

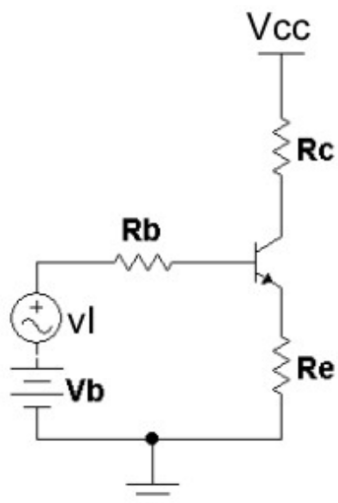
Ενισχυτές Ισχύος σε τάξη B

- Οι ενισχυτές τάξης A παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση λόγω της μόνιμης κατανάλωσης $V_{CE}I_C$ στο τρανζίστορ.
- Για να μειωθεί η κατανάλωση ισχύος σε ηρεμία (\sim θερμότητα) \rightarrow μετακίνηση Q προς σε χαμηλότερες τιμές.
- Αν $I_C=0$, κατανάλωση ισχύος σε ηρεμία $\rightarrow 0$. Δηλαδή τοποθετώντας το Q στο σημείο αποκοπής επιτυγχάνεται: αύξηση της απόδοσης του ενισχυτή αφού αποφεύγεται η κατανάλωση ισχύος σε ηρεμία (απουσία σήματος εισόδου) και αυξάνεται η ισχύς στο φορτίο
- Με τον τρόπο υφίσταται ρεύμα συλλέκτη μόνο κατά τη μία ημιπερίοδο του σήματος εισόδου (ημιτονοειδής διέγερση)

Στάδιο Εξόδου σε Τάξη Β

Το BJT αγει μόνο στη θετική ημιπερίοδο του σήματος εισόδου
 Δηλαδή ο ενισχυτής αγει όταν ισχύει

$$v_I \geq 0V \Rightarrow V_B = 0.7V$$

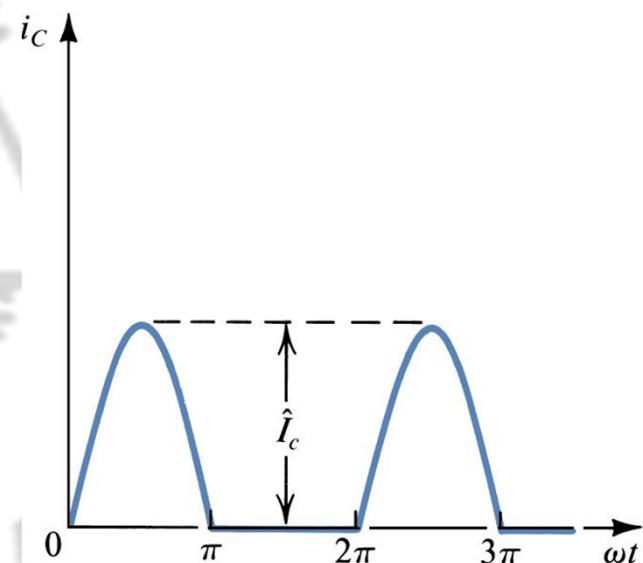


Το τρανζίστορ στην αποκοπή ($i_c=0$) όταν

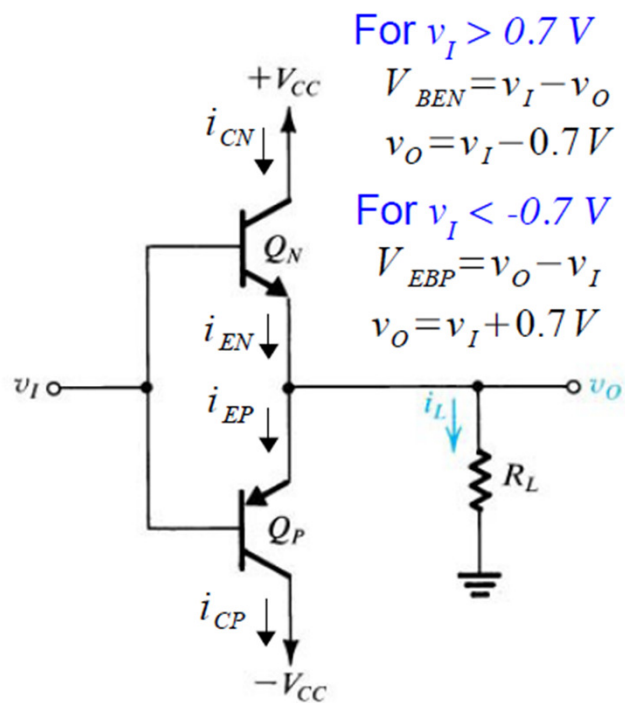
$$v_I + V_B < 0.7V$$

- Όταν $v_I < 0.7V$, $i_C = 0$
- Το κύκλωμα λειτουργεί περισσότερο ως ανορθωτής παρά ως ενισχυτής
- Απαιτείται ένα επιπλέον στάδιο το οποίο θα επιτρέπει και την λειτουργία του ενισχυτή κατά τη διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου

- Διπλά τρανζίστορ με χρήση M/T (μη πρακτικό)
- Συμπληρωματικά τρανζίστορ



Στάδιο εξόδου συμπληρωματικής συμμετρίας



For $v_I > 0.7 V$
 $V_{BEN} = v_I - v_O$
 $v_O = v_I - 0.7 V$

For $v_I < -0.7 V$
 $V_{EBP} = v_O - v_I$
 $v_O = v_I + 0.7 V$

Καθώς η v_I αυξάνεται θετικά και ξεπερνά τα $0.7V$ περίπου, το Q_N αρχίζει να άγει και λειτουργεί ως ακόλουθος εκπομπού. Η v_o ακολουθεί την v_I ($v_o = v_I - 0.7V$) και το Q_N παρέχει ρεύμα φορτίου. Στο μεταξύ η επαφή ΒΕ του Q_P είναι ανάστροφα πολωμένη από τα $+0.7V$ της ΒΕ του Q_P , οπότε το Q_N είναι σε αποκοπή. Άρα:

b) $v_I > V_{BEN} = 0.7 V, Q_N = ON, Q_P = OFF,$

- ☞ $i_L = i_{EN} \approx i_{CN}$
- ☞ Q_N στον κόρο αν $v_O > V_{CC} - V_{CENsat}$
- ☞ Q_P στην αποκοπή για $v_I > -0.7 V$.

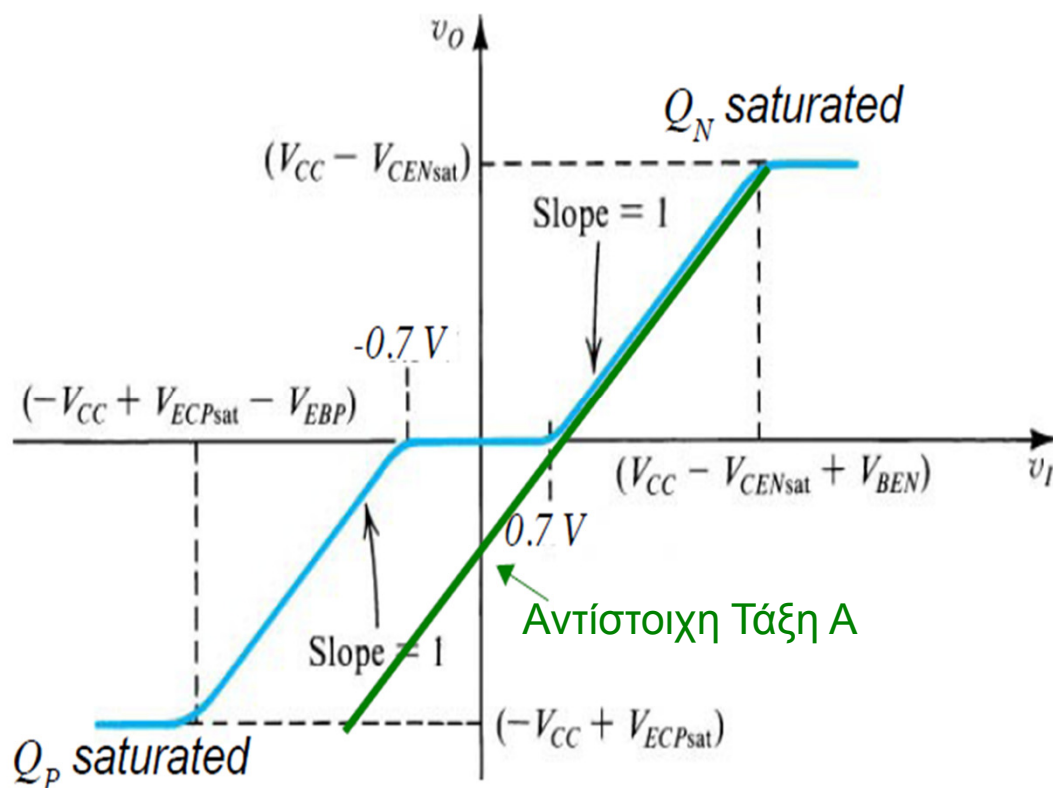
Με την ίδια λογική για την αρνητική ημιπερίοδο, όταν η v_I γίνει περισσότερο αρνητική από $-0.7V$, το Q_P θα αρχίζει να άγει και να λειτουργεί ως ακόλουθος εκπομπού. Η v_o ακολουθεί πάλι την v_I ($v_o = v_I + 0.7V$) αλλά τώρα το Q_P είναι σε αποκοπή. Έτσι:

a) Για $-0.7V \leq v_I \leq 0.7V,$
 Q_N και Q_P είναι σε αποκοπή
 $\rightarrow v_O = 0 V$

c) $v_I < -V_{BEP} = -0.7 V, Q_N = OFF, Q_P = ON,$

- ☞ $i_L = -i_{EP} \approx -i_{CP}$
- ☞ Q_P στον κόρο αν $v_O < -V_{CC} - V_{ECPsat}$
- ☞ Q_N στην αποκοπή αν $v_I < 0.7 V$.

Χαρακτηριστική μεταφοράς



$$v_o = v_i - 0.7V$$

Όταν

$$0.7V < v_i < (V_{CC} - V_{CENsat}) + 0.7V$$

$$v_o = 0V$$

Όταν

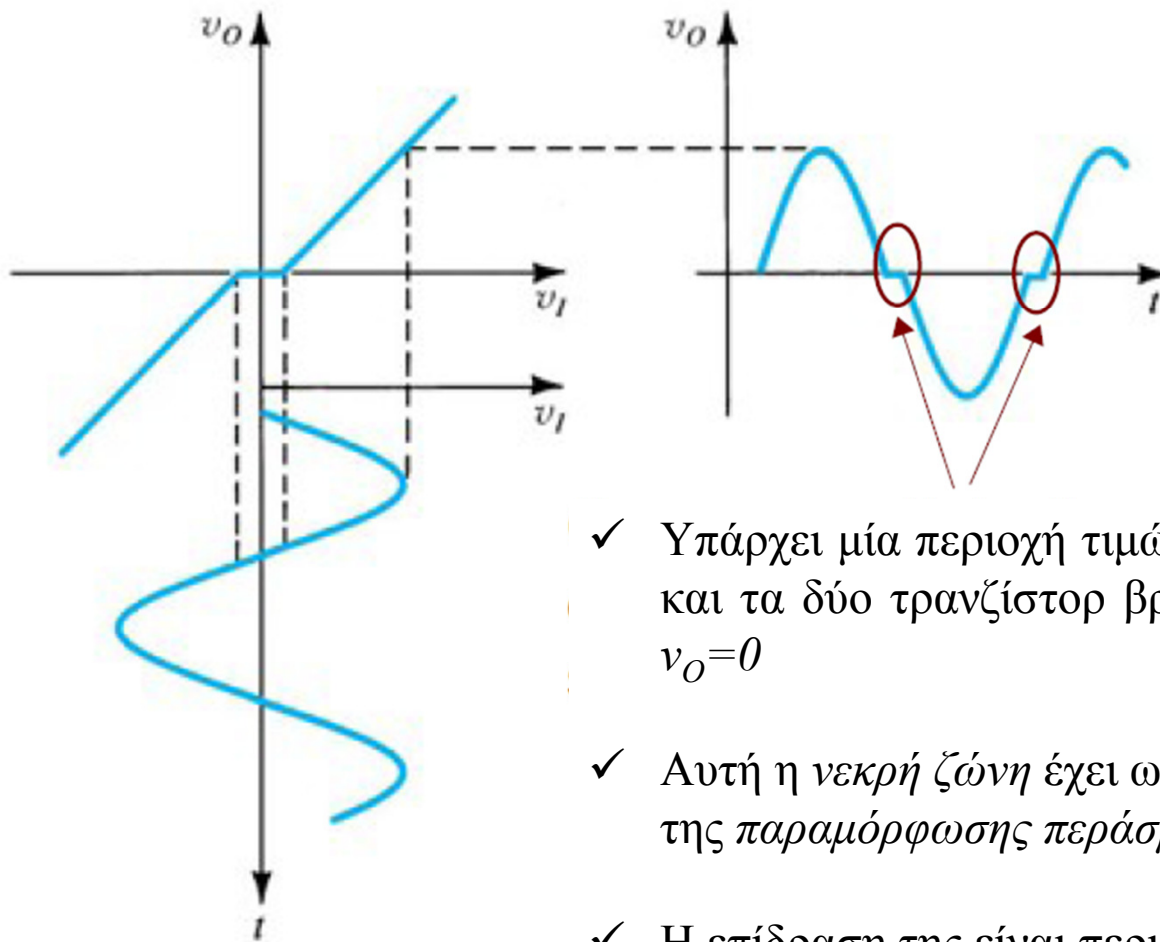
$$-0.7V < v_i < 0.7V$$

$$v_o = v_i + 0.7V$$

Όταν

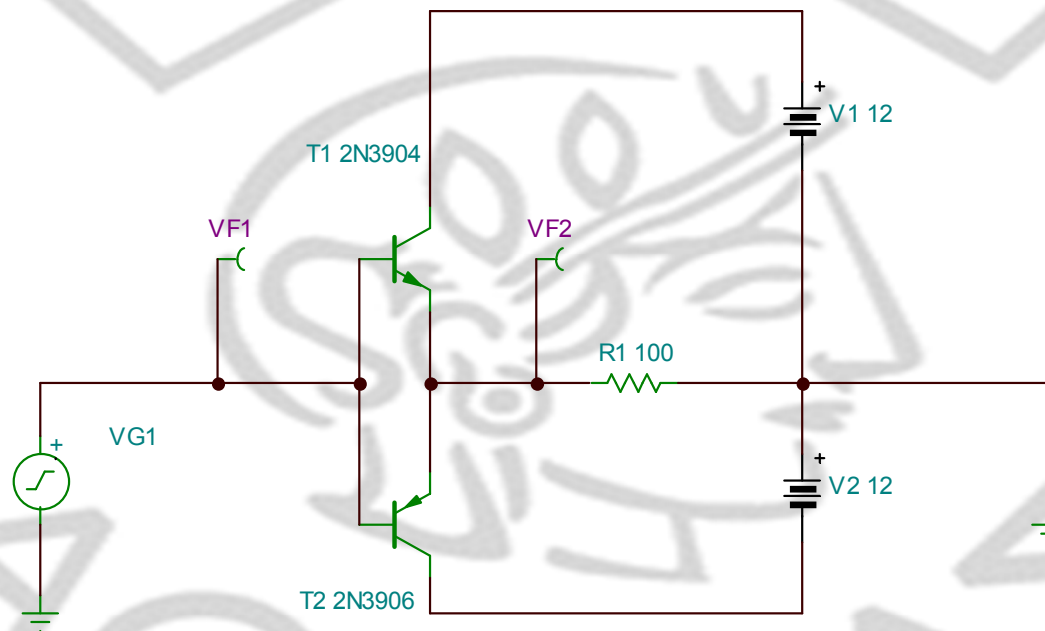
$$-(V_{CC} - V_{ECPsat}) - 0.7V < v_i < -0.7V$$

Παραμόρφωση περάσματος



- ✓ Υπάρχει μία περιοχή τιμών της v_I (γύρω από το 0) όπου και τα δύο τρανζίστορ βρίσκονται στην αποκοπή και η $v_O=0$
- ✓ Αυτή η νεκρή ζώνη έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση της παραμόρφωσης περάσματος (*crossover distortion*)
- ✓ Η επίδραση της είναι περισσότερο εμφανής όταν έχουμε μικρού πλάτους σήμα εισόδου

Παραμόρφωση περάσματος (παράδειγμα)



Υπολογισμοί Ισχύος push-pull τάξης B

✓ Απλουστεύσεις :

☞ α) αγνοούμε νεκρή ζώνη

☞ β) $V_{CEN-sat} = V_{ECP-sat} = 0 \text{ V} \rightarrow$ μέγιστη διακύμανση v_O είναι $-V_{CC} \leq v_O \leq V_{CC}$

✓ Η μέση ισχύς στην αντίσταση φορτίου είναι με $v_O = V_{o-peak} \sin(\omega t)$

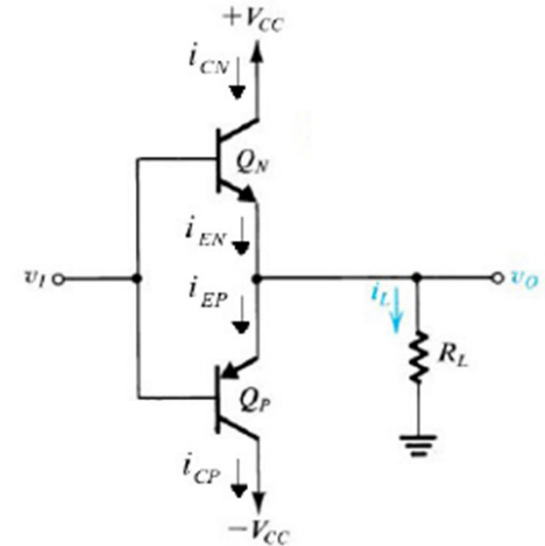
$$P_{L_{av}} = V_{o-rms} I_{o-rms} = \frac{V_{o-rms}^2}{R_L} = \frac{1}{2} \frac{V_{o-peak}^2}{R_L}$$

✓ *ίδιο με τάξη A*

✓ Η μέση ισχύς που μεταφέρεται από τη θετικό τροφοδοτικό ($+V_{CC}$) κατά τη διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου $0 \leq t \leq T/2$ ($i_C = 0$ για $T/2 \leq t \leq T$) είναι

$$P_{+V_{CC}av} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} V_{CC} i_{CN} dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} V_{CC} i_L dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} V_{CC} \frac{V_{o-peak}}{R_L} \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) dt$$

ω



Υπολογισμοί Ισχύος push-pull τάξης Β (II)

Από πριν έχουμε

$$P_{+V_{CC}av} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_{CC} \frac{V_{o-peak}}{R_L} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) dt = \frac{1}{T} V_{CC} \frac{V_{o-peak}}{R_L} \int_0^{T/2} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) dt$$

Με δεδομένο ότι $\int \sin(\omega t) dt = -\frac{1}{\omega} \cos(\omega t)$, έχουμε τελικά

$$P_{+V_{CC}av} = \frac{1}{T} V_{CC} \frac{V_{o-peak}}{R_L} \left(\frac{-T}{2\pi} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \right) \Bigg|_{t=0}^{t=T/2}$$

$$P_{+V_{CC}av} = -\frac{1}{2\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{CC} \left\{ \cos\left(\frac{2}{T} \pi \frac{T}{2}\right) - \cos\left(\frac{2}{T} \pi 0\right) \right\}$$

$$P_{+V_{CC}av} = -\frac{1}{2\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{CC} \left\{ \cos(\pi) - \cos(0) \right\}$$

$$P_{+V_{CC}av} = \frac{1}{\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{CC}$$

Υπολογισμοί Ισχύος push-pull τάξης Β (III)

Η μέση ισχύς που μεταφέρεται από το αρνητικό θετικό τροφοδοτικό ($-V_{CC}$) κατά τη διάρκεια της αρνητικής ημιπεριόδου $T/2 \leq t \leq T$, είναι ίση με την αντίστοιχη ισχύ που υπολογίσαμε από το $+V_{CC}$, άρα

$$P_{-V_{CC}av} = P_{+V_{CC}av} = \frac{1}{\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{CC}$$

Οπότε

$$P_{Dav} = P_{+V_{CC}av} + P_{-V_{CC}av} = \frac{2}{\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{CC}$$

Η αποδοτικότητα μετατροπής ενέργειας τάξης Β (ακριβής για $|V_{o-peak}| > 0.7 V$)

$$\eta = \frac{P_{Lav}}{P_{Dav}} = \frac{\frac{1}{2} \frac{V_{o-peak}^2}{R_L}}{\frac{2}{\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{CC}} = \frac{\pi}{4} \frac{V_{o-peak}}{V_{CC}}$$

Υπολογισμοί Ισχύος push-pull τάξης Β (IV)

Μέγιστη θεωρητικά αναμενόμενη αποδοτικότητα μετατροπής ενέργειας τάξης Β

Εφόσον έχουμε $-V_{CC} \leq v_o \leq V_{CC}$ θα είναι

$$\eta = \frac{\pi}{4} \frac{V_{o-peak}}{V_{CC}} \Rightarrow \eta_{max} = \frac{\pi}{4} = 0.785 \text{ or } 78.5 \%$$

Κατανάλωση ισχύος στα τρανζίστορ

$$P_{Disp} = P_{Dav} - P_{Lav} = \frac{2}{\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{CC} - \frac{1}{2} \frac{V_{o-peak}^2}{R_L}$$

$$P_{Disp} (V_{o-peak}=0) = 0 \text{ \{ακριβέστερα όταν } V_{o-peak} \leq 0.7V\}}$$

Υπολογισμοί Ισχύος push-pull τάξης Β (V)

✓ Για ποια τιμή της V_{o-peak} έχουμε την μέγιστη κατανάλωση ισχύος στα τρανζίστορ ?

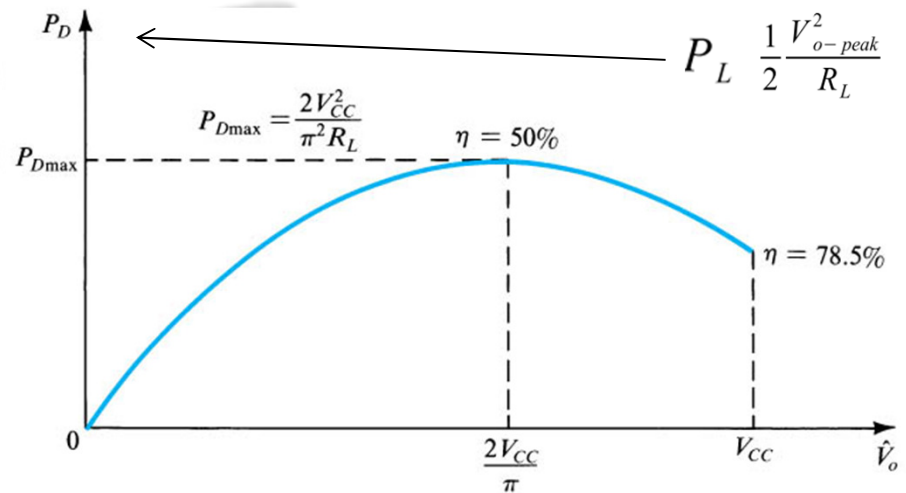
Για να βρούμε την μέγιστη P_{Disp} διαφορίζουμε την εξίσωση ως προς V_{o-peak} και την εξισώνουμε με μηδεν (μηδενισμός παραγώγου)

$$\frac{d P_{Disp}}{d V_{o-peak}} = \frac{2 V_{CC}}{\pi R_L} - \frac{V_{o-peak}}{R_L} = 0 \Rightarrow V_{o-peak} = \frac{2}{\pi} V_{CC} < V_{CC}$$

$$P_{Disp(max)} = \frac{4}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R_L} - \frac{1}{2} \frac{4}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R_L} = \frac{2}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R_L} \quad V_{o-peak} = \frac{2}{\pi} V_{CC}$$

• Το $\frac{1}{2}$ της $P_{Disp(max)}$ καταναλώνεται στο Q_N και το άλλο $\frac{1}{2}$ στο Q_P

• **Αύξηση** της V_{o-peak} πάνω από την τιμή $2V_{CC}/\pi$ **μειώνει την κατανάλωση ισχύος** ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την ισχύ φορτίου. **Όμως αυξάνεται και η THD**



Υπολογισμοί Ισχύος push-pull τάξης B (Περίληψη)

Ισχύς από τα τροφοδοτικά:

$$\max V_{o-peak} = V_{CC}$$

$$P_{D_{av}} = \frac{2}{\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{CC}$$

$$P_{D_{av}(max)} = \frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

Ισχύς στο φορτίο:

$$\max V_{o-peak} = V_{CC}$$

$$P_{L_{av}} = \frac{1}{2} \frac{V_{o-peak}^2}{R_L}$$

$$P_{L_{av}(max)} = \frac{1}{2} \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

Αποδοτικότητα μετατροπής
ενέργειας

$$\eta = \frac{\pi}{4} \frac{V_{o-peak}}{V_{CC}}$$

$$\eta_{max} = \frac{\pi}{4} \approx 0.785$$

Κατανάλωση ισχύος στα
τρανζίστορ

$$P_{Disp} = \frac{2}{\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{CC} - \frac{1}{2} \frac{V_{o-peak}^2}{R_L}$$

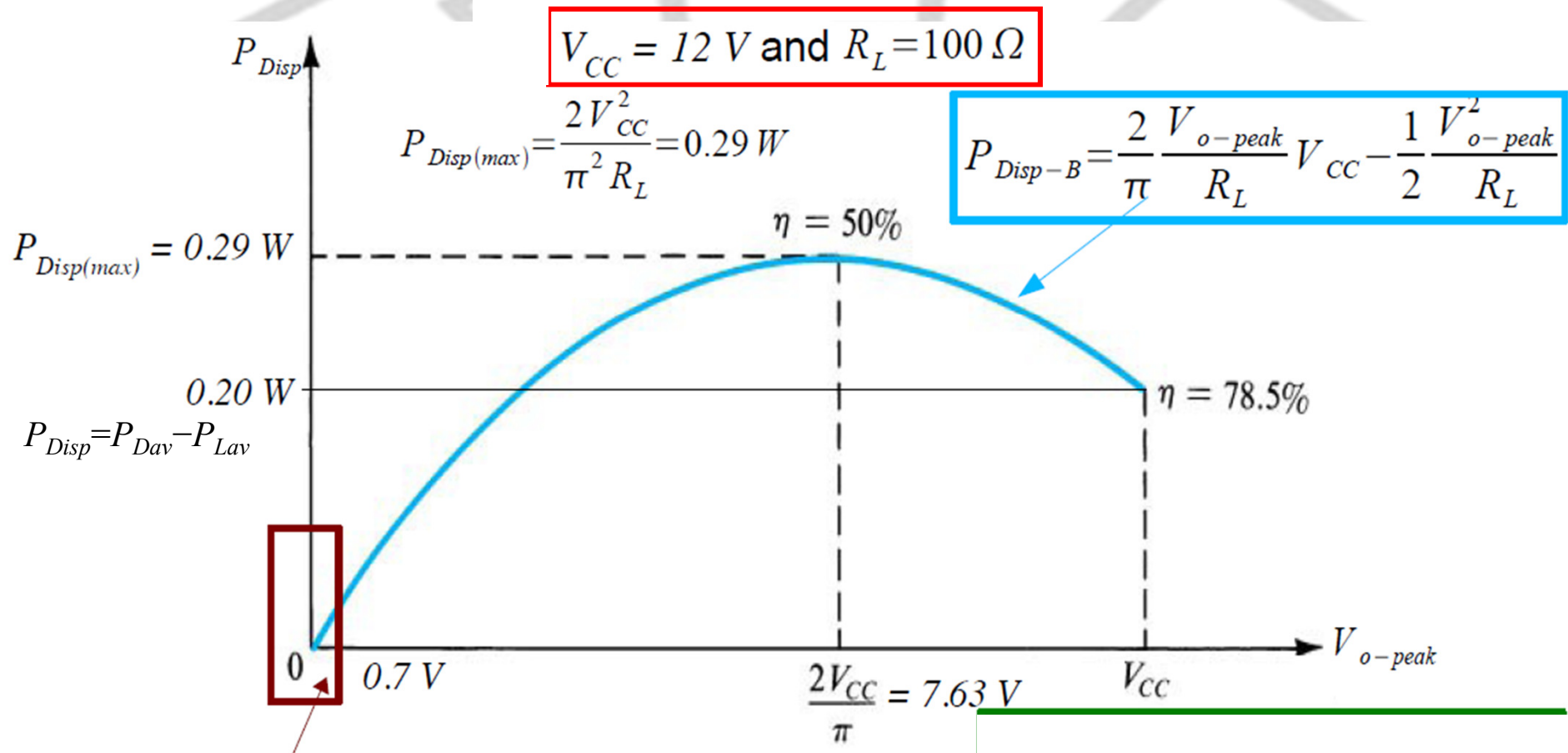
$$P_{Disp(max)} = \frac{2}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

Μέγιστη κατανάλωση ισχύος
στα τρανζίστορ για τάση:

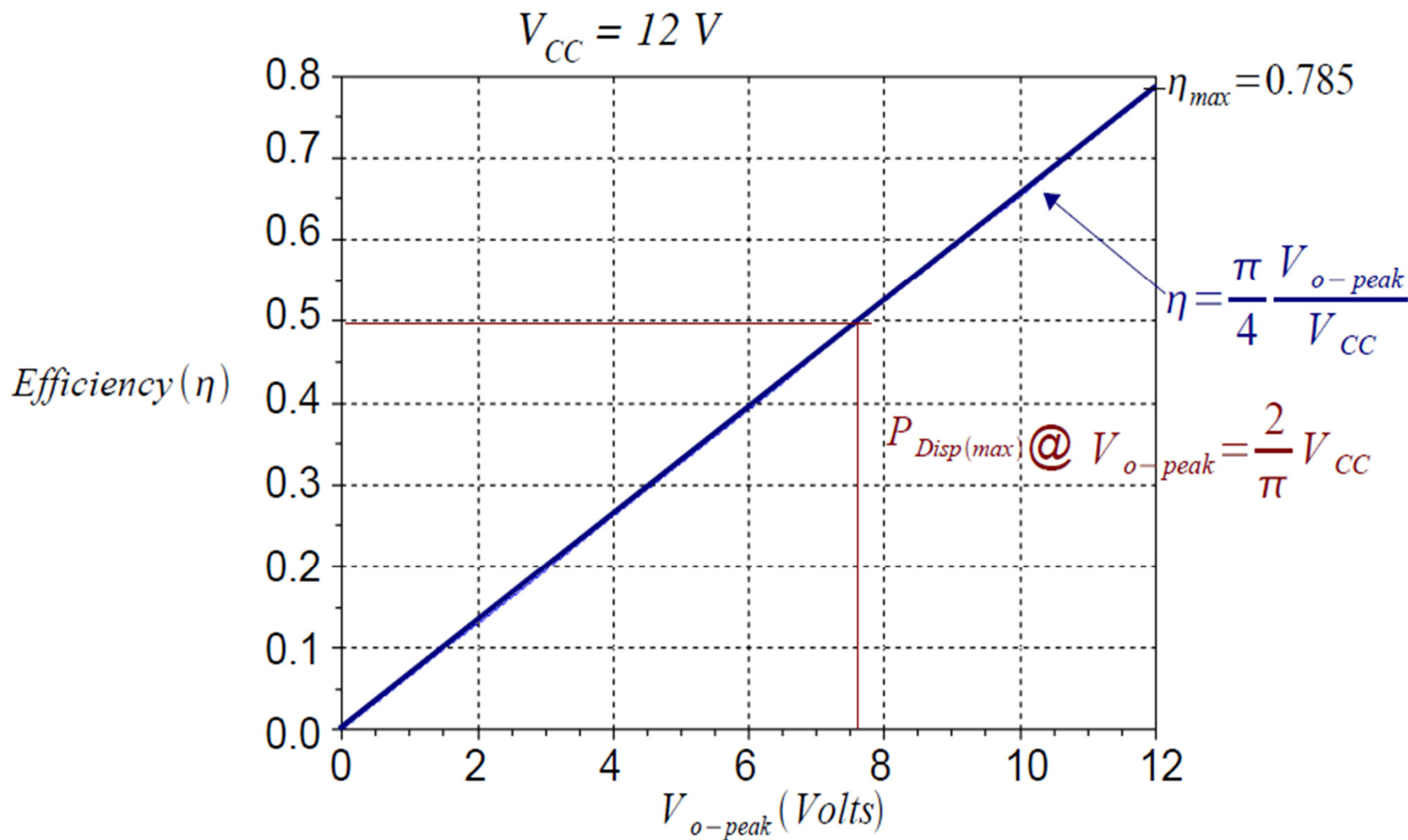
$$V_{o-peak} = \frac{2}{\pi} V_{CC}$$

$$\eta_{max-Disp} = 0.5$$

Παράδειγμα Ι



Παράδειγμα Ι (συν.)



Παράδειγμα Ι - εξομοίωση

$$v_o = v_i - 0.7V$$

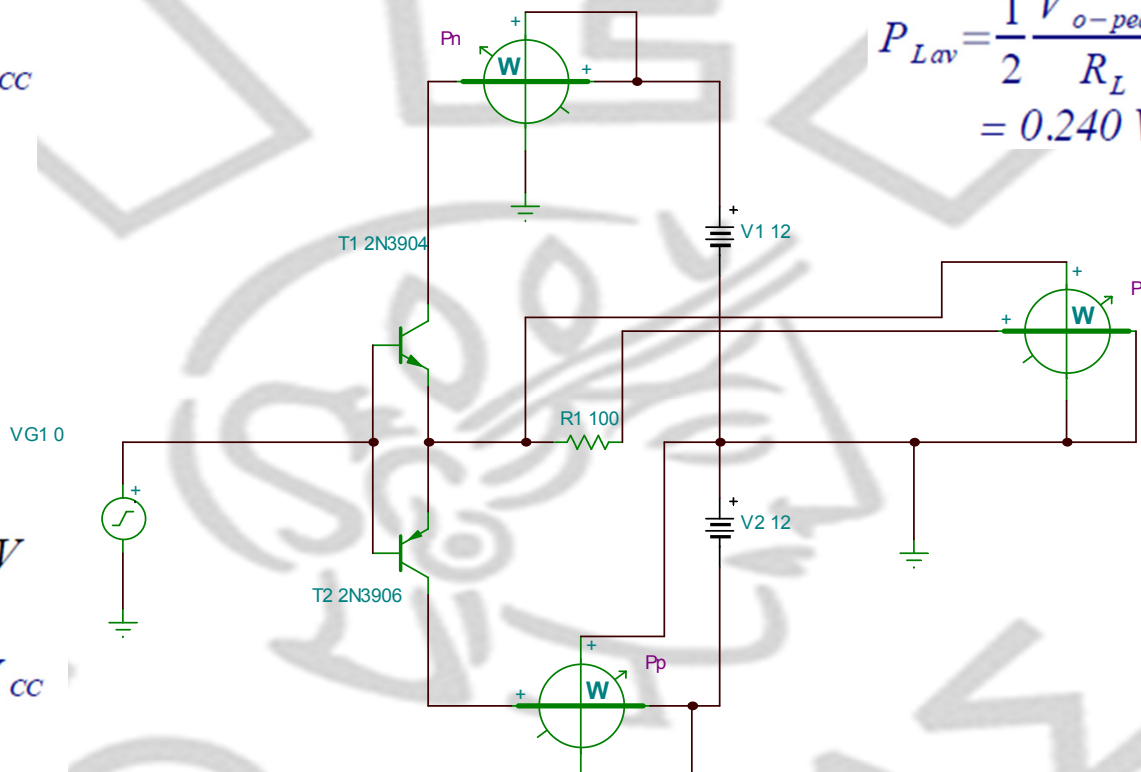
$$P_{+V_{cc\,av}} = \frac{1}{\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{cc} = 0.265 \text{ W}$$

$$V_{i-peak} = 7.63 \text{ V}$$

$$v_o = v_i \pm 0.7V$$

$$P_{-V_{cc\,av}} = \frac{1}{\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{cc} = 0.265 \text{ W}$$

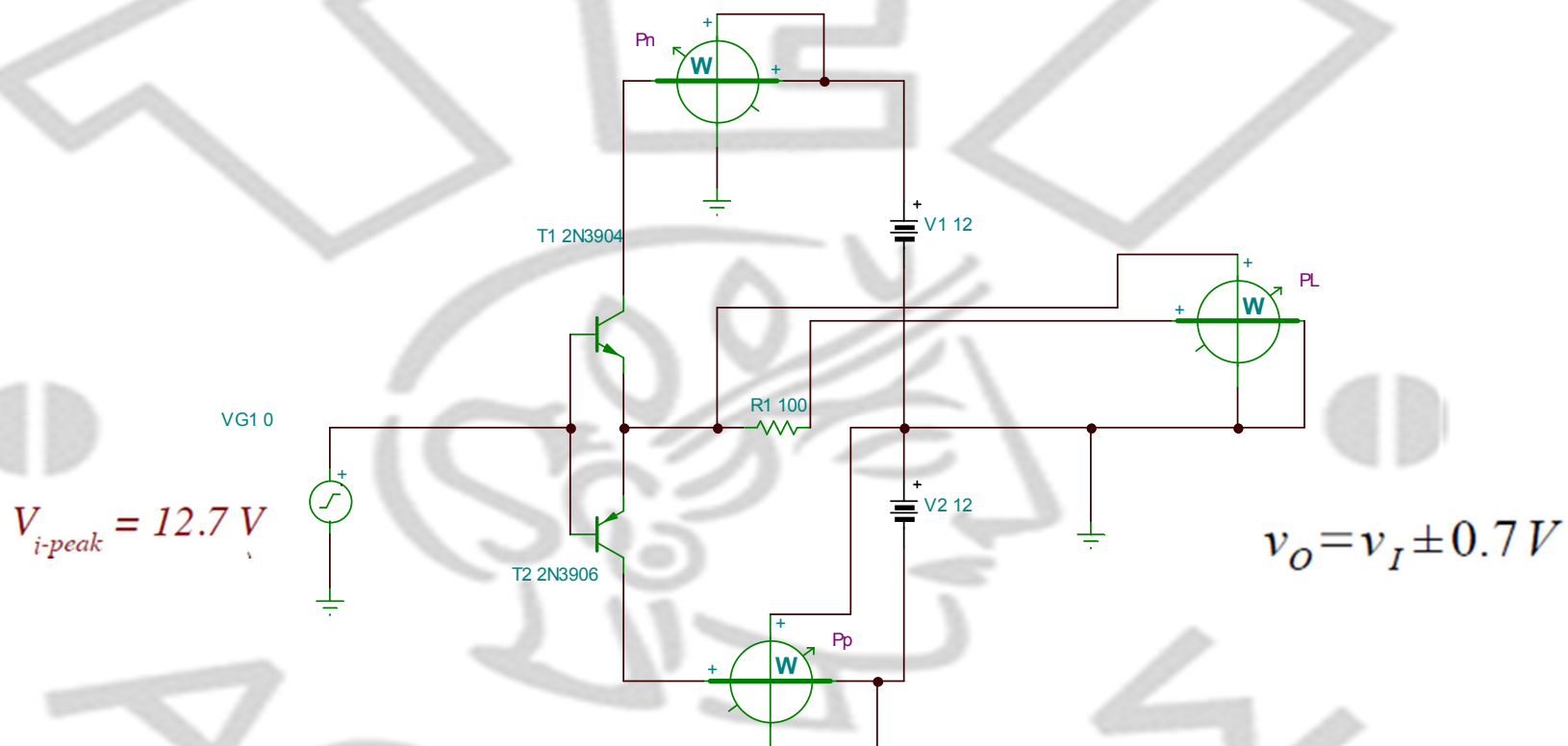
$$P_{L\,av} = \frac{1}{2} \frac{V_{o-peak}^2}{R_L} = 0.240 \text{ W}$$



$$\eta_{theory} = \frac{P_{L\,av}}{P_{+V_{cc\,av}} + P_{-V_{cc\,av}}} = \frac{0.240}{0.265 + 0.265} = 0.45$$

$$\eta_{sim} = \frac{P_{L\,av}}{P_{+V_{cc\,av}} + P_{-V_{cc\,av}}} = \frac{0.2198}{0.2429 + 0.2449} = 0.45$$

Παράδειγμα I – εξομοίωση (συν)



$$n_{sim} = \frac{P_{Lav}}{P_{+V_{CC}} + P_{-V_{CC}}} = \frac{0.647}{0.419 + 0.419} = 0.772$$

Παράδειγμα ΙΙ

- ✓ Να σχεδιαστεί βαθμίδα εξόδου push-pull τάξης Β η οποία να παρέχει ισχύ 20W σε φορτίο 8Ω. Η τάση τροφοδοσίας να επιλεγεί έτσι ώστε η V_{CC} να είναι 5V μεγαλύτερη από τη μέγιστη τάση εξόδου (για να αποφευχθεί ο κορεσμός και η συνεπαγόμενη μη γραμμική παραμόρφωση). Βρείτε την απαιτούμενη τροφοδοσία, το μέγιστο ρεύμα που δίδει κάθε τροφοδοτικό, τη συνολική ισχύ τροφοδοσίας, την αποδοτικότητα μετατροπής ενέργειας και τη μέγιστη ισχύ που θα πρέπει να μπορεί να καταναλώνει το κάθε τρανζίστορ με ασφάλεια

Προσδιορισμός V_{CC}

$$P_{L_{av}}=20W, R_L=8\Omega \text{ άρα έχω}$$

$$P_{L_{av}} = \frac{1}{2} \frac{V_{o-peak}^2}{R_L} = 20W \Rightarrow V_{o-peak} = \sqrt{2 P_{L_{av}} R_L} = \sqrt{2 * 20 * 8} = 17.9V$$

$$V_{CC} = V_{o-peak} + 5V = 17.9V + 5V = \boxed{23V}$$

Προσδιορισμός μεγίστου ρεύματος από κάθε τροφοδοτικό

$$I_{o-peak} = \frac{V_{o-peak}}{R_L} = \frac{17.9V}{8\Omega} = \boxed{2.24A}$$

Παράδειγμα ΙΙ (συν)

Προσδιορισμός συνολικής ισχύος τροφοδοσίας

$$P_{D_{av}} = \frac{2}{\pi} \frac{V_{o-peak}}{R_L} V_{CC} = \frac{2}{\pi} \frac{17.9 V}{8 \Omega} 23 V = \boxed{32.8 W}$$

Προσδιορισμός αποδοτικότητας μετατροπής ενέργειας

$$\eta = \frac{\pi}{4} \frac{V_{o-peak}}{V_{CC}} = \frac{\pi}{4} \frac{17.9 V}{23 V} = \boxed{0.61 \text{ or } 61 \%}$$

Προσδιορισμός μέγιστης ασφαλούς κατανάλωσης ισχύος επί των τρανζίστορ

$$P_{DispN(max)} = P_{DispP(max)} = \frac{1}{2} P_{Disp(max)} = \frac{1}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R_L} = \frac{1}{\pi^2} \frac{(23 V)^2}{8 \Omega} = \boxed{6.7 W}$$