

Ενισχυτές Ισχύος

- Βασικός στόχος ενός ενισχυτή **να οδηγήσει το φόρτο*** εξόδου του (ένα ηχείο, ένα καθοδικό σωλήνα, μια ηλεκτρομηχανική διάταξη, κ.λπ.) όπως ορίζει το σήμα στην είσοδό του χωρίς παραμόρφωση
- Ο φόρτος εξόδου προκειμένου να λειτουργεί σωστά χρειάζεται να διεγερθεί από ηλεκτρικό σήμα κατάλληλης μορφής και πλάτους και με **επαρκή ηλεκτρική ισχύ**
- Στην περίπτωση που απαιτείται μεγάλη ισχύς οι ενισχυτές που ικανοποιούν την **υπόθεση μικρού σήματος** και οι οποίοι λειτουργούν με χαμηλή παραμόρφωση αλλά και με **μικρή απόδοση ισχύος είναι ακατάλληλοι**

*φόρτος = φορτίο

Ενισχυτές Ισχύος – Ισχύς

- **Απόδοση ισχύος** είναι το μέτρο που μας δείχνει το ποσοστό της καταναλισκόμενης ισχύος που τελικά φτάνει στο φόρτο και ορίζεται ως:

$$\eta = \frac{P_o}{P_i}$$

- Όπου P_i είναι η συνολική ισχύς που εισέρχεται στο (και καταναλώνεται από το) κύκλωμα, ενώ με δεδομένο ότι η ισχύς που εισέρχεται από την είσοδο σήματος είναι αμελητέα, η καταναλισκόμενη ισχύς είναι **η μέση τιμή της ισχύος που παρέχει το τροφοδοτικό** $P_i = \langle P_{\text{power supply}} \rangle$
- Ενώ P_o είναι η **ισχύς του σήματος (μέση τιμή) που αποδίδεται στο φορτίο** $P_o = \langle i_o^2 \rangle R_L = \langle u_o^2 \rangle / R_L$

Ενισχυτές Ισχύος – Ισχύς

- Οι **ενισχυτές ισχύος** είναι μια ειδική κατηγορία κυκλωμάτων, που **διακρίνονται κυρίως για την ικανότητά τους να «οδηγούν» φορτία*** που έχουν υψηλές απαιτήσεις ισχύος, και όχι για την τοπολογία τους.
 - Έτσι για παράδειγμα ένας **ενισχυτής κοινού εκπομπού** με ζεύγος Darlington αντί για απλό τρανζίστορ, ώστε να έχει ικανότητες παροχής ρεύματος στο φορτίο, μπορεί να είναι ένας ενισχυτής ισχύος.
- Στην ουσία κάθε ενισχυτής ισχύος δεν είναι τίποτε παραπάνω από έναν κοινό εκπομπό (πηγή) ή έναν κοινό συλλέκτη (απαγωγό) ή συνδυασμός δυο όμοιων (συμπληρωματικών) κυκλωμάτων από τις προηγούμενες τοπολογίες σε λειτουργία «push-pull».

* Όπως ηλεκτρομηχανικοί μετατροπείς (ηλεκτρικές μηχανές), ηλεκτρακουστικοί μετατροπείς (ηχεία) ή κεραίες.

Παράδειγμα τάξη Α

Υπολογίστε την ισχύ εισόδου [$P_i(\text{mean total})$], την ισχύ εξόδου [$P_o(\text{ac})$], και την απόδοση [η] του ενισχυτή του σχήματος για μια τάση εισόδου που οδηγεί σε ρεύμα βάσης 10mA peak.

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{20V - 0.7V}{1k\Omega} = 19.3mA$$

$$I_{CQ} = \beta I_B = 25(19.3mA) = 482.5mA \cong 0.48A$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C R_L = 20V - (0.48A)(20\Omega) = 10.4V$$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_L} = \frac{20V - 0.2V}{20\Omega} \cong \frac{V_{CC}}{R_L} = \frac{20V}{20\Omega} = 1000mA = 1A$$

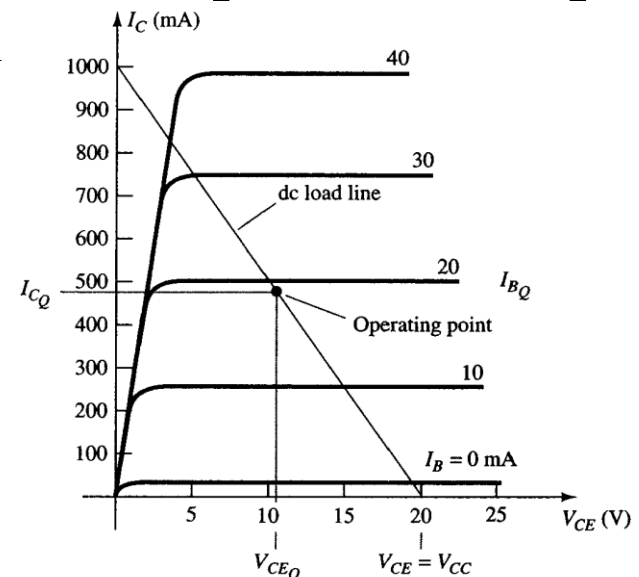
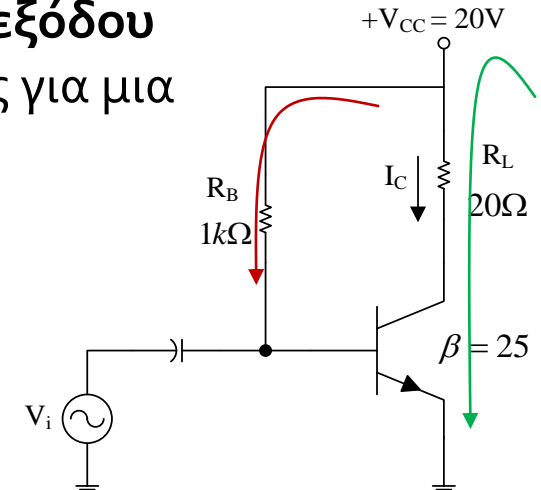
$$V_{CE(off)} = V_{CC} - I_{C(min)} R_L = 20V - 0.5mA \cdot 20\Omega \cong V_{CC} = 20V$$

$$I_{c(peak)} = \beta I_{b(peak)} = 25(10mA, \text{peak}) = 250mA, \text{peak}$$

$$P_{o(ac)} = \langle i_c^2 \rangle R_L = \frac{I_{c(peak)}^2}{2} R_L = \frac{(250 \times 10^{-3} A)^2}{2} (20\Omega) = 0.625W$$

$$P_{i(<tot>)} = V_{CC} \langle i_c \rangle = V_{CC} I_{CQ} = (20V)(0.48A) = 9.6W$$

$$\eta = \frac{P_{o(ac)}}{P_{i(<tot>)}} \times 100\% = 6.5\% !!!$$



Ενισχυτές Ισχύος – Ισχύς, Γραμμικότητα

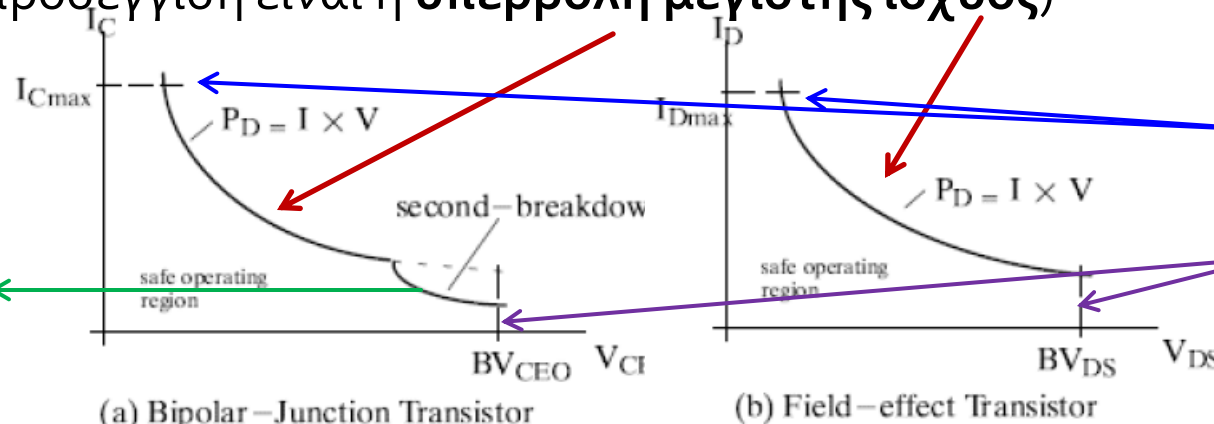
- Οι ενισχυτές ισχύος είναι κυκλώματα που είναι κατάλληλα για **το στάδιο εξόδου** ενός ενισχυτή με πολλά τρανζίστορ (π.χ. op-amp ή audio amp)
- τα **βασικά χαρακτηριστικά** τους / προδιαγραφές σχεδιάσής τους **σχετίζονται με την ισχύ**:
 - είτε από την άποψη της καλύτερης διαχείρισης της,
 - είτε από την άποψη της αντιμετώπισης προβλημάτων από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στα υλικά λόγω της απορρόφησης μέρους της από αυτά.
- Το άλλο σημαντικό θέμα στους ενισχυτές ισχύος, που κατά τεκμήριο κινούνται **εκτός της περιοχής συνθηκών μικρού σήματος**, είναι η **καλή γραμμικότητα** ή με άλλα λόγια η **μικρή παραμόρφωση**.

Ενισχυτές Ισχύος – Χαρακτηρ/κά

- τα ζητούμενα από έναν καλό ενισχυτή ισχύος είναι:
 - **ικανότητα διαχείρισης μεγάλων ποσών ισχύος** (χωρίς καταστροφή ή αλλαγή των χαρακτηριστικών των ημιαγωγικών στοιχείων), με στόχο την οδήγηση «απαιτητικών» φορτίων,
 - **ικανότητα διαχείρισης μεγάλων σημάτων**, με εισαγωγή **όσο γίνεται μικρότερης παραμόρφωσης** (όσο γίνεται καλύτερη γραμμικότητα),
 - **μεγάλη απόδοση ισχύος.**
- Προσοχή: η ισχύς εξόδου ενός ενισχυτή ισχύος είναι υψηλή σε σχέση με την προηγούμενη βαθμίδα ενίσχυσης, ενώ η απόλυτη τιμή της μπορεί να μην είναι υψηλή.
 - Π.χ. μπορεί κάλλιστα να έχουμε έναν ενισχυτή ισχύος για ηχεία με ισχύ εξόδου 100W και έναν ενισχυτή εξόδου για ακουστικά με ισχύ εξόδου 0.5W

Απαγωγή Θερμότητας

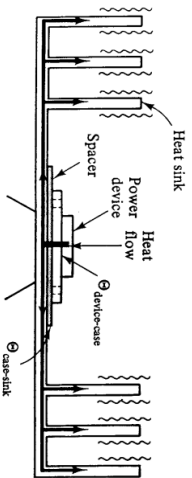
- Πολύ σημαντικό θέμα είναι η επιλογή των ενεργών στοιχείων του κυκλώματος (BJT, MOSFET, κ.λπ.) ώστε να **«αντέχουν» να καταναλώνεται μεγάλο ποσό ισχύος επάνω τους** (να μπορεί να περάσει μεγάλο ρεύμα ή/και να αναπτύξουν μεγάλες διαφορές δυναμικού)
 - Για δεδομένη θερμοκρασία κάθε ενεργό στοιχείο χαρακτηρίζεται από μια περιοχή ασφαλούς λειτουργίας –SOA– (μια αρκετά καλή προσέγγιση είναι η **υπερβολή μέγιστης ισχύος**)



καθώς και από
μέγιστο ρεύμα
και
μέγιστη τάση

Λόγω
ανομοιόμορφης
κατανομής του
ρεύματος στην
επαφή B-E →
hot-spots →
τοπικά θερμική
διαφυγή

Απαγωγή Θερμότητας



Αλλά και ο τρόπος εγκατάστασής τους ώστε να γίνεται με αποδοτικό τρόπο **απαγωγή της θερμότητας** που αναπτύσσεται λόγω της συγκεκριμένης κατανάλωσης ισχύος πάνω τους → ψήκτρες

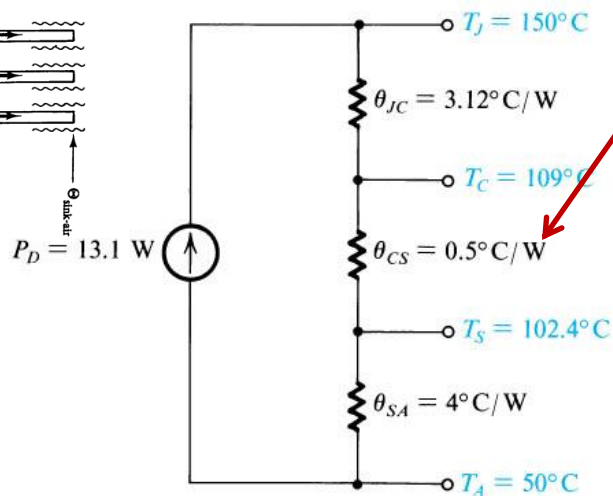


Figure 14.22 Thermal equivalent circuit for Example 14.5.

$$\theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA}$$

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

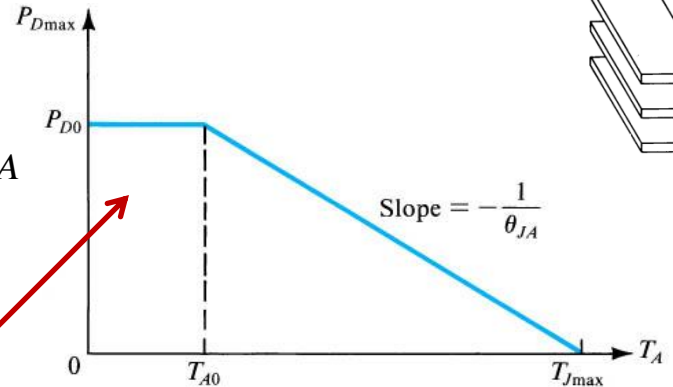
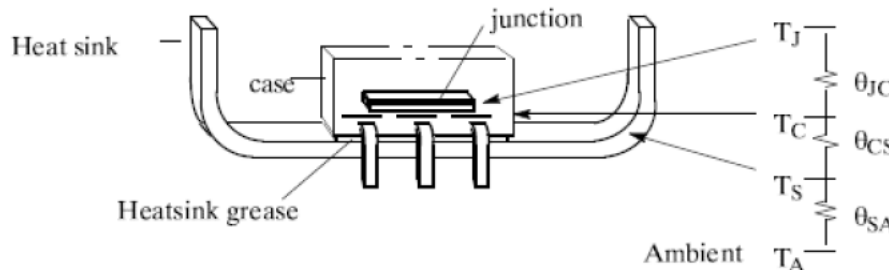


Figure 14.18 Maximum allowable power dissipation versus ambient temperature for a BJT operated in free air. This is known as a "power-derating" curve.



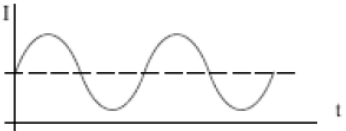
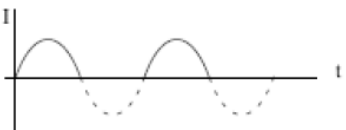
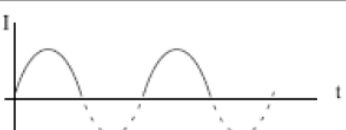
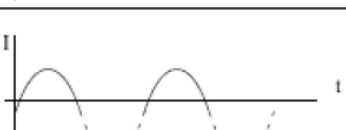

Ενισχυτές Ισχύος – Ταξινόμηση

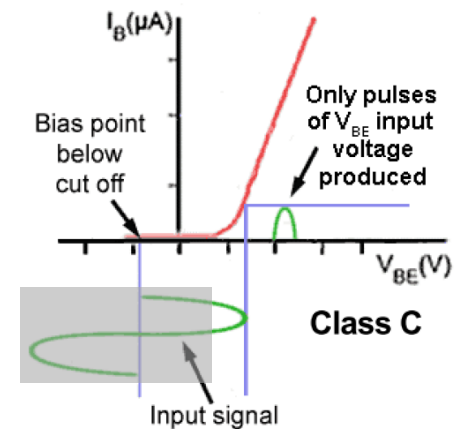
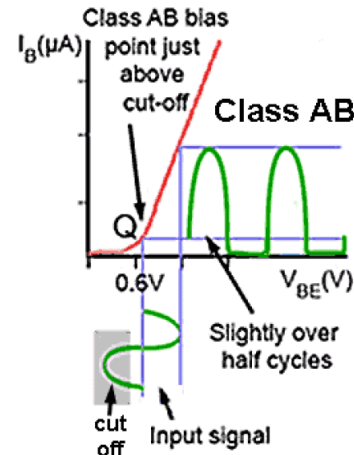
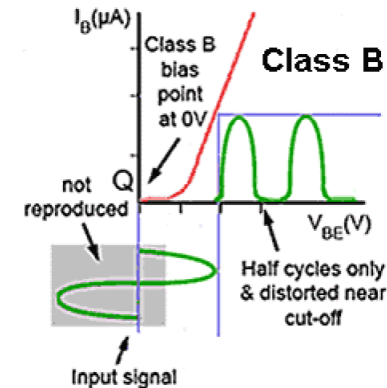
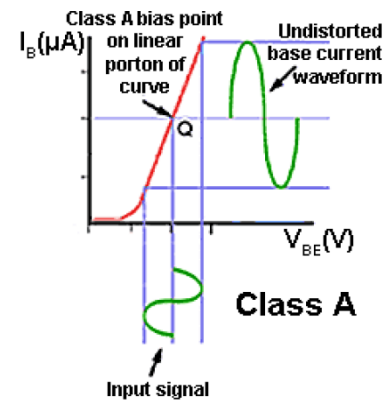
- Οι ενισχυτές ισχύος ταξινομούνται με βάση τρία κριτήρια, ως εξής:
 - ανάλογα με τον τρόπο σύζευξης με το φορτίο, σε:
 - απλούς και
 - με μετασχηματιστή
 - ανάλογα με τη χρήση μίας απλής τοπολογίας CE (CS) ή CC (CD), ή δυο push-pull συνεργαζόμενων*, σε:
 - απλούς και
 - push-pull
 - ανάλογα με τη γωνία διέλευσης του σήματος ή αλλιώς ανάλογα με την τοποθέτηση του σημείου λειτουργίας (από/σε κάθε απλή τοπολογία που συμμετέχει), σε:
 - τάξης **A** (γωνία διέλευσης=360°)
 - τάξης **B** (γωνία διέλευσης=180°)
 - τάξης **AB** (γωνία διέλευσης>180°)
 - τάξης **C** (γωνία διέλευσης<180°)
 - τάξης **D** (παλμική λειτουργία)

* Κάθε μια από τις «συνεργαζόμενες» τοπολογίες διαχειρίζεται μια ημιπερίοδο, ή λίγο περισσότερο από ημιπερίοδο, του σήματος.

Τάξεις Λειτουργίας

- Παράδειγμα τάξεων λειτουργίας σε ενισχυτή ισχύος με ένα BJT

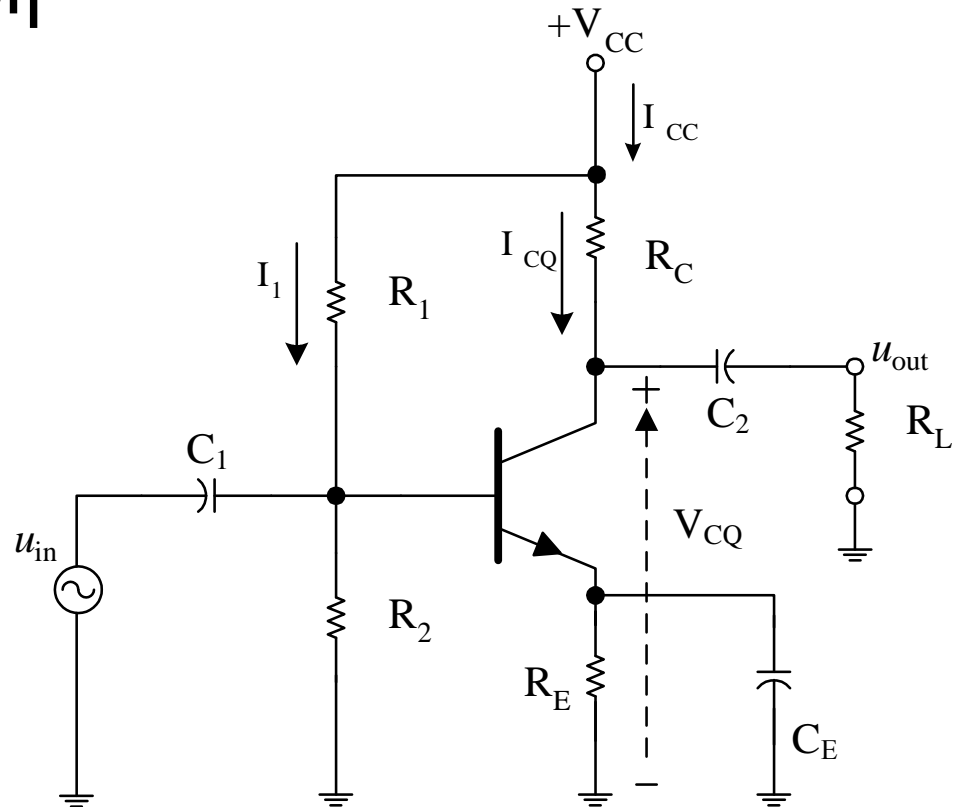
Τάξη	κύκλος λειτουρ.	κυματομορφή εξόδου
CLASS A	D = 100%	
CLASS B	D = 50%	
CLASS AB	D > 50%	
CLASS C	D < 50%	
CLASS D		



Ευθείες Φόρτου

- Στατική (ή DC) ευθεία φόρτου (ή γραμμή φορτίου) [DC load line] → DC μεγέθη

Ξεκινώντας από τη γνωστή τοπολογία του ενισχυτή CE με πόλωση από διαιρέτη τάσης, αρχικά εξάγουμε το DC-ισοδύναμο

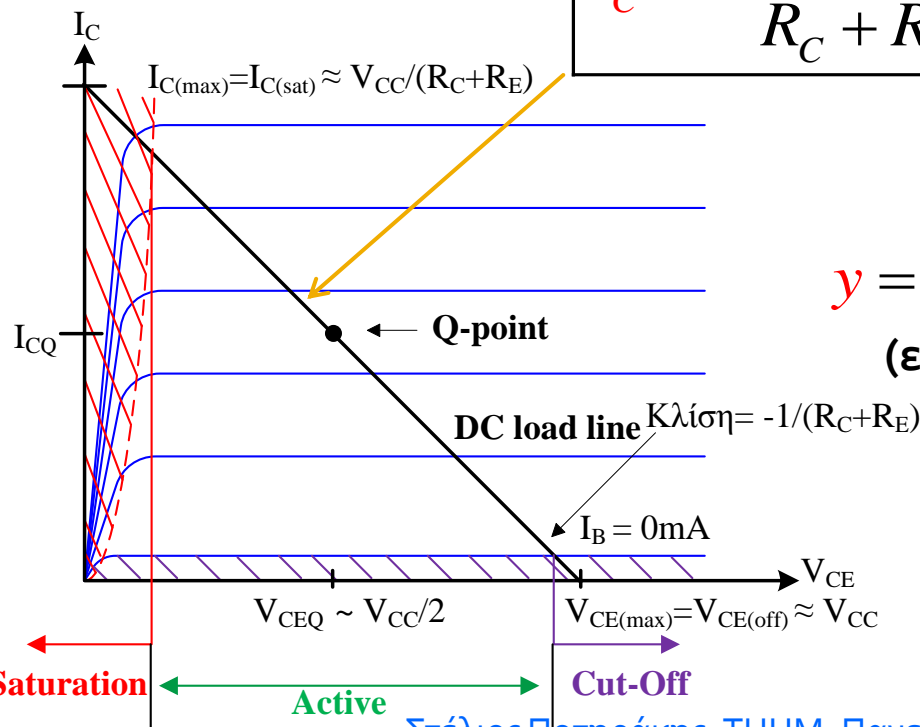


Ευθείες Φόρτου

■ Στατική ευθεία φόρτου CE

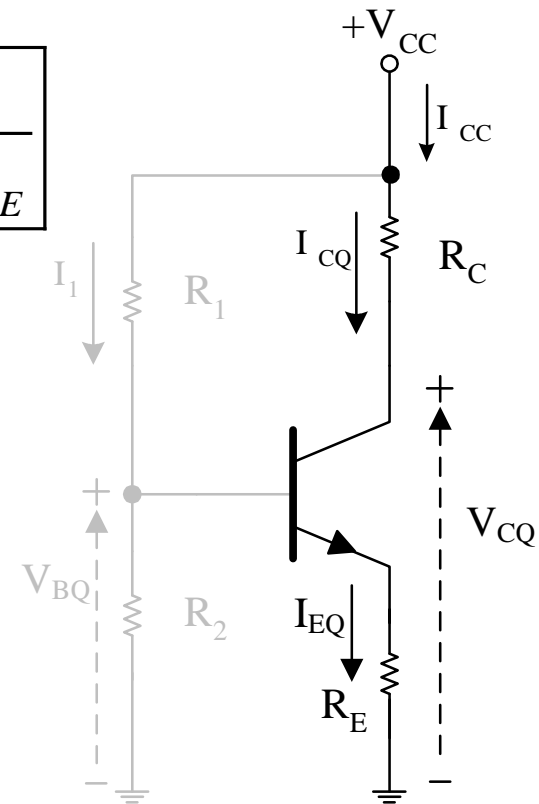
$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} - I_E R_E = 0 \xrightarrow{I_C \approx I_E}$$

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



$$y = mx + c$$

(ευθεία)



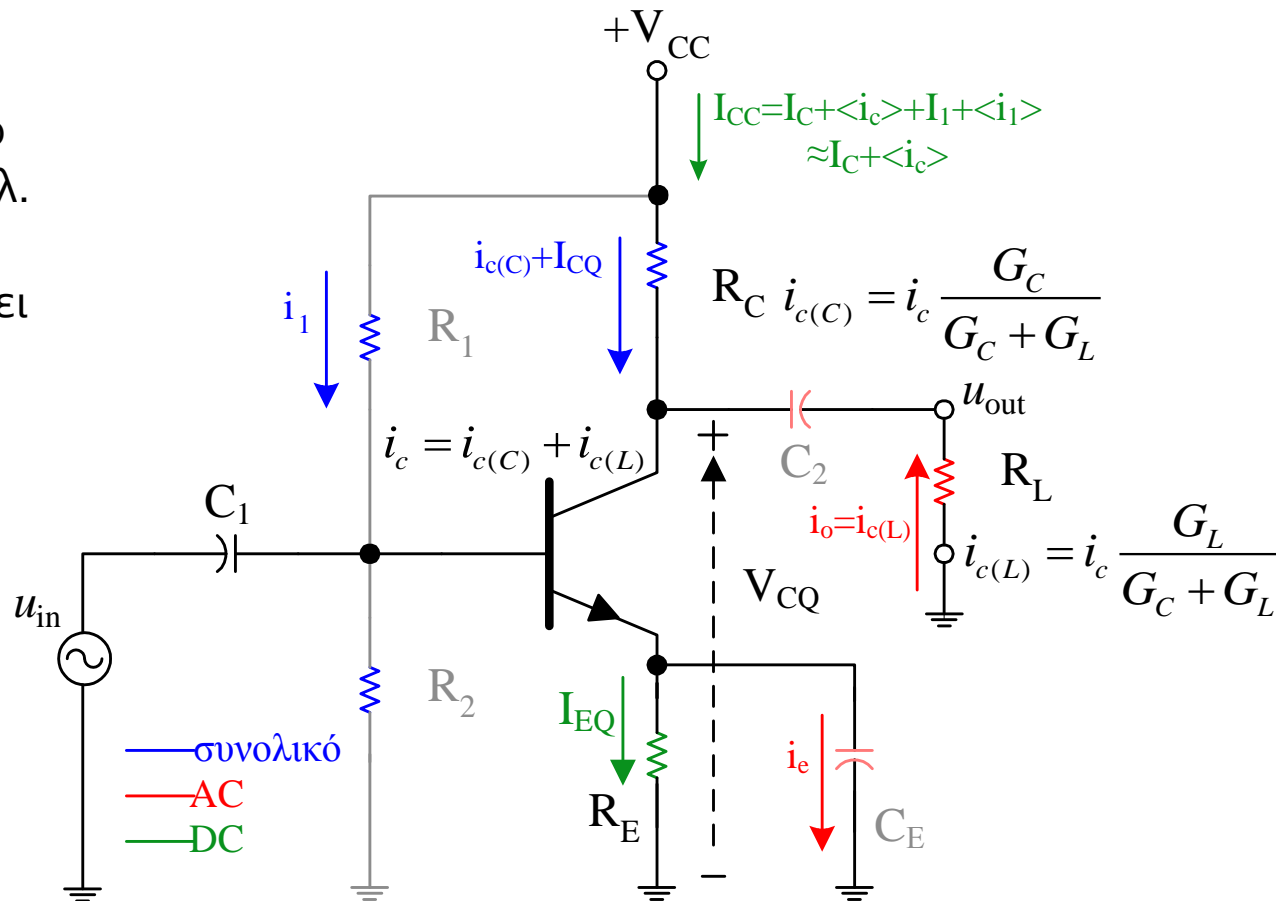
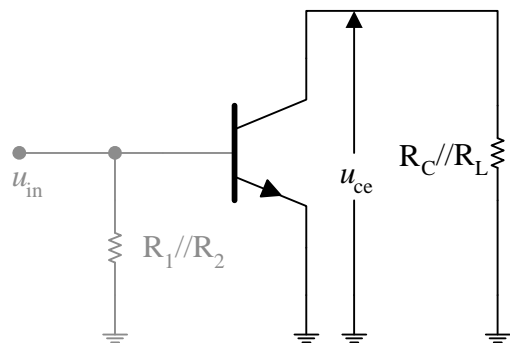
Ευθείες Φόρτου

- Δυναμική (ή AC) ευθεία φόρτου [AC load line] → Ολικά μεγέθη

Εδώ χρησιμοποιούμε το **συνολικό κύκλωμα**, δηλ. μια επέκταση του DC ισοδύναμου που περιέχει και τους κλάδους που «βλέπει» μόνο το AC

Προσοχή!

Όχι το AC ισοδύναμο

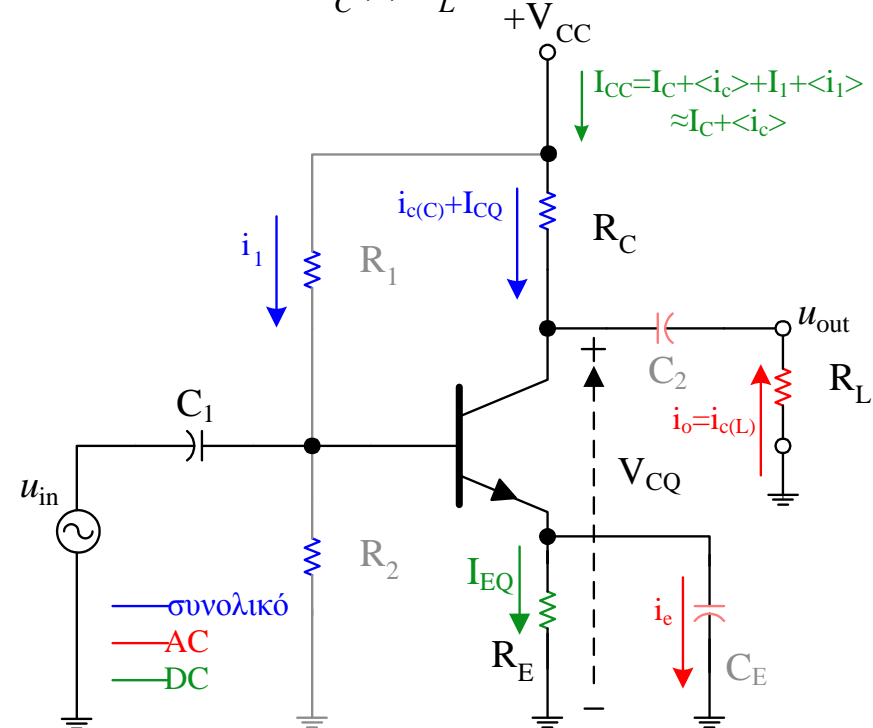


Ευθείες Φόρτου

■ Δυναμική ευθεία φόρτου CE

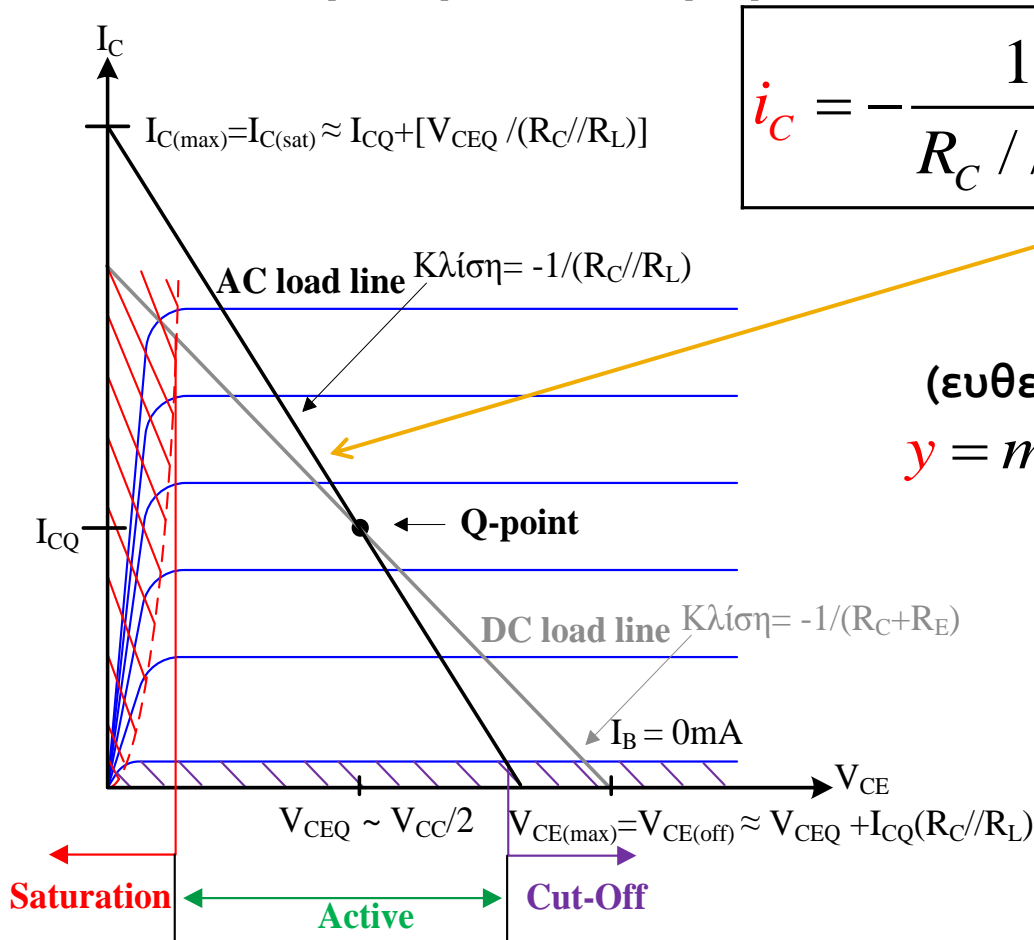
$$\left. \begin{aligned} V_{CC} - I_{CQ}R_C - i_c(R_C // R_L) - u_{CE} - V_E &= 0 \\ \text{με } V_E = I_E R_E \cong I_{CQ} R_E & \\ \text{, όμως από τη} & \\ \text{DC ευθεία φόρτου: } V_{CC} - I_{CQ}R_C - V_E &= V_{CEQ} \end{aligned} \right\} \xrightarrow{i_c = i_c - I_{CQ}} i_c - I_{CQ} = -\frac{u_{CE} - V_{CEQ}}{R_C // R_L} \Rightarrow$$

$$i_c = -\frac{1}{R_C // R_L} u_{CE} + \left(I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_C // R_L} \right)$$



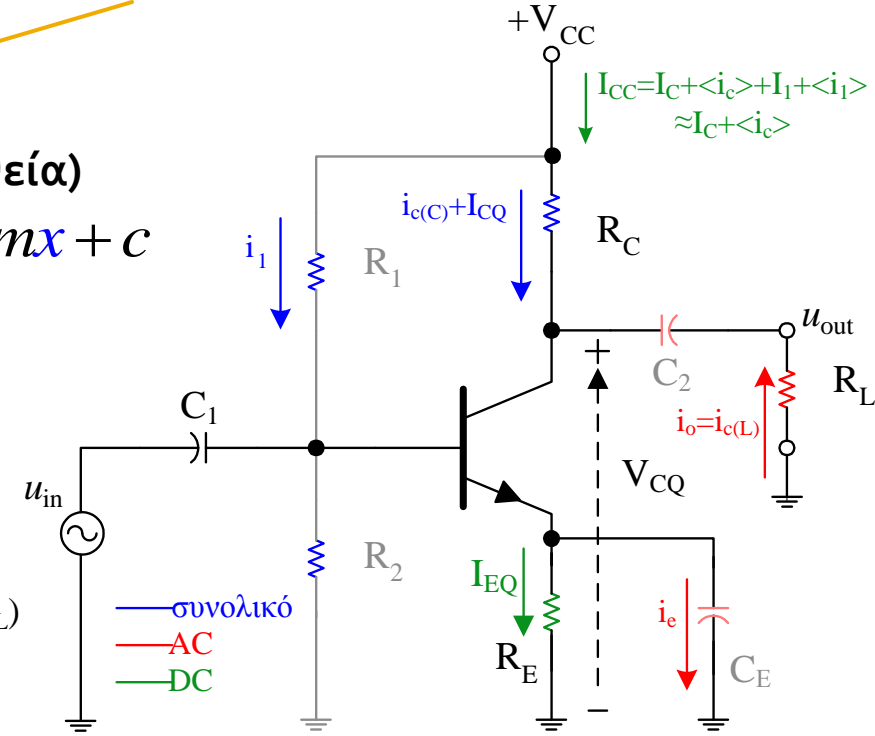
Ευθείες Φόρτου

■ Δυναμική ευθεία φόρτου CE



$$i_c = -\frac{1}{R_C // R_L} u_{CE} + \left(I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_C // R_L} \right)$$

(ευθεία)
 $y = mx + c$



Ευθείες Φόρτου

- Το σημείο ηρεμίας (Q-point) [quiescent point] ανήκει ταυτόχρονα και στη στατική και στη δυναμική ευθεία φόρτου
- Οι ευθείες φόρτου είναι διαφορετικές, γιατί ο ενισχυτής «βλέπει» διαφορετικό φορτίο στο DC και διαφορετικό στην AC+DC (συνολική) λειτουργία
- Το σημείο ηρεμίας όμως μιας και **αναφέρεται στη DC συνιστώσα** των συνολικών μεγεθών ανήκει και στις δυο ευθείες φόρτου

Ευθείες Φόρτου

■ Δυναμική ευθεία φόρτου CC

$$V_{CC} - u_{CE} - V_E - u_e = 0$$

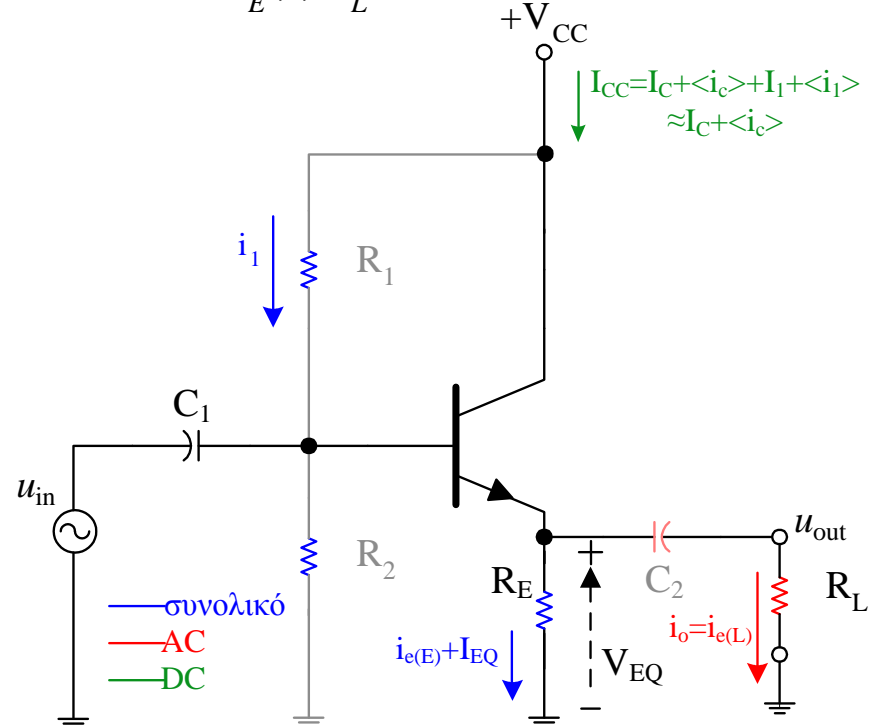
$$\text{με } V_E + u_e \cong I_{CQ}R_E + i_c (R_E // R_L)$$

, όμως από τη

DC ευθεία φόρτου: $V_{CC} - V_E = V_{CEQ}$

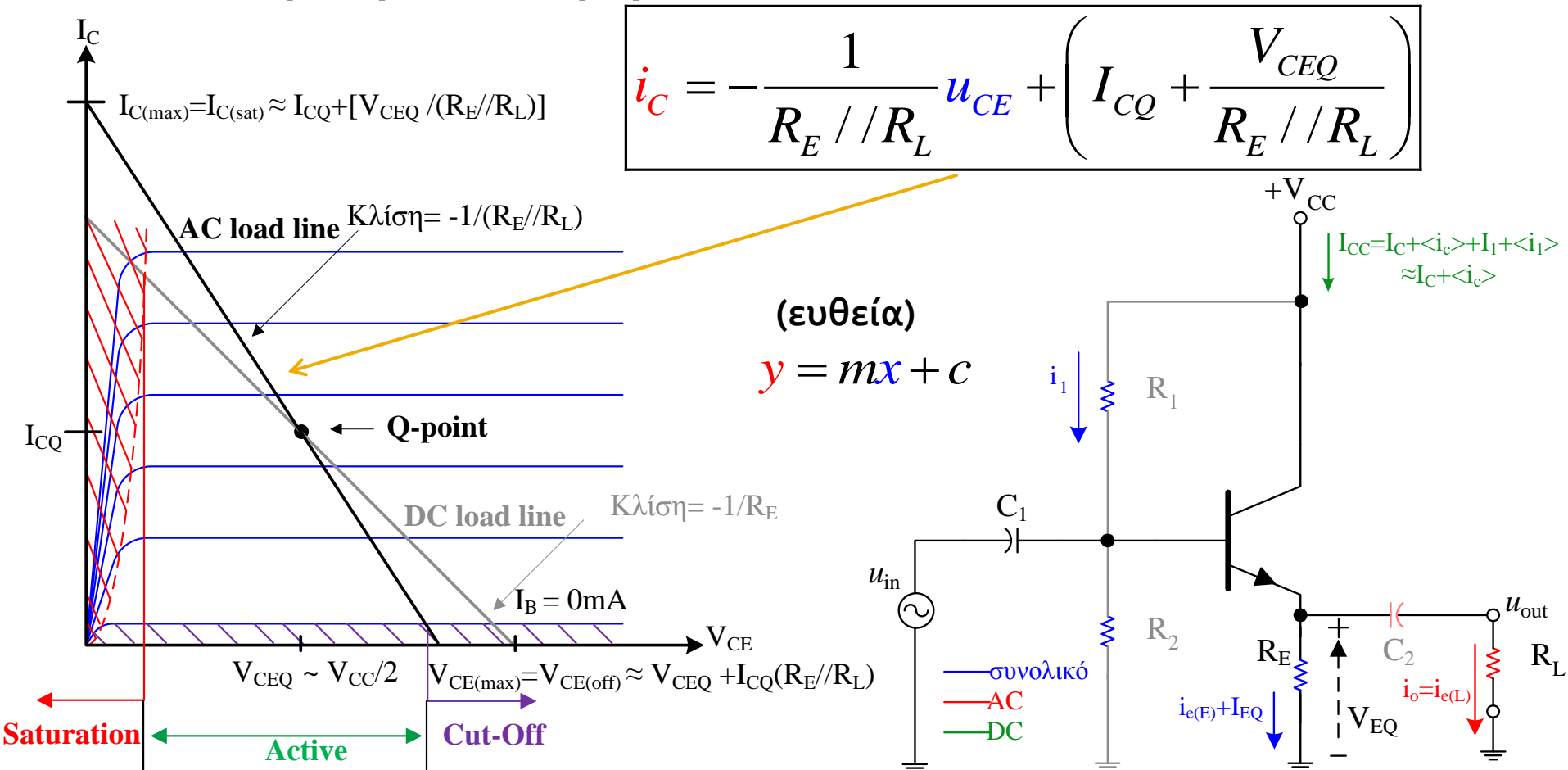
$$\left. \begin{array}{l} V_{CC} - u_{CE} - V_E - u_e = 0 \\ \text{με } V_E + u_e \cong I_{CQ}R_E + i_c (R_E // R_L) \\ \text{, όμως από τη} \\ \text{DC ευθεία φόρτου: } V_{CC} - V_E = V_{CEQ} \end{array} \right\} \xrightarrow{i_c = i_c - I_{CQ}} i_c - I_{CQ} = -\frac{u_{CE} - V_{CEQ}}{R_E // R_L} \Rightarrow$$

$$i_c = -\frac{1}{R_E // R_L} u_{CE} + \left(I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_E // R_L} \right)$$



Ευθείες Φόρτου

■ Δυναμική ευθεία φόρτου CC

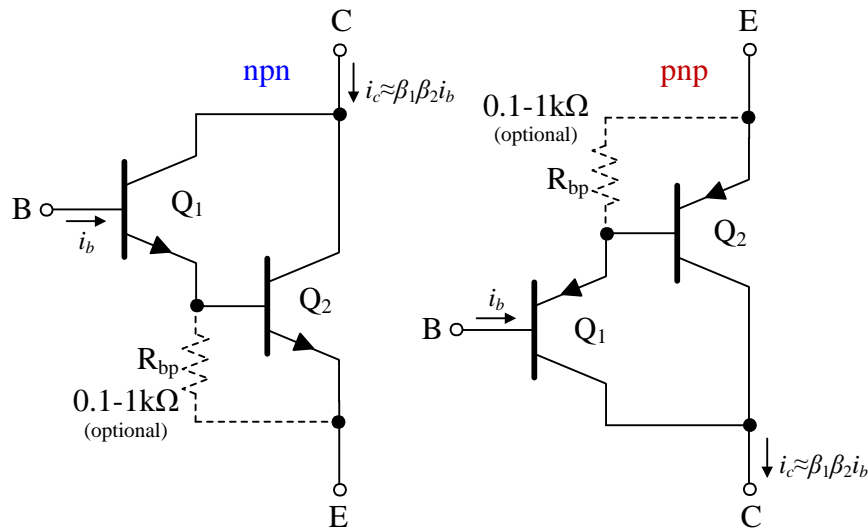


Συνδεσμολογίες Darlington και Sziklai

- Οι συνδεσμολογίες (ή τοπολογίες) ενισχυτών ρεύματος **Darlington και Sziklai** αναφέρονται σε συγκεκριμένους τρόπους διασύνδεσης δυο τρανζίστορ.
- Σε κάθε μια από τις δυο περιπτώσεις η **διασύνδεση των δυο τρανζίστορ ισοδυναμεί με ένα τρανζίστορ** (ηρη στην πρώτη περίπτωση και ρηρ στη δεύτερη) με **β περίπου ίσο με το γινόμενο των β των δυο επιμέρους τρανζίστορ** ($\beta_D \cong \beta_1 \beta_2$, $\beta_S \cong \beta_1 \beta_2$) της συνδεσμολογίας →
 - Μπορούμε να φτιάξουμε ένα τρανζίστορ με πολύ μεγάλο β → **πολύ αποδοτικός CC (& πολύ αποδοτικός CE ως προς το σκέλος A_I)**
 - Με ταίριασμα των χρησιμοποιούμενων τρανζίστορ → δυο συμπληρωματικά τρανζίστορ με πολύ μεγάλο β , τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε **ενισχυτές push-pull**.

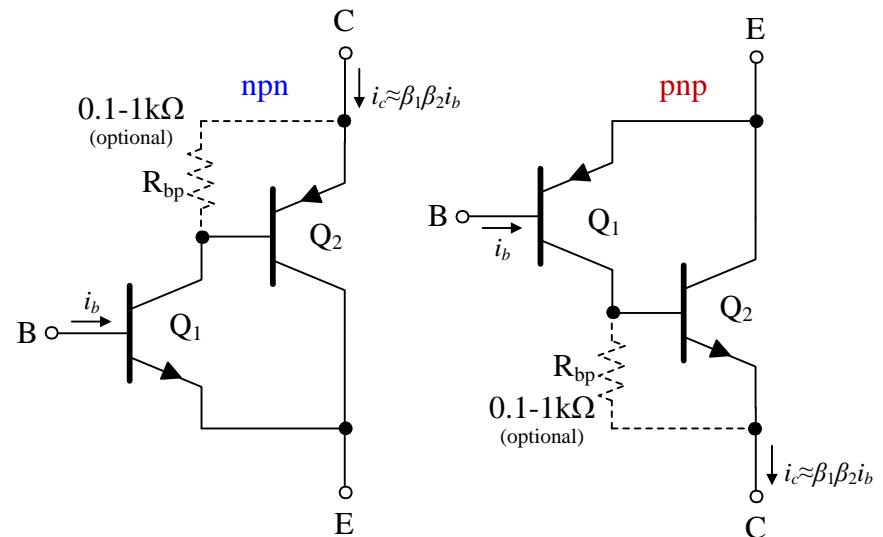
Συνδεσμολογίες Darlington και Sziklai

Ζεύγη Darlington



$$\beta_D = \beta_1 \cdot \beta_2 + \beta_1 + \beta_2 \cong \beta_1 \cdot \beta_2$$

Ζεύγη Sziklai



$$\beta_S = \beta_1 \cdot \beta_2 + \beta_1 \cong \beta_1 \cdot \beta_2$$

- Αγνοώντας τις αντιστάσεις διαρροής (R_{bp}) που χρησιμοποιούνται συνήθως σε πρακτικές υλοποιήσεις* για να διασφαλίσουν ότι το β_1 του τρανζίστορ οδηγού θα είναι επαρκώς μεγάλο πολώνοντάς το Q1, μιας και το β εξαρτάται από το DC ρεύμα πόλωσης, αλλά και για τη βελτίωση της ταχύτητας απόκρισης [λόγω διαφοράς χρόνου μεταξύ της απενεργοποίησης του Q1 (οδηγού ή master) και του Q2 (εξόδου ή slave)]

*θα πρέπει να είναι αρκετά μικρή η αντίσταση ώστε το Q2 να μην ενεργοποιείται από το ρεύμα διαρροής (~20nA) του Q1

[π.χ. $1k\Omega 20nA \ll 0.6V$]

Συνδεσμολογίες Darlington και Sziklai

- Αρχικά το pnp ζεύγος Sziklai, προτιμούνταν από το αντίστοιχο Darlington διότι είχε μόνο ένα pnp BJT (τα καλά pnp ήταν πολύ πιο ακριβά και σπάνια).
- Τώρα που τα καλά pnp είναι πολύ φθηνότερα και διαθέσιμα, το **ζεύγος Sziklai προτιμάται** και για τις 2 υλοποιήσεις γιατί:
 - Μεταξύ βάσης και εκπομπού παρουσιάζει απλή πτώση τάσης διόδου ($V_{BE} \cong 0.6V$) και όχι διπλή ($2V_{BE} \cong 1.2V$), όπως το Darlington
 - Είναι πιο αναίσθητα στη θερμική ολίσθηση του β λόγω της μη προσθετικής επίδρασης της επαφής BE του τρανζίστορ εξόδου
 - Προσφέρουν καλύτερο ταίριασμα pnp-pnp, μιας και σε κάθε ζεύγος συμμετέχουν και pnp και pnp τρανζίστορς, αντίθετα με τα Darlington
- Δυστυχώς **διατηρούν τα αρνητικά των Darlington**:
 - αργή απόκριση (σβέσης), λόγω διαφοράς χρόνου μεταξύ της απενεργοποίησης του Q1 και του Q2
 - μεγάλη τάση κόρου $V_{CE(sat)} \cong 0.7V$, αντί για τη συνήθη $V_{CE(sat)} \cong 0.2V$

Σύζευξη φορτίου με ματασχηματιστή

$$i_C = -\frac{1}{R'_L} u_{CE} + \left(I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R'_L} \right)$$

Για λειτουργία σε τάξη Α, είναι $V_{CEQ} \cong V_{CC}$ (μιας και $R_E + R_C \rightarrow 0$) και απαιτούμε:

$$I_{CQ} = i_{C(max)}/2 = i_{C(sat)}/2 \quad (\Rightarrow i_{C(sat)} = 2I_{CQ})$$

Συνεπώς, αφού (από την εξ. ευθείας φόρτου):

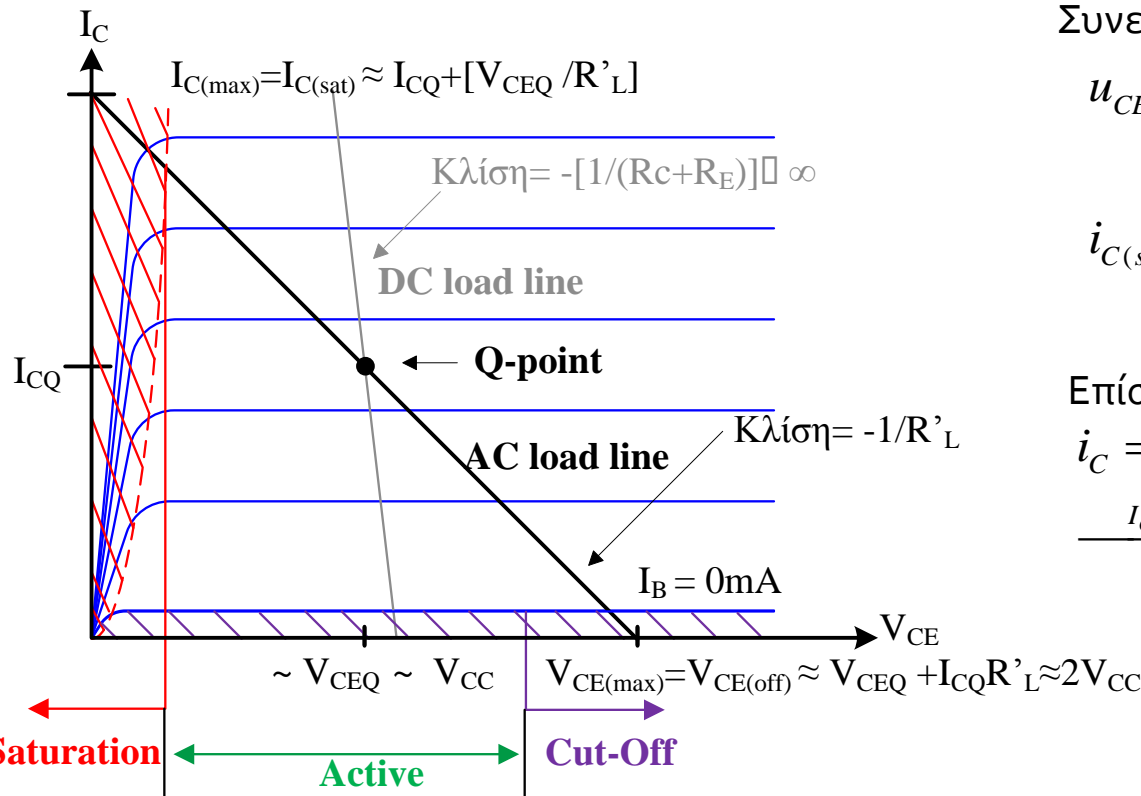
$$u_{CE} = 0 \Rightarrow i_C = i_{C(sat)} = I_{CQ} + \frac{V_{CC}}{R'_L} \Rightarrow$$

$$i_{C(sat)} = 2I_{CQ} \left(= I_{CQ} + \frac{V_{CC}}{R'_L} \right) = \frac{2V_{CC}}{R'_L}$$

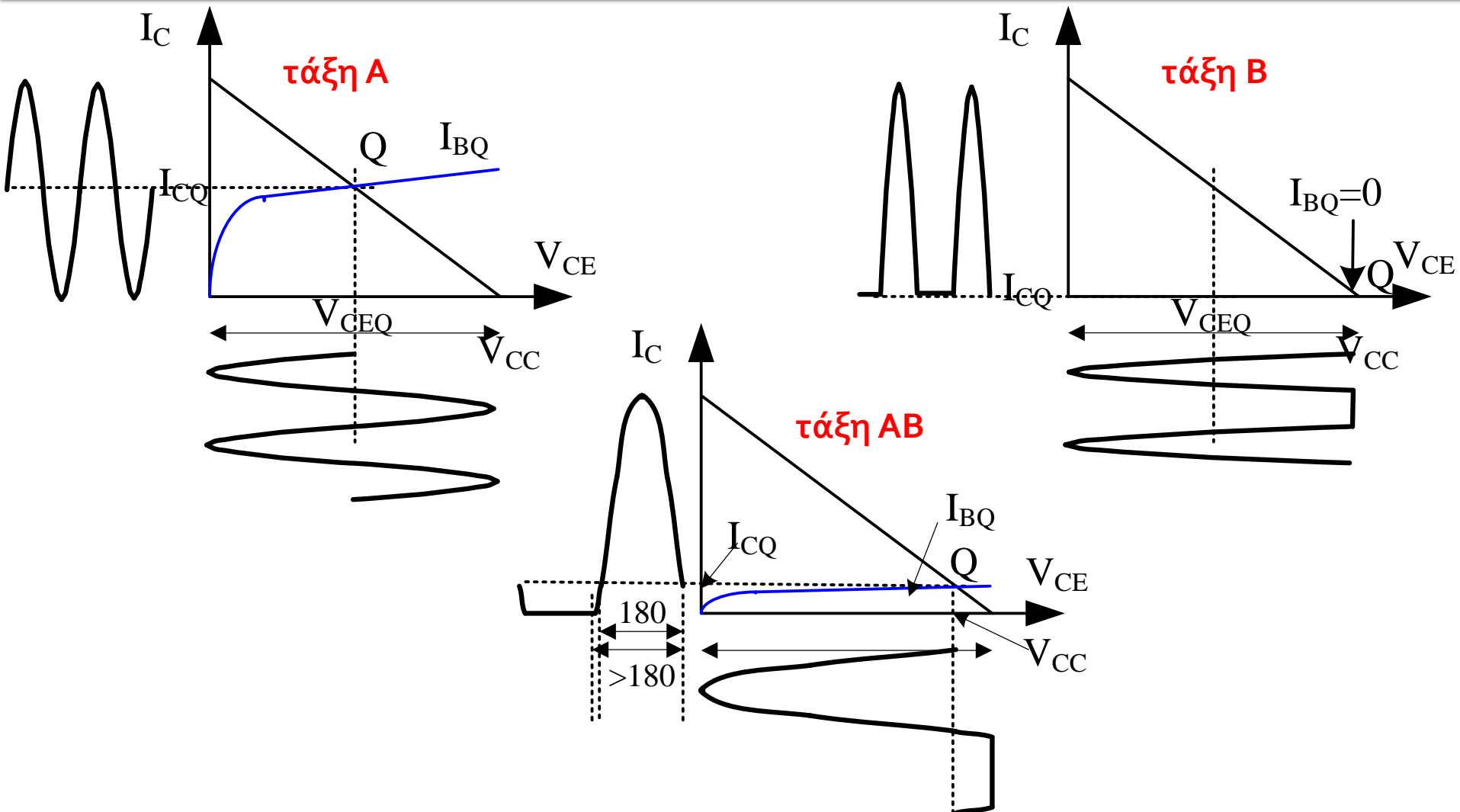
Επίσης, αφού (από την εξ. ευθείας φόρτου):

$$i_C = 0 \Rightarrow u_{CE} = u_{CE(off)} = V_{CEQ} + I_{CQ}R'_L \Rightarrow$$

$$\xrightarrow{I_{CQ} = V_{CC}/R'_L} u_{CE(off)} \cong 2V_{CEQ} \cong 2V_{CC}$$

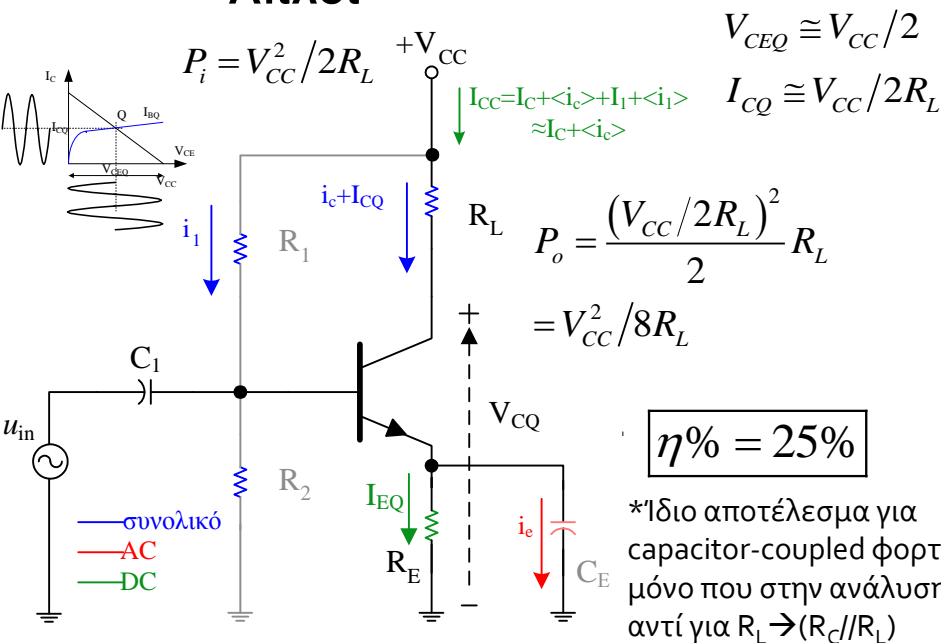


Τάξη A vs Τάξη B : Απόδοση

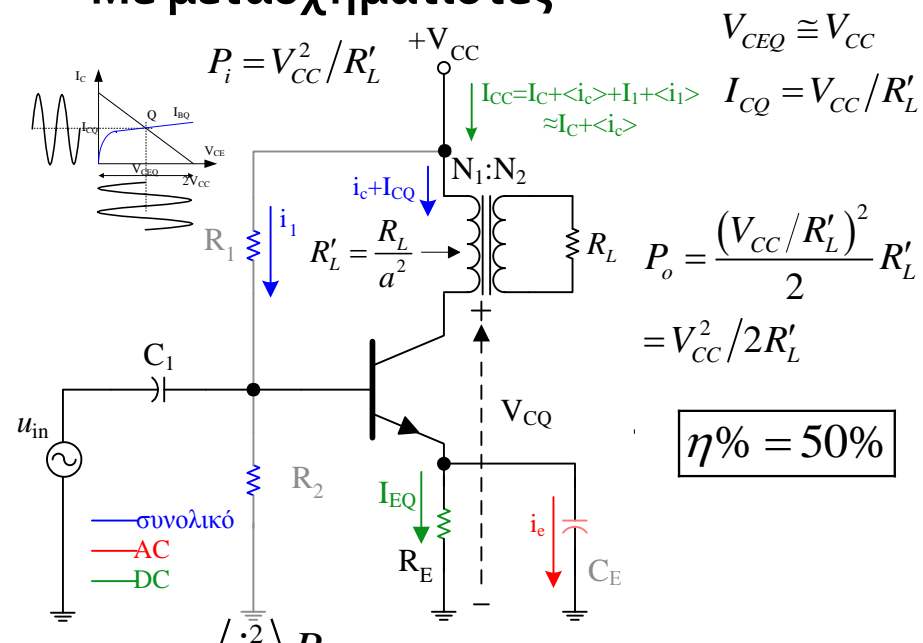


Τάξη Α: Απόδοση

■ Απλοί



■ Με μετασχηματιστές



Όπως έχουμε ορίσει η απόδοση είναι $\eta\% = \frac{P_o}{P_i} 100\% = \frac{\langle i_L^2 \rangle R_L}{\langle P_{\text{power supply}} \rangle} 100\%$

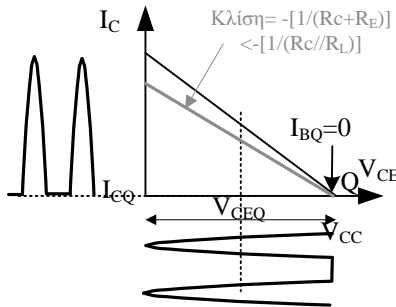
Και οι δυο τύποι κυκλωμάτων έχουν κατανάλωση ισχύος από το τροφοδοτικό ίση με

$P_i = \langle P_{\text{power supply}} \rangle \cong I_{CQ} V_{CC}$ μιας και $I_{CC} = I_1 + I_{CQ} \xrightarrow{I_1 \ll I_{CQ}} I_{CC} \cong I_{CQ}$ και για ημίτονο $\langle i_c \rangle = 0$

Επίσης η αποδιδόμενη στο φορτίο ισχύς είναι: $P_o = \langle i_L^2 \rangle R_L = i_{c(rms)}^2 R_L = \left(\frac{I_{c(peak)}}{\sqrt{2}} \right)^2 R_L = \frac{I_{CQ}^2}{2} R_L$

Τάξη Β: Απόδοση

■ Απλοί

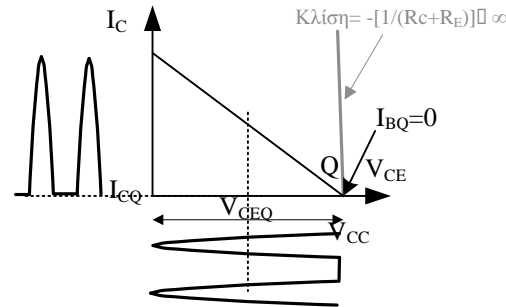


$$V_{CEQ} \cong V_{CC}$$

$$I_{CQ} \cong 0$$

$$I_{c(peak)} = V_{CC}/R_L$$

■ Με μετασχηματιστές



$$V_{CEQ} \cong V_{CC}$$

$$I_{CQ} \cong 0$$

$$I_{c(peak)} = V_{CC}/R'_L$$

*Ίδιο αποτέλεσμα για είτε για direct είτε για capacitor-coupled φορτίο, $R_L \leftrightarrow (R_c/R_L)$

*Ομοίως δεν αλλάζει τίποτε είτε θεωρηθεί DC αντίσταση πρωτεύοντος είτε όχι

$$P_i = \frac{V_{CC}/R_L}{\pi} V_{CC} \Rightarrow P_i = \frac{V_{CC}^2}{\pi R_L}$$

$$P_i = \frac{V_{CC}/R'_L}{\pi} V_{CC} \Rightarrow P_i = \frac{V_{CC}^2}{\pi R'_L}$$

$$P_o = \langle i_L^2 \rangle R_L = i_{c(rms)}^2 R_L = \left(\frac{I_{c(peak)}}{2} \right)^2 R_L$$

$$P_o = \left(\frac{V_{CC}/R_L}{2} \right)^2 R_L \Rightarrow P_o = \frac{V_{CC}^2}{4R_L}$$

$$P_o = \left(\frac{V_{CC}/R'_L}{2} \right)^2 R'_L \Rightarrow P_o = \frac{V_{CC}^2}{4R'_L}$$

$$\eta\% = 78.5\%$$

$$\eta\% = 78.5\%$$

Μέγιστη Απόδοση

Η πραγματική απόδοση είναι πάντοτε μικρότερη από τη μέγιστη θεωρητική απόδοση που μόλις υπολογίστηκε ανά τοπολογία και τάξη λειτουργίας. Για παράδειγμα ένας ενισχυτής ισχύος με μετασχηματιστή σε τάξη A γενικά μπορεί να πετύχει απόδοση μικρότερη από 40%.

Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για την παρατηρούμενη διαφορά μεταξύ μέγιστης θεωρητικής και της πρακτικής απόδοσης ενός ενισχυτή:

1. Οι υπολογισμοί αγνοούσαν τη $V_{CE(off)}$, θεωρώντας ως όριο του V_{CEQ} το V_{CC} . Αν και μικρή, ή άγνοιά της οδηγεί σε αποτελέσματα μεγαλύτερα από την πραγματικότητα. Σε πιο αισιόδοξες εκτιμήσεις από την πραγματικότητα οδηγούν επίσης:
2. Η άγνοια της $V_{CE(sat)}$
3. Η άγνοια του ρεύματος του διαιρέτη τάση πόλωσης
4. Οι διάφορες απώλειες του μετασχηματιστή (αν υπάρχει) [σύζευξης, υστέρησης, DC αντιστάσεις, κ.λπ.]

Προσοχή η μέγιστη ισχύς που καταναλώνεται από το BJT = $I_{CQ} \times V_{CEQ}$ πρέπει να είναι **κάτω από την υπερβολή μέγιστης επιτρεπόμενης ισχύος** ώστε να λειτουργούν στην ασφαλή περιοχή