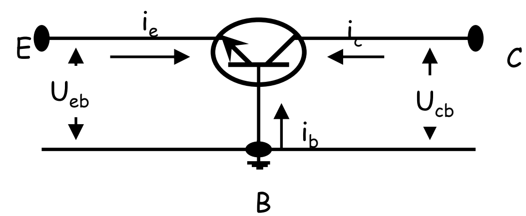
$$v_{be} = h_{ie} \cdot i_b + h_{re} \cdot v_{ce} \quad (3)$$

$$i_c = h_{fe} \cdot i_b + h_{oe} \cdot v_{ce} \quad (4)$$



$$v_{eb} = h_{ib} \cdot i_e + h_{rb} \cdot v_{cb} \quad (5)$$

$$i_c = h_{fb} \cdot i_e + h_{ob} \cdot v_{cb} \quad (6)$$



Από (3) και (4) προκύπτουν αντίστοιχα:

$$v_{be} = -h_{ie} \cdot (i_c + i_e) + h_{re} \cdot (v_{cb} + v_{be}) \Rightarrow$$

$$v_{be}(1 - h_{re}) = -h_{ie} \cdot i_c - h_{ie} i_e + h_{re} \cdot v_{cb} \Rightarrow \quad (7)$$

$$v_{be} = \frac{h_{ie} \cdot i_c + h_{ie} i_e - h_{re} \cdot v_{cb}}{h_{re} - 1} \Rightarrow$$

$$i_c = -h_{fe} \cdot i_e + h_{oe} \cdot v_{cb} - h_{fe} \cdot i_c + h_{oe} \cdot v_{be} \Rightarrow$$

$$v_{be} = \frac{i_c (1 + h_{fe}) + h_{fe} \cdot i_e - h_{oe} \cdot v_{cb}}{h_{oe}} \quad (8)$$

$$h_{ie} \cong \frac{h_{ib}}{1 + h_{fb}} \qquad h_{ib} \cong \frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}}$$

$$h_{oe} \cong \frac{h_{ob}}{1 + h_{fb}} \qquad h_{ob} \cong \frac{h_{oe}}{1 + h_{fe}}$$

$$h_{re} \cong \frac{h_{ib} h_{ob}}{1 + h_{fb}} - h_{rb} \qquad h_{rb} \cong \frac{h_{ie} h_{oe}}{1 + h_{fe}} - h_{re}$$

$$h_{fe} \cong \frac{-h_{fb}}{1 + h_{fb}} \qquad h_{fb} \cong \frac{-h_{fe}}{1 + h_{fe}}$$

Εξισώνω (7) και (8):

$$\frac{h_{ie} \cdot i_c + h_{ie} i_e - h_{re} \cdot v_{cb}}{h_{re} - 1} = \frac{i_c (1 + h_{fe}) + h_{fe} \cdot i_e - h_{oe} \cdot v_{cb}}{h_{oe}} \Rightarrow$$

$$h_{oe} h_{ie} i_c + h_{ie} i_e h_{oe} - h_{re} v_{cb} h_{oe} =$$

$$i_c h_{re} + i_c h_{fe} h_{re} + h_{fe} i_e h_{re} - h_{oe} h_{re} v_{cb} - i_c - i_c h_{fe} - h_{fe} i_e + h_{oe} v_{cb} \Rightarrow$$

Μετατροπές h παραμέτρων

$$\Rightarrow \left(h_{oe}h_{ie} - h_{fe}h_{re} - h_{re} + h_{fe} + 1\right)i_c = \left(-h_{ie}h_{oe} + h_{fe}h_{re} - h_{fe}\right)i_e + \left(h_{re}h_{oe} - h_{oe}h_{re} + h_{oe}\right)v_{cb} \Rightarrow$$

$$\left[h_{oe}h_{ie} + h_{fe}\left(1 - h_{re}\right) + \left(1 - h_{re}\right)\right]i_c = \left[-h_{ie}h_{oe} + h_{fe}(1 - h_{re})\right]i_e + h_{oe}v_{cb} \Rightarrow$$

$$\left[h_{oe}h_{ie} + \left(h_{fe} + 1\right)\left(1 - h_{re}\right)\right]i_c = \left[-h_{ie}h_{oe} + h_{fe}\right]i_e + h_{oe}v_{cb} \Rightarrow$$

$$\left[h_{oe}h_{ie} + h_{fe} + 1\right]i_c = -\left[h_{ie}h_{oe} + h_{fe}\right]i_e + h_{oe}v_{cb} \Rightarrow$$

$$\left(h_{fe} + 1\right)i_c = -h_{fe}i_e + h_{oe}v_{cb} \Rightarrow$$

$$i_c = -\frac{h_{fe}}{h_{fe}+1}i_e + \frac{h_{oe}}{h_{fe}+1}v_{cb}$$

$$i_c = h_{fb}i_e + h_{ob}v_{cb}$$

$$v_{be}(1 - h_{re}) = \frac{h_{ie}h_{fe}}{h_{fe}+1}i_e - \frac{h_{ie}h_{oe}}{h_{fe}+1}v_{cb} - h_{ie}i_e + h_{re}\cdot v_{cb} \Rightarrow$$

$$v_{be}(1 - h_{re}) = \left(\frac{h_{ie}h_{fe}}{h_{fe}+1} - h_{ie}\right)i_e + \left(-\frac{h_{ie}h_{oe}}{h_{fe}+1} + h_{re}\right)v_{cb} \Rightarrow$$

$$v_{be}(1 - h_{re}) = \left(\frac{-h_{ie}}{h_{fe}+1}\right)i_e + \left(\frac{-h_{ie}h_{oe} + h_{re}h_{fe} + h_{re}}{h_{fe}+1}\right)v_{cb} \Rightarrow$$

$$v_{eb} = \left(\frac{h_{ie}}{h_{fe}+1}\right)i_e + \left(\frac{h_{ie}h_{oe}}{h_{fe}+1} - h_{re}\right)v_{cb}$$

$$v_{be} = h_{ib}i_e + h_{re}v_{cb}$$

Μετασχηματισμοί h-παραμέτρων

$$h_{ie} \cong \frac{h_{ib}}{1+h_{fb}} \qquad h_{ib} \cong \frac{h_{ie}}{1+h_{fe}}$$

$$h_{oe} \cong \frac{h_{ob}}{1+h_{fb}} \qquad h_{ob} \cong \frac{h_{oe}}{1+h_{fe}}$$

$$h_{re} \cong \frac{h_{ib}h_{ob}}{1+h_{fb}} - h_{rb} \qquad h_{rb} \cong \frac{h_{ie}h_{oe}}{1+h_{fe}} - h_{re}$$

$$h_{fe} \cong \frac{-h_{fb}}{1+h_{fb}} \qquad h_{fb} \cong \frac{-h_{fe}}{1+h_{fe}}$$

Προσεγγίσεις και Ορισμοί

Θεωρούμε $R_L \to \infty$

$$A_V = \frac{v_2}{v_1} = -\frac{h_f R_L}{h_i + \left(h_i h_o - h_r h_f\right) \cdot R_L} \cong -\frac{h_f R_L}{h_i \left(1 + h_o R_L\right)} = -\frac{h_f}{h_i \left(\frac{1}{R_L} + h_o\right)} \cong \boxed{-\frac{h_f}{h_i \cdot h_o}}$$

Αγνοείται!

Παράμετρος \ Συνδεσμολογία	Κοινού Εκπομπού	Κοινής Βάσης
h_i (Ω)	10^3	10
h_r	10^{-6}	10^{-6}
h_f	10^2	-1
h_o ($Ω^{-1}$)	10^{-4}	10^{-4}

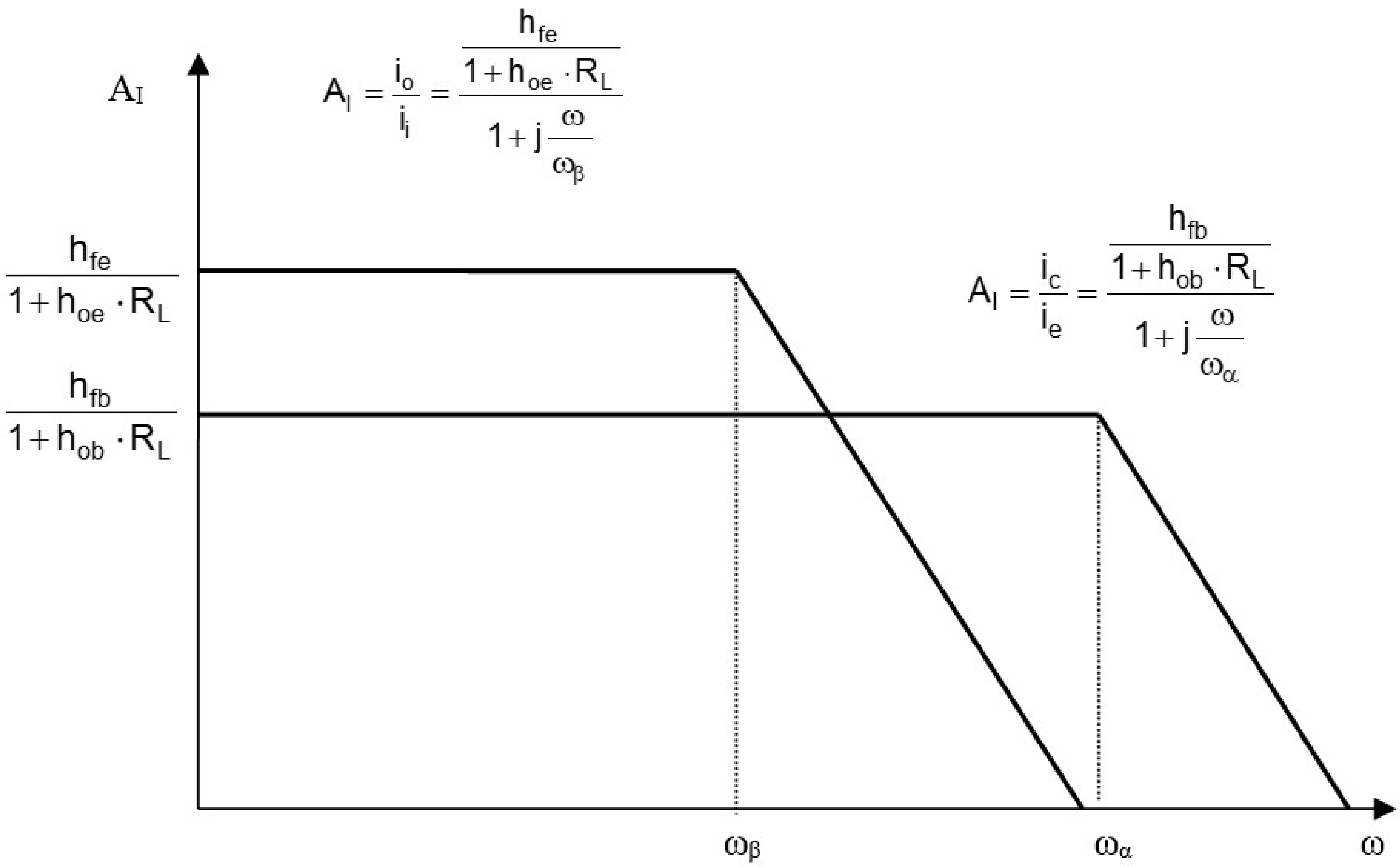
$$h_{fb} = -\frac{h_{fe}}{1 + h_{fe}} \qquad h_{ib} = \frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}}$$

$$h_{fe} = -\frac{h_{fb}}{1 + h_{fb}} \qquad h_{ie} = \frac{h_{ib}}{1 + h_{fb}}$$

Ορίζουμε τη συχνότητα μεταβάσεως (που τη δινουν οι κατασκευαστές!):

$$\boxed{\omega_T} = \omega_\alpha \cdot h_{fb} = \frac{1}{C_e \cdot h_{ib}} \cdot h_{fb} = \frac{1 + h_{fe}}{C_e \cdot h_{ie}} \cdot h_{fb} = -\frac{h_{fe}}{C_e \cdot h_{ie}} = -\omega_\beta \cdot h_{fe}$$

Απόκριση Συχνότητας Ενισχυτών

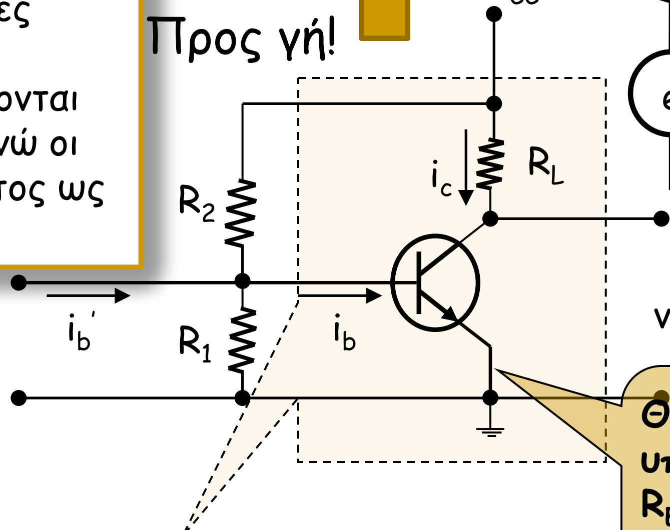


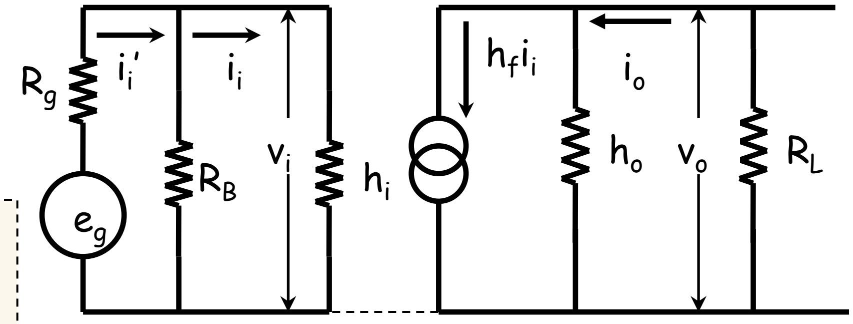
Απόκριση συχνότητας ενισχυτή κοινού εκπομπού και ενισχυτή κοινής βάσης

Ισοδύναμο κύκλωμα transistor BJT

Κατά τη δημιουργία του ισοδύναμου κυκλώματος μικρού σήματος, οι πηγές σταθερής τάσης και οι πυκνωτές αντιμετωπίζονται ως **βραχυκυκλώματα** ενώ οι πηγές σταθερού ρεύματος ως ανοικτοκυκλώματα.

Προς γή!





$$\frac{i_i'}{i_i} = \frac{\frac{1}{h_{ie}} + \frac{1}{R_B}}{\frac{1}{h_{ie}}} = \frac{h_{ie} + R_B}{R_B}$$

Θα λάβουμε υπόψη την R_E στη μελέτη ανάδρασης!

(δε λαμβάνω υπ' όψη τις R1 και R2)

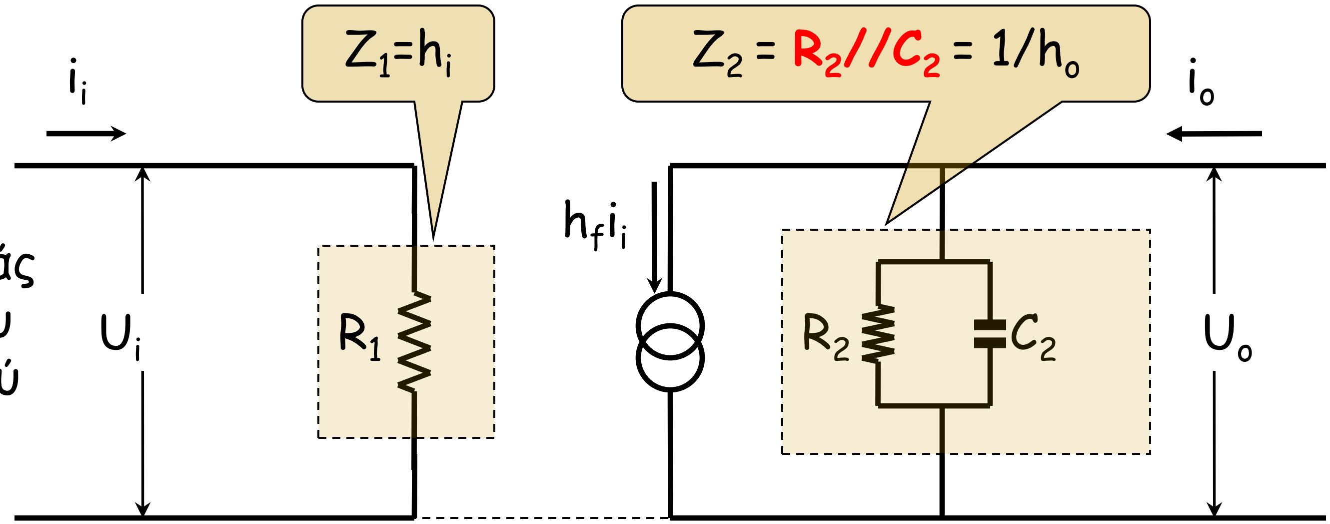
$$A_V = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{h_f R_L}{h_i (1 + h_o R_L)}$$

$$A_I = \frac{i_o}{i_i} = \frac{h_f}{1 + h_o R_L}$$

Λαμβάνουμε υπόψη την επίδραση της αντίστασης πόλωσης $R_B = R_1 // R_2$

$$\begin{cases} A_V' = \dfrac{v_o}{v_i} = -\dfrac{h_{fe} R_L}{h_{ie} (1 + h_{oe} R_L)} \\[2ex] A_I' = \dfrac{i_o}{i_i'} = \dfrac{h_{fe} R_B}{(1 + h_{oe} R_L)(R_B + h_{ie})} \end{cases}$$

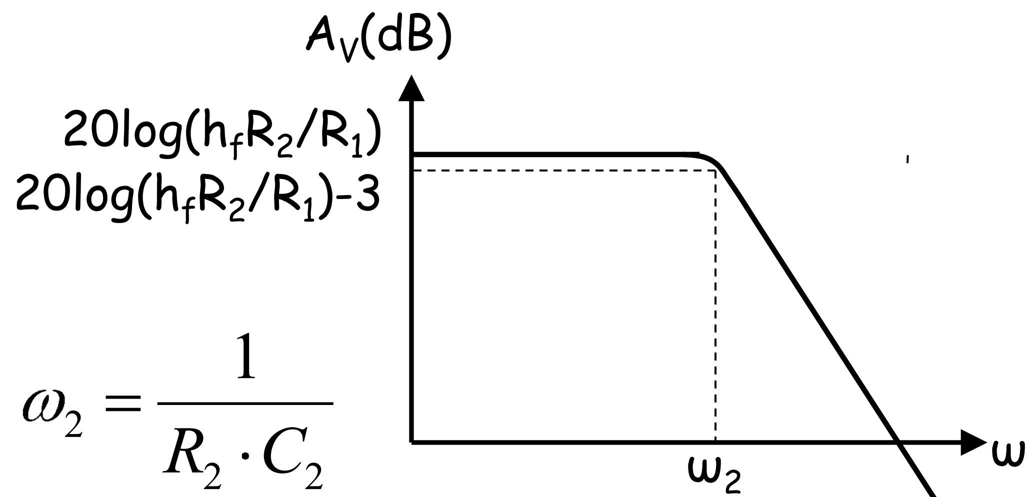
Ισοδύναμο Υψηλών Συχνοτήτων



Παρατηρούμε ότι η συνάρτηση μεταφοράς είναι ίδια με αυτή του ενεργού βαθυπερατού φίλτρου!

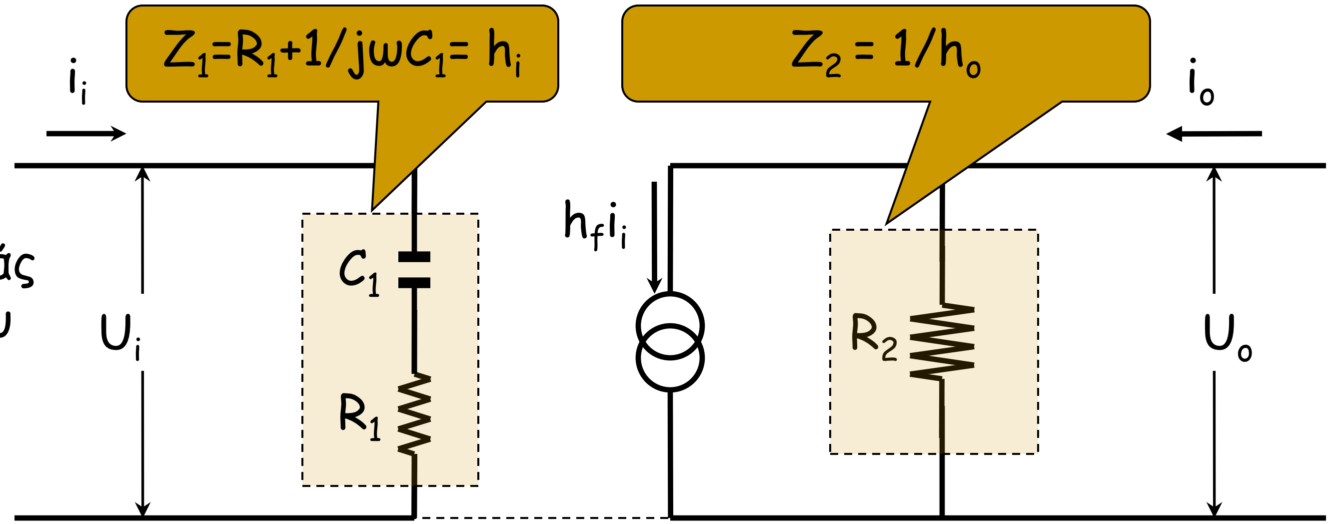
$$A_V = -\frac{h_f}{h_i \cdot h_o} = -h_f \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$A_V = -h_f \frac{\dfrac{R_2}{R_1}}{1 + j\dfrac{\omega}{\omega_2}}$$



$$\omega_2 = \frac{1}{R_2 \cdot C_2}$$

Ισοδύναμο Χαμηλών Συχνοτήτων

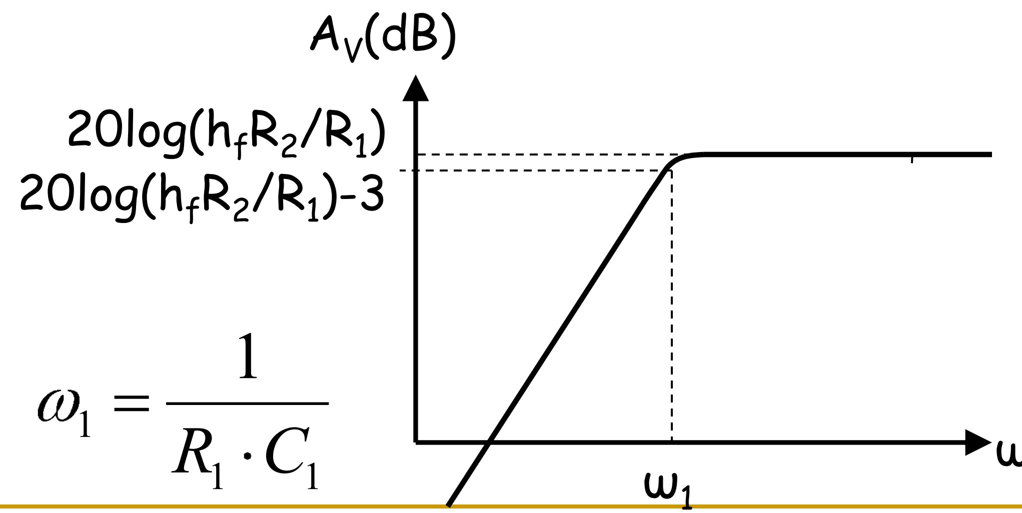


Παρατηρούμε ότι η συνάρτηση μεταφοράς είναι ίδια με αυτή του ενεργού υψιπερατού φίλτρου!

$$A_V = -\frac{h_f}{h_i \cdot h_o} = -h_f \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$\boxed{A_V = -h_f \cdot \frac{R_2}{R_1} \frac{j\frac{\omega}{\omega_1}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_1}}}$$

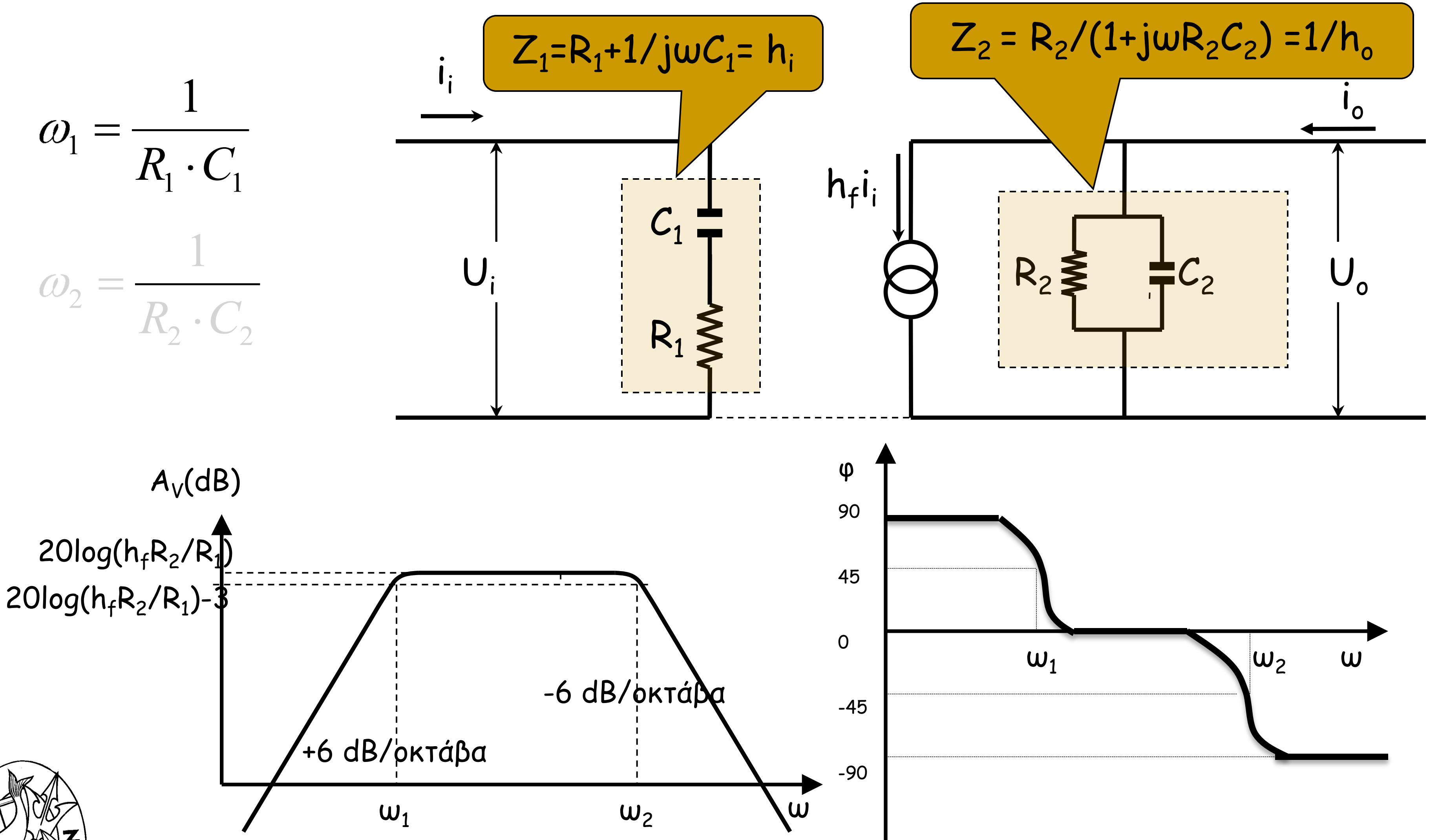
$$\omega_1 = \frac{1}{R_1 \cdot C_1}$$



Απόκριση Συχνότητας Ενισχυτή

$$\omega_1 = \frac{1}{R_1 \cdot C_1}$$

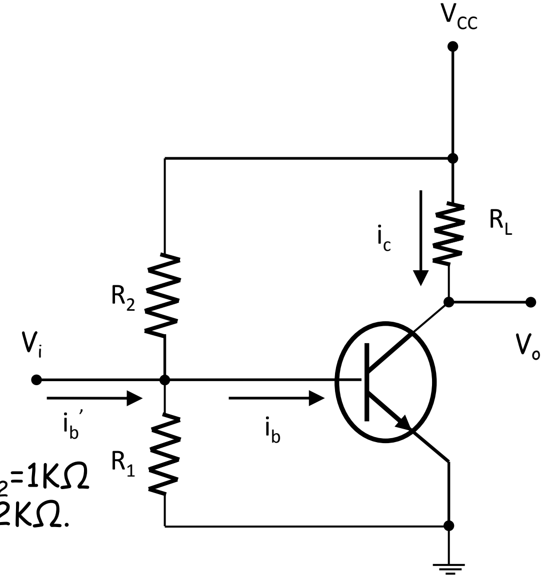
$$\omega_2 = \frac{1}{R_2 \cdot C_2}$$



Θέμα 1 για Εξάσκηση

Στο κύκλωμα του διπλανού παρουσιάζεται ένας ενισχυτής σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού που κάνει αναστροφή φάσης και δεν έχει αντίσταση εκπομπού (ανάδραση), έχει όμως αντίσταση πόλωσης στην είσοδο. Ο κατασκευαστής του transistor έδωσε τις ακόλουθες τιμές για την κατάσταση DC:

$h_{ie}=10K\Omega$
$h_{re}=10^{-9}$
$h_{fe}=100$
$h_{oe}=10^{-6}\Omega^{-1}$
Θεωρήστε ότι $R_1=R_2=1K\Omega$
$R_L=2K\Omega$.



Α) Έχει αποδειχθεί ότι το κέρδος ρεύματος για έναν ενισχυτή κοινού εκπομπού χωρίς αντιστάσεις για πόλωση της βάσης και χωρίς αντίσταση ανάδρασης στον εκπομπό, παρά μόνο με αντίσταση φορτίου στο συλλέκτη, στην κατάσταση DC (δεν λαμβάνουμε υπόψη τις εσωτερικές χωρητικότητες) δίνεται από τη σχέση:

$$A_{I,DC} = \frac{h_f}{1+h_o R_L}$$

Να σχεδιαστεί το υβριδικό ισοδύναμο για τον ενισχυτή αυτό.

Β) Να σχεδιαστεί το υβριδικό ισοδύναμο κύκλωμα για τον ενισχυτή του σχήματος σε κατάσταση DC και να βρεθεί το νέο κέρδος ρεύματος $A'_{I,DC}$

Γ) (i) Να σχεδιαστεί το υβριδικό ισοδύναμο κύκλωμα για τον ενισχυτή **χωρίς** τις αντιστάσεις πόλωσης της βάσης, σε κατάσταση AC, λαμβάνοντας υπόψη ότι η παράλληλη χωρητικότητα στην αντίσταση εισόδου του transistor είναι C_E=1,6nF ενώ η παράλληλη χωρητικότητα στην αντίσταση εξόδου $C_c h_{fe}$ είναι αδιάφορης τιμής. (ii) Να αποδειχθεί ότι το κέρδος του ενισχυτή χωρίς να λάβουμε υπόψη την αντίσταση πόλωσης, με βραχυκυκλωμένη την έξοδο στην κατάσταση AC δίνεται από τη σχέση:

$$h_{fe}(\omega) = \frac{h_{fe}}{1+j\dfrac{\omega}{\omega_\beta}}$$

(iii) Να βρεθεί το ω_β.

Δ) Λαμβάνοντας υπόψη τις αντιστάσεις πόλωσης της βάσης, να αποδειχθεί ότι το $A_{I,AC}$ δίνεται από τη σχέση:

$$A'_I = \frac{i_c}{i'_b} = \frac{4{,}75}{1+j\dfrac{f}{10}}$$

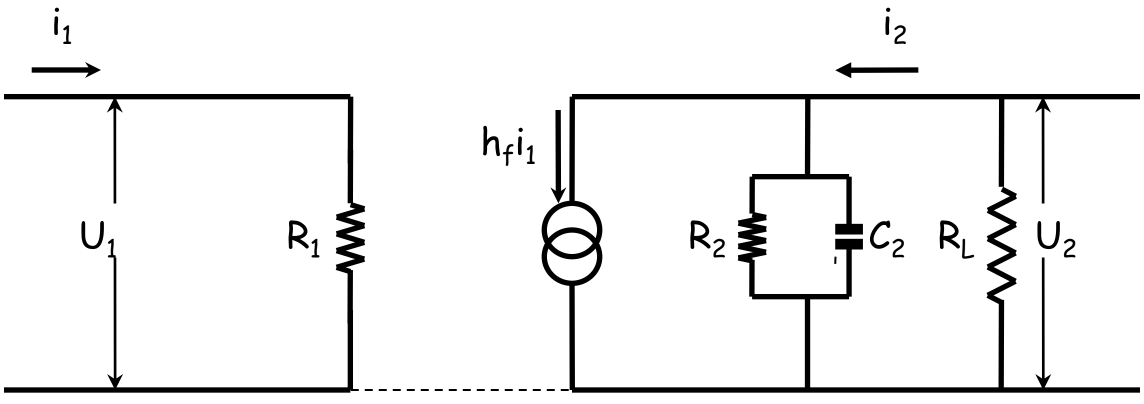
Ε) Να σχεδιαστεί η απόκριση συχνότητας (το μέτρο του κέρδους ρεύματος) του ενισχυτή σε dB.

ΣΤ) Αν στην είσοδο εισέλθει τετραγωνικός παλμός με ελάχιστη τιμή -50mA, μέγιστη 50mA, και περίοδο 1μs, να σχεδιαστεί το σήμα εξόδου.

Ζ) Να βρεθεί το κέρδος ρεύματος του ενισχυτή για τις συχνότητες: 1KHz, 10KHz, 100KHz, 1MHz, 2 MHz, 20MHz.

Η) Αν το σήμα εισόδου είναι της μορφής $I_i(t)=10\sin(20000\pi t+\frac{\pi}{6})+5\sin(4000000\pi t)$, να γραφεί η μορφή του σήματος εξόδου.

Θέμα 2 για Εξάσκηση



h_f=100
R_2 =10 kΩ

R_1=1 kΩ
C_2=10 nF
R_L άπειρη

Να χαρακτηριστεί το κύκλωμα. Να σχεδιαστεί η απόκριση συχνότητας. Να βρεθεί το κέρδος για τις συχνότητες 16 kHz και 128 kHz