

ΑΣΚΗΣΗ 2^η

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

2.1 Σκοπός του πειράματος:

- (1) Η κατανόηση των βασικών χαρακτηριστικών κάθε κυκλώματος ενίσχυσης, η κατανόηση της σημασίας των τριών τρόπων λειτουργίας του τρανζίστορ.
- (2) Η κατανόηση της λειτουργίας του τρανζίστορ.

2.2 Βασική περιγραφή

2.2.1 Ορολογία

- (1) Ενίσχυση Κοινού Εκπομπού : CE)
- (2) Ενίσχυση Κοινού συλλέκτη (CC). Λέγεται και ακόλουθος Εκπομπού
- (3) Ενίσχυση Κοινής Βάσης (CB)
- (4) Σημείο κορεσμού: Αν το ρεύμα εισόδου I_b του τρανζίστορ αυξηθεί, και το ρεύμα εξόδου I_c παραμένει το ίδιο, με άλλες λέξεις (I_c διάφορο του $\beta \cdot I_b$), το κύκλωμα του CE είναι σαν να είναι βραχυκλωμένο, και η τιμή του I_c εξαρτάται από την V_{ce} .
- (5) Αποκοπή: Το ρεύμα εισόδου του τρανζίστορ είναι μηδέν, όπως και το ρεύμα εξόδου είναι επίσης μηδέν, με άλλα λόγια οι δύο ακροδέκτες του CE δεν είναι συνδεδεμένοι (ανοιχτό κύκλωμα).
- (6) Ενεργός περιοχή: Όταν το τρανζίστορ δεν είναι σε κορεσμό ή στην αποκοπή, δηλαδή οι δύο ακροδέκτες CE δεν είναι βραχυκυκλωμένοι ή ανοικτοί, τότε λειτουργεί στην ενεργό περιοχή. (η λειτουργία του είναι ίδια με μια μεταβλητή αντίσταση που ελέγχεται από το ρεύμα εισόδου).
- (7) DC Πόλωση: Είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του τρανζίστορ σε όλες τις περιοχές.
- (8) h_{fe} : Συντελεστής ενίσχυσης ρεύματος σε συνδεσμολογία CE (με μικρά σήματα).
- (9) h_{fb} : Συντελεστής ενίσχυσης ρεύματος σε συνδεσμολογία CB.
- (10) h_{ie} : Η Z_i της συνδεσμολογίας CE.
- (11) h_{ib} : Η Z_i της συνδεσμολογίας CB.
- (12) h_{re} : Είναι ο λόγος ανάστροφης τάσης CE.
- (13) h_{rb} : Είναι ο λόγος ανάστροφης τάσης CB.
- (14) h_{oe} : Είναι η συνδεσμολογία CE με ανοιχτό τον Εκπομπό.
- (15) h_{ob} : Είναι η συνδεσμολογία με ανοιχτή Βάση

2.2.2 Θεμελιώδης αρχές

Ανάλογα με την κατάσταση της γείωσης των τρανζίστορ μπορούμε να έχουμε 3 βασικά είδη κύκλωμάτων.

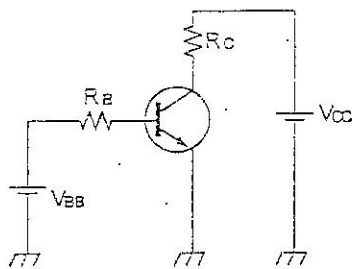
- {1} Ενισχυτής CE
- {2} Ενισχυτής CC
- {3} Ενισχυτής CB

Το κύκλωμα CE είναι το πιο εύχρηστο και αναφέρεται παρακάτω.

(1). Ενισχυτής CE

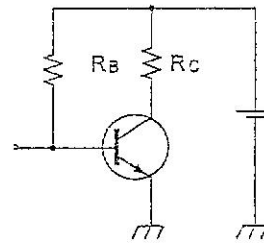
Το βασικό κύκλωμα του ενισχυτή CE φαίνεται στο Σχήμα 2.1, όπου ο εκπομπός είναι κοινός για το κύκλωμα εισόδου και εξόδου και ονομάζεται «γείωση». Στην πραγματικότητα, χρησιμοποιείται σαν κοινό τερματικό στο κύκλωμα, και διαφέρει από την «γείωση», που αναφέρεται στο ηλεκτρικό κύκλωμα.

Στο παρακάτω κύκλωμα (σχ.2.1), η συνύπαρξη δύο πηγών, της V_{bb} και V_{cc} , δεν είναι οικονομική ούτε πρακτική. Συνήθως, χρησιμοποιείται μια πηγή τροφοδοσίας, η V_{cc} και για το I_b και για το I_c . Ένα τυπικό παράδειγμα τέτοιου κυκλώματος φαίνεται στο Σχήμα 2.2.



Σχ. 2.1.

Διάταξη πόλωσης CE



Σχ. 2.2.

Διάταξη πόλωσης CE
με μια πηγή τάσης

1) Καθορισμός της τάσης πόλωσης για τον ενισχυτή CE

{1} Κύκλωμα σταθερής πόλωσης.

{2} Κύκλωμα DC πόλωσης ανεξάρτητο από την τιμή του β (λέγεται και αυτοπόλωση).

Προκειμένου να αυξήσουμε την ευστάθεια του συστήματος, τα παραπάνω κυκλώματα έχουν βελτιωθεί σε: κύκλωμα σταθερής πόλωσης με αντίσταση στον εκπομπό, και το κύκλωμα πόλωσης συλλέκτη με ανάδραση.

Η θεμελιώδης αρχή που χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον καθορισμό της τάσης πόλωσης περιγράφεται παρακάτω.

A. Κύκλωμα σταθερής πόλωσης

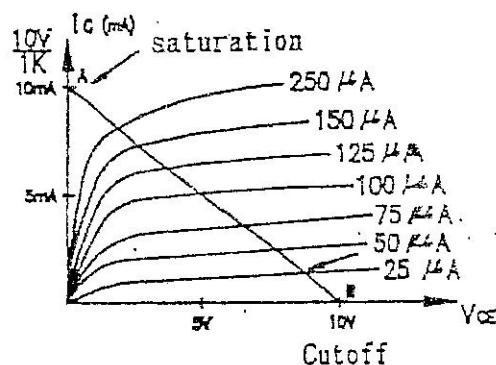
A) Βρίσκουμε την DC γραμμή φορτίου του κυκλώματος που φαίνεται στο Σχήμα 2.2 όπου αν πάρουμε $\beta = 50$ και:

$$\{1\} I_b = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_S} = \frac{(10 - 0,6)V}{100K} = 100\mu A$$

$$\{2\} I_c = \beta \cdot I_b = 50 \cdot 100 \mu A = 5mA$$

$$\{3\} V_{ce} = V_{cc} - I_c \cdot R_c = 10V - 5mA \cdot 1k = 5V$$

Αυτό μπορεί να εκφραστεί σαν χαρακτηριστική καμπύλη εξόδου. Η γραμμή με τις συντεταγμένες $(0, V_{cc}/R_c)$ και $(V_{cc}, 0)$ αναφέρεται και σαν γραμμή φορτίου.



Σχήμ.2.3 (Η γραμμή φορτίου για $R_c = 1K$)

{4} Q: Ονομάζεται το σημείο της ευθείας φορτίου με μια καμπύλη του σμήνους χαρακτηριστικών I_b λειτουργίας (στο σχήμα 2.3 η τομή με την καμπύλη $100\mu A$ δίνει $V_{ce} = 5V$ $I_c = 5mA$).

{5} Όταν το ρεύμα $I_c = \frac{V_{cc}}{R_c}$ και η τάση $V_{ce} = 0$ τότε το τρανζίστορ του

κυκλώματος είναι στον κόρο (σημείο A). Αν το $I_c = 0$ και η $V_{ce} = V_{cc} = 10V$ τότε το τρανζίστορ βρίσκεται σε αποκοπή (σημείο B).

{6} Το σημείο λειτουργίας του κυκλώματος καθορίζεται με $I_c = 5,7mA$ και $V_{ce} = 6,3V$, το τρανζίστορ λειτουργεί έτσι στην ενεργή περιοχή.

B). Κατάσταση λειτουργίας με AC σήμα εισόδου

1. Από την DC γραμμή (φορτίου) μπορούμε να βρούμε τη μέγιστη V_o , που είναι η V_{ce} , και είναι ίση με τη V_{cc} ($= 10V$), και την ελάχιστη V_o που είναι $0V$. Η περιοχή διακύμανσης του V_o (ΔV_o) είναι μεταξύ $0V$ και $10V$ ανεξάρτητα της διακύμανσης του σήματος εισόδου.

2. Στο σχήμα 2.2 ας υποθέσουμε: $R_c = 1k\Omega$, $R_b = 100k\Omega$ και το $\beta = 50$, επίσης στην είσοδο εφαρμόζεται ένα ρεύμα AC που μεταβάλλεται $\pm 50\mu A$ περίπου απ' την κανονική του τιμή. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3, μετά τη χάραξη της DC γραμμής φορτίου, μπορούμε να δούμε το σημείο Q για $I_b = 100\mu A$ στην τομή της καμπύλης με την ευθεία φόρτου. Η περιοχή διακύμανσης του ρεύματος εισόδου είναι μεταξύ $50\mu A$ και $150\mu A$.

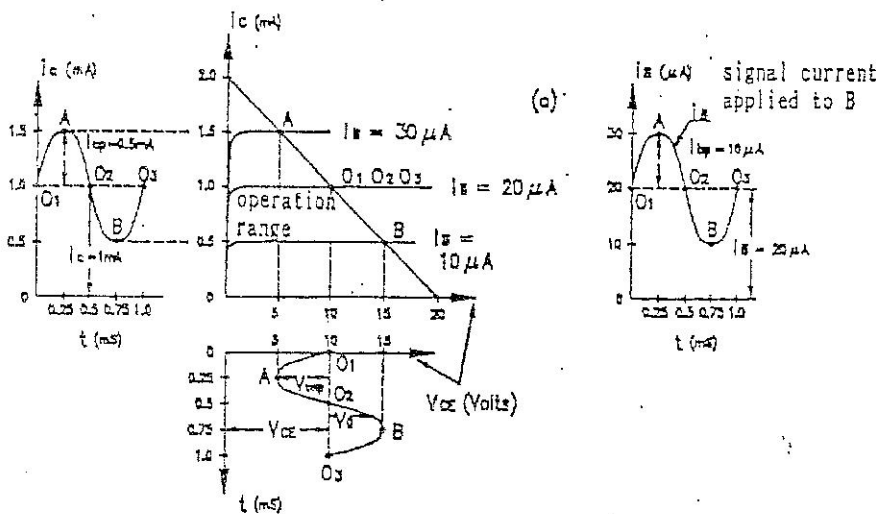
Αν, $I_b = 50\mu A$, $I_c = \beta \cdot I_b = 50 \cdot 50\mu A = 2,5mA$, τότε:

$$V_{ce} = V_{cc} - I_c \cdot R_c = 10V - 2,5mA \cdot 1k = 7,5V.$$

Αν $I_b = 150\mu A$, $I_c = \beta \cdot I_b = 50 \cdot 150\mu A = 7,5mA$, τότε

$$V_{ce} = V_{cc} - I_c \cdot R_c = 10V - 7,5mA \cdot 1k = 2,5V.$$

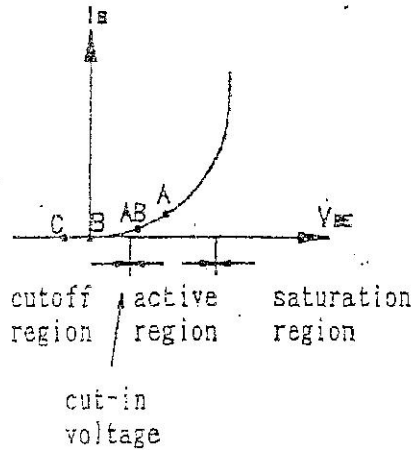
Η σχέση μεταξύ V_o (V_{ce}) και I_c σε αντιστοιχία με το I_b φαίνεται στο σχήμα 2.4.



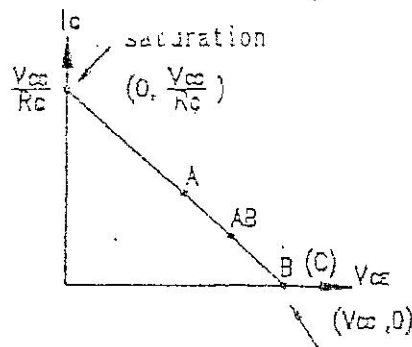
Σχ. 2.4 Σχέση μεταξύ V_o (V_{ce}) και I_c σε συνάρτηση με το I_b

C). Η επιρροή της τάσης πόλωσης στο ενισχυτικό κύκλωμα (η επιρροή του Q στο ενισχυτικό κύκλωμα)

α. Το κύκλωμα DC πόλωσης σχεδιάζεται σε σχέση με την τάξη ενίσχυσης (τάξη A, B, AB και C) του τρανζίστορ. Οι θέσεις του σημείου Q, για κάθε περίπτωση ενίσχυσης φαίνονται αντίστοιχα στο σχήμα 2.5.



Σχ.2.5 (α)



Σχ.2.5 (β)

Χαρ/κή καμπύλη εισόδου και σημείο λειτουργίας

ΤΑΞΗ A: το σημείο λειτουργίας σχεδιάζεται στο κέντρο του ευθυγράμμου τμήματος της χαρακτηριστικής καμπύλης.

ΤΑΞΗ B: το σημείο λειτουργίας σχεδιάζεται στην αποκοπή όπου $V_{be} = 0$.

ΤΑΞΗ C: το σημείο λειτουργίας σχεδιάζεται κάτω από την αποκοπή και V_{be} είναι αρνητική.

ΤΑΞΗ AB: το σημείο λειτουργίας σχεδιάζεται μεταξύ της τάξης A και B.

β. Η θέση του σημείου λειτουργίας θα καθορίσει την μέγιστη τάση εξόδου. Το σημείο λειτουργίας πρέπει να σχεδιαστεί σε αρμονία με το μέγεθος του σήματος εισόδου I_b , όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6 .

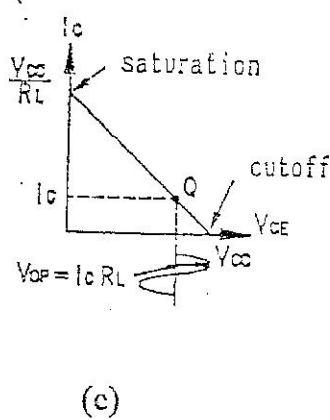
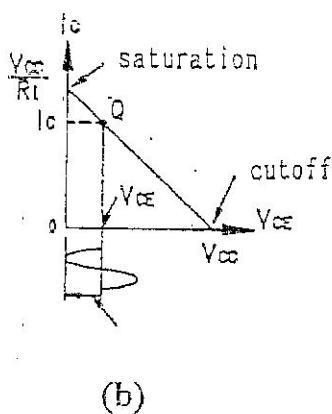
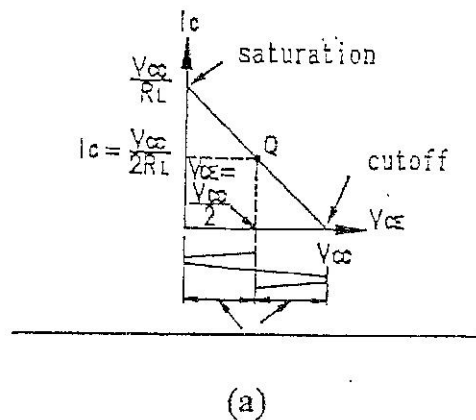
Από αυτό μπορούμε να βρούμε:

i) Για το κύκλωμα με το μεγαλύτερο σήμα εισόδου, το σημείο λειτουργίας πρέπει να σχεδιαστεί στο κέντρο της γραμμής φορτίου $(V_{cc} = \frac{1}{2}V_{cc})$ όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6 (α).

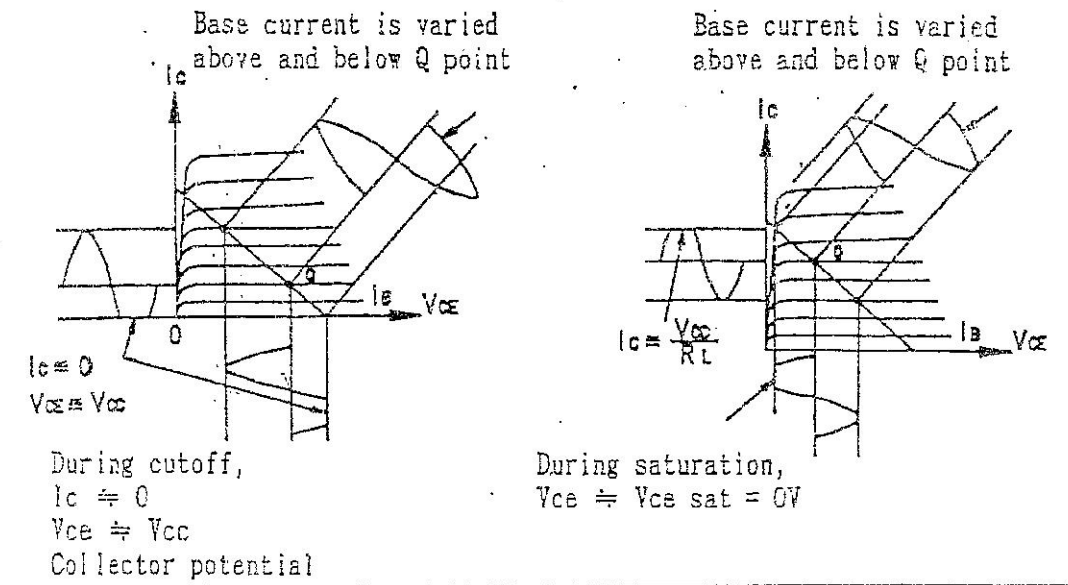
ii). Αν το σήμα εισόδου είναι μικρότερο, το σημείο λειτουργίας μπορεί να σχεδιαστεί στο πάνω μέρος όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6 (b) ή στο κάτω μέρος όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6 (c)

iii). Αν το σημείο λειτουργίας δεν σχεδιαστεί στο κέντρο της γραμμής η κυματομορφή εξόδου θα είναι παραμορφωμένη, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7 (α) ή (β), και όταν το σήμα εισόδου είναι μεγαλύτερο, η κορυφή ψαλιδίζεται.

iii). Παρόλο που το σημείο λειτουργίας έχει σχεδιαστεί στο κέντρο της γραμμής φορτίου, η παραμόρφωση που θα ψαλιδίσει τις κορυφές τόσο της θετικής όσο και της αρνητικής ημιπεριόδου θα έχει τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα 2.8. Όταν το σήμα εισόδου είναι μεγάλο, ο μόνος τρόπος για να αποφευχθεί αυτή η παραμόρφωση φαίνεται στο σχήμα 2.8 και είναι η αύξηση της V_{CC} .



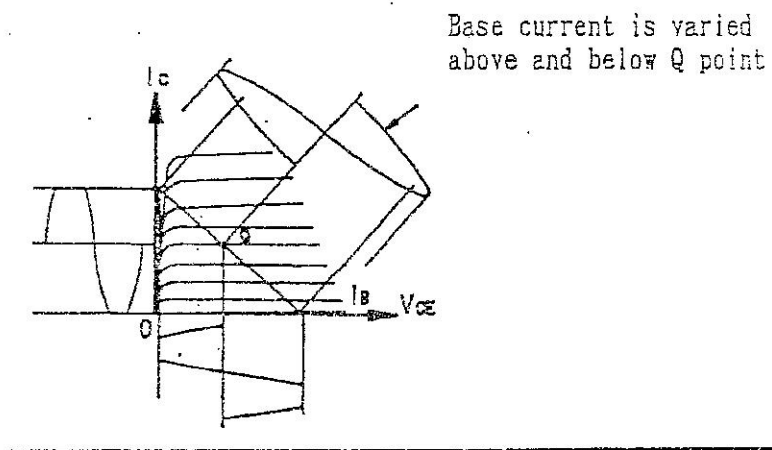
Σχ. 2.6 Σημείο λειτουργίας και προσδιορισμός της μέγιστης τάσης εξόδου



(α) Παραμόρφωση στην αποκοπή

(β) Παραμόρφωση στον κόρο

Σχ. 2.7 Οι παραμορφώσεις από ακατάλληλο σημείο λειτουργίας



Σχήμ. 2.8 Παραμόρφωση από υπερβολική τάση εισόδου

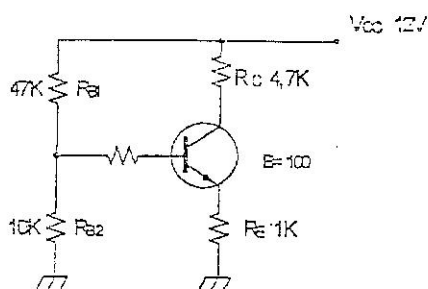
D). Μειονεκτήματα του κυκλώματος σταθερής πόλωσης

Το σημείο λειτουργίας (V_{ce} , I_c) εξαρτάται από το μέγεθος του β ($I_c = \beta \cdot I_b$, $V_{ce} = V_{cc} - I_c \cdot R_c$). Το β διαφέρει για κάθε τρανζίστορ.

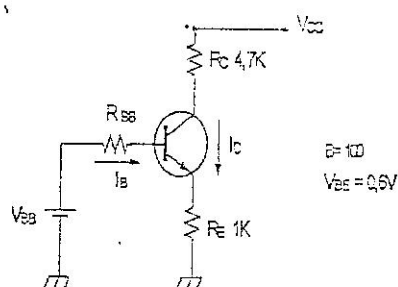
Αν ένα τρανζίστορ χρησιμοποιηθεί σε αντικατάσταση κάποιου άλλου, (παρόλο που ο τύπος του είναι ίδιος και μάλιστα παρέχεται από τον ίδιο κατασκευαστή), η τιμή του β κατά πάσα πιθανότητα, θα είναι διαφορετική για κάθε τρανζίστορ, και η θέση του σημείου λειτουργίας διαφέρει ανάλογα με την τιμή του β . Η κατάσταση λειτουργίας του συνολικού κυκλώματος, σε μια τέτοια περίπτωση, δεν συμφωνεί με τον αρχικό σχέδιασμό. Η κυματομορφή εξόδου θα παραμορφωθεί και το ρεύμα ηρεμίας θα γίνει μεγαλύτερο με κίνδυνο να καταστρέψει το τρανζίστορ.

B. DC κύκλωμα (πόλωσης) ανεξάρτητο από την τιμή β

Ο σχεδιασμός αυτού του κυκλώματος θα καθορίσει το σημείο λειτουργίας, το οποίο δεν θα αλλάξει εξ' αιτίας της διαφορετικής τιμής του β , αφού αυτό το κύκλωμα έχει τα χαρακτηριστικά του αυτόματου εντοπισμού του σημείου λειτουργίας. Αυτό το κύκλωμα ονομάζεται «κύκλωμα αυτοπόλωσης».



Σχ. 2.9



Σχ. 2.10

Παράδειγμα: Με τις τιμές του σχήματος 2.9, να βρούμε τα I_c, V_{ce} .

Λύση: Το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 2.9 παρουσιάζεται στο σχήμα 2.10, με εφαρμογή του θεωρήματος του Thevenin έχω:

$$V_{bb} = V_{CC} \frac{R_{B2}}{R_{B100} + R_{B2}} = 12V * \frac{10K}{47K + 10K} = 2,1V$$

$$V_{bb} = V_{CC} \frac{R_{B2}}{R_{B100} + R_{B2}} = 12V * \frac{10K}{47K + 10K} = 2,1V$$

$$R_{bb} = R_{b1} // R_{B2} = \frac{R_{b1} * R_{B2}}{R_{b1} + R_{B2}} = \frac{4,7K * 10K}{47K + 10K} = 8,2\Omega$$

$$V_{bb} = I_B * V_{bb} + V_{be} + I_e * R_e = I_B * V_{bb} + V_{be} + I_b (1 + \beta) * R_e$$

$$= I_b [R_{bb} + (1 + \beta) * R_e] + V_{be}$$

$$I_b = \frac{V_{bb} - V_{be}}{R_{bb} + (1 + \beta) * R_e} = \frac{2,1 - 0,6}{8,2 + (1 + 100) * 1K} = 0,0138mA$$

$$I_C = \beta * I_b \approx I_e = 200 * 0,013mA = 1,38mA$$

$$V_{ce} = V_{CC} - I_C * (R_C + R_e) = 12V - 1,38mA * (4,7K + 1K) = 12V - 7,9V = 4,1V$$

$$I_e = \frac{V_e}{R_e} = \frac{V_{bb} - 0,6V}{1K} = \frac{2,1V - 0,6V}{1K} = 1,5mA$$

$$I_C = I_e = 1,5mA$$

$$V_{ce} = 12V - 1,5mA * (4,7K + 1K) = 3,45V$$

Μπορούμε προσεγγιστικά να πάρουμε $I_c = 1,5mA$ (η τιμή του β δεν εξετάζεται). Όταν η τιμή του β εξετάζεται με λεπτομέρεια, το $I_c = 1,38mA$ (αν το βR_e γίνει μεγαλύτερο οι παραπάνω δύο λύσεις θα είναι περισσότερο προσεγγιστικές). Έτσι αυτό το κύκλωμα καλείται κύκλωμα πόλωσης ανεξάρτητο από την τιμή του β . Το σημείο λειτουργίας του κυκλώματος δεν θα αλλάξει εξαιτίας διαφορετικών τρανζίστορ.

C. Κύκλωμα πόλωσης ανάδρασης συλλέκτη

Το κύκλωμα αυτό φαίνεται στο σχήμα 2.11 και αναλύεται ως εξής:
Εφαρμόζοντας το νόμο του Kirchhoff έχουμε:

$$V_{CC} = (I_C + I_b) * R_C + V_{be} = (\beta + 1) * I_b * R_C + I_b * R_b + V_{be}$$

$$I_b = \frac{V_{CC} - V_{be}}{(1 + \beta) * R_C + R_b} \text{ αν } \beta \gg 1 \text{ και}$$

$$V_{ce} \gg V_{be} \text{ τότε } I_b = \frac{V_{CC}}{\beta * R_C} + R_b * I_C = \beta * I_b$$

$$V_{ce} = V_{CC} - (I_C + I_b) * R_C = V_{ce} - I_C * R_C$$

Παράδειγμα: Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.11, η $V_{CC} = 12 \text{ V}$, $R_C = 10 \text{ K}$, $R_b = 500 \text{ K}$, και $\beta = 50$. Ζητούνται τα I_C και V_{ce} .

$$\text{Λύση: } \{1\} I_b = \frac{12 \text{ V}}{50,10 \text{ K} + 500 \text{ K}} = \frac{12 \text{ V}}{1 \text{ M}} = 12 \mu\text{A}$$

$$\{2\} I_C = \beta * I_b = 12 \mu\text{A} * 50 = 0,6 \text{ mA}$$

$$\{3\} V_{ce} = V_{CC} - I_C * R_C = 12 \text{ V} - 0,6 \text{ mA} * 10 \text{ K} = 12 \text{ V} - 6 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

αν $\beta = 100$ τότε

$$1) I_b = \frac{12 \text{ V}}{\beta R_C + R_b} = \frac{12 \text{ V}}{10 \text{ K} * 100 + 500 \text{ K}} = \frac{12 \text{ V}}{1,5 \text{ M}} = 8 \mu\text{A}$$

$$2) I_C = \beta * I_b = 8 \mu\text{A} * 100 = 0,8 \text{ mA}$$

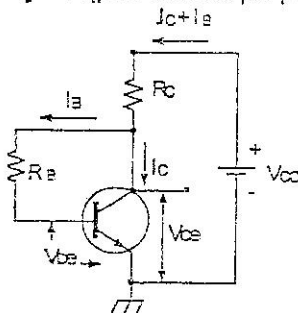
$$3) V_{ce} = V_{CC} - I_C * R_C = 12 \text{ V} - 0,8 \text{ mA} * 10 \text{ K} = 4 \text{ V}$$

$$I_f \quad \beta = 50, I_C = 0,6 \text{ mA}, V_{CC} = 6 \text{ V}$$

$$I_f \quad \beta = 50, I_C = 0,8 \text{ mA}, V_{CC} = 4 \text{ V}$$

αν $\beta = 50$ τότε $I_C = 0,6 \text{ mA}$, $V_{ce} = 6 \text{ V}$

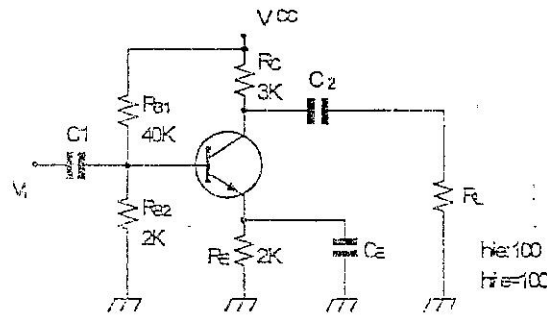
Μεταξύ διαφορετικών τιμών β οι θέσεις των σημείων λειτουργίας δεν είναι και πολύ διαφορετικές. Συγκρίνοντας το με το κύκλωμα σταθερής πόλωσης, το κύκλωμα πόλωσης ανάδρασης συλλέκτη είναι σημαντικά σταθερό. Αν $\beta = 50$, $I_b = 12 \mu\text{A}$ το I_b θα αυξηθεί κατά $8 \mu\text{A}$. Η λειτουργία του κυκλώματος θα ρυθμιστεί αυτόματα και το I_C δεν θα αλλάξει σημαντικά λόγω μεταβολής του β .



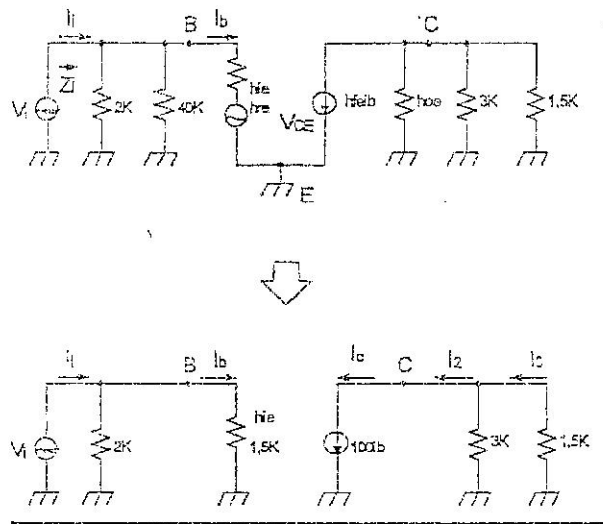
Σχ. 2.11 Κύκλωμα πόλωσης ανάδρασης συλλέκτη

2) AC ανάλυση ενισχυτή κοκλώματος CE

Το κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 2.12 (α) και το ισοδύναμό του στο σχήμα 2.12(b) (α).



Σχ. 2.12 (α)



Σχ. 2.12 (b) Ισοδύναμο κύκλωμα

Αν προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε τα A_i, A_v, Z_i και Z_o θα έχουμε τα εξής:

{1} $A_i = \frac{I_o}{I_i}$ από το σχήμα 2.12 (b) βρίσκουμε $I_2 = 100 i_b$ και

$$i_b = \frac{I_1 * 2K}{2K + 15K} = 0,571 I_1$$

$$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b}$$

$$I_o = \frac{I_2 * 3K}{3K + 1,5K} = 0,667 I_2$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_2}{I_1} * \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_o}{I_2} * \frac{I_2}{I_b} * \frac{I_b}{I_1} = 0,667 * 100 * 0,571 = 38,1$$

$$\{2\} A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{h_{fe} * R_1'}{h_{fe}} = \frac{-100 * (1 * 10^3)}{1,5 * 10^3} = -66,7 \quad R_1' = 3K // 1,5K = 1K$$

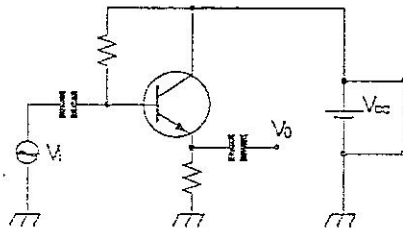
$$\{3\} Z_i = R_{b2} // h_{ie} = 2K // 1,5K = 0,86K$$

$$\{4\} Z_o = R_c = 3K$$

(2). Ενισχυτής CC

1). Βασικές γνώσεις για τον ενισχυτή CC

Ο ενισχυτής αυτός φαίνεται στο σχήμα 2.13. Εδώ κοινό σημείο είναι ο συλλέκτης, με άλλα λόγια ο συλλέκτης είναι γειωμένος. Επειδή η τάση εξόδου στον εκπομπό ακολουθεί την τάση εισόδου, αυτό το κύκλωμα αναφέρεται και ως κύκλωμα ακολουθητή τάσης, ή ακόλουθος εκπομπού.

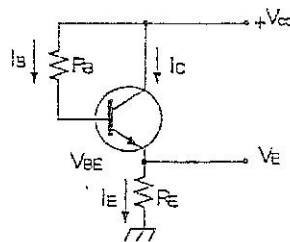


Σχ. 2.13

(Όταν εξετάζονται η V_i και V_o τότε η V_{cc} εμφανίζεται σαν βραχυκύκλωμα)

2) Κύκλωμα DC πόλωσης για τον CC ενισχυτή.

α. Το κύκλωμα πόλωσης ανάδρασης εκπομπού. Φαίνεται στο κύκλωμα σχήμα 2.14



Σχ. 2.14

Η αντίσταση του εκπομπού μπορεί να αυξήσει την σταθερότητα του κυκλώματος και αναλύεται ως εξής:

$$V_{CC} = I_b * R_b + V_{be} + I_e * R_e = I_b * R_b + V_{be} + (1 + \beta) * I_b * R_e$$

$$I_b = \frac{V_{CC} - V_{be}}{R_b + (1 + \beta) * I_b * R_e} \approx \frac{V_{CC}}{R_b + \beta * R_e}$$

$$I_e = I_b + I_C = (1 + \beta) * I_b \approx \beta I_b$$

$$V_e = I_e * R_e = (1 + \beta) * I_b * R_e \approx \beta * I_b * R_e$$

β. Καθορισμός του σημείου πόλωσης. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.14, το κύκλωμα αυτό είναι ανεξάρτητο της τιμής του β, και

Έχω:

$$V_b = V_{CC} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_e = V_b - V_{be}$$

$$I_e = \frac{V_e}{R_e}$$

Επειδή το β δεν εμφανίζεται στην τελευταία ανάλυση αυτή η πόλωση είναι σημαντικά σταθερή.

3) AC ανάλυση για τον CC ενισχυτή.

α. Το αντίστοιχο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 2.15 (α), και το ισοδύναμο στο 2.15(b). Η R_{ac} στο σχήμα 2.15(b) είναι ισοδύναμη με την $R_e // R_L$.

β. Επειδή:

$$V_i = i_b * R_i + (i_b + h_{fe} * i_b) * R_{ac}$$

$$= i_b * R_i + (1 + h_{fe}) * i_b * R_{ac}$$

$$= i_b * [R_i + (1 + h_{fe}) * R_{ac}]$$

$$R'_{in} = \frac{V_i}{i_b}$$

$$R'_{in} = R_i + (1 + h_{fe}) * R_{ac}$$

$$R_{in} = R_b // R'_{in} \approx R_b // h_{fe} * R_{ac} \gg R_i$$

$$\gamma. V_o - (i_b + h_{fe} * i_b) * R_{ac} = (1 + h_{fe}) * i_b * R_{ac}$$

$$d. A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

$$Z_o = R_{ac} // \frac{R_i + R_S}{1 + h_{fe}}$$

$$= \frac{(1 + h_{fe}) * i_b * R_{ac}}{i_b * [R_i + (1 + h_{fe}) * R_{ac}]} = \frac{(1 + h_{fe}) * R_{ac}}{[R_i + (1 + h_{fe}) * R_{ac}]}$$

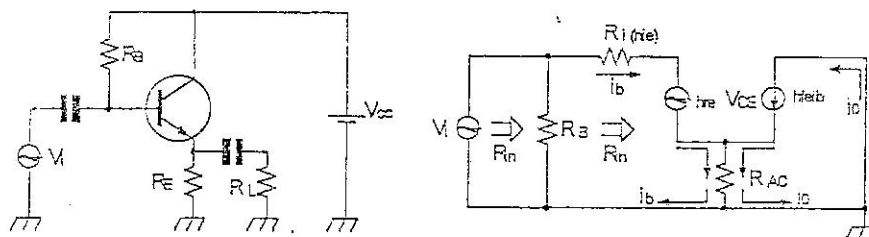
$$R_i \ll (1 + h_{fe}) * R_{ac}$$

$$\delta. A_v = \frac{i_b + h_{fe} * i_b}{i_b} = 1 + h_{fe}$$

Από την παραπάνω ανάλυση καταλαβαίνουμε ότι ο ενισχυτής CC έχει τα ακόλουθα γαρ/ακτιριστικά:

- Η Zi είναι πολύ μεγάλη
- Το κέρδος τάσης $A_v = 1$
- Το κέρδος ρεύματος A_i του ενισχυτή CC είναι κατά τι μεγαλύτερο από τον CE. Το A_i είναι ίσο με $1 + h_{fe}$.
- Η σύνθετη αντίσταση εξόδου είναι Z_o είναι πολύ μικρή.
- Η τάση εξόδου V_o είναι ίδια με την V_i

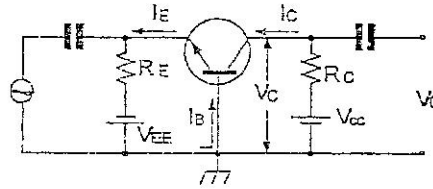
Ο Ενισχυτής CC δεν χρησιμοποιείται για ενίσχυση τάσης, αλλά είναι κατάλληλος και για προσαρμογή συνθέτων αντιστάσεων. Επίσης, μερικές φορές χρησιμοποιείται για ενίσχυση ρεύματος.



Σχ.2.15 (α,β)

(3). Ενισχυτής CB

Το βασικό κύκλωμα του ενισχυτή CB φαίνεται στο σχήμα 2.16. Τώρα κοινό σημείο για την είσοδο και την έξοδο είναι η βάση.



Σχ. 2.16

1). Πόλωση DC για τον ενισχυτή CB.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.17(α) η κοινή βάση (CB) είναι βραχυκυκλωμένη για το AC.

Η DC πόλωση αναλύεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\{1\} V_b = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC}$$

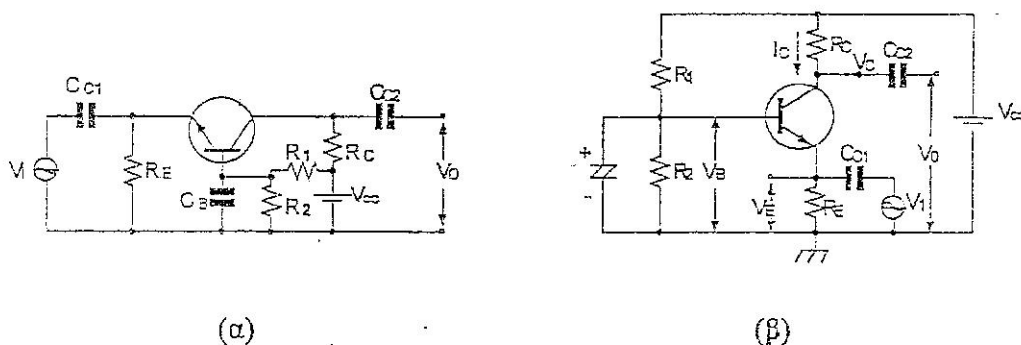
$$\{2\} V_e = V_b - V_{be}$$

$$\{3\} I_e = \frac{V_e}{R_E}$$

$$\{4\} I_c = i_c \quad \eta \quad I_C = \frac{V_e}{R_e}$$

$$\{5\} V_C = V_{CC} - I_C * R_C$$

Το κύκλωμα του σχήμα 2.17(α) μπορεί να διαμορφωθεί όπως στο σχήμα 2.17 (β)

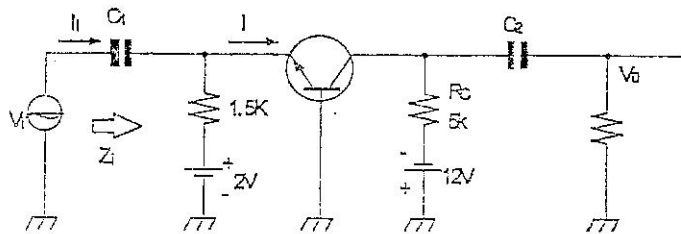


Σχ. 2.17

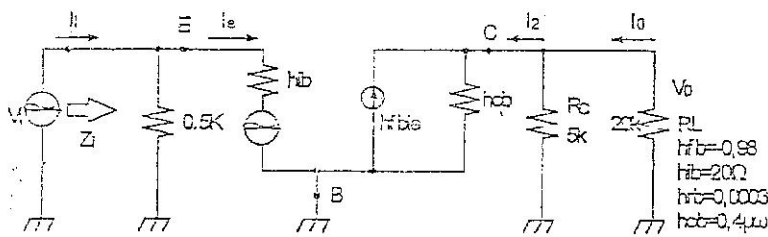
2) Η AC ανάλυση για τον ενισχυτή CB

Το κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 2.18(α) και το ισοδύναμό του στο σχήμα 2.18 (β).

Υπολογίστε τα: A_v , A_i , Z_i και Z_o .



Σχ. 2.18 (α)



Σχ. 2.18 (β)

Λύση:

{1}: A_i

$$I_o = \frac{5K * 12}{5K + 20K} = 0,2 I_2$$

$$I_2 = h_{fe} * I_e = h_{fb} * I_1 \quad h_{ib} \ll 0,5K$$

$$I_o = 0,2 I_2 = 0,2 * h_{fe} * I_1 \quad h_{fb} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_1} = 0,2 * (-0,98) = -0,196$$

$$R_1' = R_C // R_1 = 5K // 20K$$

$$\{2\} A_v: \frac{V_o}{V_I} = \frac{-h_{fb}}{h_{ie} * R_1'} = \frac{-0,98 * 4 * 10^3}{20} = -196$$

$$\{3\} Z_i: Z_i = R_e = h_{ib} 20\Omega$$

$$\{4\} Z_o: \frac{Z_o}{V_I} = 0, R_C = 5K\Omega$$

Από την παραπάνω ανάλυση μπορούμε να συμπεράνουμε τα ακόλουθα για τα χαρακτηριστικά του ενισχυτή CB:

- α. Η αντίσταση εισόδου Z_i είναι πολύ μικρή.
- β. Το κέρδος τάσης A_v πολύ μεγάλο.
- γ. Το κέρδος ρεύματος A_i σχεδόν ίσο με τη μονάδα.
- δ. Η φάση στην έξοδο είναι ίδια με τη φάση στην είσοδο.

(4) Σύγκριση χαρακτηριστικών των ενισχυτών CE, CB, CE

Αναφερόμενοι στη συζήτηση του πειράματος, (στο τέλος) στον πίνακα 1, βλέπουμε ότι:

1) Ο ενισχυτής κοινού Εκπομπού (CE) έχει:

Κέρδος τάσης, ρεύματος και ισχύς πολύ μεγάλα. Διαφορά φάσης μεταξύ εισόδου εξόδου 180° . Το κύκλωμα αυτό χρησιμοποιείται πάρα πολύ λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών.

2) Ο Ενισχυτής Κοινού Συλλέκτη (CC)

Εδώ έχουμε υψηλή σύνθετη αντίσταση στην είσοδο και μικρή στην έξοδο. Έχουμε υψηλό κέρδος ρεύματος, όμως δεν έχουμε κέρδος τάσης και δεν έχουμε διαφορά φάσης. Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται για προσαρμογή ή σαν ενισχυτής ρεύματος.

3) Ο Ενισχυτής κοινής βάσης (CB)

Αυτό το κύκλωμα έχει γαμπλή σύνθετη αντίσταση εισόδου και υψηλή αντίσταση εξόδου. Έχουμε μεγάλο κέρδος τάσης και δεν έχουμε κέρδος ρεύματος. Δεν υπάρχει διαφορά φάσης μεταξύ εξόδου εισόδου. Χρησιμοποιείται συνήθως για προσαρμογή πηγής σήματος γαμπλής αντίστασης εξόδου ή σαν ενισχυτής τάσης.

(5) Το τρανζίστορ σαν διακόπτης

Όταν το τρανζίστορ χρησιμοποιείται σαν διακόπτης τυπικά λειτουργεί στις δύο ακόλουθες καταστάσεις:

{1} Κόρου: Όπου η $V_{ce(sat)} = 0,2V$, $I_c = V_{cc}/R_c$. (Η επαφή CE είναι βραχυκύκλωμα).

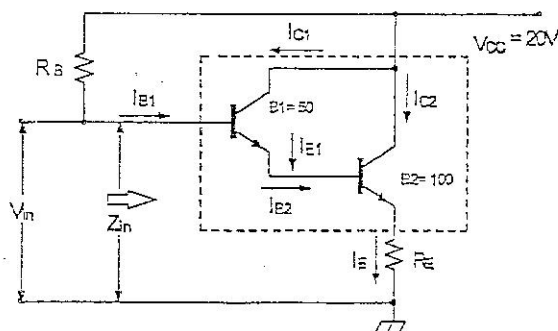
{2} Αποκοπής: $V_{ce} = V_{cc}$ $I_c = 0$ (Η επαφή CE είναι ανοιχτό κύκλωμα). Η χαρακτηριστική καμπύλη φαίνεται στο σχ. 2-5 (b).

(6) Κυκλώματα DARLINGTON

Τα χαρακτηριστικά αυτών των κυκλωμάτων είναι τα εξής:

{1} Κέρδος ρεύματος πολύ υψηλό.

{2} Αντίσταση εισόδου μεγάλη



Σχ. 2.19

Μπορούμε να αναλύσουμε ως εξής:

1). Το Κέρδος ρεύματος β του κυκλώματος darlington όπως φαίνεται στο σχήμα 2.19 είναι:

$$I_{C2} = \beta_2 * I_{B2} = \beta_2 * I_{E1} = \beta_2 * (1 + \beta_1) * I_{B1} = \beta_2 * \beta_1 \text{ Στο παραπάνω σχέδιο}$$

$$\frac{I_{C2}}{I_{B1}} = \beta_1 * \beta_2 = 100 * 50 = 5000.$$

Ο συντελεστής ενίσχυσης ρεύματος είναι σημαντικά υψηλός (5000) από την τιμή β ενός μόνο τρανζίστορ.

2). Η αντίσταση εισόδου Z_i του κυκλώματος Darlington, του σχήματος 2.19, αν απαιτείται ρεύμα $I_e = 1A$ ποιά η τιμή της. ($Z_i = ?$)

Λύση:

$$\{1\} \beta = \beta_1 * \beta_2 = 50 * 100 = 5000$$

$$\{2\} I_e = 1A \quad V_e = I_e * R_e = 10V$$

$$V_{in} = 0,6V + 0,6V + 10V = 11,2V$$

$$\{3\} I_e = 1A$$

$$I_e = I_C = \beta * I_b = 5000 I_b$$

$$I_b = \frac{1A}{5000} = 0,2mA$$

$$\{4\} Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_b} = \frac{11,2V}{0,2mA} = 56K\Omega$$

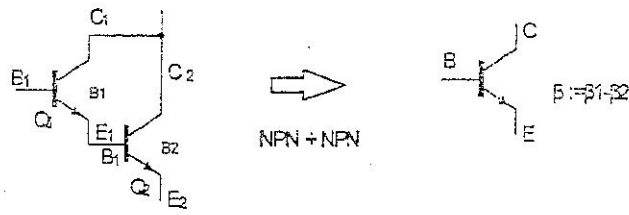
$$Z_{in} = R_e * \beta_1 * \beta_2 = 10\Omega * 50 * 100 = 50K\Omega$$

Από την παραπάνω ανάλυση έχουμε :

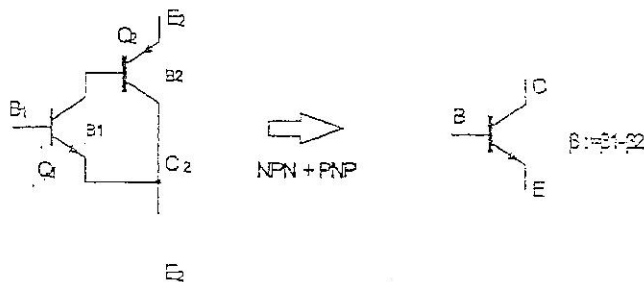
Το κέρδος ρεύματος και η αντίσταση εισόδου του κυκλώματος darlington είναι πολύ μεγαλύτερα από τα κοινά τρανζίστορ.

Αυτά τα κυκλώματα κατασκευάζονται σε 4 τύπους όπως φαίνεται στον πίνακα 2.1.

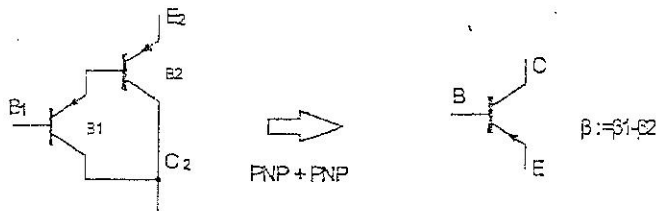
Τέσσερις διαφορετικές συνδεσμολογίες Darlington



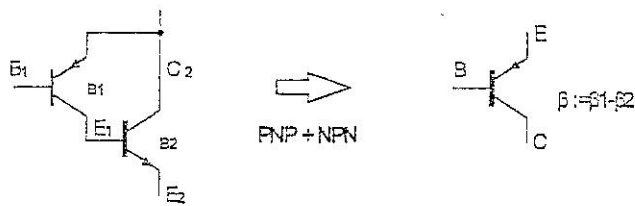
(α)



(β)



(γ)

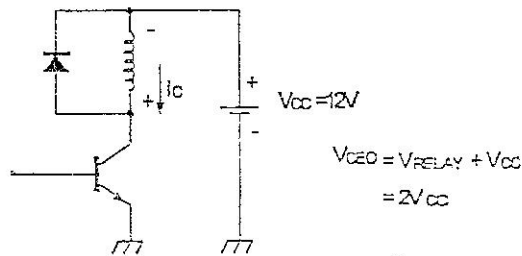


(δ)

Πίνακας 2.1

{7} Χρήση του τρανζίστορ για οδήγηση επαγωγικών φορτίων όπως Ρελέ μοτέρ κλπ. Όταν το τρανζίστορ χρησιμοποιείται για τέτοιες χρήσεις, θα πρέπει να γίνεται προσεκτική μελέτη για περιορισμό του ρεύματος κόρου I_c , και για την τάση αποκοπής που εφαρμόζεται (V_{ce}) στους ακροδέκτες C,E.

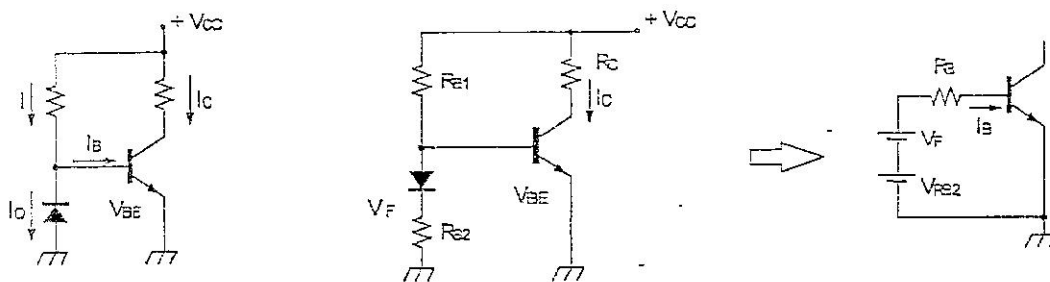
Αυτή η τάση που εφαρμόζεται στον C κατά τη διάρκεια της αποκοπής του τρανζίστορ δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη της τάσης V_{ce0} (η τάση CE που μπορεί να κρατήσει το τρανζίστορ κατά τη διάρκεια που ο CE είναι ανοικτός).



Σχ.2.20

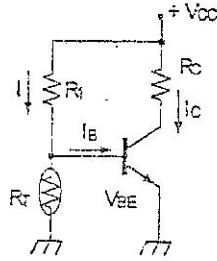
Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.20 επειδή η ανάστροφη ηλεκτρεγερτική δύναμη που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της αποκοπής είναι επικίνδυνη για το τρανζίστορ, βάζουμε μια δίοδο παράλληλα προς το πηνίο για αποφόρτιση του κυκλώματος. Η V_{ce0} επίσης μπορεί έτσι να ελαττωθεί με αποτέλεσμα να έχουμε προστασία του τρανζίστορ.

{8} Πόλωση αντιστάθμισης του τρανζίστορ.



(α) ρεύμα αντιστάθμισης I_{ce}

(β) τάση αντιστάθμισης V_{be}



(γ) κύκλωμα αντιστάθμισης με θερμίστορ

Σχ. 2.21

Περιγραφή :

α) Ρεύμα αντιστάθμισης I_{co} :

Η δίοδος και το τρανζίστορ στο σχήμα 2.21 (α) γίνονται από το ίδιο υλικό και το I_{co} θα μεταβάλλεται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

$$I_b = I - I_c, I_c = \beta I_b + (1 + \beta) I_{co}$$

$$I_c = \beta * I - \beta I_b + \beta I_{co}, \text{ και } \beta + 1 = \beta \text{ και } I_o = I_{co}$$

$I_c = \beta I$, έτσι εξαρτάται από το I_{co} .

β) Αντιστάθμιση τάσης V_{be} .

$$I_b = V_{rb2} + V_f - \frac{V_{be}}{R_1} \text{ η } V_{be} \text{ θα ελαττώνεται κατά } 2mV \text{ για κάθε αύξηση κατά } 1^{\circ}c.$$

Επομένως όταν η V_{be} ελαττώνεται, ελαττώνεται αντίστοιχα και η V_f και το I_b , το δε I_c παραμένει σταθερό.

γ) Αντιστάθμιση με θερμίστορ.

Κατά τη διάρκεια της αύξησης της θερμοκρασίας αυξάνεται και το I_c αλλά η R_t ελαττώνεται. Όταν η V_{be} ελαττώνεται, ελαττώνεται και το I_b αλλά και το I_c επίσης, έτσι θα ελαττώνεται και η θερμοκρασία ανάλογα.