

Βαθμίδες εξόδου

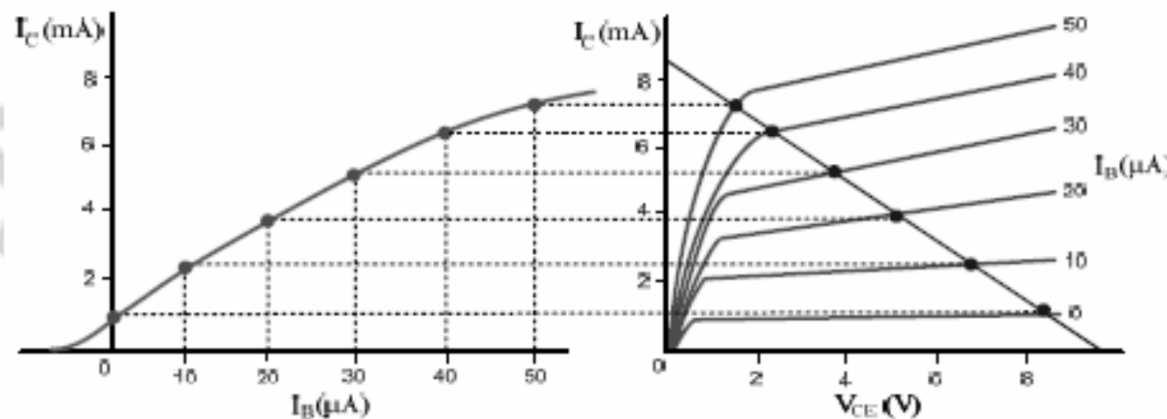
- Προκειμένου να αποδοθεί σημαντική ισχύς στο φορτίο είναι απαραίτητη η χρήση ενισχυτών cascade.
- Η τελική βαθμίδα εξόδου είναι αυτή που αποδίδει την ισχύ στο φορτίο
- Για μέγιστη απόδοση ισχύος θα πρέπει να γίνεται εκμετάλλευση τόσο των ορίων της ενεργού περιοχής των τρανζίστορ εξόδου όσο και της μέγιστης επιτρεπόμενης κατανάλωσης τους
- Οι ενισχυτικές βαθμίδες ισχύος λειτουργούν ως ενισχυτές μεγάλων σημάτων ($>1\text{W}$) και σε πολλούς από αυτούς ο τρόπος πόλωσης τους διαφέρει από τους ενισχυτές χαμηλών σημάτων ($\Delta I_{c(pp)} < 10\% I_{CQ}$ ή πρακτικά $<1\text{W}$) που έχουμε συναντήσει ως τώρα. Συνεπώς οι προσεγγίσεις χαμηλών σημάτων και τα αντίστοιχα μοντέλα δεν μπορούν να εφαρμοστούν ή πρέπει να εφαρμοστούν με προσοχή.

Βαθμίδες εξόδου (συν.)

- Κριτήριο της ποιότητας σχεδίασης του σταδίου εξόδου είναι η ολική αρμονική παραμόρφωση (THD). Αύξηση ισχύος → εκθετική αύξηση THD
- Το κρισιμότερο σημείο στη σχεδίαση σταδίου εξόδου είναι η μεταβίβαση της ισχύος στο φορτίο με αποτελεσματικό τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι η ισχύς που καταναλώνεται στα τρανζίστορ εξόδου πρέπει να είναι η χαμηλότερη δυνατή
- Αυτό υπαγορεύεται από το γεγονός ότι η ισχύς που καταναλώνεται επάνω σε ένα τρανζίστορ αυξάνει τη εσωτερική θερμοκρασία επαφής (max 200°C για Si) πάνω από την οποία έχουμε καταστροφή
- άλλοι λόγοι που επιβάλλουν μέγιστη αποδοτικότητα στη μετατροπή ισχύος είναι η αύξηση διάρκειας μπαταριών (για φορητές συσκευές), η χρήση μικρότερων τροφοδοτικών και η αποφυγή χρήσης ανεμιστήρων ψύξης

Χαρακτηριστικές μεταφοράς τρανζίστορ

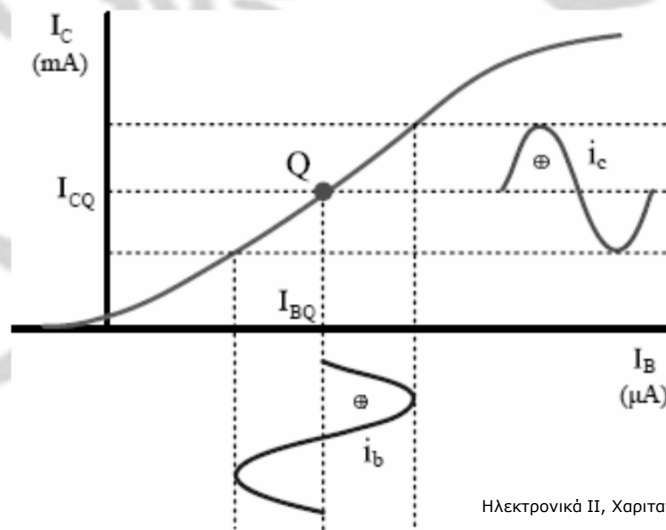
- Περιγράφει τη σχέση μεταξύ του μεγέθους εισόδου και του μεγέθους εξόδου
- Χαρακτηριστική μεταφοράς (ΧΜ) ενίσχυσης ρεύματος σε ενισχυτή CE: είσοδος \rightarrow ρεύμα βάσης, έξοδος \rightarrow ρεύμα συλλέκτη. Προκύπτει από τις χαρακτηριστικές του τρανζίστορ και τη γραμμή φορτίου (άρα εξαρτάται από στοιχεία που επηρεάζουν τη γραμμή φορτίου – π.χ V_{CC} , R_C)



Ηλεκτρονικά ΙΙ, Χαριταντής Γ.

Χαρακτηριστική μεταφοράς ενίσχυσης ρεύματος

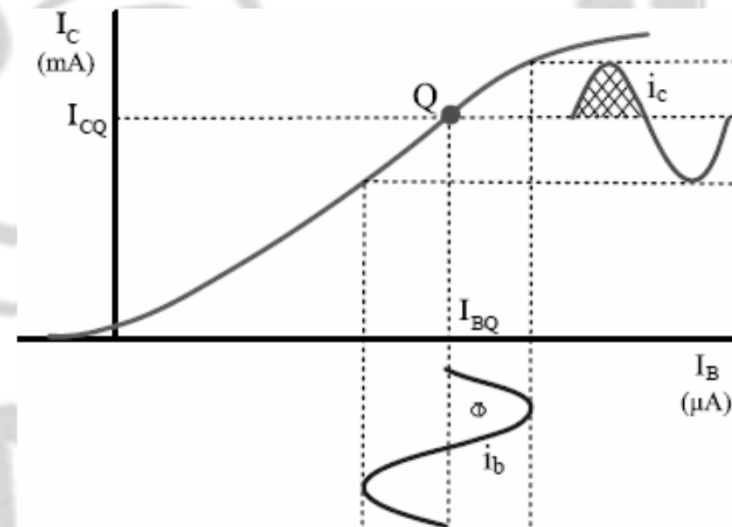
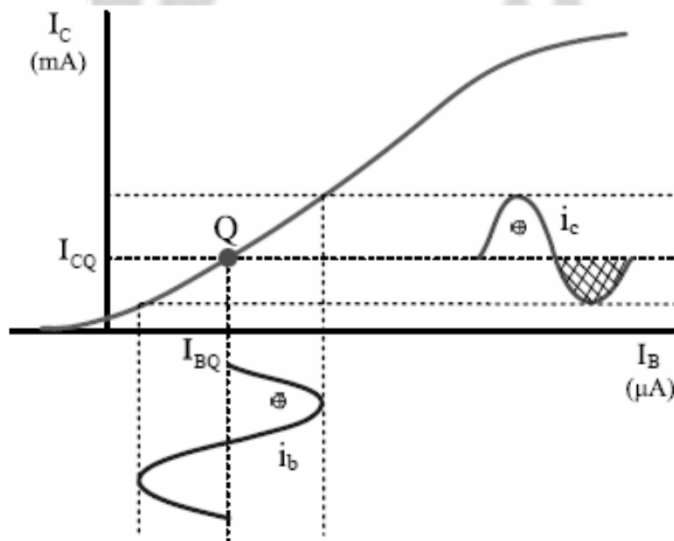
- Η ΧΜ διπολικού τρανζίστορ παρουσιάζει ένα σχετικά ευθύγραμμο τμήμα εκατέρωθεν του μέσου, ενώ παρουσιάζει καμπυλότητα στη περιοχή αποκοπής (μικρά ρεύματα βάσης) και στη περιοχή κόρου (μεγάλα ρεύματα βάσης)
- Αν το Q βρίσκεται μέσα στο ευθύγραμμο τμήμα της ΧΜ τότε έχουμε γραμμική σχέση ρευμάτων βάσης-συλλέκτη \rightarrow το σήμα εισόδου ίδια μορφή με σήμα εξόδου



Ηλεκτρονικά II, Χαριτανής Γ.

Χαρακ/κή μεταφοράς ενίσχυσης ρεύματος (συν)

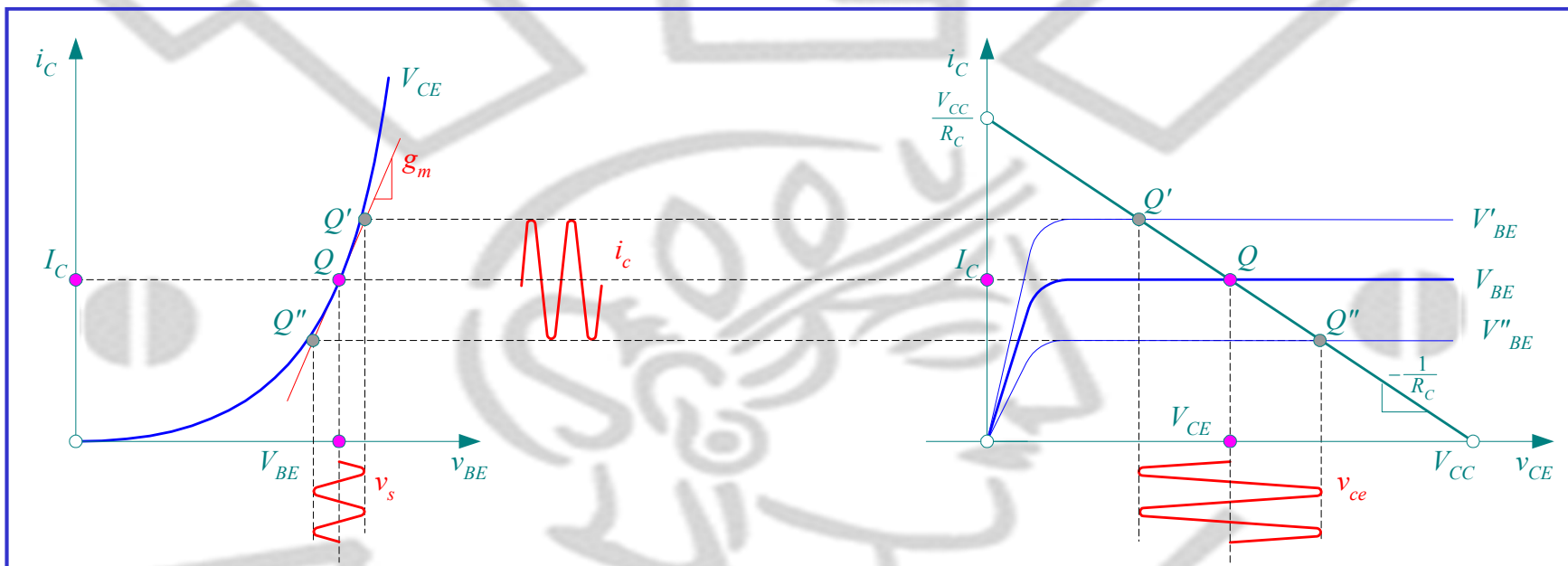
- Αν το Q βρίσκεται σε ένα εκ των δύο καμπύλων τμημάτων ή αν το πλάτος του είναι αρκετά μεγάλο παύει να ισχύει η καθολικά γραμμική σχέση ρευμάτων βάσης-συλλέκτη \rightarrow σήμα εξόδου παραμορφώνεται
- Άρα παραμόρφωση υπάρχει όταν το τρανζίστορ εισέρχεται στην περιοχή αποκοπής ή στην περιοχή κόρου



Ηλεκτρονικά ΙΙ, Χαριτανής Γ.

Γραμμή φορτίου στο συνεχές

- ✓ Γραμμή φορτίου στο συνεχές (γραφική απεικόνιση νόμου Kirchhoff στο κύκλωμα εξόδου) → γ.τ. των μόνιμων μετακινήσεων του Q από αλλαγή του I_B .



CE χωρίς αντίσταση εκπομπου

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} \xrightarrow{I_C=0} V_{CE} = V_{CC}$$

$$I_C = -\frac{1}{R_C} \cdot V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C} \xrightarrow{V_{CE}=0} I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

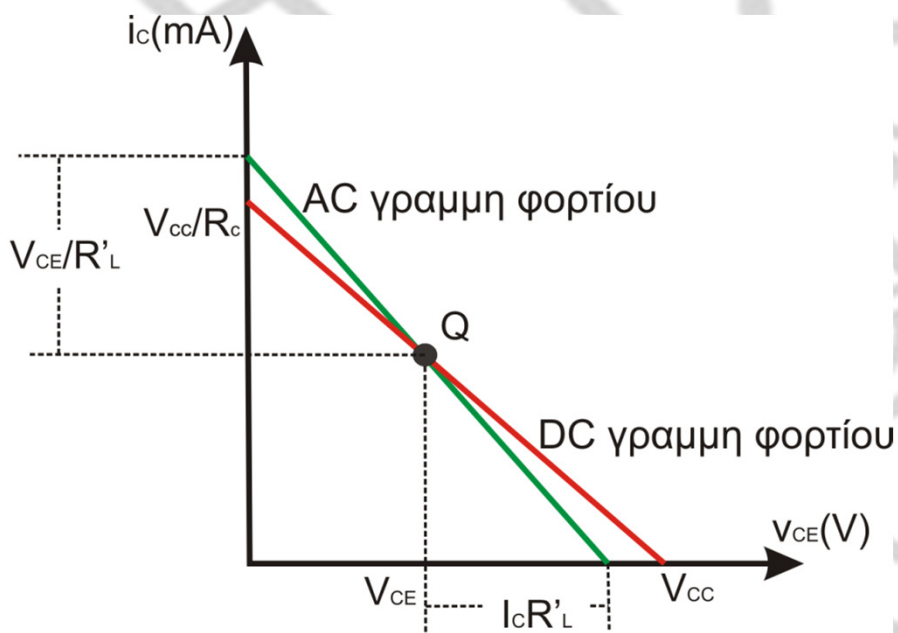
CE Με αντίσταση εκπομπου

$$V_{CC} = I_C \cdot (R_C + R_E) + V_{CE} \xrightarrow{I_C=0} V_{CE} = V_{CC}$$

$$I_C = -\frac{1}{R_C + R_E} \cdot V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \xrightarrow{V_{CE}=0} I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

Γραμμή φορτίου στο εναλλασσόμενο

- ✓ Γραμμή φορτίου στο εναλλασσόμενο (γραφική απεικόνιση νόμου Kirchoff στο κύκλωμα εξόδου) → γ.τ. των στιγμιαίων μετακινήσεων του Q από αλλαγή του i_b .



$$v_o = v_{ce} = -i_c \cdot R'_L \Rightarrow$$

$$v_{CE} - V_{CE} = -(i_c - I_C) \cdot R'_L \Rightarrow$$

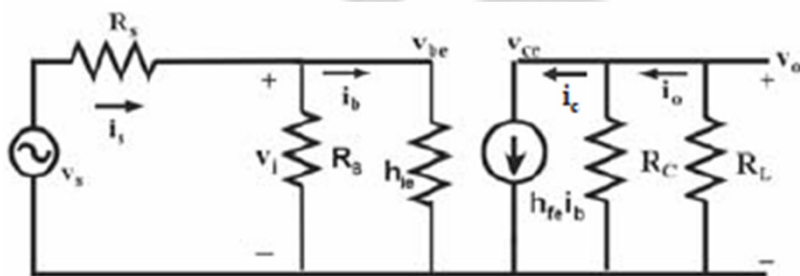
$$i_c = -\frac{1}{R'_L} v_{CE} + \frac{V_{CE}}{R'_L} + I_C$$

Αν $i_c = 0 \rightarrow v_{CE} = V_{CE} + I_C \cdot R'_L$

Αν $v_{CE} = 0 \rightarrow i_c = \frac{V_{CE}}{R'_L} + I_C$

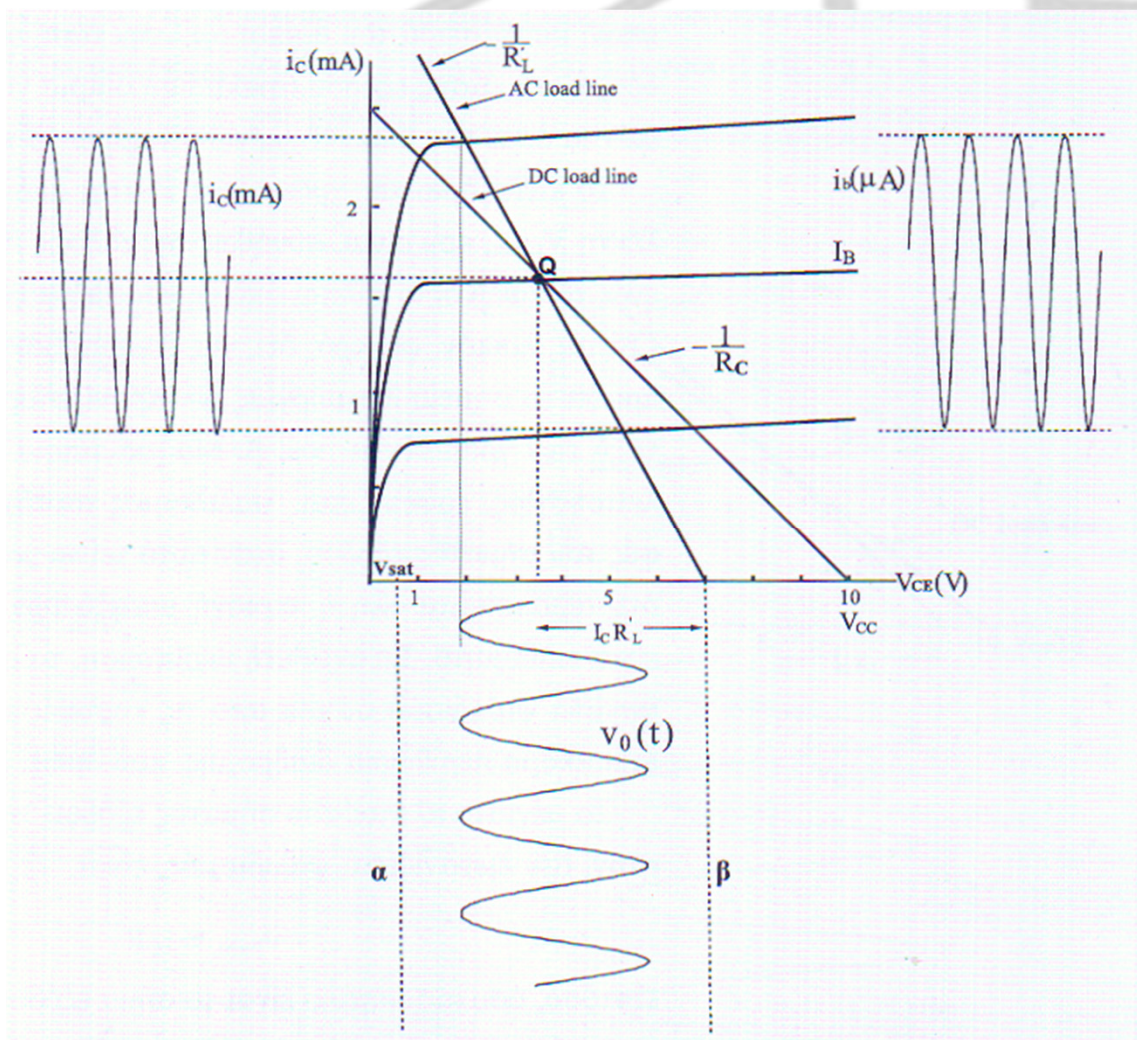
Υπενθύμιση

- DC+AC συνιστώσα (ολική στιγμιαία τιμή) → Πεζό σύμβολο – κεφαλαίος δείκτης
- AC συνιστώσα → πεζό σύμβολο – πεζός δείκτης
- DC συνιστώσα (τιμές ηρεμίας) → Κεφαλαίο σύμβολο – κεφαλαίος δείκτης



Ηλεκτρονικά ΙΙ, Χαριταντής Γ.

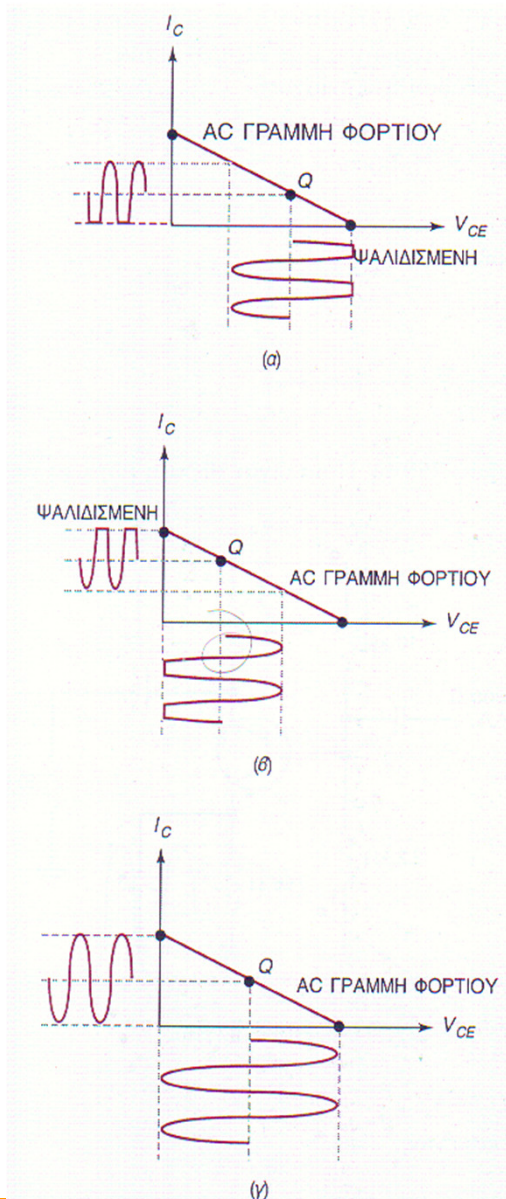
Γραμμή φορτίου στο εναλλασσόμενο (συν.)



Ηλεκτρονικά ΙΙ, Χαριτανής Γ.

- ✓ Γραμμή φορτίου στο συνεχές → μόνιμες μετακινήσεις του Q
 - ✓ Γραμμή φορτίου στο εναλλ/νο → καθορίζει δυναμική συμπεριφορά ενισχυτή
 - ✓ Οι δύο γραμμές φορτίου συναντώνται στο Q και καθορίζουν τη διαδρομή της v_o
 - ✓ Μέγιστη διαδρομή v_o χωρίς να υπάρξει ψαλιδισμός είναι μεταξύ σημείων α & β
- $\alpha \rightarrow V_{CE(sat)}$
- $\beta \rightarrow$ τέρμα γραμμής φορτίου στο εναλλασσόμενο

Ενδοτικότητα & Ψαλιδισμός



Ενδοτικότητα : Περιοχή τάσεων που λειτουργεί ο ενισχυτής

Ψαλιδισμός αποκοπής

Το Q βρίσκεται χαμηλότερα από το μέσο ευθείας φόρτου
Μέγιστη έξοδος απαραμόρφωτης κορυφής (MP)

$$MP = I_{CQ} * R'_L$$

Ψαλιδισμός κόρου

Το Q βρίσκεται υψηλότερα από το μέσο ευθείας φόρτου
Μέγιστη έξοδος απαραμόρφωτης κορυφής (MP)

$$MP = V_{CEQ}$$

Γενικά → Μέγιστη έξοδος απαραμόρφωτης κορυφής p-p (MPP)

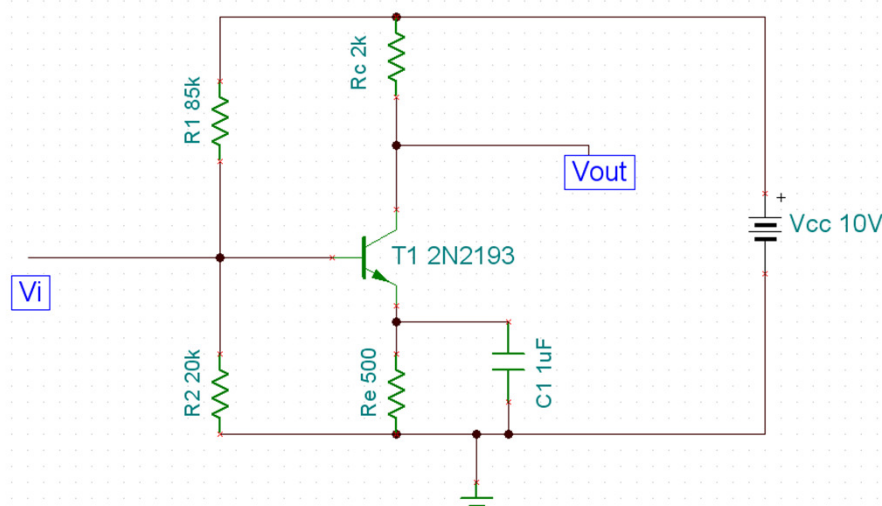
$$2 * \text{Min} \{ I_{CQ} * R'_L , V_{CEQ} \}$$

Μέγιστη ενδοτικότητα

Το Q βρίσκεται στο μέσο της ευθείας φόρτου

Παράδειγμα Ι

Για τον ενισχυτή του σχήματος να προσδιοριστεί το Q , οι γραμμές φόρτου στο συνεχές και στο εναλλασσόμενο και να καθοριστούν τα όρια της μέγιστης διαδρομής της τάσης εξόδου. Δίνονται: $\beta=200$, $V_{CC}=10V$, $V_{CE(sat)}=0.3V$, $V_{BE}=0.73V$



$$R_B = R_1 // R_2 = 16.2K\Omega$$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC} = 1.9V$$

$$V_B = I_B R_B + V_{BE} + (I_C + I_B) R_E = I_B R_B + V_{BE} + (\beta I_B + I_B) R_E \Rightarrow I_B = 10\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 2mA$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + (I_C + I_B) R_E \Rightarrow V_{CE} = 5V$$

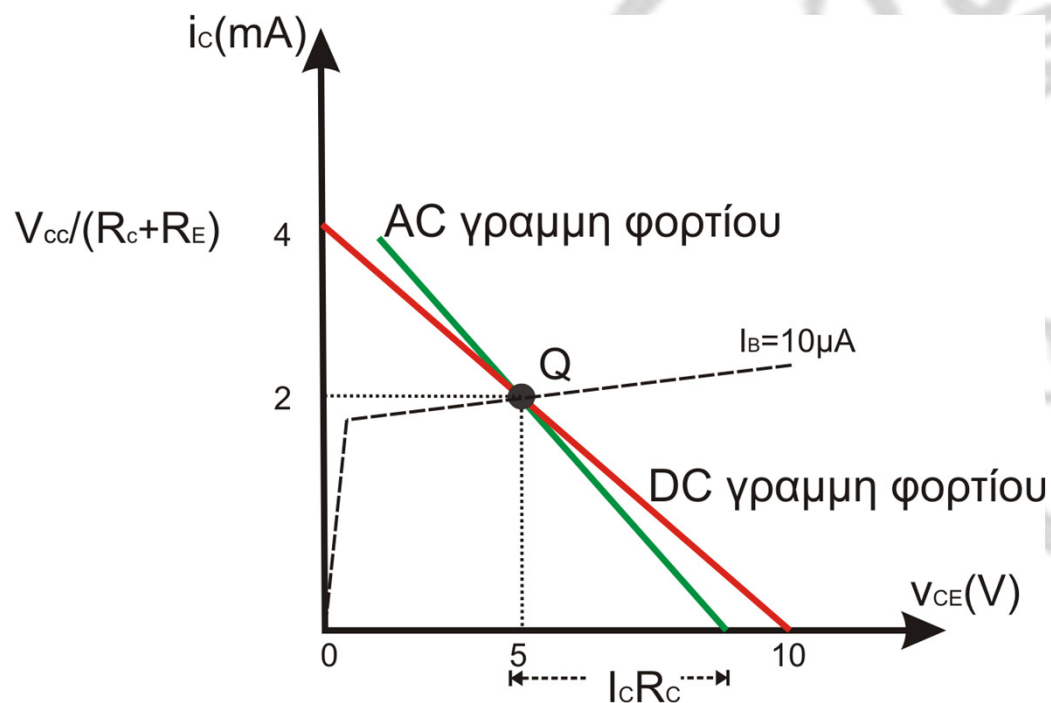
$$Q(V_{CE}, I_C) = Q(5V, 2mA)$$

Παράδειγμα Ι (συν)

Χάραξη γραμμής φορτίου στο συνεχές

$$V_{CC} = I_C \cdot (R_C + R_E) + V_{CE}$$

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



Χάραξη γραμμής φορτίου
στο εναλλασσόμενο

$$v_{CE} - V_{CE} = -(i_C - I_C) \cdot R_C \Rightarrow$$

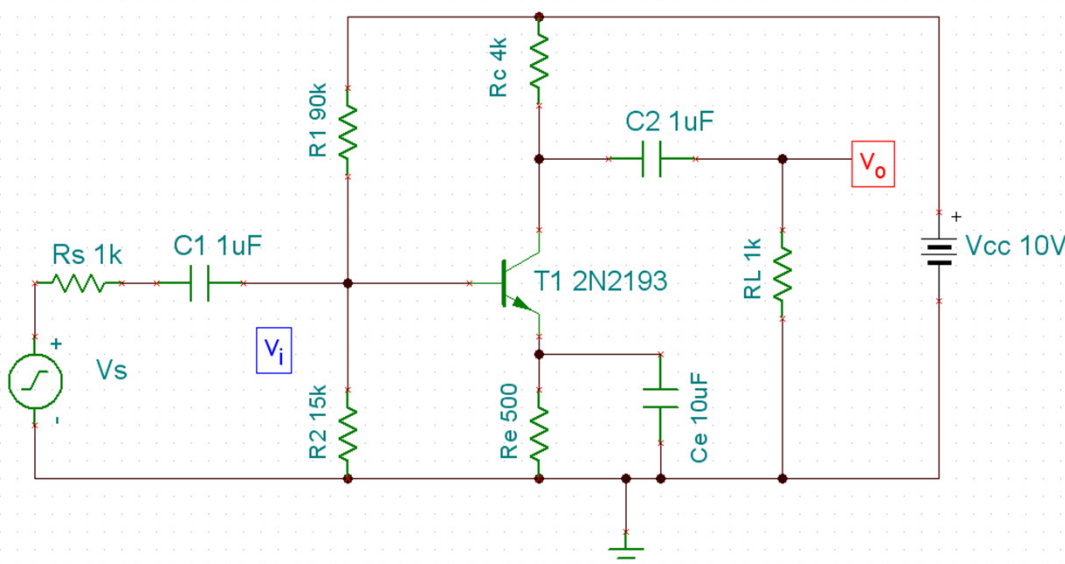
$$i_C = -\frac{1}{R_C} v_{CE} + \frac{V_{CE}}{R_C} + I_C$$

$$i_C = 0 \rightarrow v_{CE} = V_{CE} + I_C \cdot R_C \Rightarrow$$

$$v_{CE} = 5V + 2mA \cdot 2K\Omega = 9V$$

Παράδειγμα ΙΙ

Για τον ενισχυτή του σχήματος να προσδιοριστεί το Q , οι γραμμές φόρτου στο συνεχές και στο εναλλασσόμενο, η κυματομορφή του σήματος εξόδου και το άνω όριο του πλάτους του σήματος εξόδου χωρίς ψαλιδισμό και να καθοριστούν τα όρια της μέγιστης διαδρομής της τάσης εξόδου. Δίνονται: $\beta=100$, $V_{CC}=10V$, $V_{CE(sat)}=0.3V$, $V_{BE}=0.775V$, $h_{fe}=100$, $h_{ie}=2.5K\Omega$, πλάτος σήματος εισόδου $v_s=30mV$



$$R_B = R_1 // R_2 = 12.86K\Omega$$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC} = 1.43V$$

$$V_B = I_B R_B + V_{BE} + \beta I_B R_E \Rightarrow$$

$$I_B = 10.3\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 1.03mA$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + I_C R_E \Rightarrow$$

$$V_{CE} = 5.35V$$

$$Q(V_{CE}, I_C) = Q(5.35V, 1.03mA)$$

Παράδειγμα ΙΙ (συν)

$$R_i = R_B // h_{ie} = 2.1 \text{ K}\Omega$$

$$R'_L = R_L // R_C = 0.8 \text{ K}\Omega$$

Μέγιστο πλάτος v_i

$$v_i = \frac{R_i}{R_i + R_s} \cdot v_s = 20.3 \text{ mV}$$

Μέγιστο πλάτος i_b

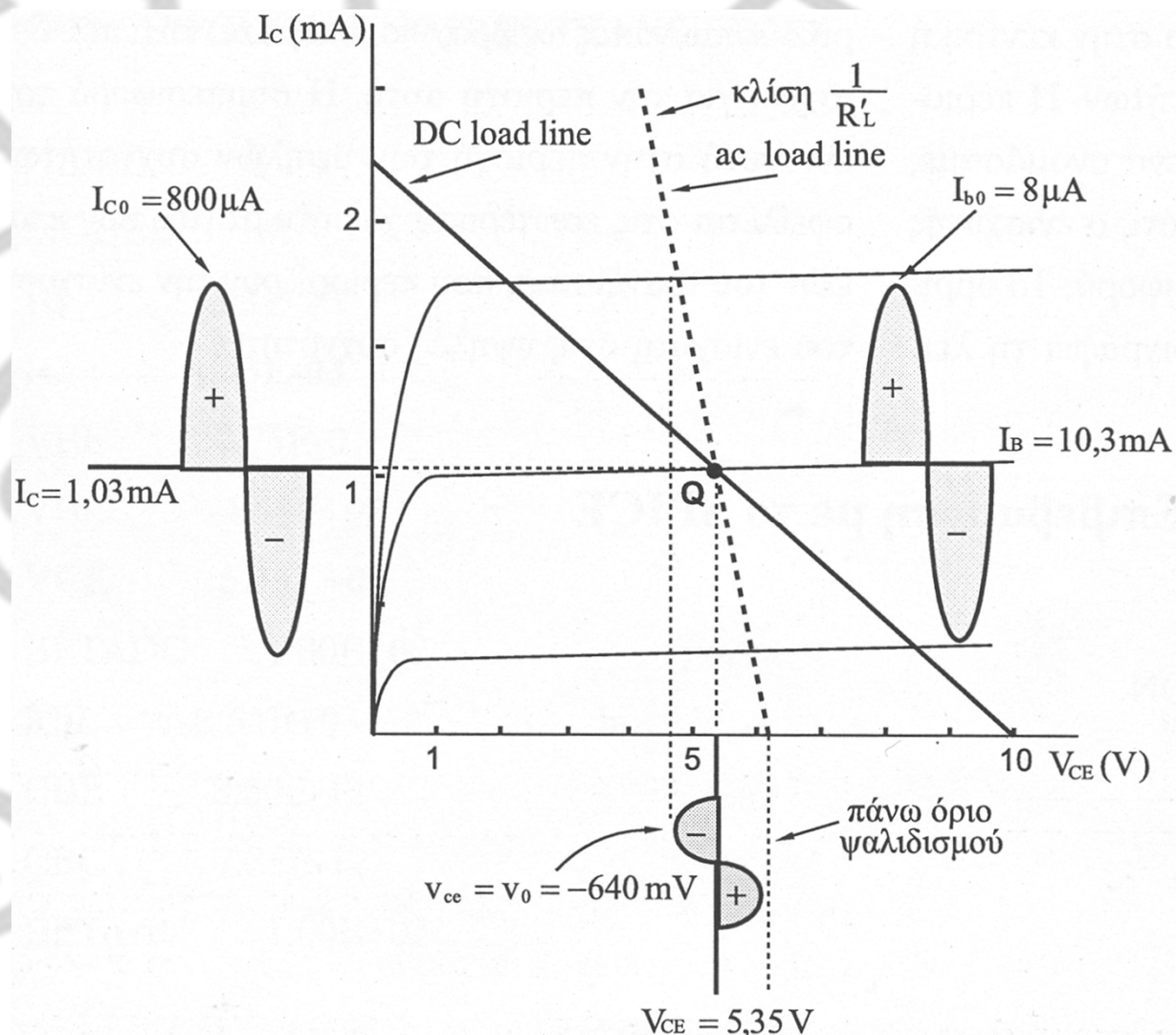
$$i_b = \frac{v_i}{h_{ie}} \approx 8 \mu\text{A}$$

Μέγιστο πλάτος i_c

$$i_c = h_{fe} \cdot i_b = 800 \mu\text{A}$$

Μέγιστο πλάτος v_{ce}

$$v_{ce} = -i_c R'_L = -640 \text{ mV}$$



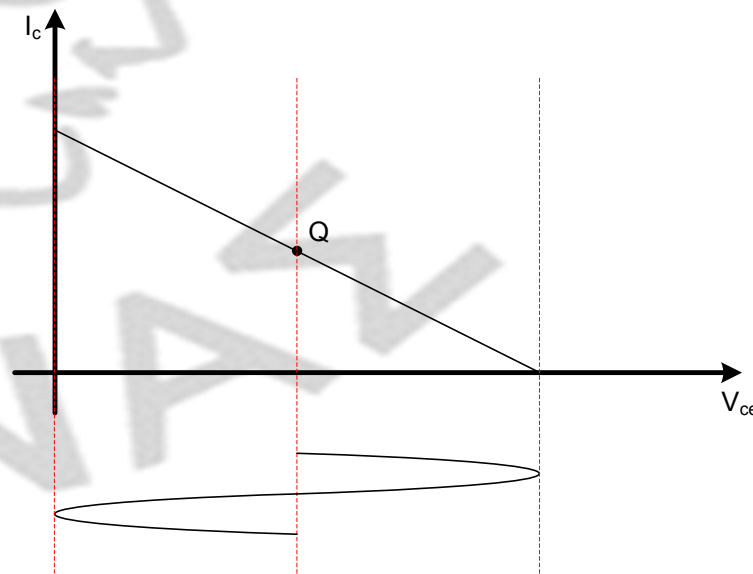
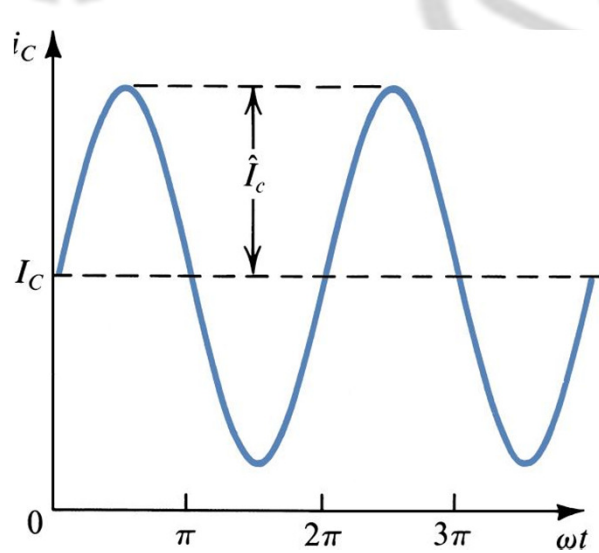
Ηλεκτρονικά ΙΙ, Χαριτανής Γ.

Κατάταξη των Σταδίων Εξόδου – Τάξη A

Τα στάδια εξόδου κατατάσσονται ανάλογα με την κυματομορφή του ρεύματος συλλέκτη που προκύπτει όταν στην είσοδο εφαρμόζεται κάποιο σήμα (εδώ ημίτονο)

Τάξη A: Το ρεύμα εξόδου (συλλέκτη, για ενισχυτή κοινού εκπομπού) ρέει για όλη την περίοδο του AC σήματος. Άρα γωνία αγωγής = 360°

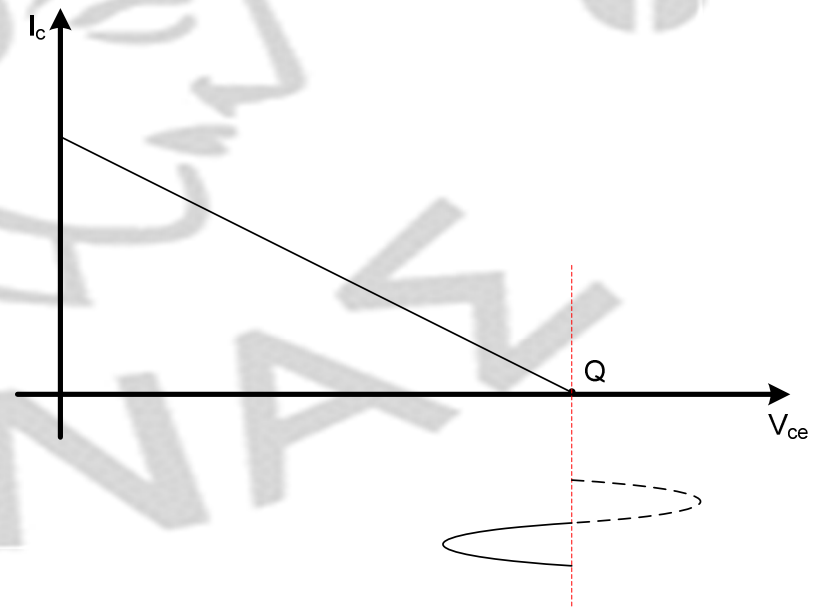
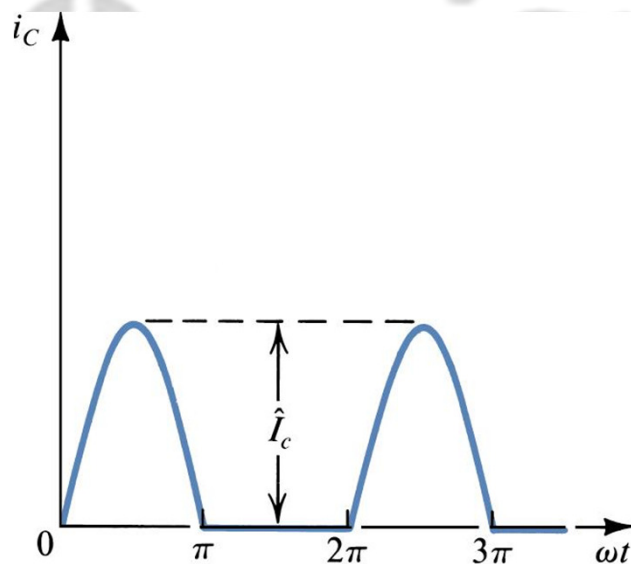
- ☞ Το σημείο Q είναι περίπου στη μέση της AC γραμμής φορτίου.
- ☞ Το πλάτος του AC σήματος είναι μικρό ώστε να μη συναντά κόρο ή αποκοπή → Αψαλίδιστο σήμα χωρίς παραμόρφωση.



Κατάταξη των Σταδίων Εξόδου – Τάξη Β

Τάξη Β: Το ρεύμα εξόδου ρέει για μια μόνο ημιπερίοδο του AC σήματος. Άρα γωνία αγωγής = 180°

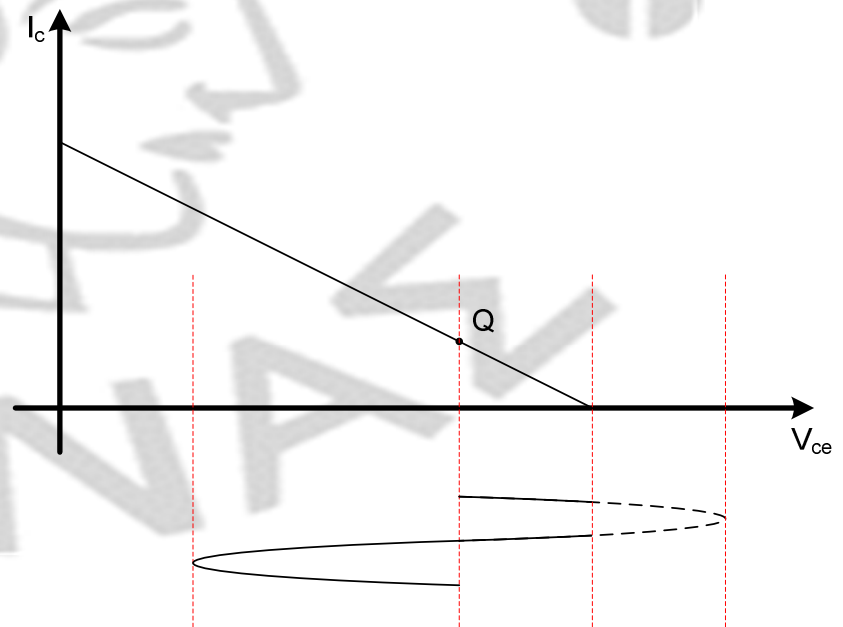
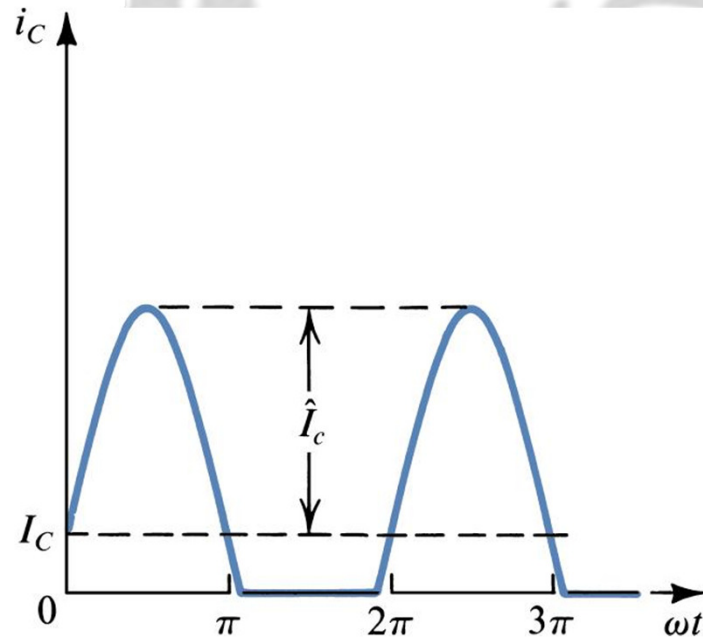
- ☞ Το σημείο Q είναι στην αποκοπή (άρα ρεύμα συλλέκτη εν ηρεμία ~ 0)
- ☞ Η έξοδος παραμορφώνει αλλά η απόδοση είναι μεγάλη (γιατί η κατανάλωση ενέργειας περιορίζεται μόνο σε μια ημιπερίοδο).



Κατάταξη των Σταδίων Εξόδου – Τάξη AB

Τάξη AB: Το ρεύμα εξόδου ρέει για λιγότερο από μια περίοδο αλλά για περισσότερο από μια ημιπερίοδο του AC σήματος. Άρα γωνία αγωγής $180^\circ < \alpha < 360^\circ$

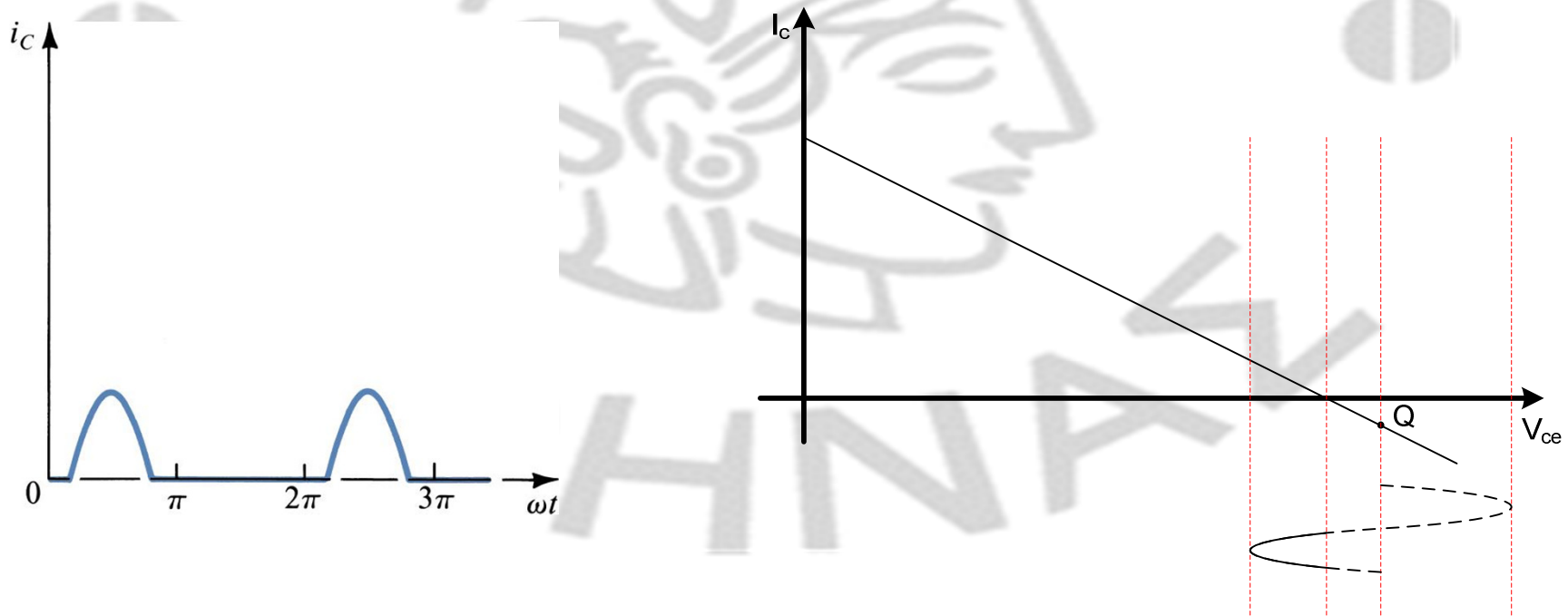
- ☞ Το σημείο Q είναι μεταξύ του μέσου της AC γραμμής φορτίου και της αποκοπής. Άρα υπάρχει ένα μικρό ρεύμα συλλέκτη εν ηρεμία.
- ☞ Η έξοδος είναι παραμορφωμένη (αλλά λιγότερο από την τάξη B) και η απόδοση είναι μικρή (αλλά μεγαλύτερη από την τάξη A).



Κατάταξη των Σταδίων Εξόδου – Τάξη C

Τάξη C: Το ρεύμα εξόδου ρέει για λιγότερο από μια ημιπερίοδο του AC σήματος. Αρα γωνία αγωγής $< 180^\circ$

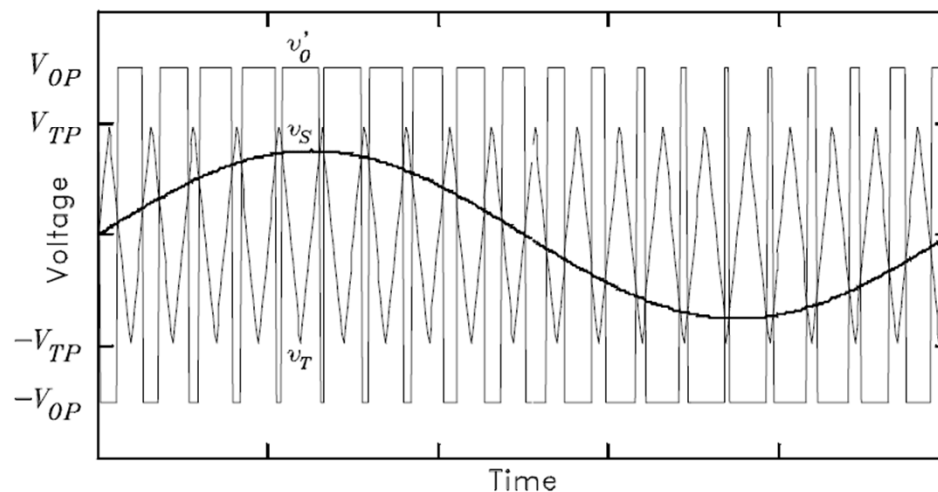
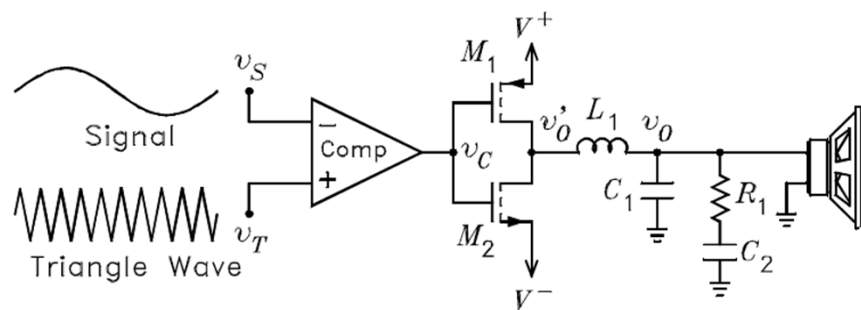
- ☞ Το σημείο Q είναι χαμηλότερα από την αποκοπή.
- ☞ Η έξοδος έχει τεράστια παραμόρφωση αλλά και τεράστια απόδοση.
- ☞ Γίνεται χρήση συντονισμένου κυκλώματος για λήψη κυματομορφής εξόδου



Κατάταξη των Σταδίων Εξόδου – Τάξη D

Τάξη D: Διακοπτική (switching) λειτουργία – χρήση διαμόρφωσης PWM

- ☞ Θεωρητική απόδοση ~ 100% (στην πράξη ~ 92%).
- ☞ Τεράστια μείωση στην κατανάλωση ισχύος εν ηρεμία .
- ☞ Μειονεκτήματα σχεδιαστικής υφής (λάθη κβαντισμού, μη γραμμικότητες LPF κ.λ.π)



Introduction to Electroacoustics and Audio Amplifier Design, by W. Marshall Leach,