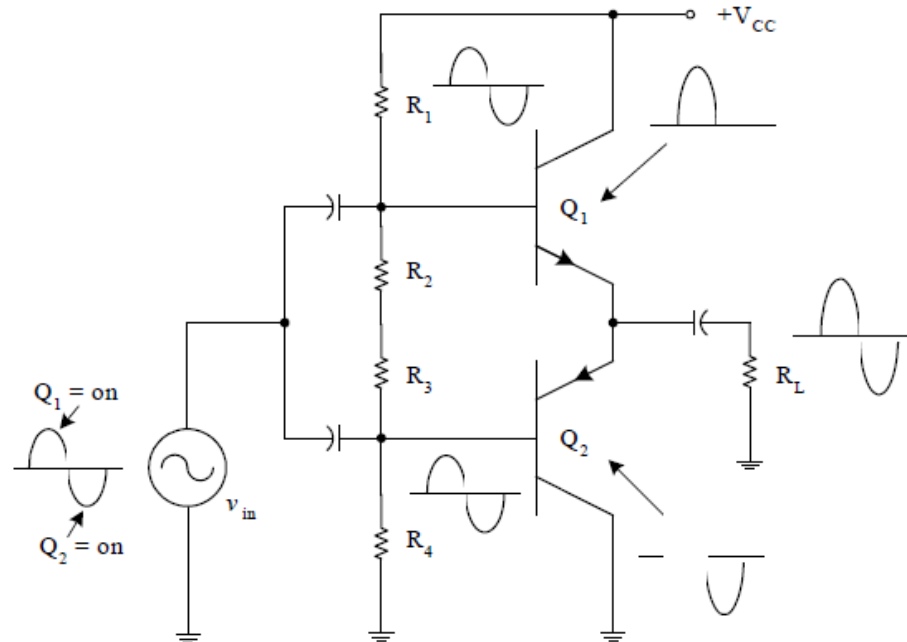


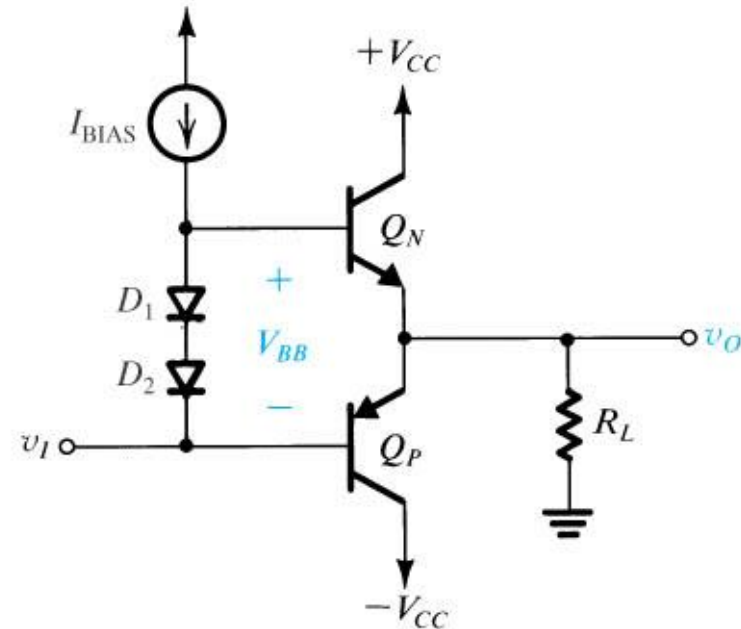
# Πόλωση τάξης AB με χρήση διαιρέτη τάσης

- ✓ Το σημείο ηρεμίας επιλέγεται σε μία τιμή πάνω από την αποκοπή (διαφέρει ανάλογα με το τρανζίστορ). Άρα χρειάζεται και επιπλέον ρυθμιστική αντίσταση
- ✓ Το στάδιο εξόδου καταναλώνει ισχύ εν ηρεμία Αυτή η κατανάλωση αυξάνει τη θερμοκρασία των τρανζίστορ. Όταν αυξηθεί η θερμοκρασία, η  $V_{BE}$  ελαττώνεται με ρυθμό  $\sim 2\text{mV}/^\circ\text{C}$  όταν το  $I_C$  παραμένει σταθερό. Εναλλακτικά, αν η  $V_{BE}$  παραμένει σταθερή, και αυξάνεται η θερμοκρασία, θα αυξηθεί και το  $I_C$ . Αυτό οδηγεί σε αύξηση κατανάλωσης ισχύος που με τη σειρά της αυξάνει το  $I_C \rightarrow$  *θερμική φυγή*



# Πόλωση τάξης AB με χρήση διόδων

- ✓ Η τάση  $V_{BB}$  δημιουργείται με τη διέλευση ρεύματος  $I_{BIAS}$  διαμέσου των ορθά πολωμένων διόδων.
- ✓ Το ρεύμα ηρεμίας  $I_Q = n * I_{BIAS}$  όπου  $n$ : λόγος μεταξύ εμβαδού ένωσης εκπομπού τρανζίστορ εξόδου προς το εμβαδό ένωσης διόδων πόλωσης. Άρα ρεύμα κορεσμού  $I_S$  τρανζίστορ εξόδου είναι  $n$  φορές το ρεύμα κορεσμού διόδων. Εύκολη υλοποίηση σε IC.
- ✓ Οι διόδοι λειτουργούν αντισταθμιστικά ως προς θερμοκρασιακές μεταβολές. Προστασία από θερμική φυγή σε συνθήκες ηρεμίας
- ✓ Αν οι διόδοι έχουν παραπλήσια θερμική συμπεριφορά με τα τρανζίστορ εξόδου, η θερμοκρασία τους θα αυξηθεί κατά το ίδιο ποσό όπως και των τρανζίστορ. Έτσι η  $V_{BB}$  θα μειωθεί με τον ίδιο ρυθμό όπως και η  $V_{BEN} + V_{EBP}$ , με αποτέλεσμα το  $I_{CQ}$  να παραμείνει σταθερό
- ✓ Προσαρμογή διόδων με απευθείας επαφή στη διακριτή σχεδίαση



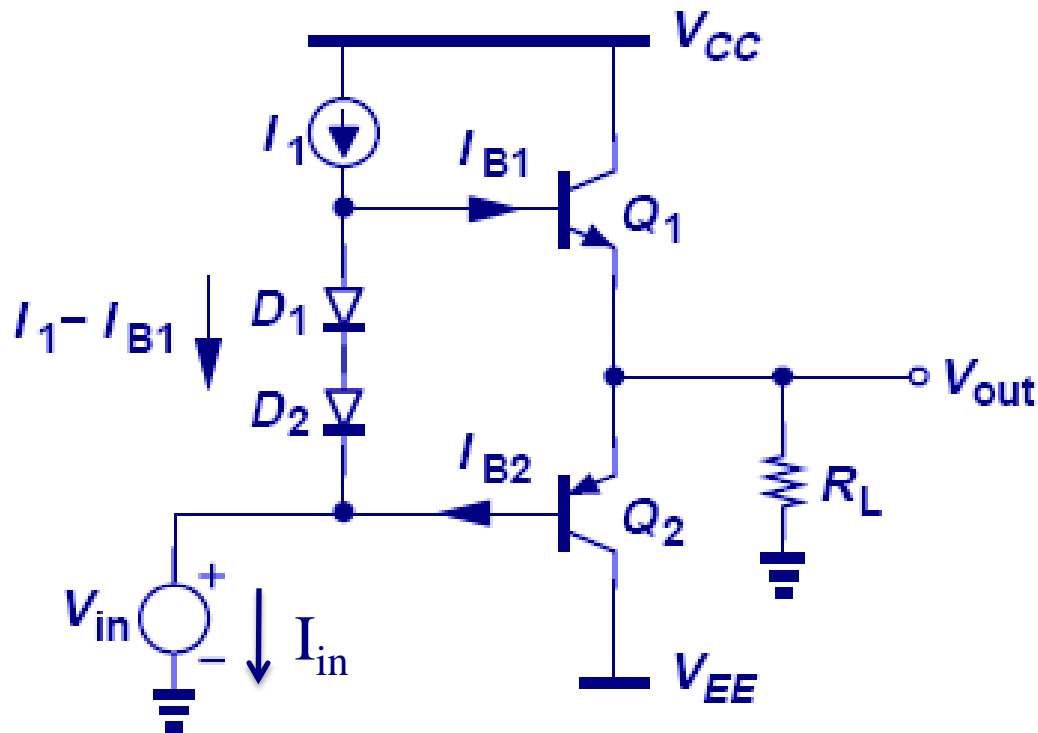
Όταν το στάδιο εξόδου παρέχει ρεύμα στο φορτίο  $\rightarrow$   $I_Q$  του NPN αυξάνεται από  $I_Q/\beta_N$  (σχετικά μικρή τιμή) σε περίπου  $i_L/\beta_N$ .

*Από πού θα προέλθει το ζητούμενο ρεύμα βάσης ?*

Από την πηγή ρεύματος  $I_{BIAS}$ . Άρα το  $I_{BIAS}$  πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την μέγιστη προβλεπόμενη τιμή του ρεύματος βάσης του NPN. Όμως, σε κάθε περίπτωση όταν ζητείται ρεύμα από το φορτίο θα μειώνεται το ρεύμα διαμέσου των διόδων  $\rightarrow$  θα μειώνεται και η  $V_{BB}$ .

*Στην πράξη θα βλέπετε  $> 2$  διόδους*

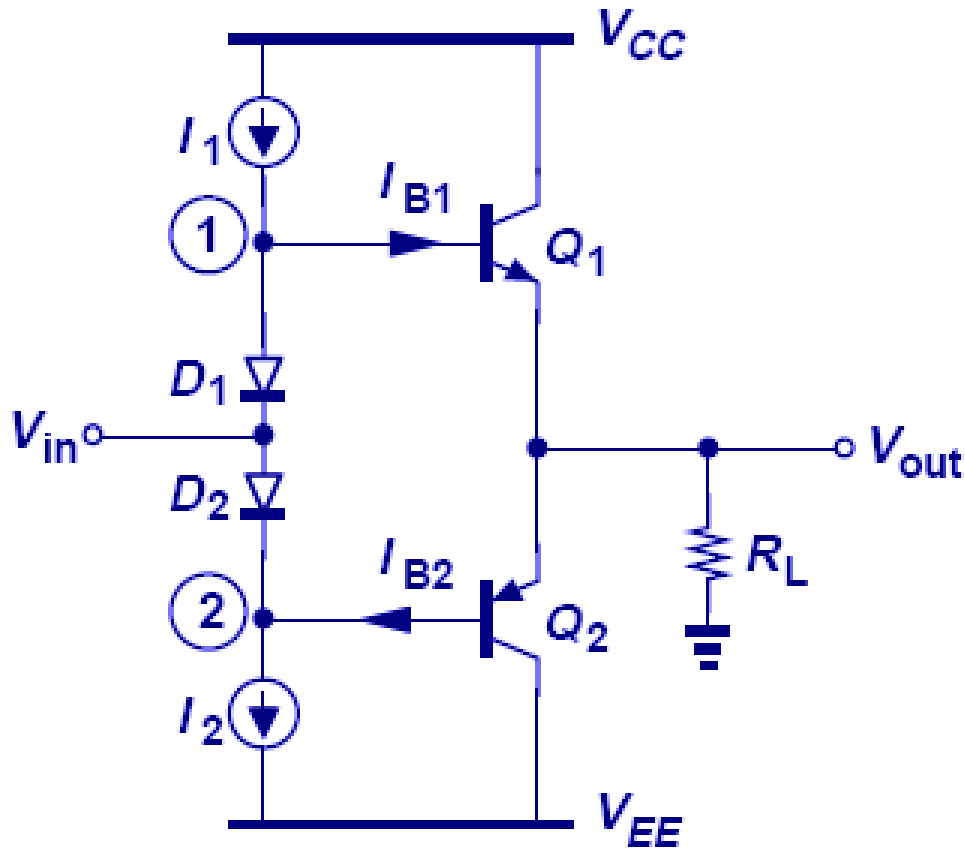
# Πόλωση τάξης AB με χρήση διόδων



$$I_{in} = I_1 - I_{B1} + |I_{B2}|$$

$$\text{If } V_{out}=0 \text{ \& } \beta_1=\beta_2 \gg 1 \\ \Rightarrow I_{B1}=I_{B2}$$

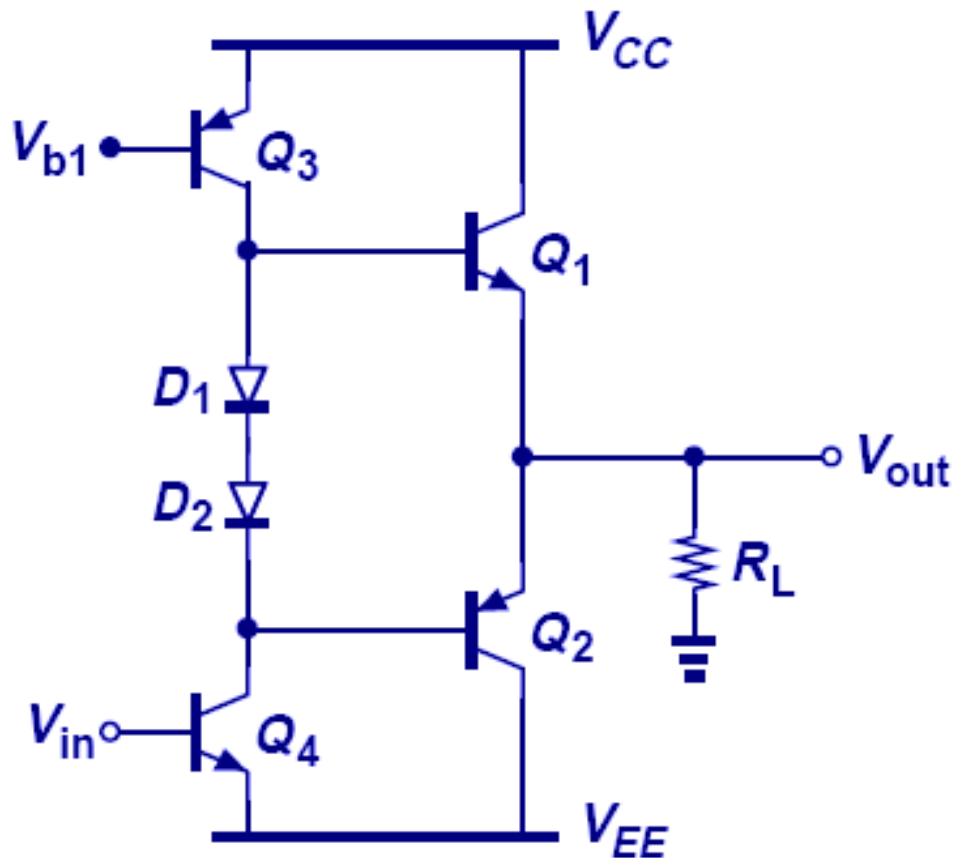
# Πόλωση τάξης AB με χρήση διόδων



$$V_{D1} \approx V_{BE} \rightarrow V_{out} \approx V_{in}$$

$$\text{If } I_1 = I_2 \text{ \& } I_{B1} \approx I_{B2} \\ \rightarrow I_{in} = 0 \text{ when } V_{out} = 0$$

# Πόλωση τάξης AB – προσθήκη CE



Ένα στάδιο CE ( $Q_4$ ) προστίθεται προκειμένου να παρέχει την απαιτούμενη απολαβή τάσης στο στάδιο εξόδου  $Q_1$  and  $Q_2$ .

## Παράδειγμα 2

Δίνεται στάδιο εξόδου τάξης AB με  $V_{CC} = 15 \text{ V}$ ,  $R_L = 100 \ \Omega$  και ημιτονοειδή έξοδο μέγιστου πλάτους  $10 \text{ V}$ . Έστω ότι τα  $Q_N$  και  $Q_P$  είναι ταιριασμένα με  $I_S = 10^{-13} \text{ A}$  και  $\beta = 50$ . Υποθέστε ακόμη ότι οι διόδοι πόλωσης έχουν εμβαδόν ένωσης ίσο με το ένα τρίτο του εμβαδού των τρανζίστορ εξόδου. Βρείτε την τιμή του  $I_{BIAS}$ , η οποία εγγυάται ελάχιστο ρεύμα ίσο με  $1 \text{ mA}$  διαμέσου των διόδων συνεχώς. Υπολογίστε το ρεύμα ηρεμίας και την κατανάλωση ισχύος στα τρανζίστορ εξόδου σε συνθήκες ηρεμίας (δηλ. για  $v_o = 0$ ). Επίσης, βρείτε την  $V_{BB}$  για  $v_o = 0$ ,  $+10 \text{ V}$  και  $-10 \text{ V}$ .

Το μέγιστο ρεύμα διαμέσου του  $Q_N$  είναι περίπου ίσο με το  $i_{Lmax} = 10 \text{ V}/0.1 \text{ k}\Omega = 100 \text{ mA}$ . Συνεπώς, το μέγιστο ρεύμα βάσης του  $Q_N$  είναι περίπου  $2 \text{ mA}$ . Για να διατηρηθεί ρεύμα διαμέσου των διόδων ίσο κατ'ελάχιστον με  $1 \text{ mA}$ , επιλέγουμε  $I_{BIAS} = 3 \text{ mA}$ .

Ο λόγος εμβαδών δίνει ρεύμα ηρεμίας διαμέσου των  $Q_N$  και  $Q_P$  ίσο με  $9 \text{ mA}$ .

Η κατανάλωση ισχύος σε κατάσταση ηρεμίας είναι

$$P_{DQ} = 2 \times 15 \times 9 = 270 \text{ mW}$$

Για  $v_o = 0$ , το ρεύμα βάσης του  $Q_N$  είναι  $9/51 \approx 0.18 \text{ mA}$ , και έτσι το ρεύμα διαμέσου των διόδων είναι  $3 - 0.18 = 2.82 \text{ mA}$ . Εφόσον οι διόδοι έχουν  $I_S = 1/3 \times 10^{-13} \text{ A}$ , η τάση  $V_{BB}$  θα είναι

$$V_{BB} = 2V_T \ln \frac{2.82 \text{ mA}}{I_S} = 1.26 \text{ V}$$

Για  $v_o = +10 \text{ V}$ , το ρεύμα διαμέσου των διόδων θα μειωθεί στα  $1 \text{ mA}$  και η  $V_{BB}$  θα γίνει περίπου ίση με  $1.21 \text{ V}$ . Στα άλλο άκρο, δηλαδή όταν  $v_o = -10 \text{ V}$ , το  $Q_N$  θα άγει ένα πολύ μικρό ρεύμα, οπότε το ρεύμα βάσης θα είναι αμελητέο και όλο το  $I_{BIAS}$  ( $3 \text{ mA}$ ) θα ρέει διαμέσου των διόδων, με αποτέλεσμα  $V_{BB} \approx 1.26 \text{ V}$ .

# Πόλωση τάξης AB με χρήση πολλαπλασιαστή $V_{BE}$

Ένας εναλλακτικός τρόπος πόλωσης, ο οποίος παρέχει στα σχεδιαστή πολύ μεγαλύτερη ευελιξία τόσο στη σχεδίαση κυκλωμάτων διακριτών στοιχείων όσο και στη σχεδίαση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, παρουσιάζεται στο Σχ. 15. Το κύκλωμα πόλωσης αποτελείται από το τρανζίστορ  $Q_1$  με την αντίσταση  $R_1$  συνδεδεμένη μεταξύ βάσης και εκπομπού και την αντίσταση ανάδρασης  $R_2$  συνδεδεμένη μεταξύ συλλέκτη και βάσης. Το δίθυρο δίκτυο που προκύπτει από την παραπάνω συνδεσμολογία τροφοδοτείται από σταθερή πηγή ρεύματος  $I_{BIAS}$ . Εάν αγνοήσουμε το ρεύμα βάσης του  $Q_1$ , τότε οι  $R_1$  και  $R_2$  θα έχουν το ίδιο ρεύμα  $I_R$ , το οποίο δίνεται από τη σχέση

$$I_R = \frac{V_{BE1}}{R_1} \quad (14.32)$$

η τάση  $V_{BB}$  θα είναι

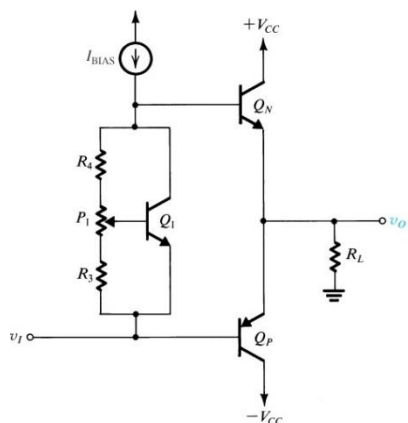
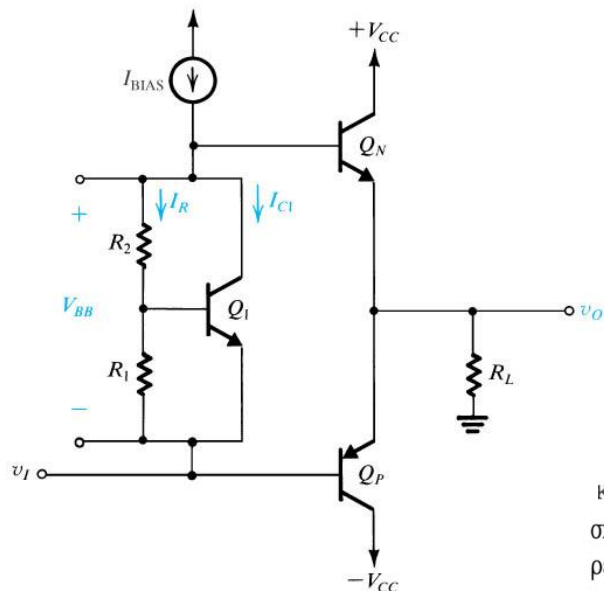
$$\begin{aligned} V_{BB} &= I_R(R_1 + R_2) \\ &= V_{BE1} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \end{aligned}$$

Δηλαδή, το κύκλωμα πολλαπλασιάζει απλώς την  $V_{BE1}$  επί ένα συντελεστή  $(1 + R_2/R_1)$  και γι' αυτό αποκαλείται πολλαπλασιαστής  $V_{BE}$ . Προφανώς, ο πολλαπλασιαστικός συντελεστής είναι υπό τον έλεγχο του σχεδιαστή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει την τιμή της  $V_{BB}$  που απαιτείται για ένα ζητούμενο ρεύμα ηρεμίας  $I_Q$ . Στα ολοκληρωμένα κυκλώματα είναι σχετικά εύκολο να ελεγχθεί η ακρίβεια του λόγου των τιμών δύο αντιστάσεων. Στη σχεδίαση κυκλωμάτων με διακριτά στοιχεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ποτενσιόμετρο, όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 14.16, το οποίο ρυθμίζεται ώστε να παραχθεί η επιθυμητή τιμή του  $I_Q$ .

Η τιμή της  $V_{BE1}$  στην Εξίσωση (14.33) καθορίζεται από το κλάσμα του  $I_{BIAS}$  που ρέει διαμέσου του συλλέκτη του  $Q_1$ ,

$$I_{C1} = I_{BIAS} - I_R \quad V_{BE1} = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}}$$

όπου έχουμε αγνοήσει το ρεύμα βάσης του  $Q_N$ , το οποίο είναι συνήθως μικρό τόσο κάτω από συνθήκες ηρεμίας όσο και όταν η τάση εξόδου λαμβάνει αρνητικές τιμές. Ωστόσο, για θετικές τιμές της  $v_O$  και ιδιαίτερα για τιμές κοντά στην κορυφή, το ρεύμα βάσης του  $Q_N$  μπορεί να λάβει υπολογίσιμη τιμή και έτσι να μειώσει το ρεύμα το οποίο είναι διαθέσιμο για τον πολλαπλασιαστή  $V_{BE}$ . Εφόσον όμως μεγάλες αλλαγές του  $I_{C1}$  αντιστοιχούν σε μικρές αλλαγές της  $V_{BE1}$ , η μείωση του ρεύματος θα απορροφηθεί κατά κύριο λόγο από το  $Q_1$ , αφήνοντας το  $I_R$  και κατά συνέπεια και την  $V_{BB}$  σε σχεδόν σταθερή τιμή.



# Παράδειγμα 3

Ζητείται να επανασχεδιαστεί το στάδιο εξόδου του Παραδείγματος 2 με τη χρήση πολλαπλασιαστή  $V_{BE}$  για πόλωση. Χρησιμοποιήστε τρανζίστορ με μικρές διαστάσεις για το  $Q_1$  με  $I_S = 10^{-14}$  A και σχεδιάστε για ρεύμα ηρεμίας  $I_Q = 2$  mA.

## Λύση

Εφόσον το μέγιστο θετικό ρεύμα είναι 100 mA, το ρεύμα βάσης του  $Q_N$  μπορεί να είναι έως 2 mA. Για το λόγο αυτό, επιλέγουμε  $I_{BIAS} = 3$  mA, τροφοδοτώντας έτσι τον πολλαπλασιαστή με ελάχιστο ρεύμα ίσο με 1 mA.

Υπό συνθήκες ηρεμίας ( $v_O = 0$  και  $i_L = 0$ ) το ρεύμα βάσης του  $Q_N$  μπορεί να αγνοηθεί και όλο το  $I_{BIAS}$  ρέει διαμέσου του πολλαπλασιαστή. Θα πρέπει τώρα να αποφασίσουμε με ποιον τρόπο αυτό το ρεύμα (3 mA) θα μοιραστεί μεταξύ των  $I_{C1}$  και  $I_R$ . Εάν επιλέξουμε  $I_R$  μεγαλύτερο από 1 mA, το τρανζίστορ θα φτάνει στην αποκοπή για τις θετικές κορυφές της  $v_O$ . Συνεπώς, πρέπει να επιλέξουμε  $I_R = 0.5$  mA, αφήνοντας 2.5 mA για το  $I_{C1}$ .

Για να πάρουμε ρεύμα ηρεμίας 2 mA στα τρανζίστορ εξόδου, η  $V_{BB}$  θα πρέπει να είναι

$$V_{BB} = 2V_T \ln \frac{2 \times 10^{-3}}{10^{-13}} = 1.19 \text{ V}$$

Μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε το άθροισμα  $R_1 + R_2$ ,

$$R_1 + R_2 = \frac{V_{BB}}{I_R} = \frac{1.19}{0.5} = 2.38 \text{ k}\Omega$$

Για ρεύμα συλλέκτη 2.5 mA, το  $Q_1$  έχει

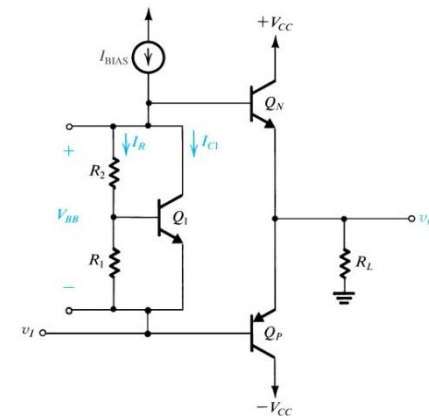
$$V_{BE1} = V_T \ln \frac{2.5 \times 10^{-3}}{10^{-14}} = 0.66 \text{ V}$$

Η τιμή της  $R_1$  μπορεί τώρα να υπολογιστεί ως

$$R_1 = \frac{0.66}{0.5} = 1.32 \text{ k}\Omega$$

και η  $R_2$  ως

$$R_2 = 2.38 - 1.32 = 1.06 \text{ k}\Omega$$



# Κύκλωμα πόλωσης push-pull

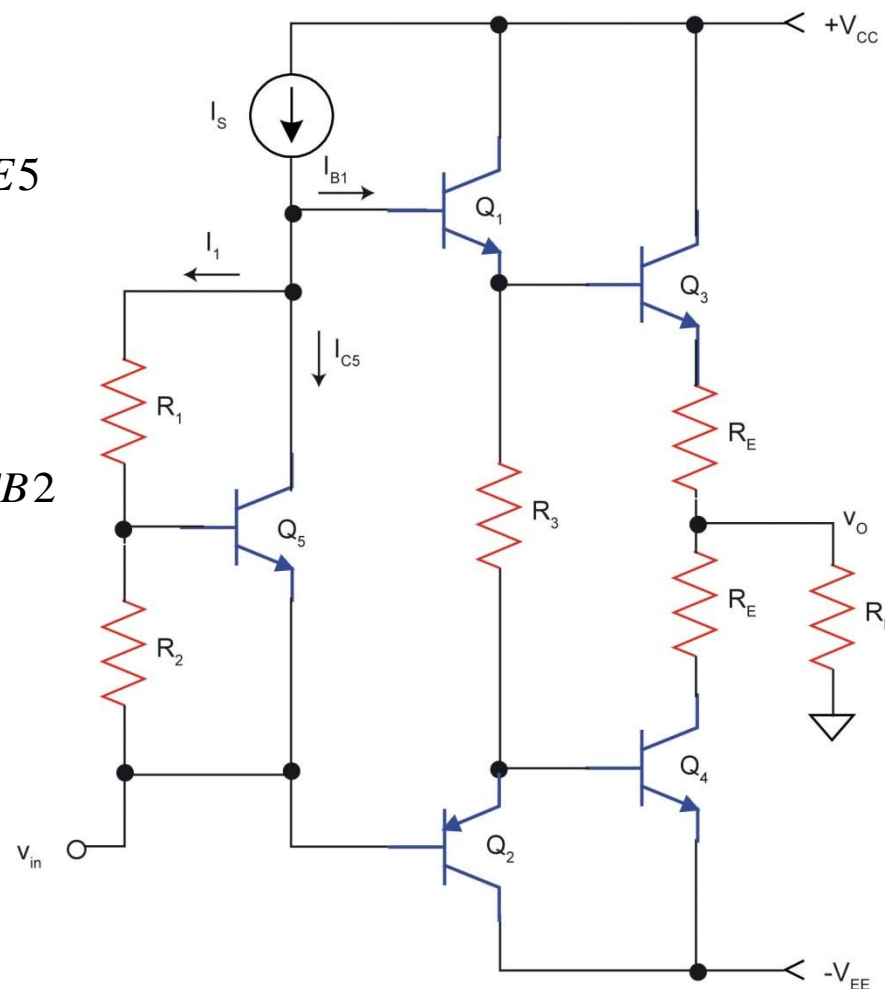
$$I_s = I_1 + I_{C5} + I_{B1}$$

$$V_{BB} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{BE5}$$

Προφανώς ισχύει

$$V_{BB} = V_{BE1} + V_{BE3} + 2I_o R_E + V_{EB4} + V_{EB2}$$

- Q3, Q4 σε ψυκτρα



# Κυκλωματικές βελτιώσεις τάξης AB

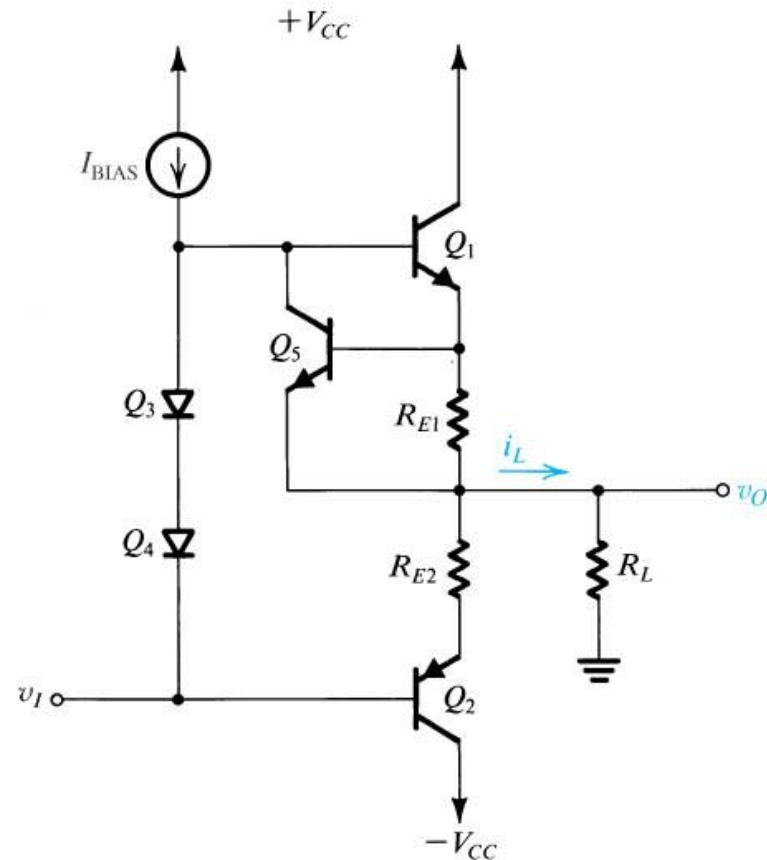
## ✓ Προστασία βραχυκυκλώματος εξόδου

**Βραχυκύκλωμα**  $\rightarrow$  θα υπάρξει μεγάλο ρεύμα διαμέσου του  $Q_1$ .

Υπό συνήθεις συνθήκες λειτουργίας το  $Q_5$  είναι σε αποκοπή διότι η τάση που αναπτύσσεται στα άκρα της  $R_{E1}$  είναι μικρότερη από  $0.7V$ .

Αν το  $I_{E1}$  υπερβεί μία τιμή ίση με  $I_{E1}=0.7V/R_{E1}$  τότε Μεγάλο ρεύμα  $\rightarrow$  μεγάλη πτώση τάσης στην  $R_{E1}$   $\rightarrow$   $Q_5$  άγει  $\rightarrow$  Ο συλλέκτης του  $Q_5$  θα τραβήξει το μεγαλύτερο μέρος του  $I_{BIAS}$  άρα θα «κλέψει» το πλεονάζον ρεύμα βάσης του  $Q_1$ . Άρα το  $Q_1$  θα σταματήσει να τροφοδοτεί με ρεύμα το βραχυκυκλωμένο φορτίο.

Μειονέκτημα: Η  $R_{E2}$  είναι σε σειρά με την έξοδο  $\rightarrow$  αυξάνεται η  $R_o$  του CC  $\rightarrow$  πτώση τάσης  $\sim 0.6V$   $\rightarrow$  αναμένεται μείωση της μέγιστης τάσης εξόδου κατά αυτή την τιμή



# Κυκλωματικές βελτιώσεις τάξης AB (συν.)

## ✓ Θερμική προστασία

Κύκλωμα που ενεργοποιείται και αποκόπτει το τρανζίστορ εξόδου .

Είναι έτσι συνδεδεμένο ώστε όταν γίνει η θερμοκρασιακή υπέρβαση, να άγει ένα τρανζίστορ και να απορροφά ρεύμα πόλωσης (στην ουσία να διακόπτει τη λειτουργία του).

*Λειτουργία:*

Q2 εκτός λειτουργίας σε Κ.Σ. Αν αυξηθεί η θερμοκρασία, τότε λόγω θετικού συντελεστή θερμοκρασίας της zener και αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας της  $V_{BE}$  → αυξάνεται η  $V_E$  του Q1 → αυξάνεται η τάση  $V_{B2}$  → το Q2 άγει και απορροφά το πλεονάζον ρεύμα

