

Το διπολικό Τρανζίστορ ως ενισχυτής (II)

Ανάλυση Απλού Ενισχυτή στο Εναλλασσόμενο

Λευτέρης Καπετανάκης



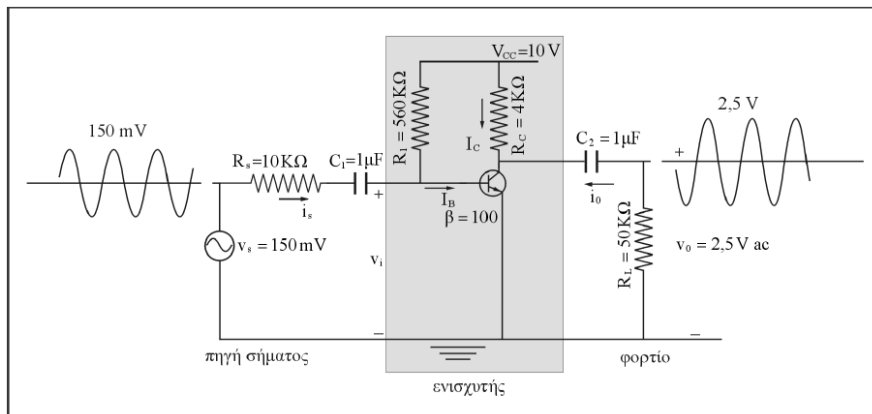
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Χειμώνας 2011

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Στις διαφάνειες των διαλέξεων χρησιμοποιείται διδακτικό υλικό το οποίο έχει δανειστεί από διάφορα εκπαιδευτικά βιβλία και διαδικτυακές σελίδες. Ο εισηγητής δεν έχει καμιά αξίωση κατοχής του υλικού αυτού και το χρησιμοποιεί μόνο για λόγους διδασκαλίας εντός της τάξης. Οι εικόνες και οι πίνακες είναι κτήμα διαφόρων συγγραφέων και παρέχονται στον αντίστοιχο δικτυότοπό τους.

Ο πιο απλός ενισχυτής



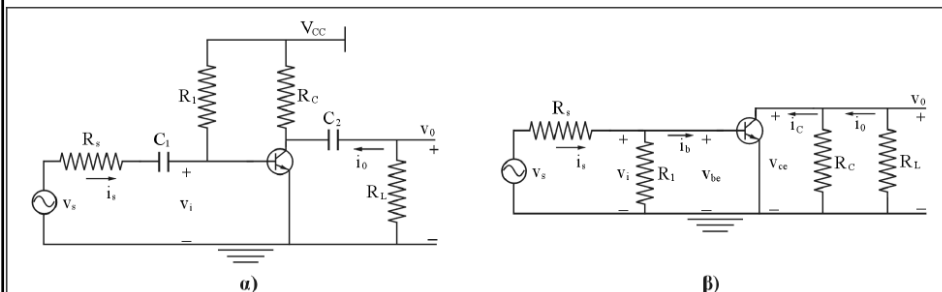
Ενισχυτής τάσης με BJT

ΤΛ1001 – 2009

L14: Το Διπολικό Τρανζίστορ ως Ενισχυτής (II)

Λειτουργία ενισχυτών στο εναλλασσόμενο

Για να προσδιορίσουμε, κατ' αρχήν σε πρώτη προσέγγιση, το ισοδύναμο κύκλωμα του ενισχυτή στο εναλλασσόμενο, δεχόμεθα ότι, οι εξωτερικοί πυκνωτές και η πηγή τροφοδοσίας συνεχούς δρουν ως βραχυκυκλώματα. Μ' αυτήν την παραδοχή, το ισοδύναμο κύκλωμα στο εναλλασσόμενο του ενισχυτή του σχ.6.11.α δεικνύεται στο σχ.6.11.β. Εάν



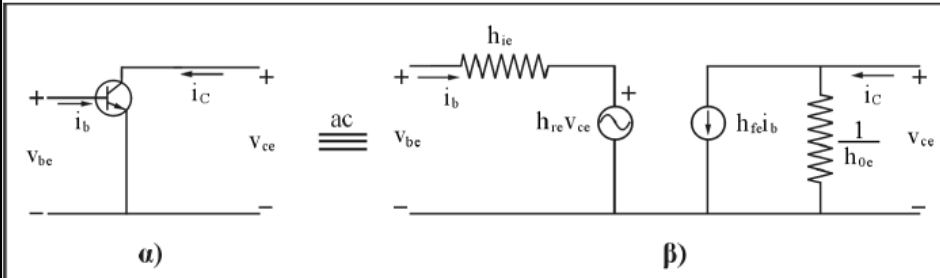
Σχ.6.11 α) Ενισχυτής μιας βαθμίδας.

β) Ισοδύναμο κύκλωμα του ενισχυτή στο εναλλασσόμενο.

ΤΛ1001 – 2009

L14: Το Διπολικό Τρανζίστορ ως Ενισχυτής (II)

Ισοδύναμο μοντέλο μικρών σημάτων του BJT



Σχ.6.12 Υβρικό ισοδύναμο μοντέλο μικρών σημάτων του BJT σε σύνδεση κοινού εκπομπού.

ΤΛ1001 – 2009

L14: Το Διπολικό Τρανζίστορ ως Ενισχυτής (II)

Ισοδύναμο μοντέλο μικρών σημάτων του BJT

$$V_{be} = f(i_b, V_{ce})$$

$$i_c = f(i_b, V_{ce})$$

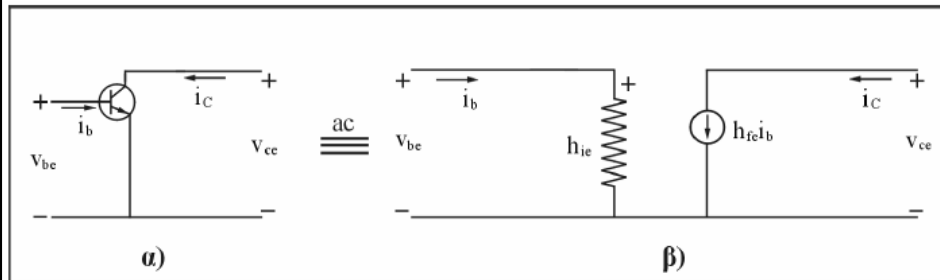
όπου, με μικρά γράμματα συμβολίζουμε τις εναλλασσόμενες μεταβολές των αντίστοιχων μεταβλητών τάσης ή ρεύματος συνεχούς, δηλαδή, $v_{be} = \Delta V_{BE}$, $i_c = \Delta I_C$ κ.λ.π.

$$\left. \begin{aligned} v_{be} &= \left. \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \right|_{V_C} \Delta I_B + \left. \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta V_C} \right|_{I_B} \Delta V_{CE} \\ i_c &= \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_C} \Delta I_B + \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta V_C} \right|_{I_B} \Delta V_{CE} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} v_{be} &= h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce} \\ i_c &= h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce} \end{aligned}$$

ΤΛ1001 – 2009

L14: Το Διπολικό Τρανζίστορ ως Ενισχυτής (II)

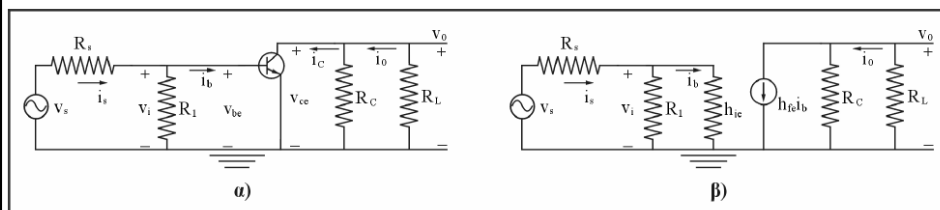
Απλοποιημένο ισοδύναμο μοντέλο μικρών σημάτων του BJT σε σύνδεση κοινού εκπομπού.



ΤΛ1001 – 2009

L14: Το Διπολικό Τρανζίστορ ως Ενισχυτής (II)

Ανάλυση απλού ενισχυτή στο εναλλασσόμενο



- α) Ισοδύναμο κύκλωμα μικρών σημάτων ενισχυτή κοινού εκπομπού
β) Ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα μικρών σημάτων ενισχυτή.

Θα επιχειρήσουμε να προσδιορίσουμε ορισμένα από τα μεγέθη, που χαρακτηρίζουν τον ενισχυτή, όπως, την ενίσχυση τάσης, την ενίσχυση ρεύματος, την ενίσχυση ισχύος, την αντίσταση εισόδου και την αντίσταση εξόδου.

ΤΛ1001 – 2009

L14: Το Διπολικό Τρανζίστορ ως Ενισχυτής (II)

Για τον προσδιορισμό της ενίσχυσης τάσης, διευκολύνει πολύ να αρχίσουμε να γράφουμε τις σχέσεις ξεκινώντας από την έξοδο του ενισχυτή.

Γνωρίζουμε ότι,

$$v_0 = -i_0 R_L$$

όπου, λόγω διαίρετη ρεύματος, είναι,

$$i_0 = \frac{R_C}{R_C + R_L} h_{fe} i_b$$

Άρα,
$$v_0 = -\frac{R_L R_C}{R_C + R_L} h_{fe} i_b = -h_{fe} R'_L i_b$$

όπου,
$$R'_L = R_L // R_C$$

Θέτοντας,
$$i_b = \frac{v_i}{h_{ie}}$$

προκύπτει,
$$v_0 = -\frac{h_{fe} R'_L}{h_{ie}} v_i$$

ΤΛ1001 – 2009

α) Η ενίσχυση τάσης του ενισχυτή A_{vi} ορίζεται ως,

$$A_{vi} = \frac{v_0}{v_i} = -\frac{h_{fe} R'_L}{h_{ie}}$$

Στην περίπτωση, που θεωρήσουμε τον αντιστάτη φορτίου R_L αποσυνδεδεμένο, $R_L = \infty$, τότε, προσδιορίζεται η ενίσχυση τάσης με ανοικτή την έξοδο,

$$A_{v0} = A_{vi} \Big|_{R_L = \infty} = -\frac{h_{fe} R_C}{h_{ie}}$$

ΤΛ1001 – 2009

L14: Το Διπολικό Τρανζίστορ ως Ενισχυτής (II)

β) Η αντίσταση εισόδου του ενισχυτή ορίζεται ως,

$$R_i = \frac{V_i}{i_i}$$

όπου, στο συγκεκριμένο κύκλωμα είναι $i_i = i_s$. Επομένως,

$$R_i = \frac{V_i}{i_i} = \frac{V_i}{i_b + i_{R1}} = \frac{V_i}{\frac{V_i}{h_{ie}} + \frac{V_i}{R_1}}$$

$$\text{ή} \quad R_i = R_1 // h_{ie}$$

γ) Η αντίσταση εξόδου του ενισχυτή ορίζεται ως,

$$R_o = \left. \frac{V_o}{i_o} \right|_{(v_i=0, R_L=\infty)}$$

Για τον ενισχυτή του σχ.6.14.β προκύπτει,

$$R_o = R_c$$

δ) Η ενίσχυση ρεύματος του ενισχυτή ορίζεται ως,

$$A_{iL} = \frac{i_L}{i_i}$$

όπου $i_L = -i_o$.

$$i_L = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} i_b = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_1}{h_{ie} + R_1} i_i$$

Επομένως:

$$A_{iL} = \frac{i_L}{i_i} = -h_{fe} \frac{R_C}{R_C + R_L} \frac{R_1}{h_{ie} + R_1}$$

Η ενίσχυση ρεύματος με βραχυκυκλωμένη την έξοδο ορίζεται ως,

$$A_{io} = A_{iL} \Big|_{R_L=0}$$

Επομένως είναι:

$$A_{io} = -h_{fe} \frac{R_1}{h_{ie} + R_1}$$

Επειδή δε, συνήθως, είναι $R_1 \gg h_{ie}$,

$$A_{io} \approx -h_{fe}$$

Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι, το σήμα εισόδου βρίσκεται σε διαφορά φάσης 180° ως προς το σήμα εισόδου.

ε) Η ενίσχυση ισχύος του ενισχυτή ορίζεται ως,

$$A_P = \frac{\text{ac ισχύς στο φορτίο}}{\text{ac ισχύς στην είσοδο}} = \frac{P_L}{P_i}$$

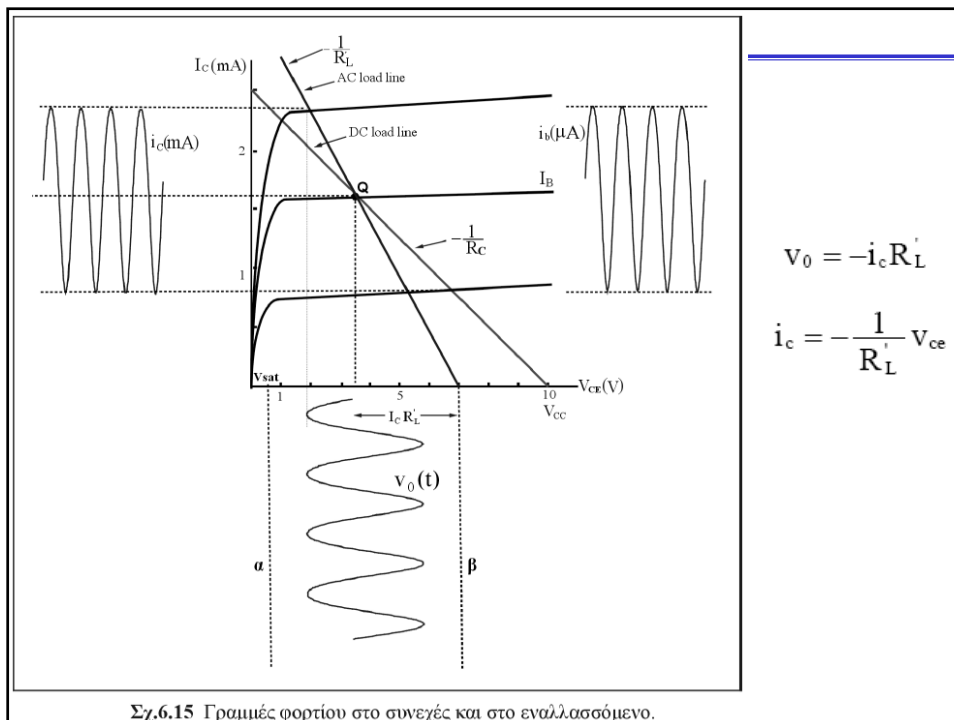
Σύμφωνα με τον ορισμό, είναι,

$$A_P = \frac{V_0 \dot{i}_L}{V_i \dot{i}_i} = \frac{V_0}{V_i} \cdot \frac{\dot{i}_L}{\dot{i}_i} = A_{vi} \cdot A_{iL}$$

Ο ενισχυτής μιας βαθμίδας σε σύνδεση κοινού εκπομπού, εμφανίζει ταυτόχρονα ενίσχυση τάσης και ενίσχυση ρεύματος. Επομένως, αποδίδει μεγάλη ενίσχυση ισχύος, συγκριτικά με τις άλλες δύο γνωστές βαθμίδες ενισχυτών, σε σύνδεση κοινής βάσης και σύνδεση κοινού συλλέκτη.

ΤΛ1001 – 2009

L14: Το Διπολικό Τρανζίστορ ως Ενισχυτής (II)



Η γραμμή φορτίου στο εναλλασσόμενο σε συνδυασμό με τη γραμμή φορτίου στο συνεχές καθορίζει τη μέγιστη δυνατή διαδρομή της τάσης εξόδου v_o του ενισχυτή, πριν αρχίσει ο ψαλιδισμός των κορυφών. Δηλαδή, η γραμμή φορτίου στο εναλλασσόμενο καθορίζει τη **δυναμική συμπεριφορά** του ενισχυτή.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το σημείο λειτουργίας Q ενισχυτή πρέπει να τοποθετηθεί με τρόπο, ώστε, να αξιοποιηθεί, στο μέγιστο δυνατό, η δυναμική περιοχή λειτουργίας του ενισχυτή. Αυτό έχει μεγαλύτερη σημασία ιδιαίτερα, όταν πρόκειται να σχεδιαστούν βαθμίδες εξόδου ενισχυτών και όχι σε προενισχυτικές βαθμίδες, αφού, σ' αυτές οι διαδρομές του σήματος, ούτως ή άλλως, δεν είναι πολύ μεγάλες.

ΤΛ1001 – 2009

L14: Το Διπολικό Τρανζίστορ ως Ενισχυτής (II)

Παράδειγμα 6.3

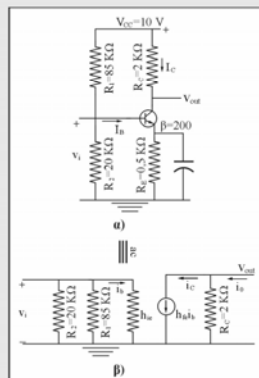
Προσδιορισμός γραμμής φορτίου συνεχούς και εναλλασσόμενου.

Για τον ενισχυτή του σχ.6.16.α θα προσδιορίσουμε τη γραμμή φορτίου για το συνεχές και το εναλλασσόμενο. Στο παράδειγμα 6.2 είχαμε υπολογίσει αναλυτικά το σημείο ηρεμίας του τρανζίστορ, που βρέθηκε να είναι, $Q = (5V, 2mA)$.

Απάντηση

Η σχέση Kirchhoff στο συνεχές για το κύκλωμα εξόδου του ενισχυτή γράφεται ως,

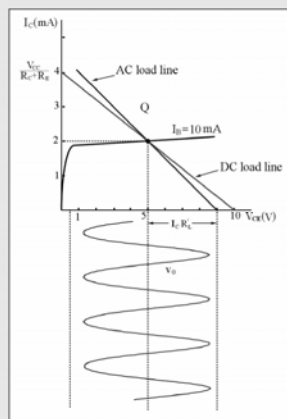
$$V_{CC} = I_C(R_C + R_E) + V_{CE} \quad \text{ή}$$



Σχ.6.16 α) Ενισχυτής μιας βαθμίδας
β) Ισοδύναμο κύκλωμα στο εναλλασσόμενο.

$$I_C = -\frac{1}{(R_C + R_E)} V_{CE} + \frac{1}{(R_C + R_E)} V_{CC}$$

Η γραφική απεικόνιση της παραπάνω σχέσης σε άξονες (V_{CE} , I_C), αποτελεί τη γραμμή φορτίου στο συνεχές και δεικνύεται στο σχ.6.17.



Σχ.6.17 Γραμμή φορτίου στο συνεχές και στο εναλλασσόμενο για τον ενισχυτή του σχ.6.16.α.

Το ισοδύναμο κύκλωμα του ενισχυτή στο εναλλασσόμενο δεικνύεται στο σχ.6.16.β.

Η σχέση Kirchhoff στο εναλλασσόμενο για το κύκλωμα εξόδου του ενισχυτή γράφεται ως,

$$v_{ce} = -i_c R_C \quad \text{ή}$$

$$i_c = -\frac{1}{R_C} v_{ce}$$

όπου $v_{ce} = v_{out}$. Η γραφική απεικόνιση της παραπάνω σχέσης αποτελεί τη γραμμή φορτίου στο εναλλασσόμενο και δεικνύεται στο σχ.6.17.

Παρατηρούμε ότι, η κλίση της γραμμής φορτίου συνεχούς είναι $-1/(R_C + R_E)$, ενώ, η κλίση της γραμμής φορτίου εναλλασσόμενου είναι $-1/R_C$. Αυτό οφείλεται στο ότι, για το εναλλασσόμενο ο αντίστατης R_E είναι βραχυκυκλωμένος, λόγω της παρουσίας του πυκνωτή C_E (bypass capacitor).

τύτης (II)