



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΙΙΙ

Ενότητα 4: Ενισχυτές ισχύος

Χατζόπουλος Αλκιβιάδης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχ. Υπολογιστών



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



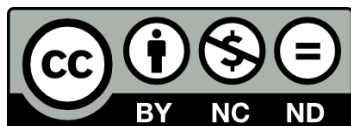
Σχεδιασμός ενοτήτων:

- 1. Σχεδίαση τελεστικών ενισχυτών
- 2. Κυκλώματα ανόρθωσης - δίοδοι zener
- 3. Κυκλώματα αναφοράς
- **4. Ενισχυτές ισχύος**
- 5. Ηλεκτρονικά ελέγχου ισχύος
- 6. 1η εργαστηριακή άσκηση και προσομοίωση με το SPICE
- 7. 2η εργαστηριακή άσκηση και προσομοίωση με το SPICE





ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Εισαγωγή – ενισχυτικές τάξεις (διαφ. 7 - 12)
2. Χαρακτηριστικά ενισχυτών τάξης A (διαφ. 13 - 15)
3. Χαρακτηριστικά ενισχυτών τάξης B (διαφ. 16 - 20)
4. Μελέτη ενισχυτών τάξης AB (διαφ. 21 - 28)
5. Επίδραση θερμοκρασίας (διαφ. 29 - 39)
6. Ενισχυτής ισχύος σταθερού κέρδους (διαφ. 40 - 44)
7. Ενισχυτές με MOS τρανζίστορ (διαφ. 45 - 50)

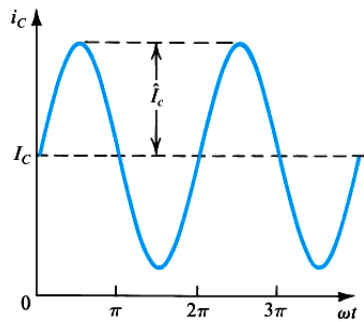


Γενικά χαρακτηριστικά

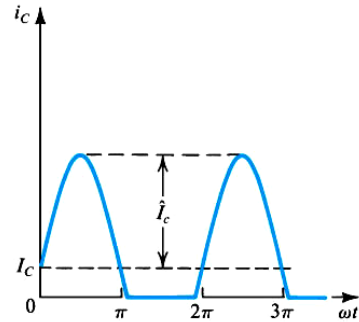
- Χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν μεγάλη ποσότητα ισχύος σε χαμηλές αντιστάσεις φορτίου.
 - Τυπικές τιμές φορτίου κυμαίνονται από 300W (κεραίες) σε 8W (ηχεία).
 - Τυπικές τιμές ισχύος εξόδου είναι 1W ή μεγαλύτερη.
- Οι ιδανικοί ενισχυτές ισχύος πρέπει να έχουν απόδοση 100%, αλλά στην πράξη αυτό δεν συμβαίνει ποτέ.
 - Τα στοιχεία του ενισχυτή καταναλώνουν πάντα κάποια ποσότητα ενέργειας.
- Χαμηλή αντίσταση εξόδου.
- Μεγάλες τιμές ρεύματος.
- Γραμμικότητα (ολική αρμονική παραμόρφωση, THD).
- Ελεγχόμενη εσωτερική θερμοκρασία ένωσης (max 150-200 °C).
- Μέγιστη απόδοση μετατροπής ισχύος.



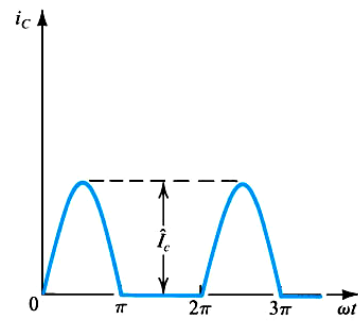
Τάξη (class) βαθμίδας εξόδου



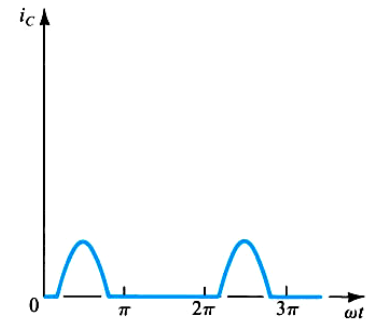
(a)



(c)



(b)



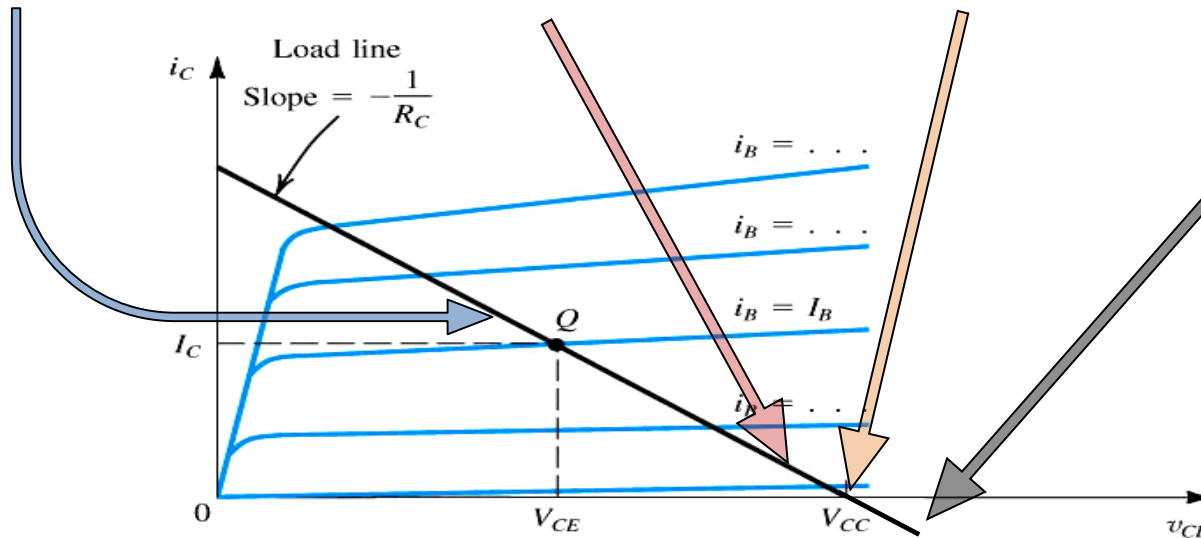
(d)

A

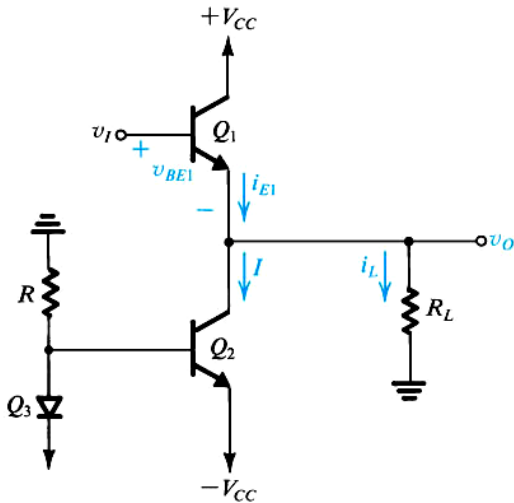
AB

B

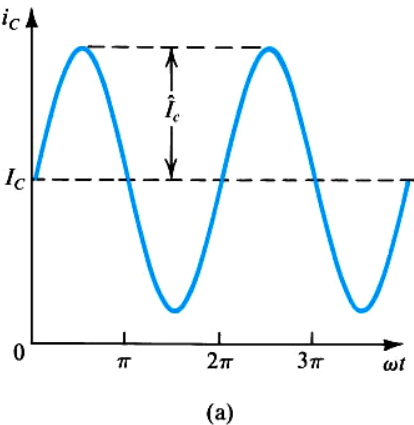
C



Βαθμίδα εξόδου σε τάξη A



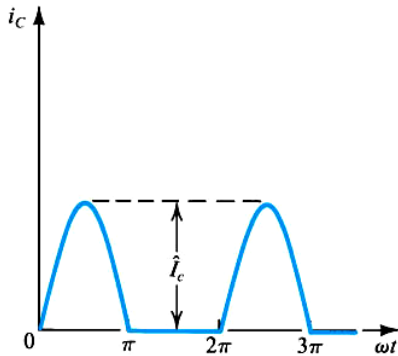
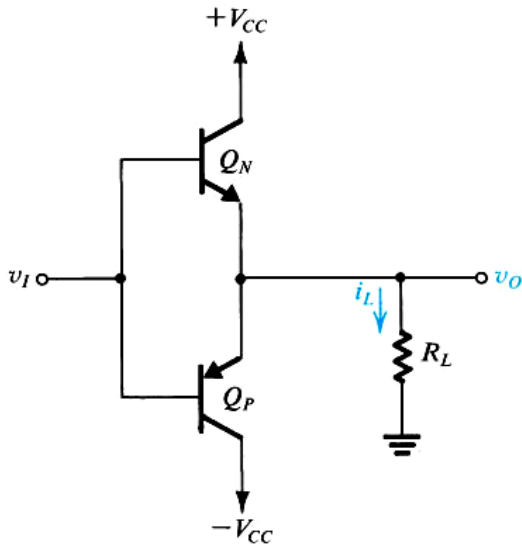
- Το τρανζίστορ εξόδου διαρρέεται συνεχώς από ρεύμα (ποτέ δεν κλείνει).
 - Γωνία αγωγής 360° (100% του σήματος).
 - Δεν προκύπτει καθυστέρηση μεταγωγής.
- Έχουν πολύ καλή γραμμικότητα (χαμηλή παραμόρφωση).
- Πολύ χαμηλή απόδοση μετατροπής της DC ισχύος της πηγής σε RF σήμα εξόδου $\sim 25\%$.
 - επειδή το τρανζίστορ άγει συνεχώς.
 - επειδή το ρεύμα αγωγής είναι πολύ μεγάλο.
- Η υπόλοιπη ισχύς καταναλώνεται ως θερμότητα (το τρανζίστορ θερμαίνεται αρκετά).
- Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ασθενών σημάτων, π.χ. ακουστικά.
- *Πολλοί audiophiles πιστεύουν ότι οι ενισχυτές τάξης A αποδίδουν την καλύτερη ποιότητα ήχου.*



(a)



Βαθμίδα εξόδου σε τάξη Β

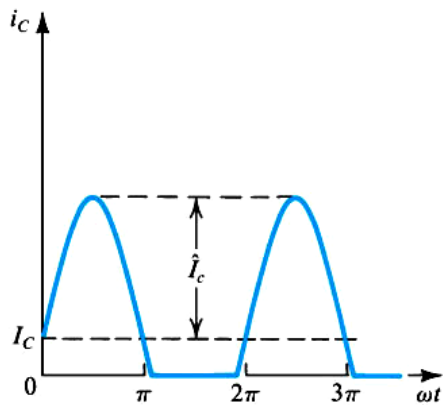
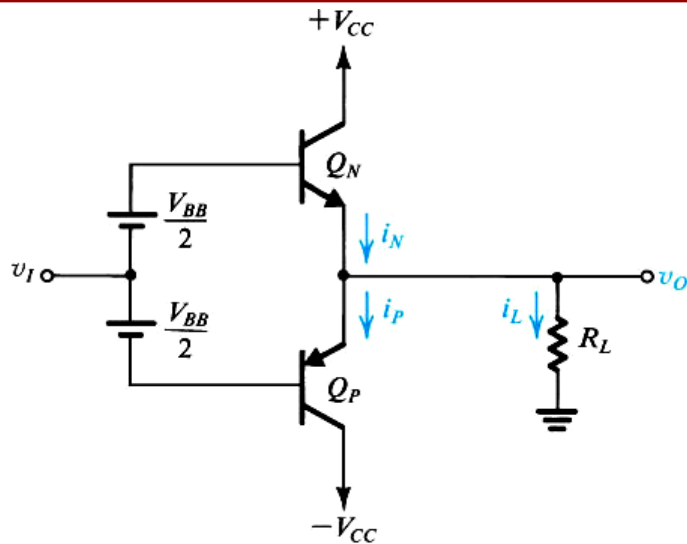


(b)

- Δεν υπάρχει ρεύμα πόλωσης.
- Το τρανζίστορ εξόδου άγει μόνο όταν υπάρχει «θετικό» σήμα.
- Γωνία αγωγής 180° (50% του σήματος).
- Χρησιμοποιούνται δυο τρανζίστορ σε συνδεσμολογία “push-pull” για να λάβουμε το πλήρες σήμα.
- Μεγαλύτερη απόδοση ισχύος $\sim 75\%$.
- Υποφέρουν από μεγάλη παραμόρφωση.
 - Απαιτείται η προσθήκη «πνίχτη»: “LC-tank” για τη μείωσή της.
 - Αυξάνεται η πολυπλοκότητα.
- Εμφανίζουν παραμόρφωση διασταύρωσης (crossover).
- Χρησιμοποιούνται σε ενισχυτές ήχου.



Βαθμίδα εξόδου σε τάξη AB

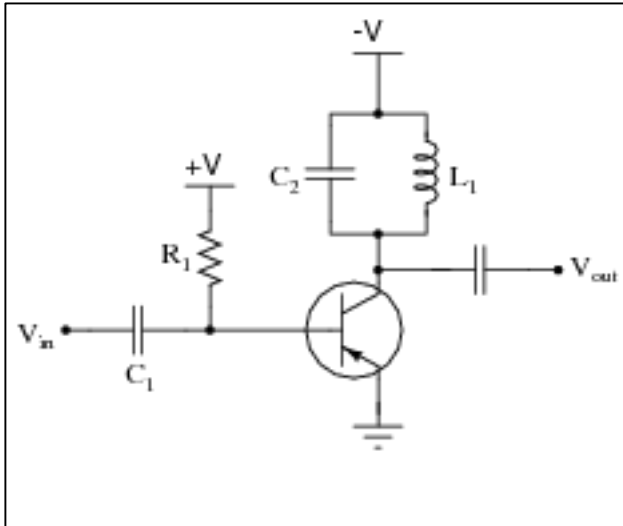


(c)

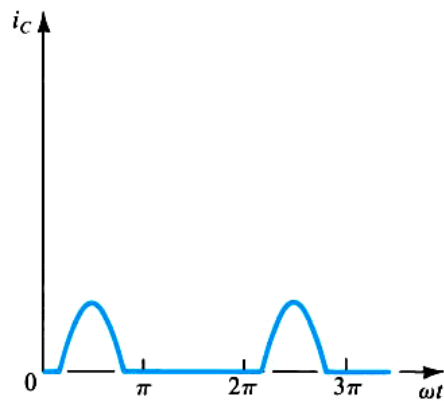
- Κατατάσσονται μεταξύ A-B αλλά μοιάζουν περισσότερο με B.
- Ένα μικρό ρεύμα πόλωσης διαρρέει συνεχώς τα τρανζίστορ:
 - Απαλείφεται η παραμόρφωση διασταύρωσης.
 - Μειώνεται η απόδοση.
- Γωνία αγωγής $>180^\circ$ και $<360^\circ$.
- Άρα οι AB αντισταθμίζουν την απώλεια σε απόδοση (σε σχέση με τους B) με αύξηση της γραμμικότητας (κατώτερη όμως των A).



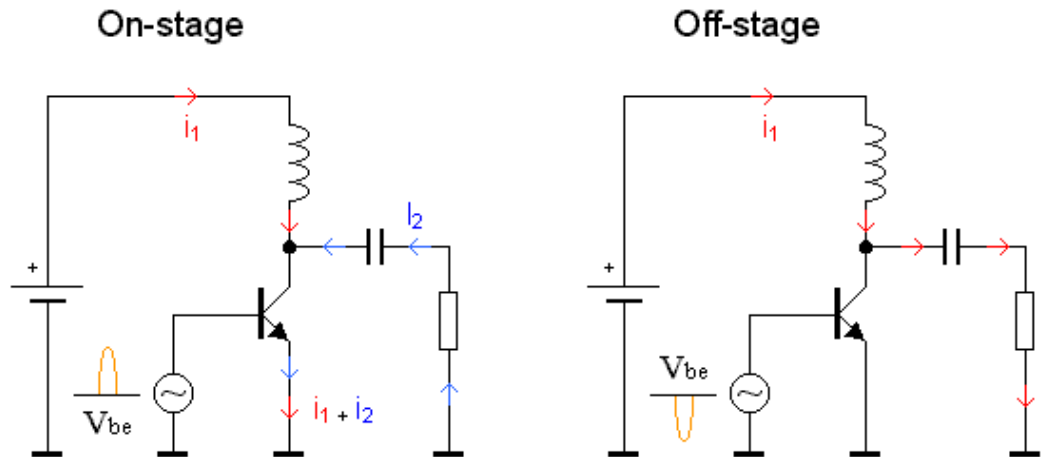
Βαθμίδα εξόδου σε τάξη C



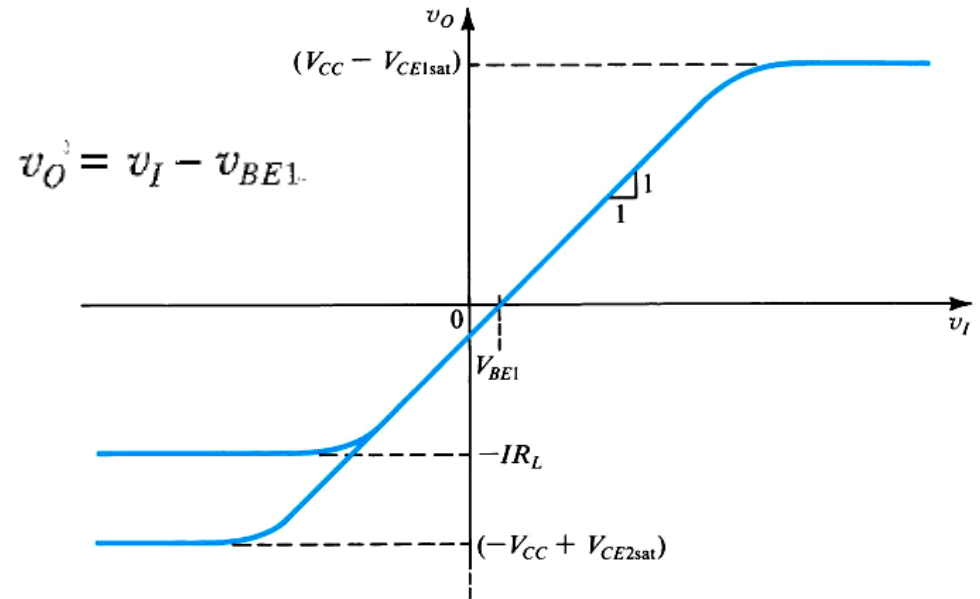
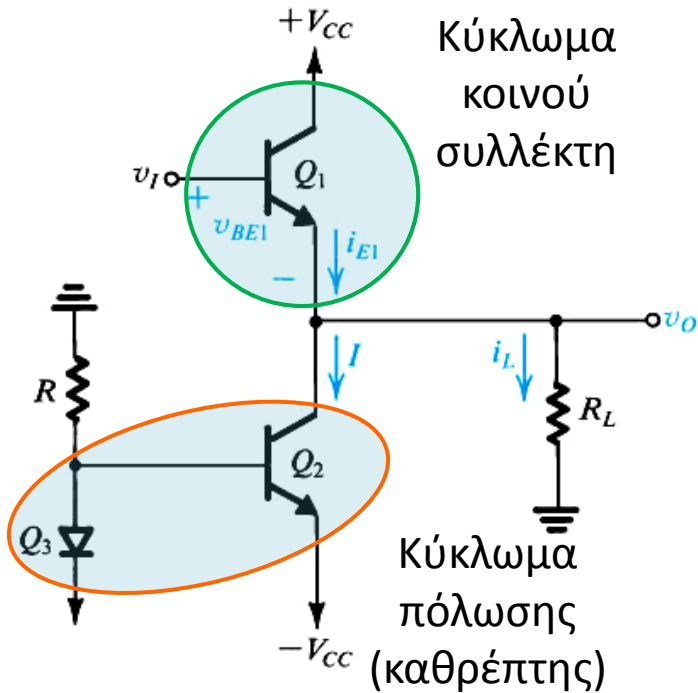
- Γωνία αγωγής $< 180^\circ$ ($< 50\%$ του σήματος).
- Μεγάλη απόδοση $\sim 90\%$.
- Αρκετά μεγάλη παραμόρφωση.
- Απαραίτητο κύκλωμα συντονισμού (LC-tank) για την αντιστάθμιση της παραμόρφωσης.



(d)



Βαθμίδα εξόδου σε τάξη Α



Χαρακτηριστική μεταφοράς

$$\text{Κορεσμός } Q1 \Rightarrow v_{Omax} = V_{CC} - V_{CE1sat}$$

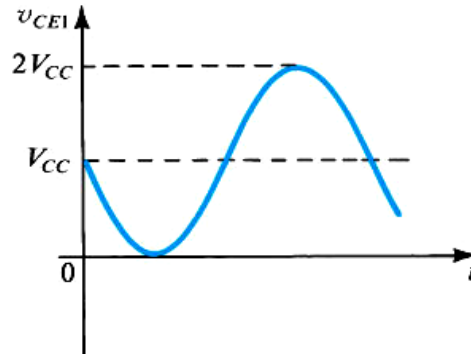
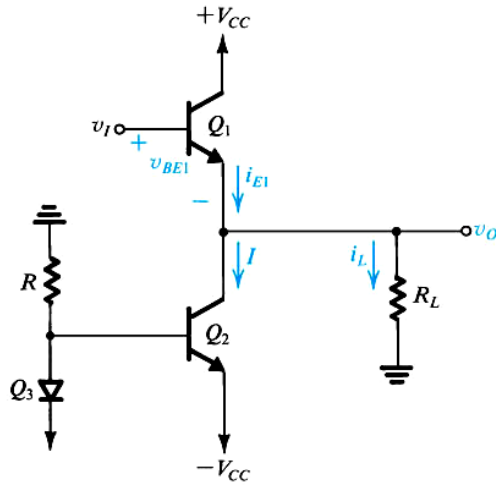
$$\text{Αποκοπή } Q1 \Rightarrow v_{Omin} = -IR_L$$

$$\text{ή κορεσμός } Q2 \Rightarrow v_{Omin} = -V_{CC} + V_{CE2sat}$$

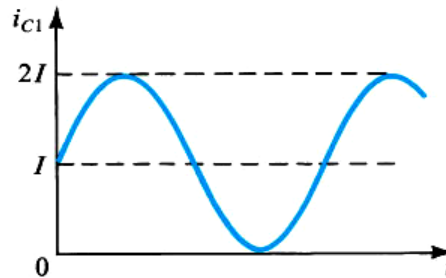
$$\text{Ισχύει όταν: } I \geq \frac{|-V_{CC} + V_{CE2sat}|}{R_L}$$



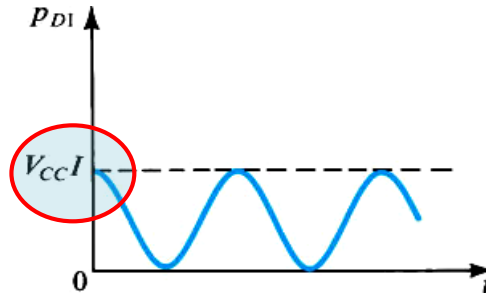
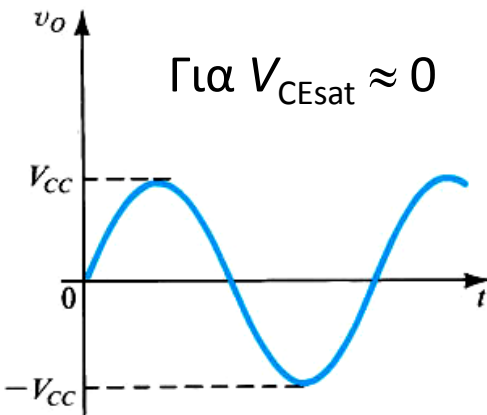
Βαθμίδα εξόδου σε τάξη Α



$$v_{CE1} = V_{CC} - v_o$$



Κατάλληλη επιλογή I ώστε να επιτρέπει μέγιστο ρεύμα φορτίου V_{CC}/R_L .



Στιγμιαία κατανάλωση ισχύος:

$$p_{D1} \equiv v_{CE1} i_{C1}$$

(a)

(d)



Βαθμίδα εξόδου σε τάξη Α

Απόδοση μετατροπής ισχύος (power)

Συντελεστής απόδοσης μετατροπής ισχύος: $\eta \equiv \frac{\text{Load power } (P_L)}{\text{Supply power } (P_S)}$

Μέση ισχύς φορτίου: $P_L = \frac{(\hat{V}_o/\sqrt{2})^2}{R_L} = \frac{1}{2} \frac{\hat{V}_o^2}{R_L}$

Μέση ισχύς τροφοδοσίας
(θετικής και αρνητικής): $P_S = 2V_{CC}I$

Συντελεστής απόδοσης: $\eta = \frac{1}{4} \frac{\hat{V}_o^2}{IR_L V_{CC}} = \frac{1}{4} \left(\frac{\hat{V}_o}{IR_L} \right) \left(\frac{\hat{V}_o}{V_{CC}} \right)$

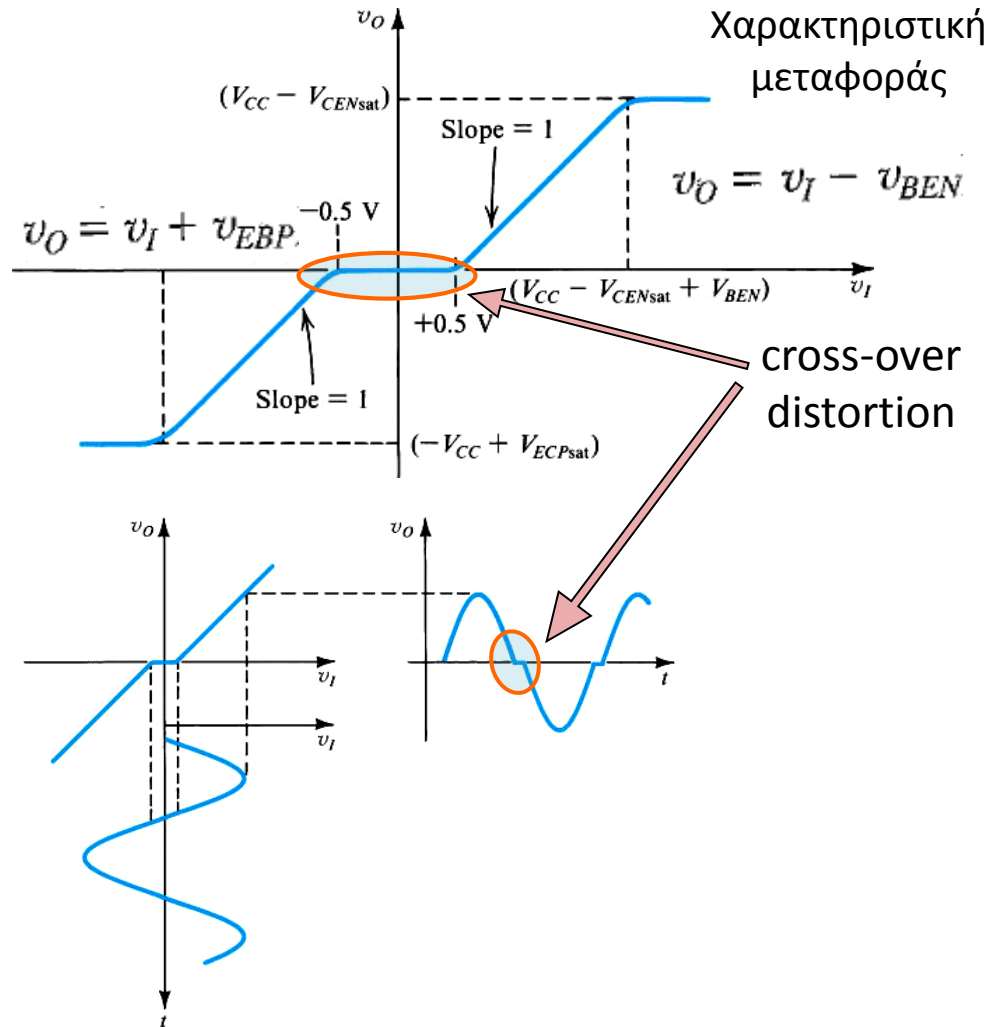
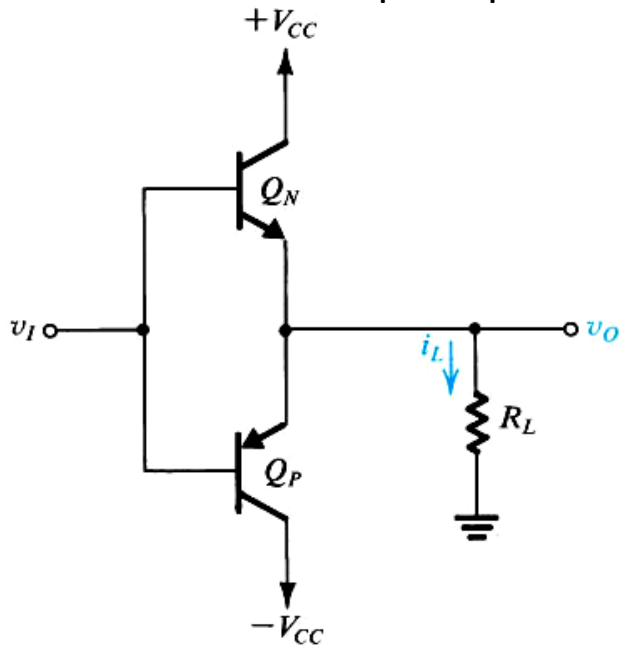
$\left. \begin{array}{l} \hat{V}_o \leq V_{CC} \\ \hat{V}_o \leq IR_L \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Μέγιστη απόδοση όταν: } \hat{V}_o = V_{CC} = IR_L$

Άρα, θεωρητική μέγιστη απόδοση 25%. Πρακτική 10% - 20%.



Βαθμίδα εξόδου σε τάξη Β

Κύκλωμα push-pull



Βαθμίδα εξόδου σε τάξη Β

Απόδοση μετατροπής ισχύος (power)

$$\text{Μέση ισχύς φορτίου: } P_L = \frac{1}{2} \frac{\hat{V}_o^2}{R_L}$$

$$\text{Μέση ισχύς τροφοδοσίας: } P_{S+} = P_{S-} = \frac{1}{\pi} \frac{\hat{V}_o}{R_L} V_{CC}$$

$$\text{Συνολική ισχύς τροφοδοσίας: } P_S = \frac{2}{\pi} \frac{\hat{V}_o}{R_L} V_{CC}$$

$$\text{Συντελεστής απόδοσης: } \eta = \left(\frac{1}{2} \frac{\hat{V}_o^2}{R_L} \right) / \left(\frac{2}{\pi} \frac{\hat{V}_o}{R_L} V_{CC} \right) = \frac{\pi}{4} \frac{\hat{V}_o}{V_{CC}}$$

Μέγιστη απόδοση όταν \hat{V}_o μέγιστη ($= V_{CC} - V_{CEsat} \approx V_{CC}$)

Άρα, θεωρητική μέγιστη απόδοση: $\eta_{\max} = \frac{\pi}{4} = 78.5\%$

$$\text{Μέγιστη ισχύς φορτίου: } P_{L\max} = \frac{1}{2} \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$



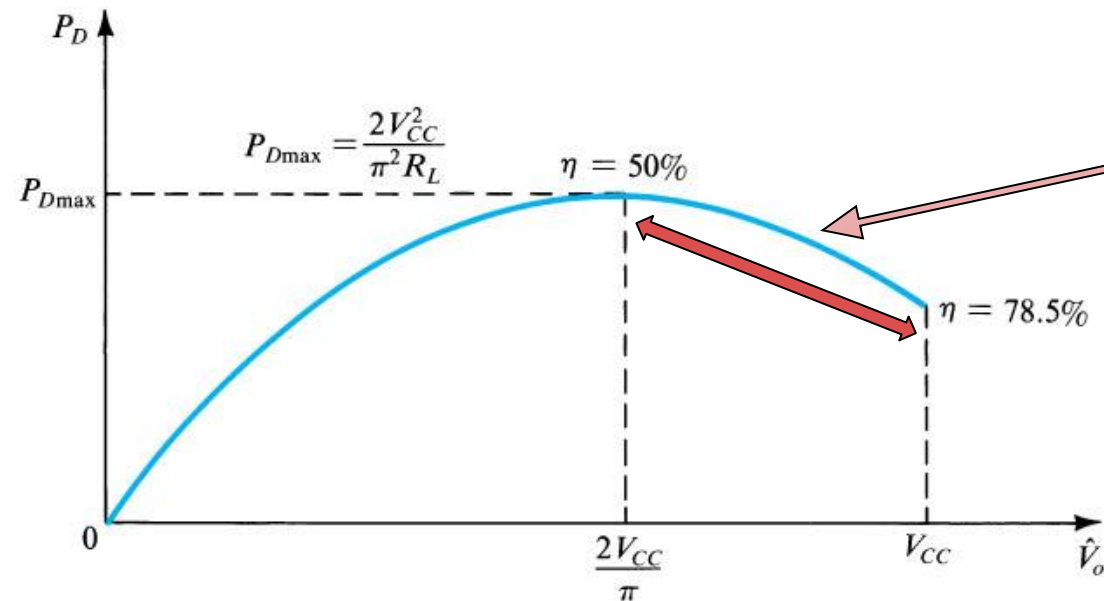
Βαθμίδα εξόδου σε τάξη Β

Κατανάλωση ισχύος στην βαθμίδα

Μέση ισχύς που καταναλώνεται στην βαθμίδα: $P_D = P_S - P_L = \frac{2}{\pi} \frac{\hat{V}_o}{R_L} V_{CC} - \frac{1}{2} \frac{\hat{V}_o^2}{R_L}$

Μέγιστη μέση κατανάλωση ισχύος P_{Dmax} όταν: $\hat{V}_o|_{P_{Dmax}} = \frac{2}{\pi} V_{CC} \Rightarrow P_{Dmax} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi^2 R_L}$

$$\Rightarrow P_{DNmax} = P_{DPmax} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L}$$



- μείωση της ισχύος στη βαθμίδα
- αύξηση της ισχύος στο φορτίο
- αύξηση της μη γραμμικής παραμόρφωσης

Παράδειγμα σχεδίασης βαθμίδας τάξης B

Ζητείται βαθμίδα εξόδου τάξης B που να δίνει ισχύ 20 W σε φορτίο 8 Ω. Η τάση V_{CC} να είναι περίπου 5 V μεγαλύτερη από την μέγιστη τάση εξόδου. Να βρεθούν η τάση τροφοδοσίας, το μέγιστο ρεύμα από το κάθε τροφοδοτικό, η συνολική ισχύς τροφοδοσίας, ο συντελεστής απόδοσης και η μέγιστη ισχύς που πρέπει να αντέχει το κάθε τρανζίστορ.

$$P_L = \frac{1}{2} \frac{\hat{V}_o^2}{R_L} \Rightarrow \hat{V}_o = \sqrt{2P_L R_L} = \sqrt{2 \times 20 \times 8} = 17.9 \text{ V} \quad \text{Επιλέγεται } V_{CC} = 23 \text{ V.}$$

$$\hat{I}_o = \frac{\hat{V}_o}{R_L} = \frac{17.9}{8} = 2.24 \text{ A}$$

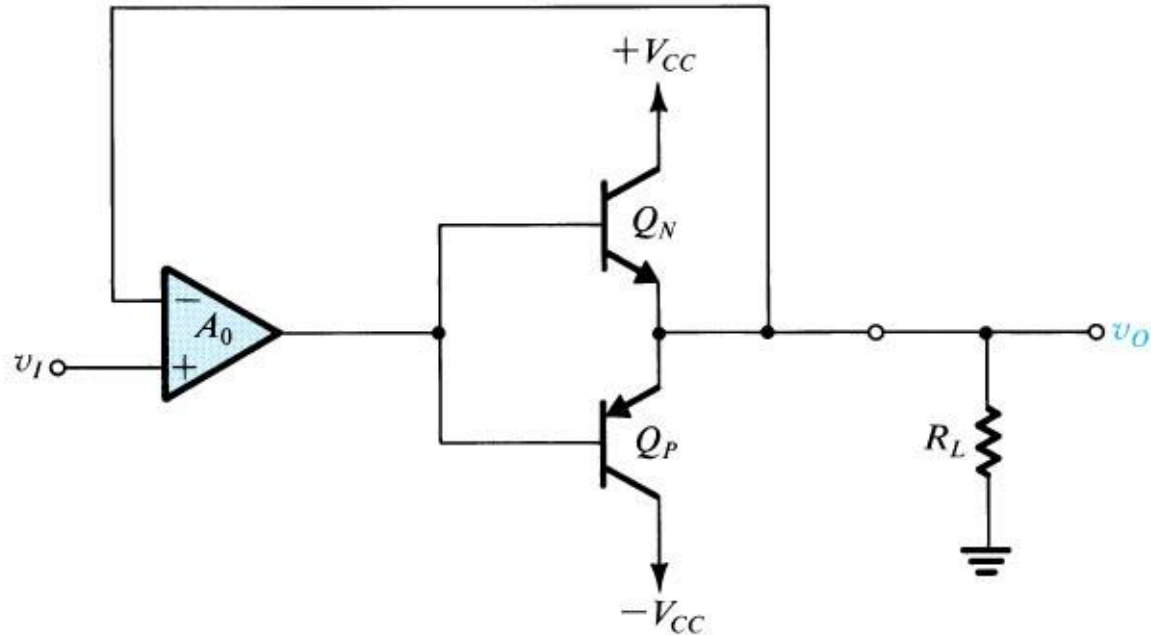
$$P_{S+} = P_{S-} = \frac{1}{\pi} \times 2.24 \times 23 = 16.4 \text{ W} \Rightarrow \text{Συνολική ισχύς τροφοδοσίας } 32.8 \text{ W.}$$

$$\eta = \frac{P_L}{P_S} = \frac{20}{32.8} \times 100 = 61\%$$

$$P_{DN\max} = P_{DP\max} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} = \frac{(23)^2}{\pi^2 \times 8} = 6.7 \text{ W}$$



Μείωση της παραμόρφωσης διασταύρωσης (cross-over)

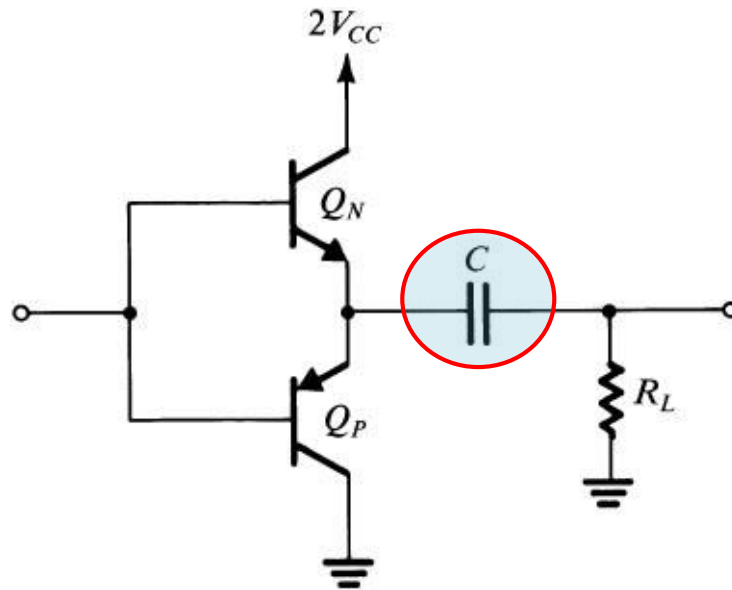


Η νεκρή ζώνη από ± 0.7 V μειώνεται στα $(\pm 0.7/A_0)$ V.

Η παραμόρφωση μειώνεται δραστικά με βαθμίδα τάξης AB.



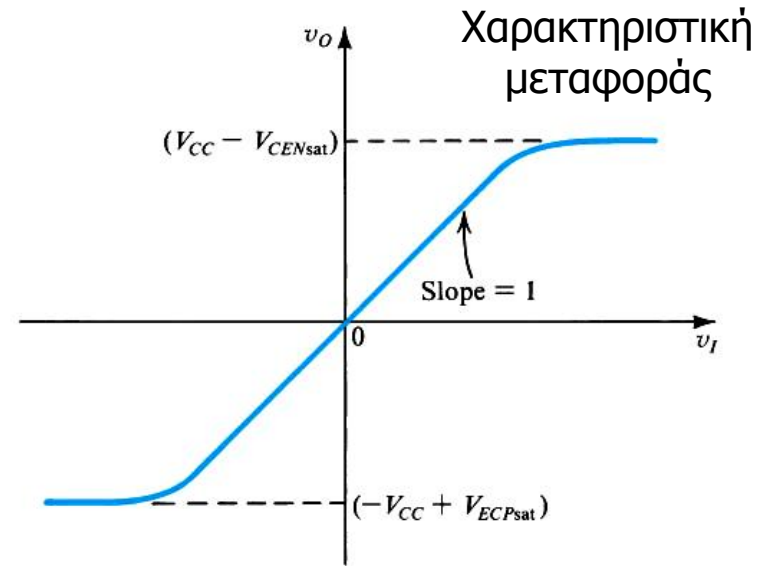
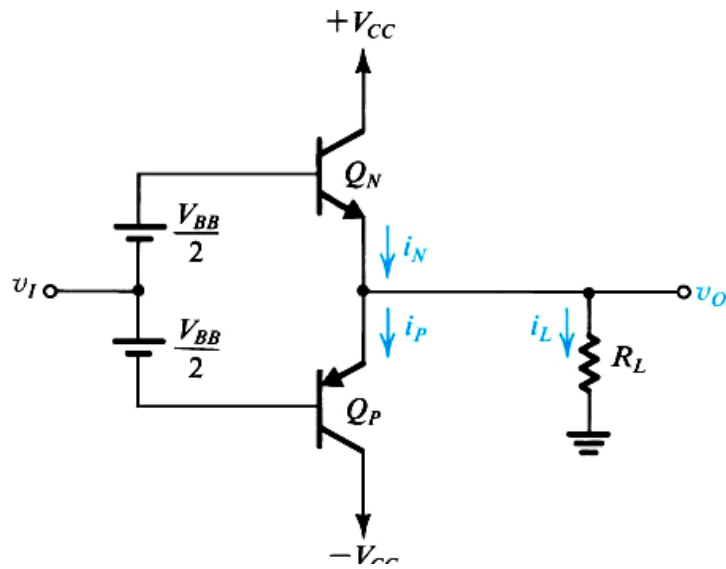
Λειτουργία με απλό τροφοδοτικό



Οι τύποι εφαρμόζονται συμβολίζοντας την τροφοδοσία ως $2V_{CC}$.



Βαθμίδα εξόδου σε τάξη ΑΒ



$$i_N = i_P = I_Q = I_S e^{V_{BB}/2V_T}$$

$$v_O = v_I + \frac{V_{BB}}{2} - v_{BEN}$$

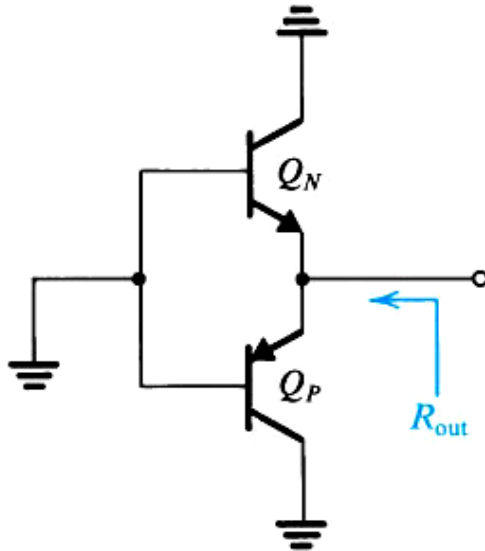
$$v_{BEN} + v_{EBP} = V_{BB} \Rightarrow V_T \ln \frac{i_N}{I_S} + V_T \ln \frac{i_P}{I_S} = 2V_T \ln \frac{I_Q}{I_S} \Rightarrow i_N i_P = I_Q^2 \quad \left. \begin{array}{l} i_N = i_P + i_L \\ \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i_N^2 - i_L i_N - I_Q^2 = 0$$



Βαθμίδα εξόδου σε τάξη ΑΒ

Αντίσταση εξόδου



$$R_{out} = r_{eN} \parallel r_{eP}$$

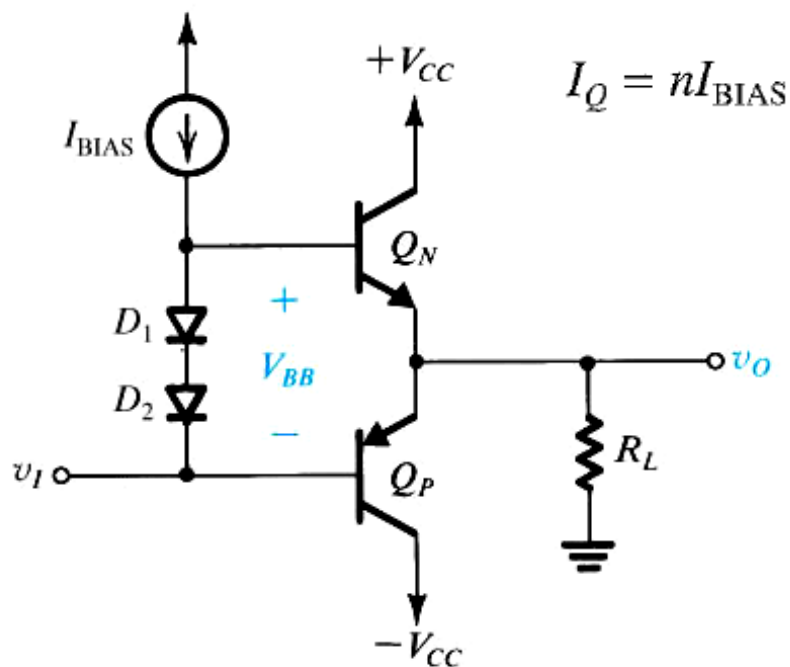
$$r_{eN} = \frac{V_T}{i_N} \quad r_{eP} = \frac{V_T}{i_P}$$

$$R_{out} = \frac{V_T}{i_N} \parallel \frac{V_T}{i_P} = \frac{V_T}{i_P + i_N}$$



Βαθμίδα εξόδου σε τάξη AB

Πόλωση με χρήση διόδων



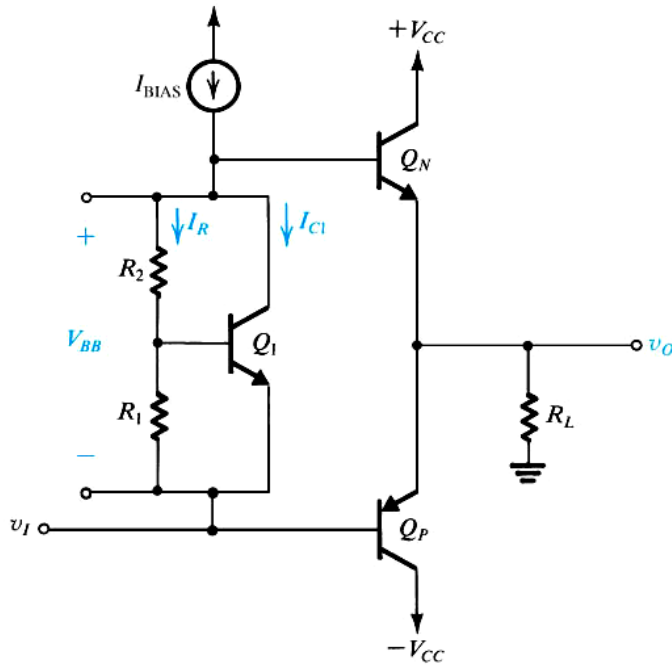
Μειονέκτημα: Πρέπει $I_{BIAS} > I_{Bmax}$.
Επίσης είναι πρακτικά $I_Q < 0.1 I_L$. Άρα το n είναι σχετικά μικρό, δηλαδή οι διόδοι δεν γίνονται πολύ μικρότερες από τα τρανζίστορ εξόδου.

Πλεονέκτημα: θερμική σταθερότητα του ρεύματος ηρεμίας (αντιμετώπιση του φαινομένου «θερμικής φυγής» με σωστή θερμική «σύζευξη» των D και Q).

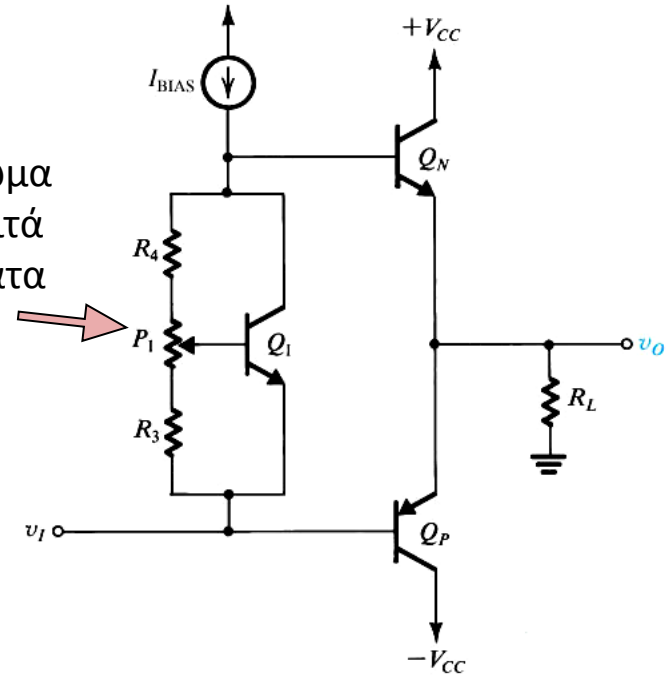


Βαθμίδα εξόδου σε τάξη AB

Πόλωση με χρήση πολλαπλασιαστή V_{BE}



Για κύκλωμα με διακριτά εξαρτήματα



$$I_R = \frac{V_{BE1}}{R_1}$$

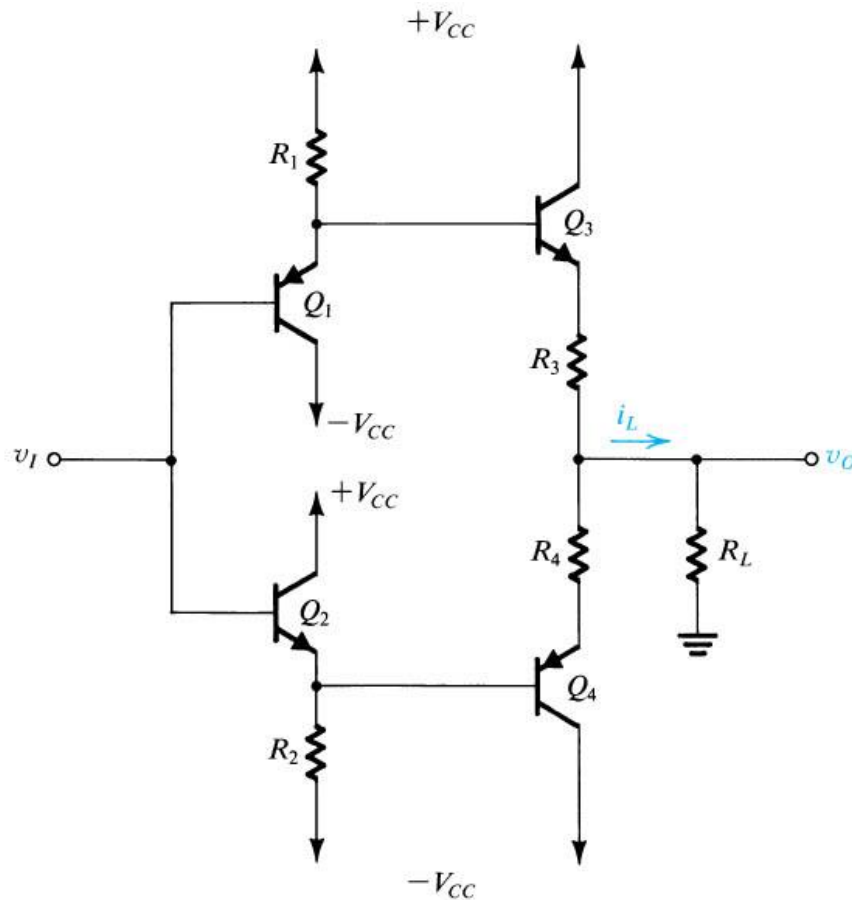
$$V_{BB} = I_R(R_1 + R_2) = V_{BE1} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$I_{C1} = I_{BIAS} - I_R$$

$$V_{BE1} = V_T \ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}}$$



Παραλλαγές της συνδεσμολογίας τάξης AB Χρήση κοινού συλλέκτη στην είσοδο



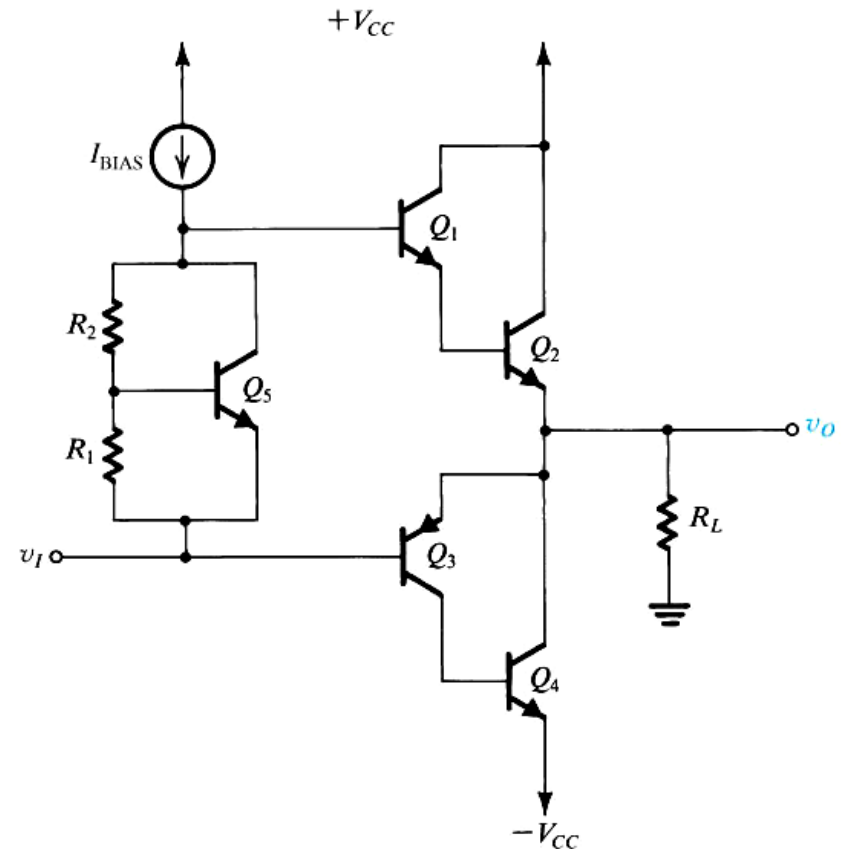
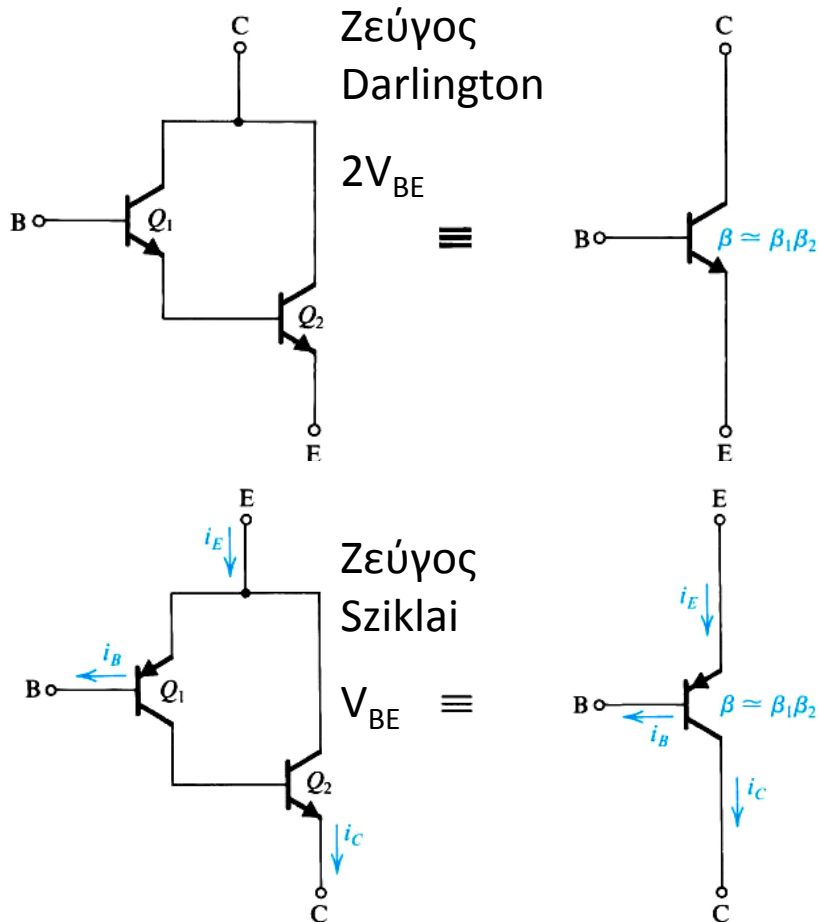
Υψηλή αντίσταση εισόδου.

Απαιτούνται ταιριασμένα τρανζίστορ.

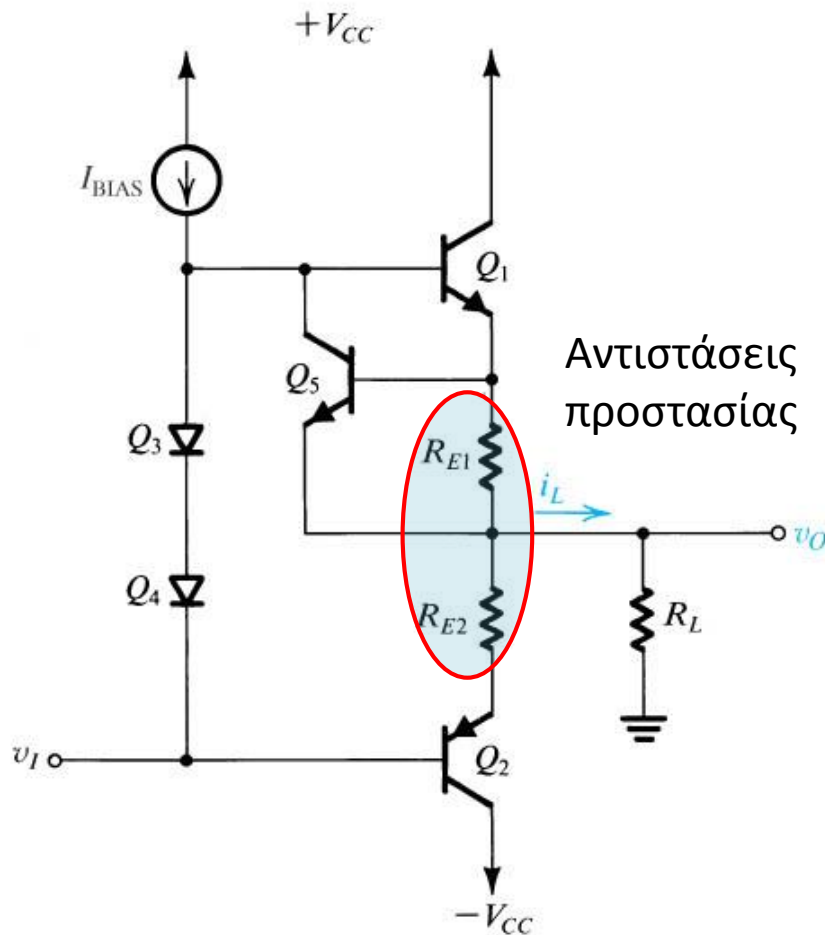
Οι R_3 και R_4 είναι πολύ μικρές και αντισταθμίζουν πιθανές διαφορές των Q_3 και Q_4 και ταυτόχρονα προστατεύουν από «θερμική φυγή».



Παραλλαγές της συνδεσμολογίας τάξης AB Χρήση σύνθετων στοιχείων



Προστασία από βραχυκύκλωμα σε βαθμίδα τάξης AB

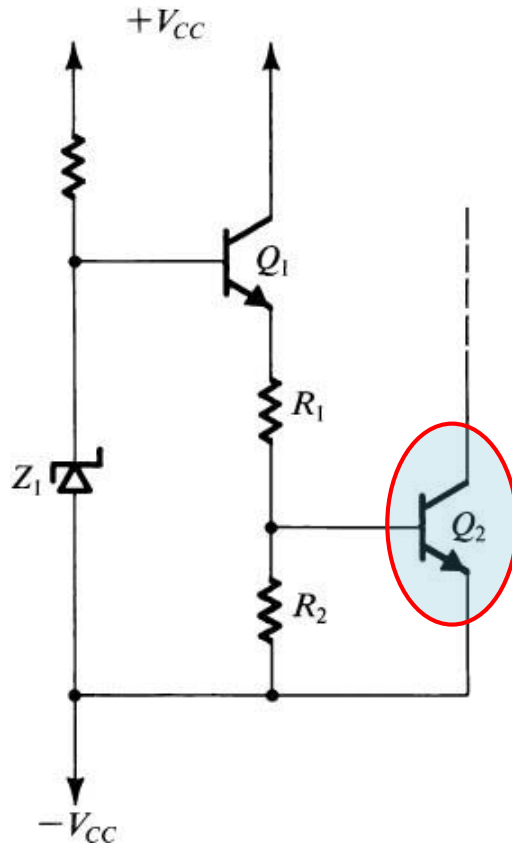


Οι R_{E1} και R_{E2} είναι μικρές και προστατεύουν από μεγάλα ρεύματα i_L και ταυτόχρονα προστατεύουν από φαινόμενα «θερμικής φυγής».

Μειονέκτημα η μείωση του ενεργού πλάτους της εξόδου κατά την πτώση τάσης τους.



Θερμική προστασία

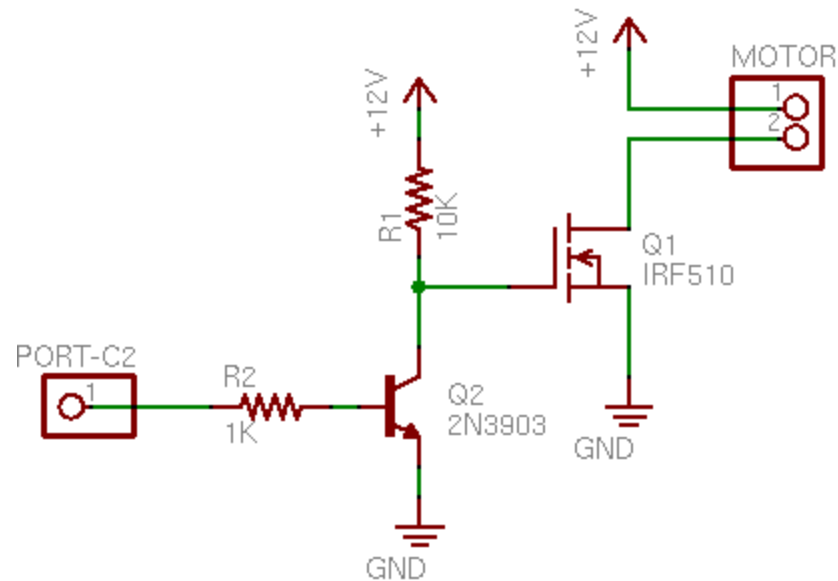


Αύξηση θερμοκρασίας \Rightarrow
αύξηση $V_{E1} \Rightarrow$ αύξηση V_{B2}
μέχρις ότου το Q_2 αρχίσει να
άγει, οπότε διακόπτει την
λειτουργία του υπόλοιπου
κυκλώματος απορροφώντας
ρεύμα πόλωσης.

Τρανζίστορ προστασίας
(κανονικά είναι εκτός
λειτουργίας).



Ενισχυτές ισχύος



Διπολικά τρανζίστορ ισχύος (1/4)



Εικόνα 1: Διπολικό τρανζίστορ ισχύος



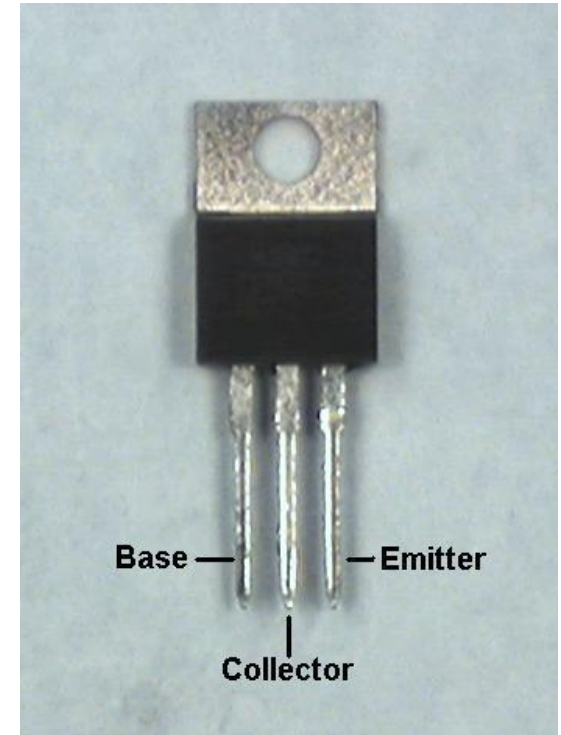
Εικόνα 2: Διπολικό τρανζίστορ ισχύος



Διπολικά τρανζίστορ ισχύος (2/4)



Εικόνα 3: Ενισχυτής ισχύος

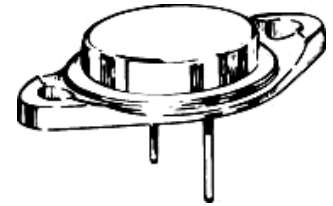


Εικόνα 4: Διπολικό τρανζίστορ ισχύος



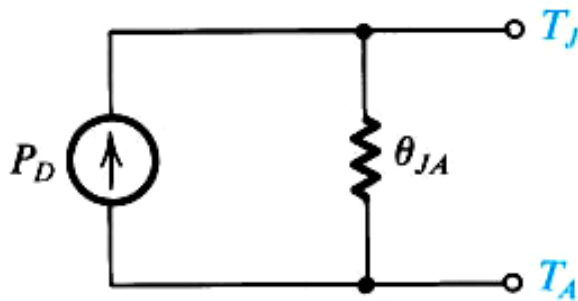
Διπολικά τρανζίστορ ισχύος (3/4)

Θερμοκρασία ένωσης T_j :
πρέπει να είναι $< T_{j\max}$ ($\approx 150\text{ }^\circ\text{C} - 200\text{ }^\circ\text{C}$ στο Si)



Θερμοκρασία περιβάλλοντος T_A .

$$T_j \approx T_A = \theta_{JA} P_D \quad \text{όπου } \theta_{JA} \text{ η θερμική αντίσταση σε } ^\circ\text{C/W}$$



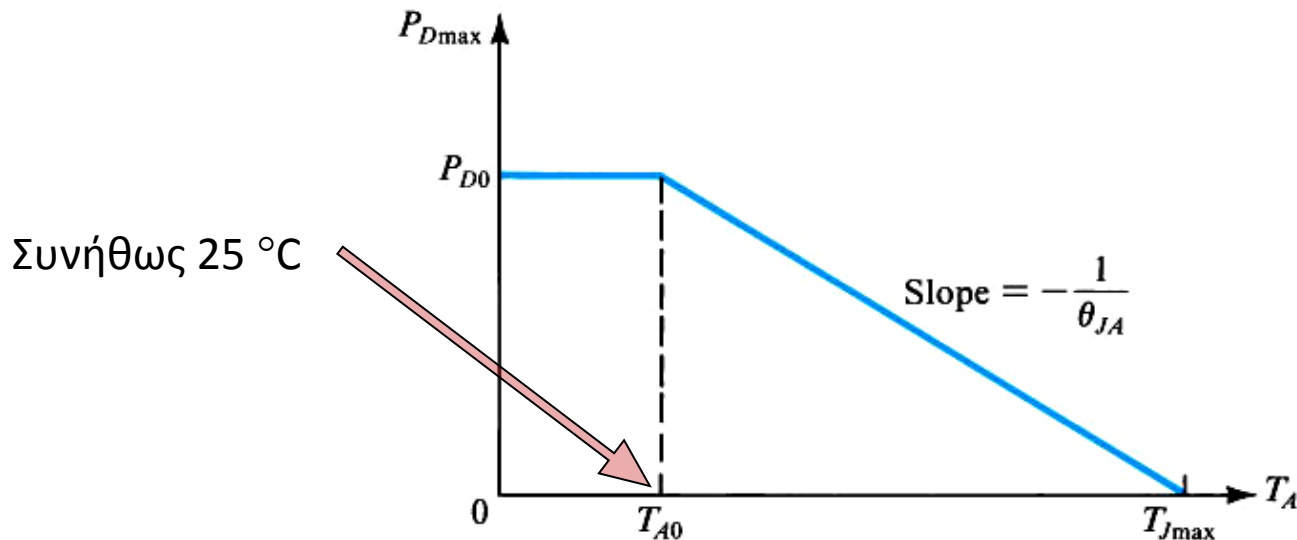
Ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα
αναπαράστασης της διαδικασίας
θερμικής αγωγής $T_j \approx T_A = \theta_{JA} P_D$



Διπολικά τρανζίστορ ισχύος (4/4)

$$\theta_{JA} = \frac{T_{Jmax} - T_{A0}}{P_{D0}}$$

$$P_{Dmax} = \frac{T_{Jmax} - T_A}{\theta_{JA}}$$



Μέγιστη επιτρεπόμενη κατανάλωση ισχύος σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_A .



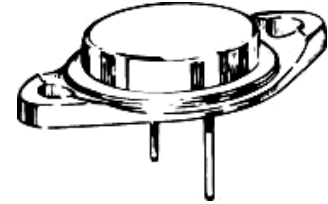
Διπολικά τρανζίστορ ισχύος

Επίδραση συσκευασίας (case) (1/2)

$$\theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{CA}$$

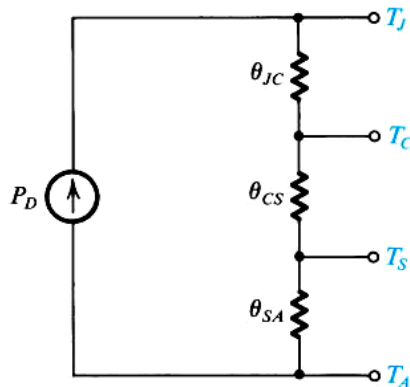
όπου θ_{JC} η θερμική αντίσταση μεταξύ ένωσης και συσκευασίας σε $^{\circ}\text{C}/\text{W}$

και θ_{CA} η θερμική αντίσταση μεταξύ συσκευασίας και περιβάλλοντος σε $^{\circ}\text{C}/\text{W}$



$$\theta_{CA} = \theta_{CS} + \theta_{SA}$$

όπου θ_{CS} η θερμική αντίσταση μεταξύ συσκευασίας και «ψήκτρας» σε $^{\circ}\text{C}/\text{W}$
και θ_{SA} η θερμική αντίσταση μεταξύ «ψήκτρας» και περιβάλλοντος σε $^{\circ}\text{C}/\text{W}$

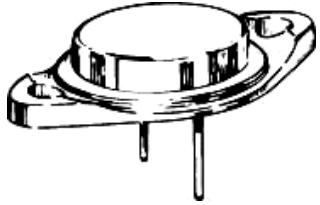


Ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα αναπαράστασης της διαδικασίας θερμικής αγωγής με αποδέκτη θερμότητας (ψήκτρα).



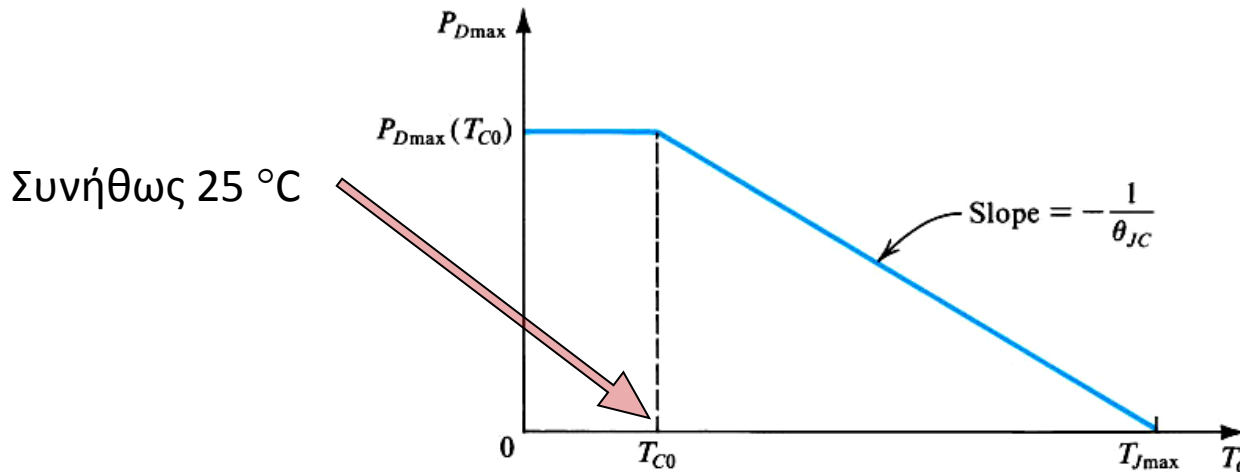
Διπολικά τρανζίστορ ισχύος

Επίδραση συσκευασίας (case) (2/2)



$$T_J - T_A = P_D (\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA})$$

$$P_{Dmax} = \frac{T_{Jmax} - T_C}{\theta_{JC}}$$



Μέγιστη επιτρεπόμενη κατανάλωση ισχύος σαν συνάρτηση της Θερμοκρασίας συσκευασίας T_C .



Διπολικά τρανζίστορ ισχύος

Παράδειγμα επίδρασης συσκευασίας (1/2)

Έστω διπολικό τρανζίστορ ισχύος με $T_{Jmax} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ και δυνατότητα κατανάλωσης ισχύος 40 W σε $T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ και 2 W σε $T_A = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Πάνω από τους $25 \text{ }^\circ\text{C}$ η μέγιστη κατανάλωση μειώνεται με $\theta_{JC} = 3.12 \text{ }^\circ\text{C/W}$ και $\theta_{JA} = 62.5 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Ζητούνται:

α) η P_{Dmax} για $T_A = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ (λειτουργία σε άμεση επαφή με το περιβάλλον).

β) η P_{Dmax} για $T_A = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, αλλά με «ψήκτρα» με $\theta_{CS} = 0.5 \text{ }^\circ\text{C/W}$ και $\theta_{SA} = 4 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Να βρεθεί επίσης η θερμοκρασία της συσκευασίας και της ψήκτρας.

γ) η P_{Dmax} για $T_A = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, αλλά με «ψήκτρα» με άπειρη δυνατότητα απαγωγής.

$$\alpha) \quad P_{Dmax} = \frac{T_{Jmax} - T_A}{\theta_{JA}} = \frac{150 - 50}{62.5} = 1.6 \text{ W}$$

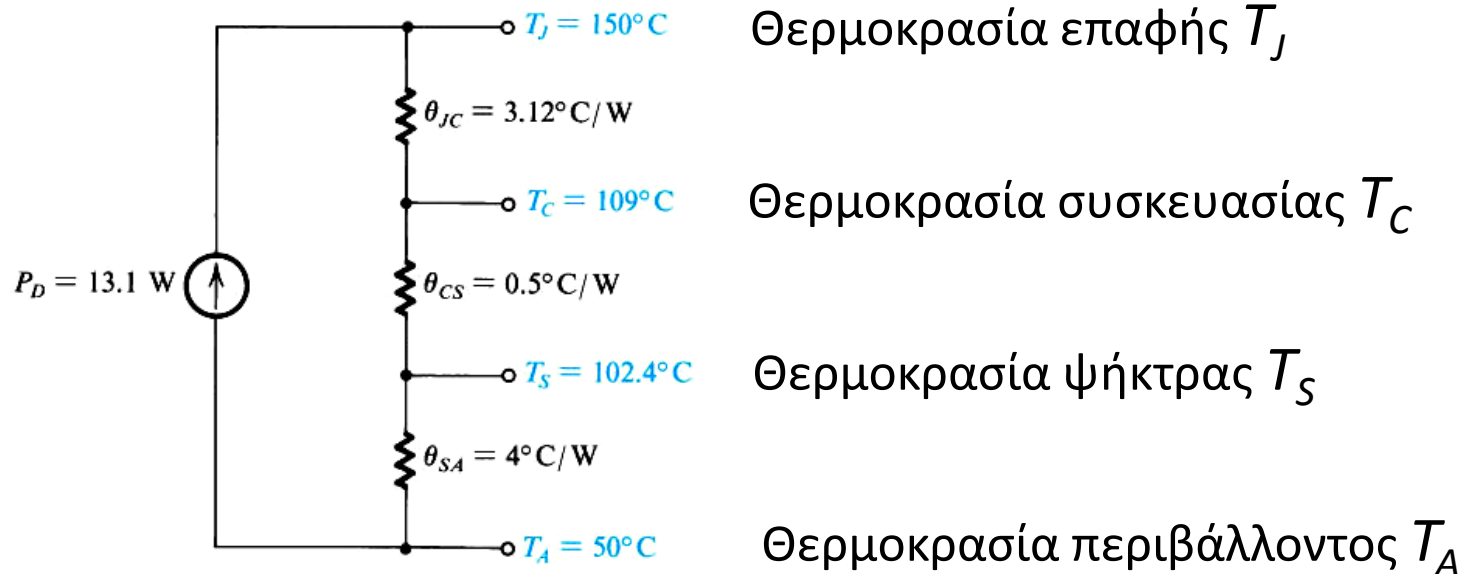
$$\beta) \quad \theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA} = 3.12 + 0.5 + 4 = 7.62 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$\Rightarrow P_{Dmax} = \frac{150 - 50}{7.62} = 13.1 \text{ W}$$



Διπολικά τρανζίστορ ισχύος

Παράδειγμα επίδρασης συσκευασίας (2/2)



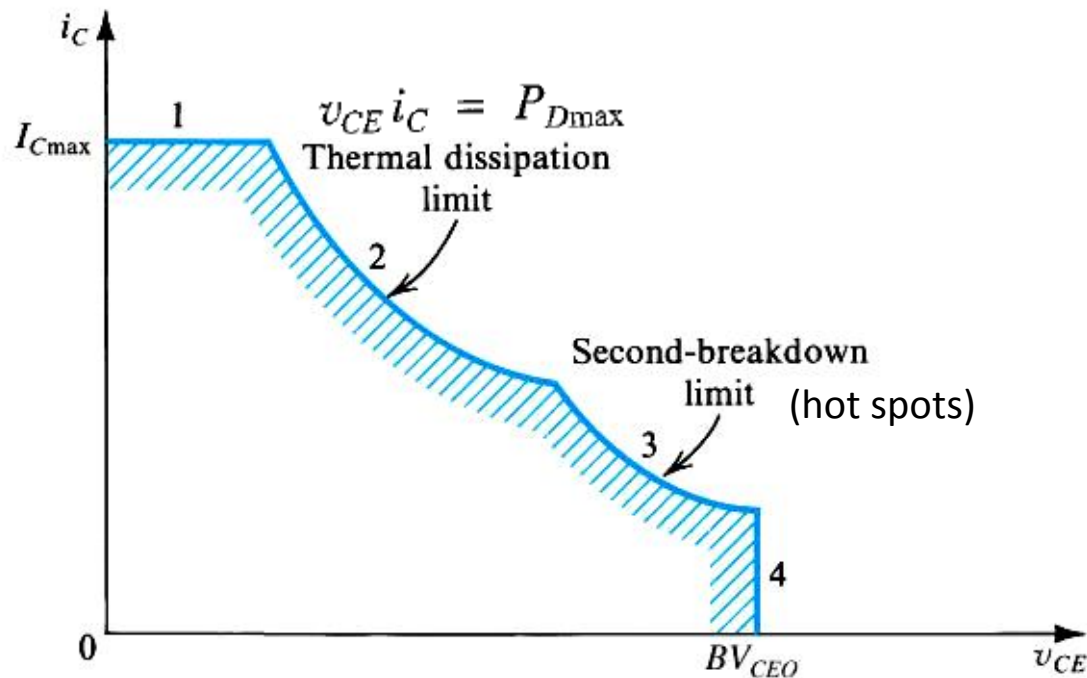
γ) $\theta_{CA}^* = 0$

$$P_{D\max} = \frac{T_{J\max} - T_A}{\theta_{JC}} = \frac{150 - 50}{3.12} \approx 32 \text{ W}$$

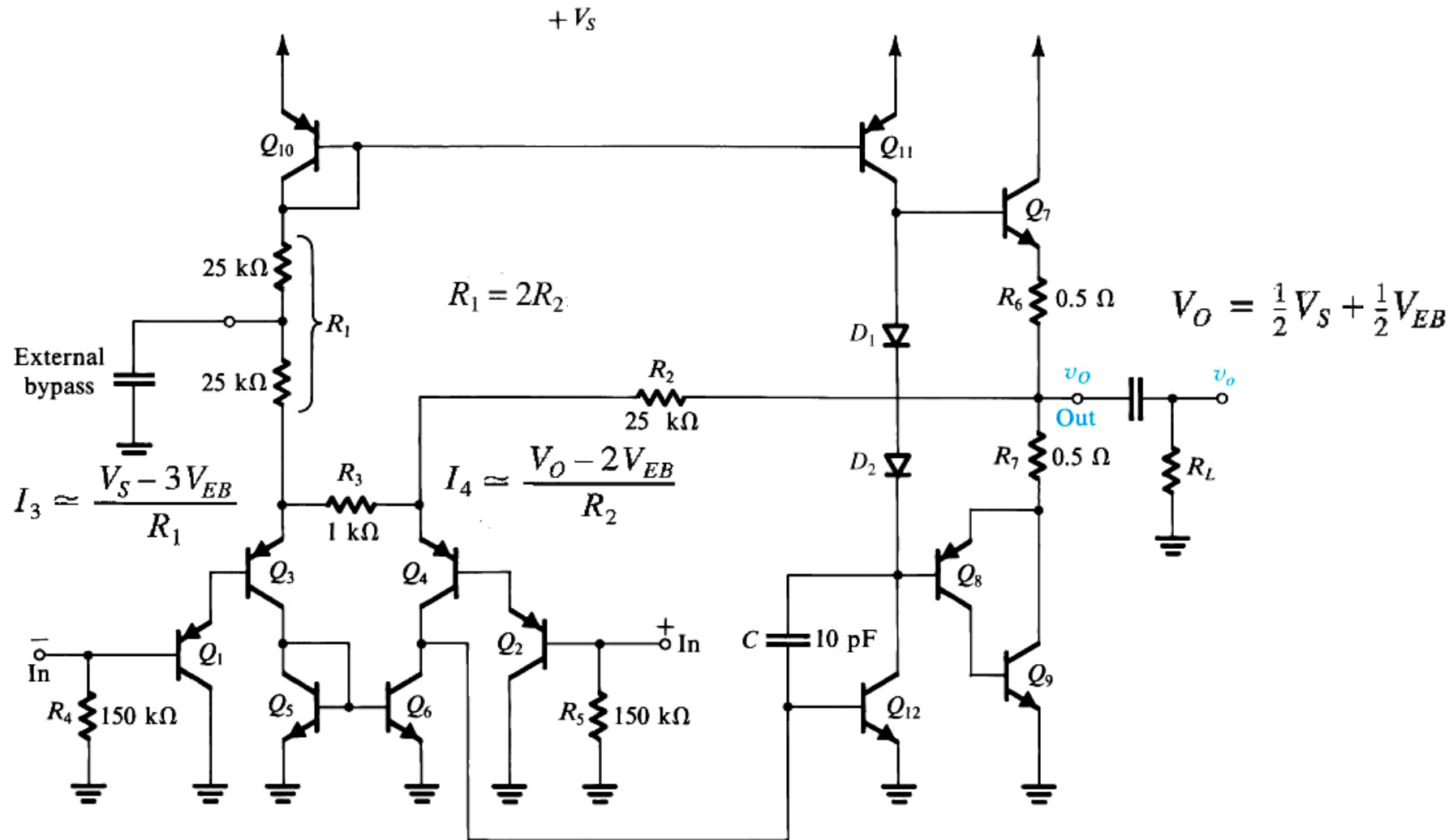


Διπολικά τρανζίστορ ισχύος

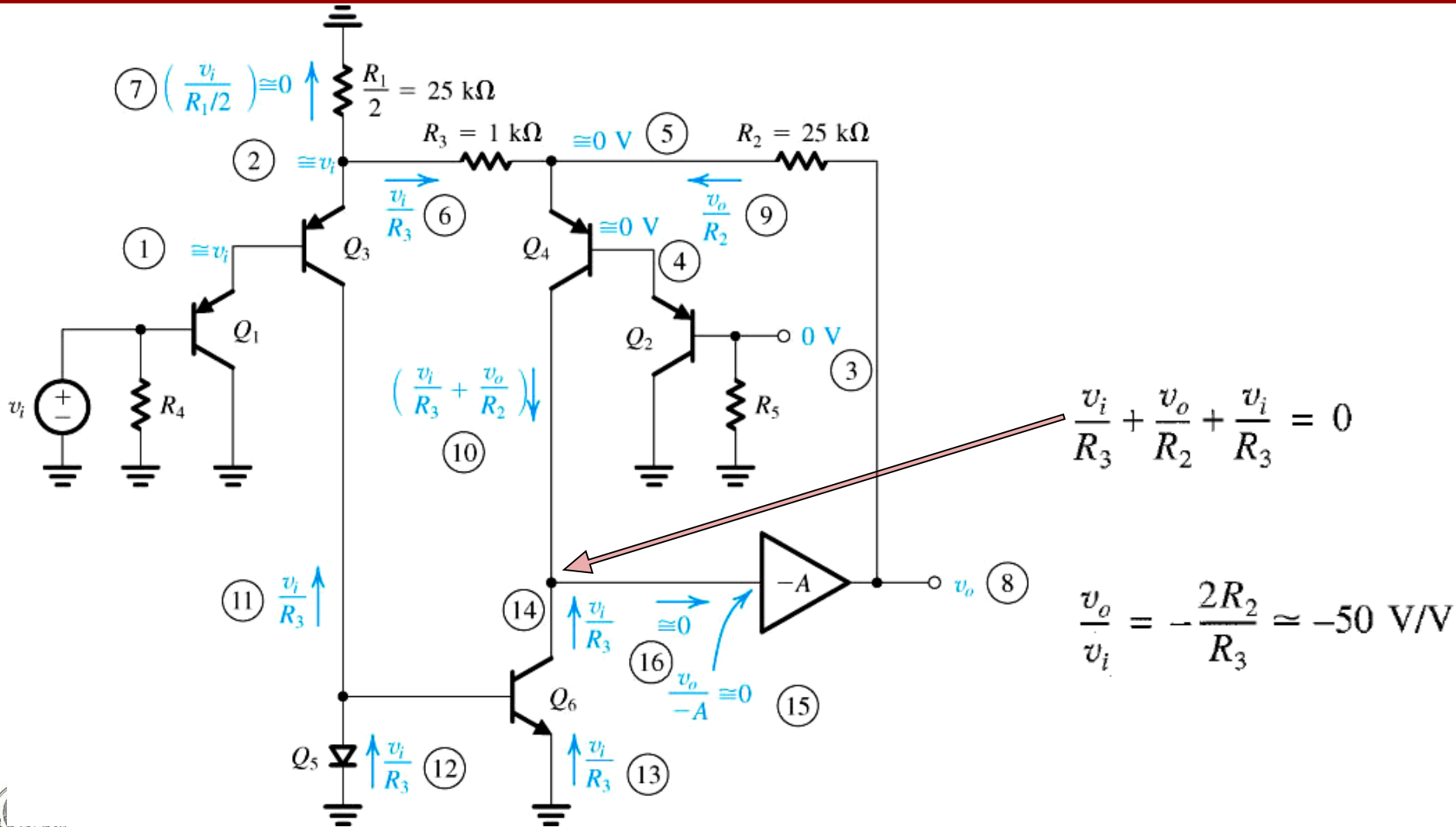
Ασφαλής περιοχή λειτουργίας



Ολοκληρωμένος ενισχυτής ισχύος σταθερού κέρδους

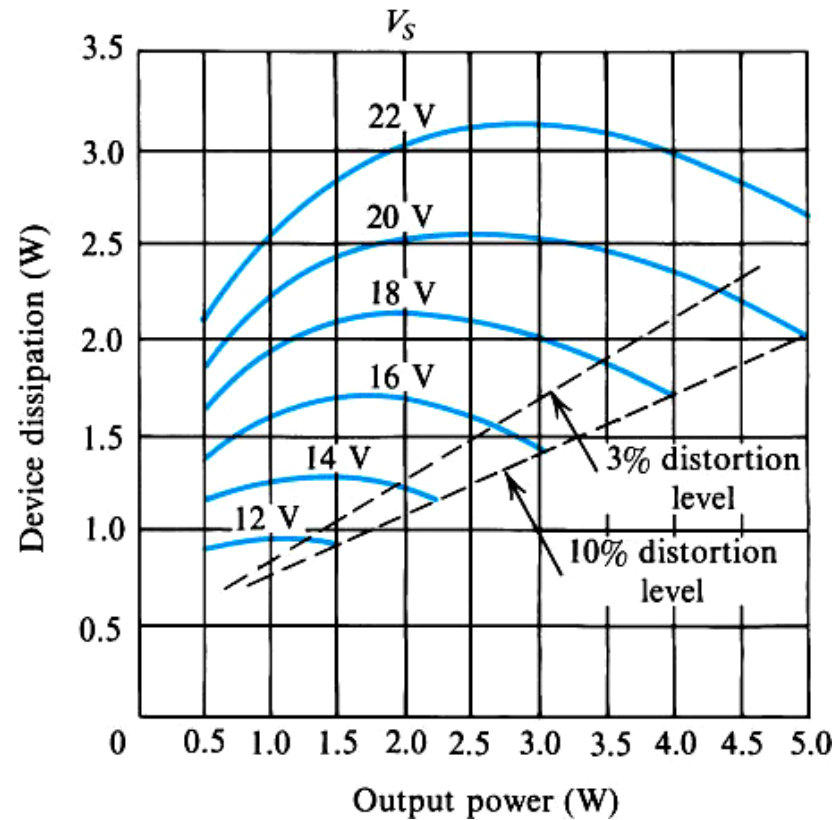


Ολοκληρωμένος ενισχυτής ισχύος σταθερού κέρδους Ανάλυση μικρού σήματος



Ολοκληρωμένος ενισχυτής ισχύος σταθερού κέρδους

Κατανάλωση ισχύος

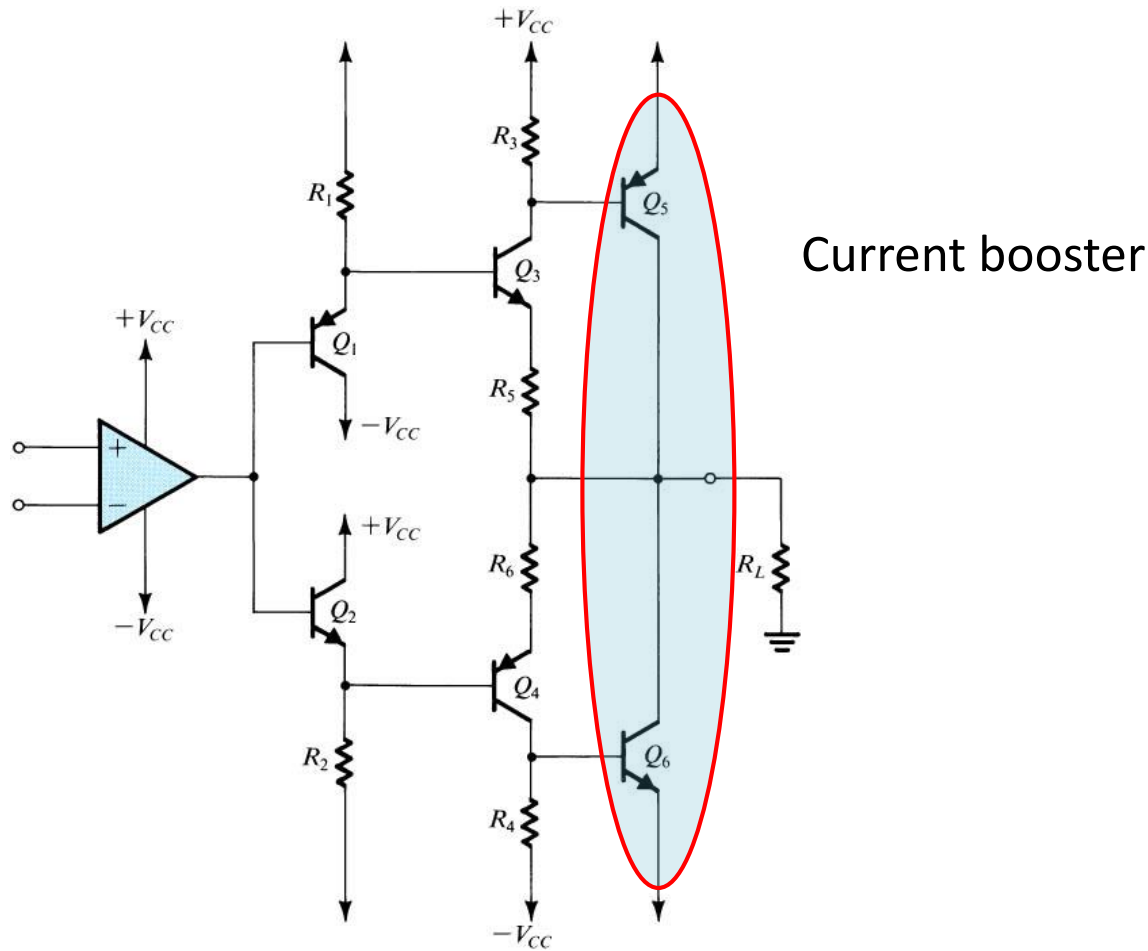


THD

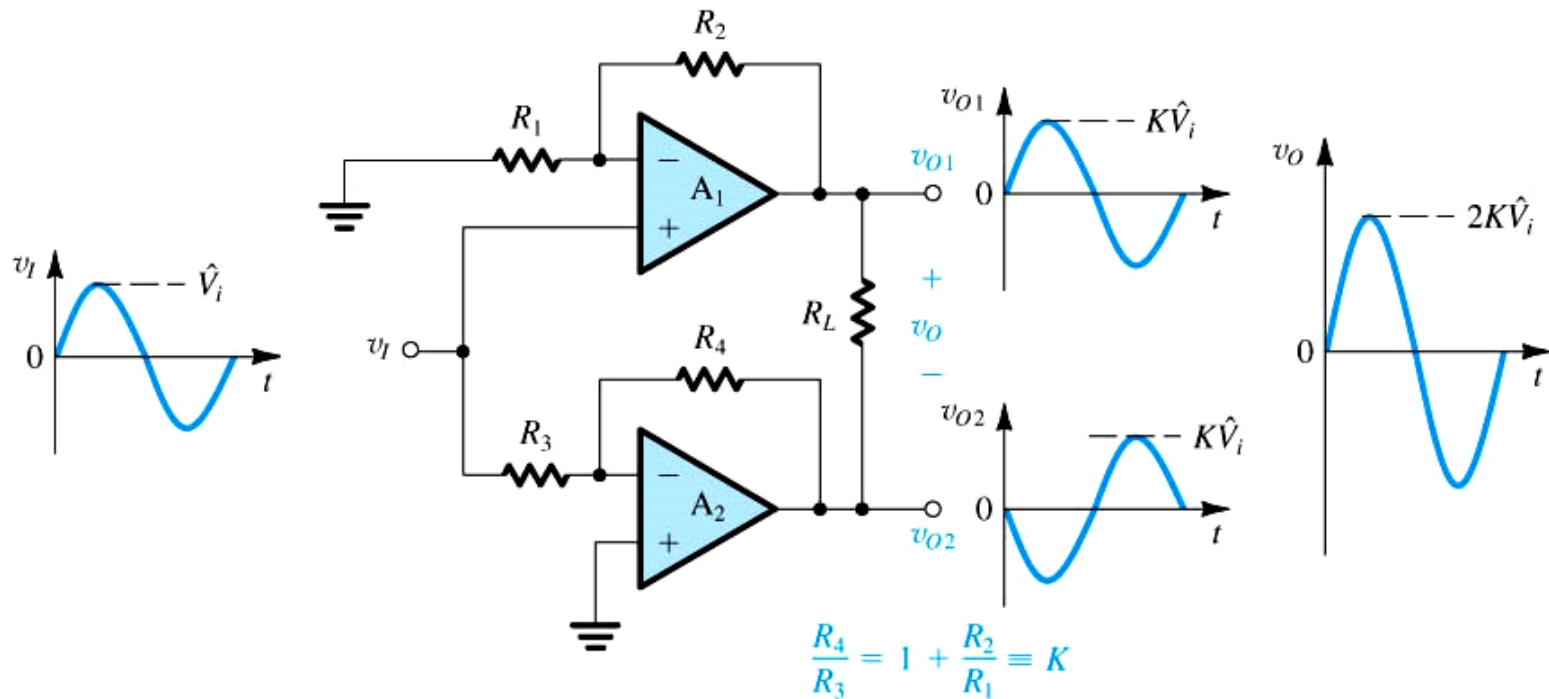
Κατανάλωση ισχύος (P_D) σαν συνάρτηση της ισχύος εξόδου (P_L) για φορτίο $R_L=8 \Omega$ (π.χ. μεγάφωνο).



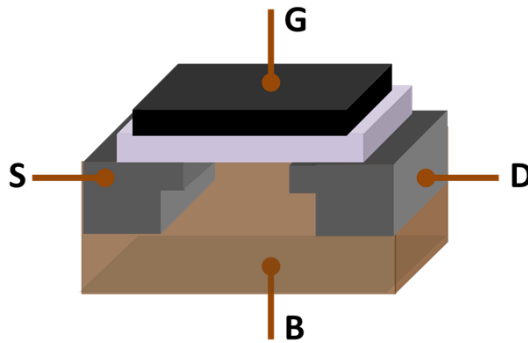
Τελεστικός ενισχυτής ισχύος



Ενισχυτής γέφυρας



Τρανζίστορ MOS

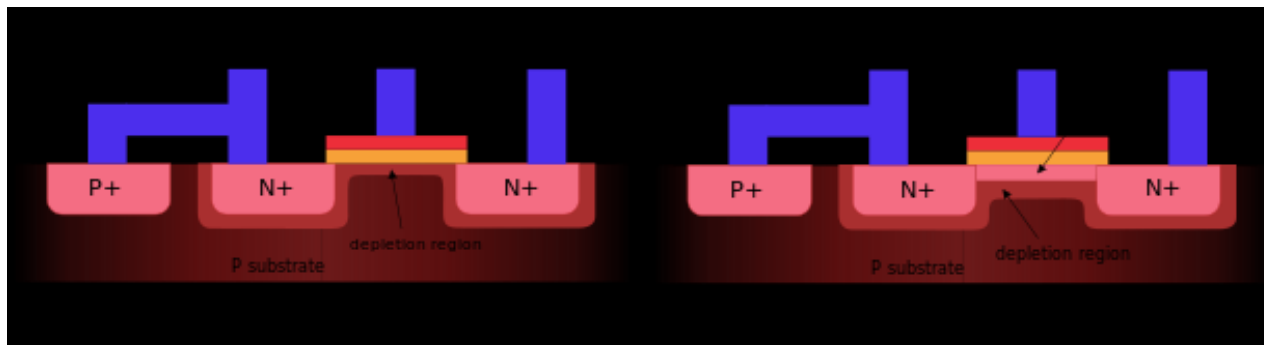


«Κλασικό» ή οριζόντιο (lateral) MOS.

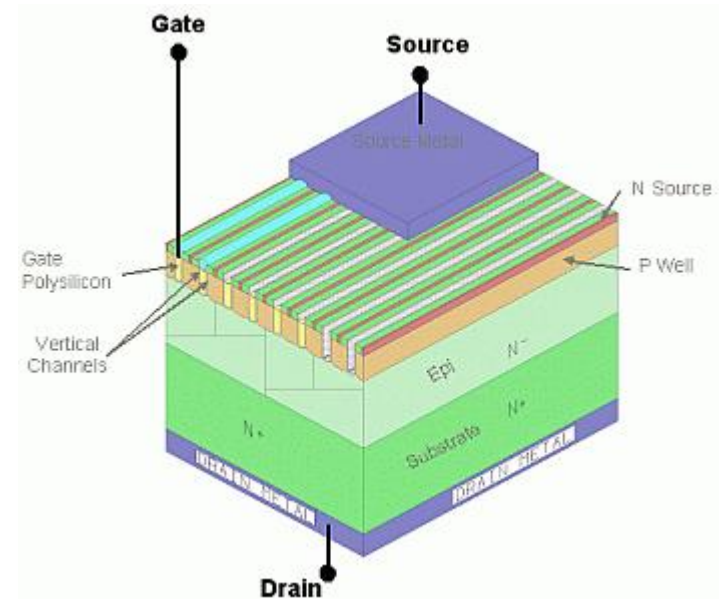
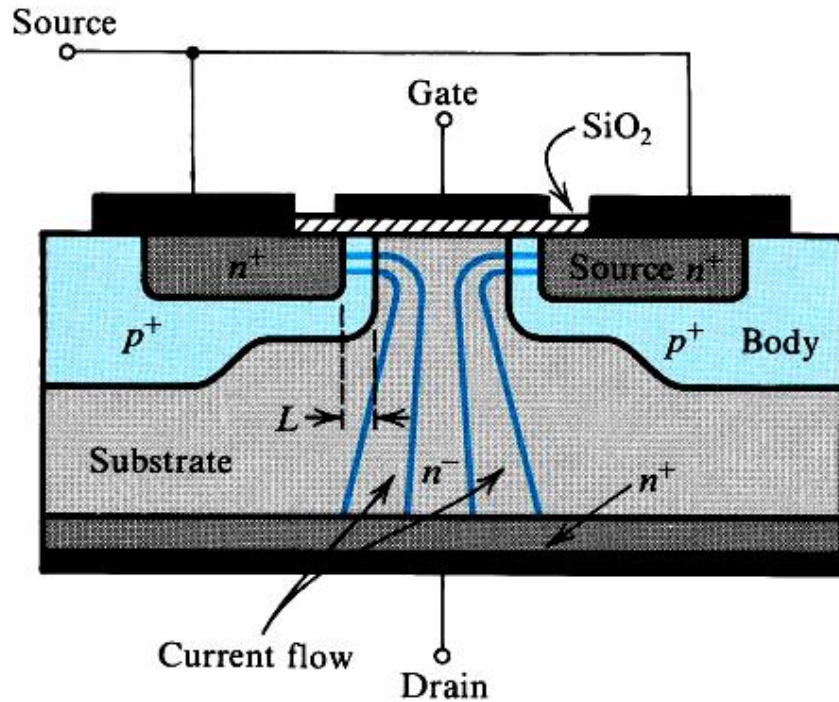
Το κανάλι δημιουργείται οριζόντια μεταξύ D και S που βρίσκονται στο ίδιο (οριζόντιο) επίπεδο.

Το κανάλι είναι ανάλογο της τάσης της πύλης.

- Υψηλή αντίσταση καναλιού ($R_{D\text{Son}}$).
- Το L περιορίζεται από το ελάχιστο πλάτος της περιοχής αραίωσης που απαιτείται για την ονομαστική τάση του.
- Η αντίσταση του καναλιού μπορεί να μειωθεί κάνοντας το κανάλι φαρδύτερο, αλλά έτσι καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια.



Τρανζίστορ ισχύος MOS (1/2)

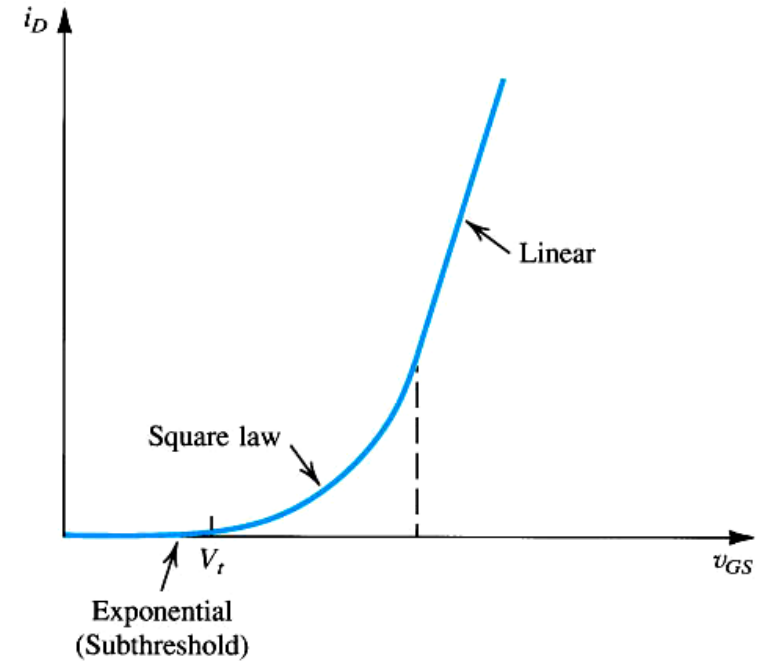
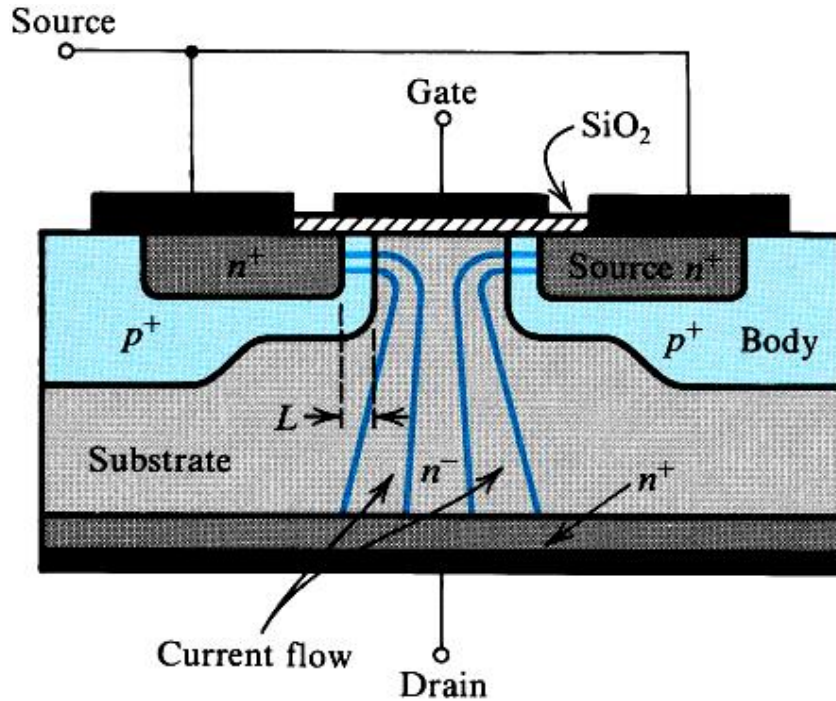


Το D βρίσκεται πλέον στο κάτω μέρος του υποστρώματος.
Το κανάλι σχηματίζεται κατακόρυφα.
Μπορεί να υποστηρίξει πολύ μεγαλύτερη ροή ρεύματος.

Δομή MOS του επεξεργαστή Prescott.



Τρανζίστορ ισχύος MOS (2/2)



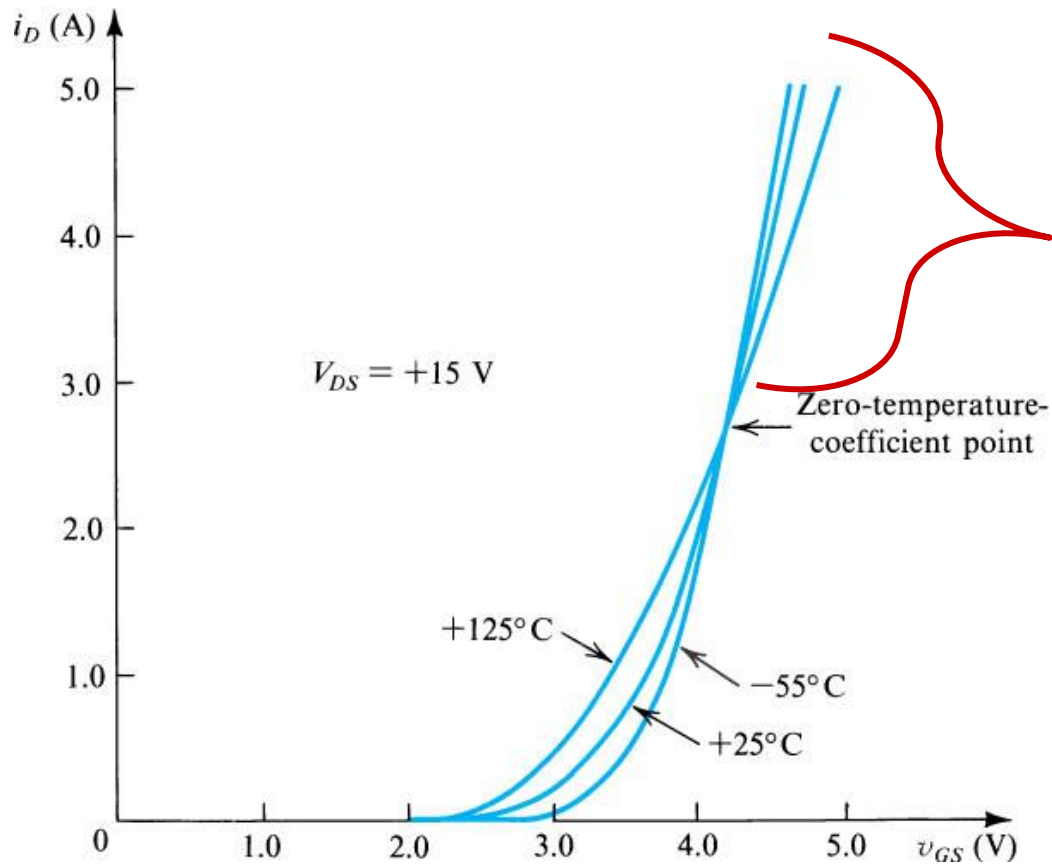
V_T μεταξύ 2 και 4 Volt.
Φαινόμενο κορεσμού ταχύτητας.

$$i_D = \frac{1}{2} C_{ox} W U_{sat} (v_{GS} - V_T)$$

Όπου U_{sat} η ανώτατη ταχύτητα φορέων
(5×10^6 cm/s για ηλεκτρόνια σε πυρίτιο).



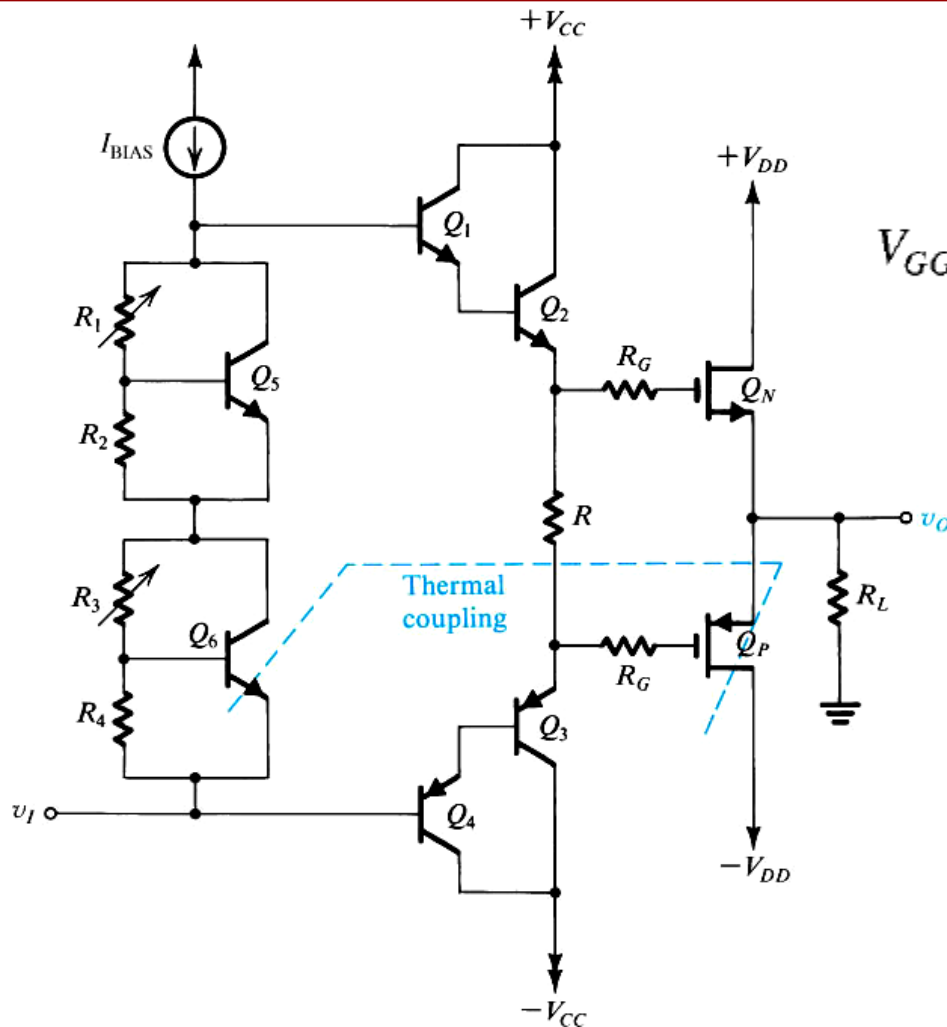
Τρανζίστορ ισχύος MOS Επίδραση Θερμοκρασίας



Αρνητικός θερμοκρασιακός συντελεστής \Rightarrow Εξάλειψη προβλήματος θερμικής φυγής.



Βαθμίδα εξόδου τάξης AB με MOS



$$V_{GG} = \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V_{BE6} + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{BE5} - 4V_{BE}$$

$$\frac{\partial V_{GG}}{\partial T} = \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) \frac{\partial V_{BE6}}{\partial T}$$

$$\partial V_{GG} / \partial T = \partial(V_{tN} + |V_{tP}|) / \partial T.$$



Σύγκριση διπολικών και MOS τρανζίστορ ισχύος

- ✓ Τα MOS δεν παρουσιάζουν φαινόμενο δεύτερης διάσπασης.
 - ✓ Τα MOS δεν απαιτούν μεγάλο ρεύμα εισόδου (βάσης).
 - ✓ Τα MOS παρουσιάζουν μεγαλύτερη ταχύτητα λειτουργίας.
- ⇒ Τα MOS ισχύος είναι πιο κατάλληλα σε εφαρμογές σαν διακόπτες.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

NPN POWER TRANSISTOR: <http://electrical-engineering-portal.com/power-semiconductor-device-transistor>

- Εικόνα 2:

NPN silicon epitaxial high-voltage power transistor for TV horizontal deflection stages: http://www.radiomuseum.org/tubes/tube_s408t.html

- Εικόνα 3:

Nikko TRM-800 stereo audio amplifier's power transistors mounted on heatsinks: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Power_transistor_on_Nikko_TRM-800_audio_amp.jpg

- Εικόνα 4:

TIP31C and TIP32C Power Transistors: http://www.ece.rice.edu/~jdw/242_lab4/exp4.3.html



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζόπουλος Αλκιβιάδης. «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΙΙΙ, Ενισχυτές ισχύος». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2013-2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

