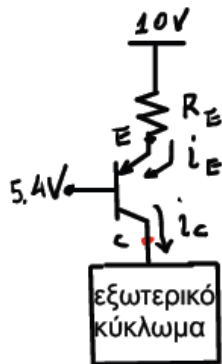


Το BJT τρανζίστορ ως πηγή ρεύματος

Θυμίζουμε ότι πηγή ρεύματος είναι το κυκλωματικό στοιχείο δύο ακροδεκτών για το οποίο το ρεύμα που το διαρρέει και η τάση ανάμεσα στους ακροδέκτες του είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Δηλ. όση και να είναι η τάση ανάμεσα στους ακροδέκτες του το ρεύμα δεν επηρεάζεται.

Υλοποίηση πηγής ρεύματος με την χρήση BJT:



Το pnp τρανζίστορ πρέπει να έχει την δίοδο E-B ορθά πολωμένη

$$\text{Αφού } V_B = 5.4V \text{ και } V_E - V_B \approx 0.6V \\ \text{το } V_E = 6V \text{ άρα } I_E = \frac{10V - 6V}{R_E}$$

Η τιμή του I_E ρυθμίζεται με την R_E . Αν δέχουμε $I_E = 2mA$
 θέτουμε $R_E = 2k\Omega$ Το $I_C = \alpha \cdot I_E \approx 2mA$

Αν το εξωτερικό κύκλωμα παρουσιάζει αντίσταση 10Ω τότε $V_C = 10\Omega \times 2mA = 20mV$ και

$V_{BC} = 5.38V$, άρα η δίοδος C-B είναι ανάεργα πολωμένη.

Αν το εξωτερικό κύκλωμα παρουσιάζει αντίσταση 100Ω τότε $V_C = 100\Omega \times 2mA = 200mV$ και

$V_{BC} = 5.2V$, άρα η δίοδος C-B είναι ανάεργα πολωμένη.

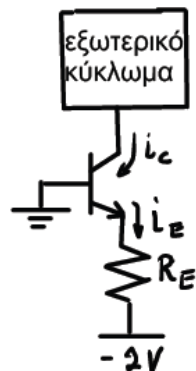
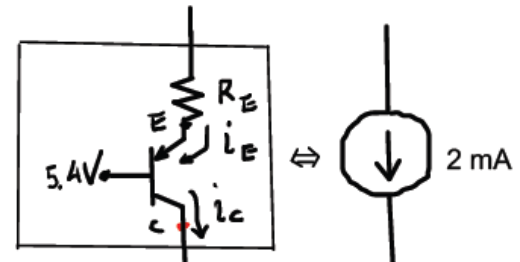
Αν το εξωτερικό κύκλωμα παρουσιάζει αντίσταση $1k\Omega$ τότε $V_C = 1k\Omega \times 2mA = 2V$ και

$V_{BC} = 3.4V$, άρα η δίοδος C-B είναι ανάεργα πολωμένη

Αν το εξωτερικό κύκλωμα παρουσιάζει αντίσταση $2.7k\Omega$ τότε $V_C = 2.7k\Omega \times 2mA = 5.4V$ και

$V_{BC} = 0V$ και η δίοδος C-B αρχίζει να πολώνεται ορθά

από την τιμή αυτή της αντίστασης εισόδου του εξωτερικού κυκλώματος, το τρανζίστορ εισέρχεται στην περιοχή κορεσμού και το ρεύμα I_C μειώνεται. Δηλαδή το τρανζίστορ λειτουργεί ως πηγή ρεύματος μέχρι το V_C να γίνει $5.4V$



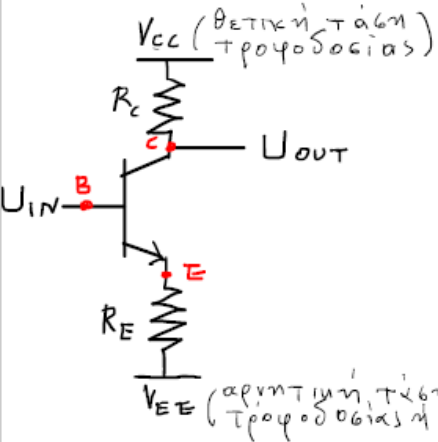
Το pnp τρανζίστορ πρέπει να έχει την δίοδο B-E ορθά πολωμένη. Αφού $V_B = 0V$ και $V_{BE} \approx 0.7V$ το $V_E \approx -0.7V$
 άρα $I_E = \frac{-0.7V - (-2V)}{R_E} = \frac{1.3V}{R_E}$ Αν $R_E = 1k\Omega$ τότε $I_E \approx 1.3mA$

και $I_C = \alpha \cdot I_E \approx 1.3mA$

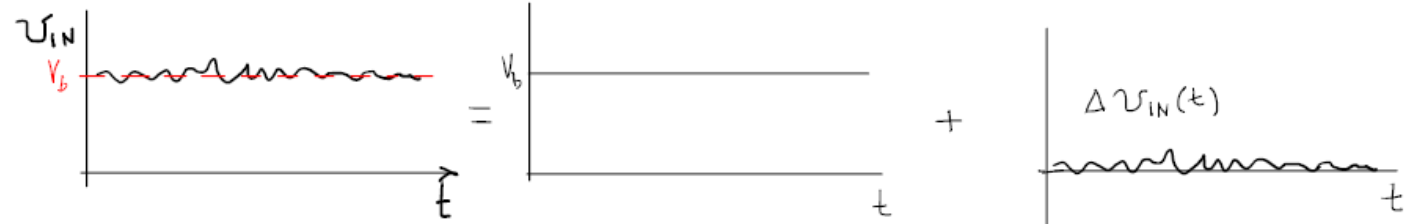
Όσο η δίοδος BC παραμένει ανάεργα πολωμένη το $I_C \approx 1.3mA$

Ο ενισχυτής κοινού εκπομπού (common emitter amplifier)

Είναι το πιο απλό κύκλωμα ενισχυτή. Αρχικά θα δούμε πως λειτουργεί χρησιμοποιώντας το απλό μοντέλο



Αν το U_{IN} έχει ένα μικρό χρονικά μεταβαλλόμενο υποτάτι $\Delta U_{IN}(t)$ που προστίθεται σε μια σταθερή τάση V_b , δηλ: $U_{IN} = V_b + \Delta U_{IN}(t)$



Τότε το $U_E = U_{IN} - 0.6V = V_b - 0.6V + \Delta U_{IN}(t)$ (υποθέτουμε $U_{BE} = 0.6V$)

$$\text{Το } I_E = \frac{U_E - V_{EE}}{R_E} = \frac{V_b - 0.6V - V_{EE}}{R_E} + \frac{\Delta U_{IN}(t)}{R_E}$$

$$\text{Το } I_C = \alpha \cdot I_E \text{ δηλ: } I_C = \alpha \cdot \frac{V_b - 0.6V - V_{EE}}{R_E} + \alpha \cdot \frac{\Delta U_{IN}(t)}{R_E}$$

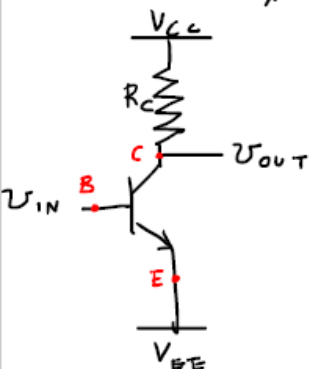
$$\text{Το } U_{OUT} = V_{CC} - I_C \cdot R_C. \text{ Άρα } U_{OUT} = V_{CC} - \alpha \cdot \frac{V_b - 0.6V - V_{EE}}{R_E} - \alpha \cdot \frac{\Delta U_{IN}(t)}{R_E} \cdot R_C$$

$$\text{Το } U_{OUT} = \left(\text{σταθερή τάση: } V_{CC} - \alpha \cdot \frac{V_b - 0.6V - V_{EE}}{R_E} \right) + \left(\text{μεταβαλλόμενη τάση: } - \Delta U_{IN}(t) \cdot \frac{\alpha \cdot R_C}{R_E} \right)$$

Επομένως ο λόγος $\boxed{\frac{\Delta U_{OUT}(t)}{\Delta U_{IN}(t)} = -\alpha \cdot \frac{R_C}{R_E}}$. Αν $R_C > R_E$ έχουμε ενίσχυση
 Αν $R_C < R_E$ έχουμε εξασθένιση του $\Delta U_{IN}(t)$

Επίσης βλέπουμε ότι όταν $\Delta V_{in} > 0$ το $\Delta V_{out} < 0$ και αντίστροφα. Δηλ. ο ενισχυτής είναι αναστρέφων.
 Μπορούμε να πούμε και ότι: Η μικρή μεταβαλλόμενη τάση ΔV_{in} δημιουργεί ένα μικρό μεταβαλλόμενο ρεύμα $\Delta I_E = \frac{\Delta V_{in}}{R_E}$ άρα και $\Delta I_C = \alpha \cdot \Delta I_E$. Το ΔI_C πολλαπλασιάζεται με το R_C και δίνει μια μεγάλη μεταβαλλόμενη τάση $\Delta V_{out} = \Delta I_C \cdot R_C = \Delta V_{in} \cdot \frac{\alpha \cdot R_C}{R_E}$.

Όμως η ανάγνωση που κάνετε για το κύκλωμα:



Δίνει

$$\frac{\Delta V_{OUT}(t)}{\Delta V_{IN}(t)} = -\alpha \frac{R_C}{R_E} \quad !!$$

σηλ. κηδεύο.

Αυτό συμβαίνει γιατί χρησιμοποιήσαμε το απλοποιημένο όπιν $V_{BE} = \text{σταθερό } (0.6V)$

του ρεύματος συλλέκτη. Το $\frac{I_C}{V_T} \Delta V_{BE}(t)$ είναι το μεταβαλλόμενο τμήμα του ρεύματος

Ο συντελεστής $\frac{I_C}{V_T}$ έχει μονάδες $\frac{A}{V} = \frac{1}{\Omega}$. Ονομάζεται διευθυντικότητα του τρανζίστορ

Στην πραγματικότητα έχουμε $I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} (1 + \frac{V_{CE}}{V_A})$

Ιετρί αν το $V_{BE} = V_{be} + \Delta V_{BE}(t)$ τότε:

$$I_C = I_S e^{\frac{V_{be} + \Delta V_{BE}}{V_T}} (1 + \frac{V_{CE}}{V_A}) = I_S e^{\frac{V_{be}}{V_T}} (1 + \frac{V_{CE}}{V_A}) e^{\frac{\Delta V_{BE}}{V_T}}$$

Αν το $\Delta V_{BE} < V_T$ ($\sim 26mV$ στους $300^\circ K$) τότε

το $e^{\frac{\Delta V_{BE}}{V_T}} \approx 1 + \frac{\Delta V_{BE}}{V_T}$ επομένως το ρεύμα I_C

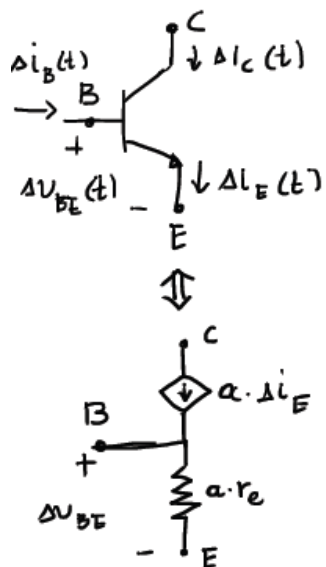
$$\text{είναι: } I_C = I_S e^{\frac{V_{be}}{V_T}} (1 + \frac{V_{CE}}{V_A}) + \frac{I_S e^{\frac{V_{be}}{V_T}} (1 + \frac{V_{CE}}{V_A})}{V_T} \cdot \Delta V_{BE}(t)$$

$$= I_C + \frac{I_C}{V_T} \Delta V_{BE}(t). \text{ Το } I_C \text{ είναι το σταθερό τμήμα}$$

ΣΤ61 το $V_{OUT} = V_{CC} - (I_C + \frac{I_C}{V_T} \Delta V_{IN}(t)) \cdot R_C$ και το $\Delta V_{OUT}(t) = -\frac{I_C}{V_T} \Delta V_{IN}(t) \cdot R_C$ το συμβολίζουμε $\frac{1}{r_e}$ και $r_e = \frac{V_T}{I_C}$. Με τον συμβολισμό αυτό παίρνουμε τον τύπο: $\frac{\Delta V_{OUT}(t)}{\Delta V_{IN}(t)} = -\frac{R_C}{r_e}$

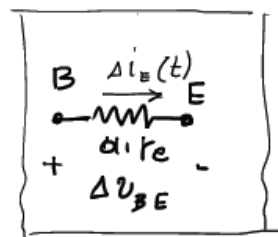
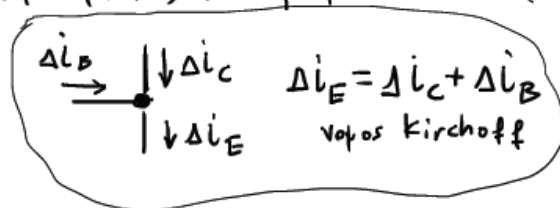
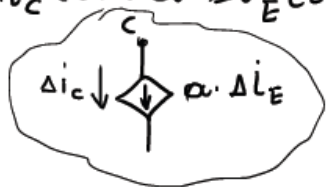
π.χ. αν $I_C = 1 \text{ mA}$ το $\frac{1}{r_e} = \frac{1 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = \frac{1}{26} \text{ S}^{-1}$ δηλ $r_e = 26 \Omega$

Μπορούμε να φτιάξουμε ένα μοντέλο του τρανζίστορ, που να εφαρμόζεται για τα μεταβολή ρεύματων και των τάσεων.

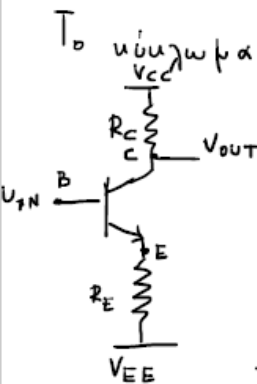


$$\Delta I_E(t) = \frac{\Delta I_C(t)}{\alpha} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{r_e} \Delta V_{BE}(t) \text{ δηλ } \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_E} = \alpha \cdot r_e$$

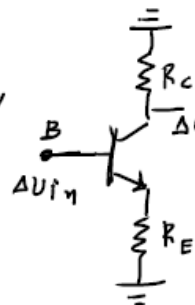
$$\Delta I_C(t) = \alpha \cdot \Delta I_E(t) \text{ (εξαρτημένη πηγή ρεύματος από ρεύμα)}$$



Το μοντέλο αυτό ονομάζεται: Μοντέλο T μικρού σήματος και θα το εφαρμόσουμε για να ξαναδούμε την λειτουργία του ενισχυτή κοινού συλλογών

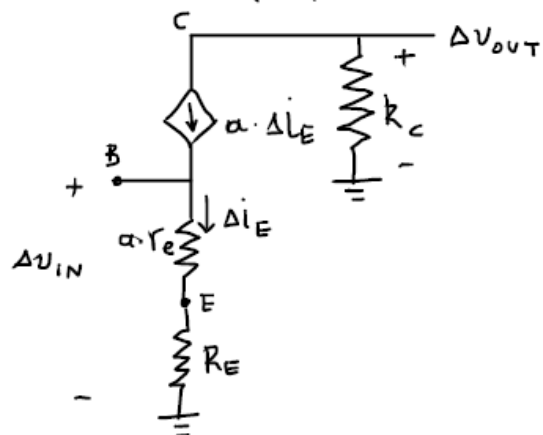


Αν πάρουμε μόνο τα μεταβαλλόμενα τμήματα των ρευμάτων και των τάσεων δίνονται:



Γιατί το μεταβαλλόμενο τμήμα του \$V_{CC}\$ είναι 0 και το ίδιο ισχύει και για το μεταβαλλόμενο τμήμα του \$V_{EE}\$. Τα \$V_{CC}\$ και \$V_{EE}\$ είναι οι σταθερές τάξεις τροφοδοσίας.

Τώρα μπορούμε να αντικαταστήσουμε το τρανζίστορ με το T μοντέλο:



Στον κόμβο C ο νόμος Kirchhoff για τα ρεύματα δίνει:

$$\alpha \cdot \Delta I_E + \frac{\Delta V_{OUT}}{R_C} = 0 \Leftrightarrow \Delta V_{OUT} = -\alpha \Delta I_E \cdot R_C$$

Το $\Delta I_E = \frac{\Delta V_{IN}}{\alpha r_e + R_E}$. Επομένως

$$\Delta V_{OUT} = -\alpha \cdot \frac{\Delta V_{IN}}{\alpha r_e + R_E} \cdot R_C \text{ και}$$

$$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}} = -\frac{\alpha \cdot R_C}{\alpha r_e + R_E}$$

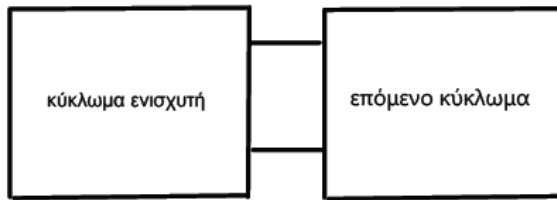
Αν το $\alpha \cdot r_e \ll R_E$ τότε ο λόγος αυτός και ο τύπος που βρίσκεται

χρησιμοποιώντας το κηλδ μοντέλο είναι ίδιοι

Επομένως αν $R_C = 6,8k\Omega$, $R_E = 680\Omega$, $\alpha = \frac{100}{101} = 0.99$, $r_e = 26\Omega$ τότε

$$\frac{\Delta v_{out}}{\Delta v_{in}} = \frac{0.99 \cdot 6.8k\Omega}{0.99 \cdot 0.026k\Omega + 0.68k\Omega} = \frac{6.732k\Omega}{0.705k\Omega} \approx 9.539 \text{ αντί για } 10 \text{ που δίνει ο τύπος } \frac{6.8k\Omega}{0.68k\Omega}$$

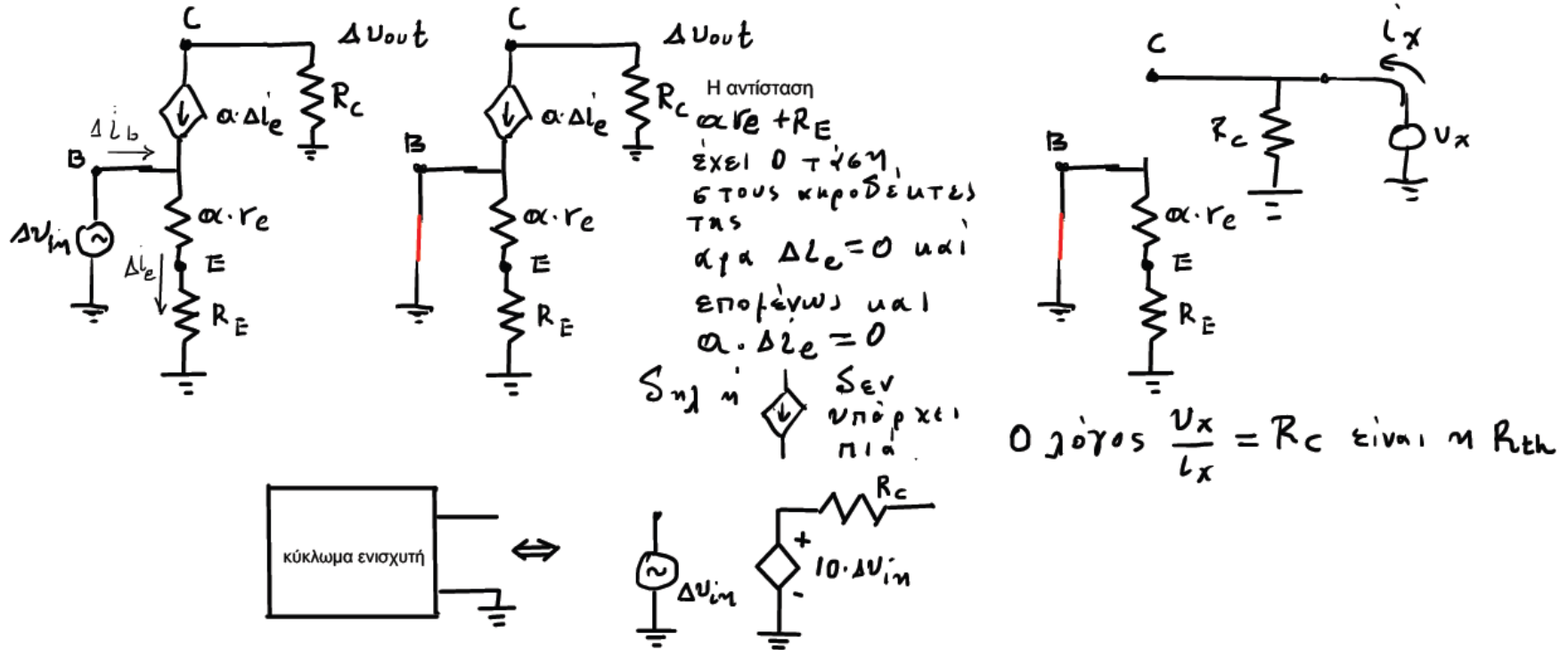
Ισοδύναμο κύκλωμα thevenin του ενισχυτή κοινού εκπομπού



Αν ο ενισχυτής έχει κέρδος περίπου 10 έχουμε ότι $\Delta v_{out} = 10 \cdot \Delta v_{in}$

δηλαδή το $V_{th} = 10 \cdot \Delta v_{in}$ (ασχολούμαστε με τα μεταβαλλόμενα σε συνάρτηση με τον χρόνο τμήματα των τάσεων και των ρευμάτων)

Ποιό είναι το R_{th} ; Στο μοντέλο μικρού σήματος του ενισχυτή, μηδενίζουμε τις ανεξάρτητες πηγές και βάζουμε μια δοκιμαστική πηγή τάσης V_x στην έξοδο



Αν η $R_c = 6.8 \text{ k}\Omega$ και η αντίσταση εισόδου του επόμενου κυκλώματος είναι συγκρίσιμη (π.χ. $6.8 \text{ k}\Omega$) τότε μόλις συνδεθεί το επόμενο κύκλωμα η τάση που βγάζει ο ενισχυτής θα γίνει μισή!

Για να δουλέψει ο ενισχυτής χρειάζεται και ένα επόμενο κύκλωμα. Το κύκλωμα του απομονωτή.