



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι

Ασκήσεις

Χατζόπουλος Αλκιβιάδης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχ. Υπολογιστών

Α.Π.Θ.

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.

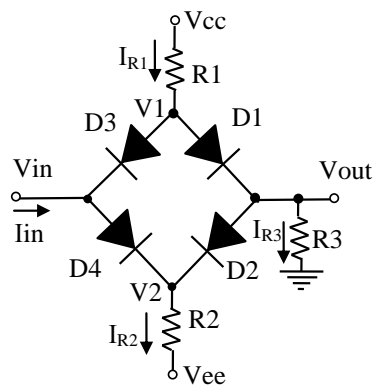


Περιεχόμενα

Άδειες Χρήσης.....	2
Χρηματοδότηση.....	2
Ενότητα 1η: Ασκήσεις διόδων.....	4
Ενότητες 2, 3, 4, 8: Ασκήσεις μονοπολικών τρανζίστορ (MOS).....	6
Ενότητες 5, 6, 7, 8: Ασκήσεις διπολικών τρανζίστορ.....	9

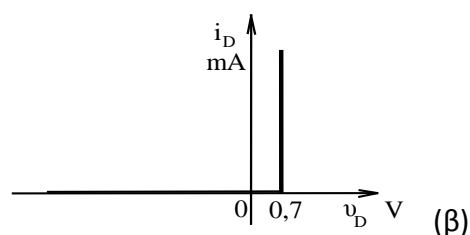
Ενότητα 1η: Ασκήσεις διόδων

- Εκφώνηση άσκησης 1:
- Στο κύκλωμα του σχήματος 1α οι διόδοι έχουν χαρακτηριστική I-V όπως στο σχήμα 1β και είναι $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, $V_{cc} = 10\text{V}$, $V_{ee} = -10\text{V}$. Να σχεδιαστεί η συνάρτηση μεταφοράς $V_{out} = f(V_{in})$ καθώς και η $I_{in} = f(V_{in})$ για τιμές $-10\text{V} \leq V_{in} \leq 10\text{V}$.



Σχήμα 1

(α)



(β)

– Οδηγίες επίλυσης:

Έστω ότι αρχικά η V_{in} είναι 0 V. Θεωρώντας ότι οι διόδοι άγουν, η τάση V_1 θα είναι 0.7 V ενώ η V_2 θα είναι -0.7 V. Η έξοδος επομένως θα είναι στα 0 V και το ρεύμα της R_3 θα είναι μηδενικό. Το I_{R1} θα είναι $(10-0.7)/10 = 9.3 \text{ mA}$ όπως και το ρεύμα $I_{R2} : (10-0.7)/10 = 9.3 \text{ mA}$. Έτσι προκύπτει ότι το ρεύμα $I_{in} = 0 \text{ mA}$.

Για $V_{in} = 1 \text{ V}$ θα είναι $V_1 = 1.7 \text{ V}$, οπότε η $V_{out} = 1 \text{ V}$ και $I_{R3} = 0.1 \text{ mA}$. Η τάση V_2 θα είναι 0.3 V. Το I_{R1} θα είναι $(10-1.7)/10 = 0.83 \text{ mA}$ και το ρεύμα $I_{R2} : (10+0.3)/10 = 1.03 \text{ mA}$. Τώρα για τα ρεύματα ισχύει: $I_{in} + I_{R1} = I_{R2} + I_{R3} \Rightarrow I_{in} = 1.03 + 0.1 - 0.83 = 0.3 \text{ mA}$.

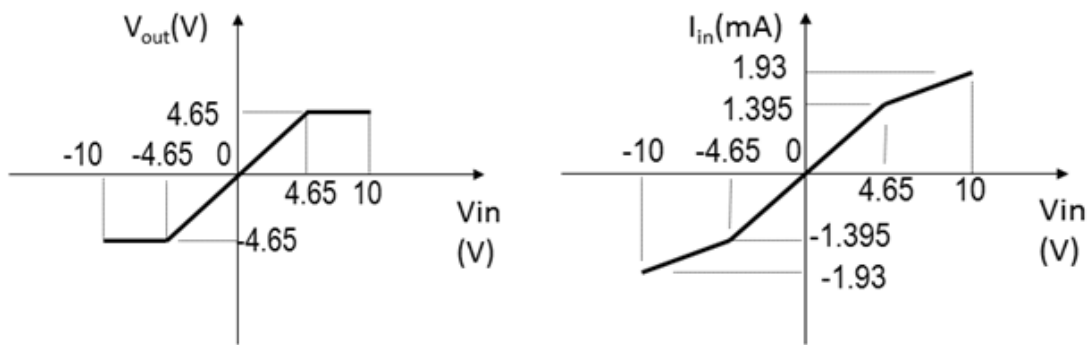
Παρατηρούμε ότι η έξοδος ακολουθεί την είσοδο, ενώ το ρεύμα που χρειάζεται η έξοδος προκύπτει προφανώς από την θετική τροφοδοσία. Το ρεύμα εισόδου πρακτικά καλύπτει την προκύπτουσα διαφορά μεταξύ I_{R1} και I_{R2} συν το ρεύμα εξόδου. Η λειτουργία αυτή μπορεί να συνεχιστεί για θετικές τιμές τάσης εισόδου που επιτρέπουν την ορθή λειτουργία και των 4 διόδων. Η μέγιστη τιμή τάσης εξόδου που να επιτρέπει την ορθή πόλωση της D_1 στο κύκλωμα $V_{cc}-R_1-D_1-R_3-GND$ (GND =γείωση) είναι ίση με $[(V_{cc}-0.7)/(10+10\text{k}\Omega)] \cdot R_3 = (9.3/20)10 = 4.65 \text{ V}$. Άρα αυτή είναι και η μέγιστη τιμή τάσης εισόδου για την οποία η έξοδος ακολουθεί την είσοδο. Για μεγαλύτερες τιμές εισόδου οι διόδοι D_3 και D_2 έχουν μηδενικό ρεύμα ή πολώνονται ανάστροφα, οπότε η έξοδος παραμένει στην τιμή των 4.65 V ανεξάρτητα από την τιμή εισόδου. Πρακτικά, το τμήμα κυκλώματος R_1, D_1, R_3 γίνεται ανεξάρτητο από το V_{in}, D_4, R_2 .

Για $V_{in} = 4.65 \text{ V}$ θα είναι: $V_1 = 5.35 \text{ V}$, $V_2 = 3.95 \text{ V}$, $I_{R1} = (10-5.35)/10 = 0.465 \text{ mA}$, $I_{R2} : (10+3.95)/10 = 1.395 \text{ mA}$, $I_{R3}=0.465 \text{ mA}$, οπότε το ρεύμα εισόδου είναι $I_{in} = 1.395+0.465-0.465=1.395\text{mA}$.

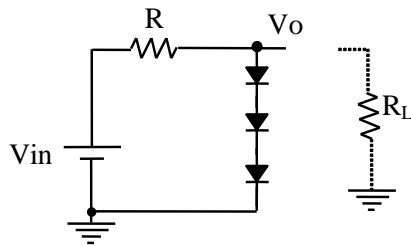
Για $V_{in} = 10 \text{ V}$ θα είναι: $V_1 = 5.35 \text{ V}$, $V_2 = 9.3 \text{ V}$, $I_{R1} = (10-5.35)/10 = 0.465 \text{ mA}$, $I_{R2} : (10+9.3)/10 = 1.93 \text{ mA}$, $I_{R3}=0.465 \text{ mA}$, οπότε τώρα το ρεύμα εισόδου είναι $I_{in} = I_{R2} =1.93\text{mA}$, αφού όπως είδαμε το τμήμα κυκλώματος $R1, D1, R3$ είναι ανεξάρτητο από το V_{in} , $D4, R2$.

Για αρνητικές τιμές της V_{in} ισχύουν αντίστοιχοι αριθμητικοί υπολογισμοί, δεδομένου ότι τώρα η ελάχιστη αρνητική τιμή τάσης εισόδου για την οποία η έξοδος ακολουθεί την είσοδο είναι (από το κύκλωμα $GND-R3-D2-R2-V_{ee}$): $[(V_{ee}+0.7)/(10+10k\Omega)]*R3 = (-9.3/20)10 = -4.65 \text{ V}$. Για μικρότερες τιμές εισόδου οι δίοδοι $D1$ και $D4$ έχουν μηδενικό ρεύμα ή πολώνονται ανάστροφα, οπότε η έξοδος παραμένει στην τιμή των -4.65 V , ανεξάρτητα από την τιμή εισόδου. Πρακτικά, το τμήμα του κυκλώματος $R2, D2, R3$ είναι τώρα ανεξάρτητο από το V_{in} , $D3, R1$.

Μετά από την παραπάνω ανάλυση προκύπτουν τα ζητούμενα διαγράμματα $V_{out}= f(V_{in})$ και $I_{in}= f(V_{in})$ για τιμές $-10V \leq V_{in} \leq 10V$.



- Εκφώνηση άσκησης 2:
- Στο κύκλωμα του σχήματος οι δίοδοι έχουν εκθετική χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης (i_D-u_D), $n=2$ και $V_D = 0.7 \text{ V}$ περίπου. Επίσης είναι $R= 500 \Omega$ και $V_{in}= 8V$. Να βρεθεί η επί τοις εκατό μεταβολή της ονομαστικής τιμής εξόδου $V_o = 2.1 \text{ V}$ όταν: 1) η τάση τροφοδοσίας μεταβάλλεται κατά $\pm 10\%$, ή 2) αν συνδεθεί αντίσταση φορτίου $R_L= 2 \text{ k}\Omega$ στην έξοδο. Να σχολιαστεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων και η πιθανή βελτίωσή τους.



– Οδηγίες επίλυσης:

Η δυναμική αντίσταση της διόδου είναι: $r_d = \frac{dV}{dI_D} = \frac{nV_T}{I_D}$

όπου η θερμική τάση V_T είναι 26 mV (για $T = 300$ °K).

Το ρεύμα I_D θα είναι $(8-2.1)/0.5 = 11.8$ mA και επομένως η δυναμική αντίσταση κάθε διόδου είναι:

$$52\text{mV}/11.8\text{mA} = 4.4 \Omega.$$

1) Η μεταβολή της εξόδου ΔV_o για μεταβολή της τάσης εισόδου ΔV_{in} θα είναι:

$$\Delta V_o = \Delta V_{in} (3r_d / (3r_d + R)) = 0.1 (13.2/513.2) = 0.0026 \text{ ή } 0.26\%$$

Δηλαδή για μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας κατά $\pm 10\%$, η ονομαστική τιμή τάσης εξόδου V_o μεταβάλλεται κατά $\pm 0.26\%$.

2) Η μεταβολή της εξόδου ΔV_o όταν συνδέεται φορτίο $R_L = 2$ kΩ στην έξοδο οφείλεται στην μείωση του ρεύματος πόλωσης των διόδων κατά το ρεύμα του φορτίου που είναι $2.1/2 = 1.05$ mA.

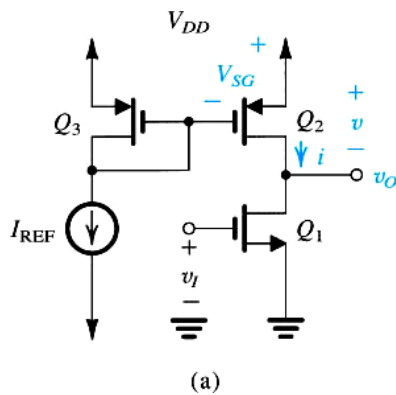
Έτσι, είναι: $\Delta V_o = 3r_d * \Delta I_D = 13.2 * 1.05 = 13.86$ mV, οπότε η επί τοις εκατό μεταβολή της ονομαστικής τιμής εξόδου $V_o = 2.1$ V θα είναι $13.86/2100 = 0.0066$ ή 0.66% .

Σε κάθε περίπτωση έχει υποτεθεί ότι η δυναμική αντίσταση της διόδου παραμένει η ίδια μετά την εφαρμογή της μεταβολής. Αυτό βεβαίως δεν είναι απολύτως ακριβές και ακριβέστερες λύσεις μπορούν να βρεθούν με επανάληψη όλων των υπολογισμών για τις νέες τιμές δυναμικής αντίστασης μετά την εφαρμογή της μεταβολής.

Ενότητες 2, 3, 4, 8: Ασκήσεις μονοπολικών τρανζίστορ (MOS)

- Εκφώνηση άσκησης 1:
- Στο κύκλωμα του σχήματος τα τρανζίστορ έχουν $k'_n = 2.5k'_p = 250\mu\text{A}/\text{V}^2$, $|V_t| = 0.6$ V, $|V_A| = 10$ V. Να βρεθεί η τιμή του ρεύματος I_{REF} και του λόγου $(W/L)_1$ που επιτυγχάνει κέρδος τάσης

-40 και αντίσταση εξόδου $R_o=100\text{ k}\Omega$. Αν θεωρηθεί ότι τα τρανζίστορ Q2 και Q3 έχουν την ίδια τάση υπεροδήγησης με το Q1, να βρεθούν οι απαιτούμενοι λόγοι $(W/L)_2$ και $(W/L)_3$.



– Οδηγίες επίλυσης:

Τα τρανζίστορ Q2 και Q3 του ενεργού φορτίου θεωρούνται ταιριασμένα.

Από την αντίσταση εξόδου $R_o=100\text{ k}\Omega$ θα υπολογιστεί το ρεύμα $I_{D1} = I_{D2}$. Ισχύει ότι:

$$R_o = r_{o1} // r_{o2} = (10 / I_{D1}) // (10 / I_{D2}) \Rightarrow 10 / I_{D1} = 200\text{ k}\Omega \Rightarrow I_{D1} = 0.05\text{ mA} = I_{D2}$$

Επομένως και το I_{REF} είναι $I_{REF} = 0.05\text{ mA}$.

Από το κέρδος -40 θα υπολογιστεί η διαγωγιμότητα g_m του Q1:

$$A_v = -g_m (r_{o1} // r_{o2}) \Rightarrow g_{m1} = 40 / 100 = 0.4\text{ mA/V}$$

Στη συνέχεια θα υπολογιστεί η τάση υπεροδήγησης V_{OV1} και μετά ο λόγος $(W/L)_1$.

$$g_{m1} = 2 I_{D1} / V_{OV1} \Rightarrow V_{OV1} = 0.1 / 0.4 = 0.25\text{ V}$$

$$g_{m1} = k'_n (W/L)_1 V_{OV1} \Rightarrow (W/L)_1 = 0.4 / (0.25 * 0.25) = 6.4$$

Θεωρώντας ότι $|V_{OV2}| = |V_{OV3}| = V_{OV1} = 0.25\text{ V}$, θα είναι και $g_{m1} = g_{m2} = g_{m3}$, οπότε προκύπτει:

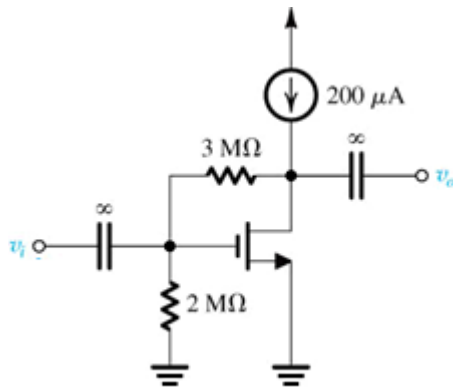
$$g_{m2} = k'_p (W/L)_2 V_{OV2} \Rightarrow (W/L)_2 = 0.4 / (0.1 * 0.25) = 16$$

$$\text{και αφού είναι ταιριασμένα θα είναι και } (W/L)_3 = 16.$$

• Εκφώνηση άσκησης 2:

α) Στον ενισχυτή του σχήματος το τρανζίστορ nMOS έχει $V_t = 0.5\text{ V}$, $k = 2\text{ mA/V}^2$ [$k = k'(W/L) = \mu_n C_{ox} (W/L)$] και $V_A = -20\text{ V}$. Αγνοώντας το dc ρεύμα στην αντίσταση ανάδρασης και την επίδραση της r_o , να βρεθεί η τάση V_{GS} . Στη συνέχεια να βρεθεί το dc ρεύμα στην αντίσταση ανάδρασης και η τάση V_{DS} και να επαληθευτεί αν καλώς αγνοήθηκε.

β) Να βρεθεί το κέρδος τάσης v_o/v_i . Ποια είναι η μέγιστη τιμή της v_o (ως πλάτος ημιτονικού σήματος) ώστε το τρανζίστορ να μένει στον κορεσμό; Ποια είναι η αντίστοιχη μέγιστη v_i ;



– Οδηγίες επίλυσης:

Αγνοώντας το dc ρεύμα στην αντίσταση ανάδρασης R_F θα ισχύει:

$$I_D = (1/2)k_n(V_{OV})^2 \Rightarrow (V_{OV})^2 = 2 * 0.2 / 2 = 0.2 \text{ V} \Rightarrow V_{OV} = 0.45 \text{ V.}$$

$$V_{OV} = V_{GS} - V_t \Rightarrow V_{GS} = 0.45 + 0.5 = 0.95 \text{ V.}$$

Άρα $V_{GS} = V_G = 0.95 \text{ V} \Rightarrow I_{ανάδρασης} = 0.95 / 2000 = 0.48 \mu\text{A} \ll 200 \mu\text{A}$, οπότε καλώς αγνοήθηκε.

$$V_{DS} = 0.48 \mu\text{A} * (3 + 2 \text{ M}\Omega) = 2.4 \text{ V.}$$

β) Θεωρώντας το π-ισοδύναμο μικρού σήματος με την αντίσταση r_o , θα ισχύει στον κόμβο εξόδου:

$u_o / r_o + g_m u_{gs} + (u_o - u_i) / R_F = 0$ και $u_{gs} = u_i$ οπότε λύνοντας ως προς τον λόγο u_o / u_i προκύπτει:

$$u_o / u_i = (1 / R_F - g_m) / (1 / R_F + 1 / r_o)$$

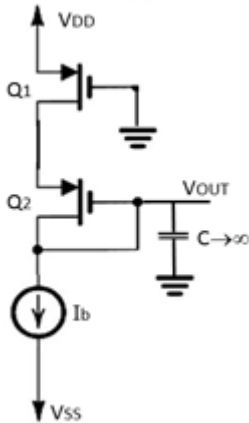
Είναι $g_m = 2 I_D / V_{OV} \Rightarrow g_m = 2 * 0.2 / 0.45 = 0.89 \text{ mA/V}$ και $r_o = V_A / I_D = 100 \text{ k}\Omega$, οπότε:

$$u_o / u_i = (1 / 3000 - 0.89) / (1 / 3000 + 1 / 100) = -86.1 \text{ V/V.}$$

$V_{DSmin} = V_{GS} - V_t = V_{OV} = 0.45 \text{ V}$. Με δεδομένο το $V_{DS} = 2.4 \text{ V}$, το μεγαλύτερο πλάτος σήματος στην έξοδο ώστε το τρανζίστορ να παραμένει στον κορεσμό είναι $2.4 - 0.45 = 1.95 \text{ V}$. Το αντίστοιχο πλάτος σήματος εισόδου είναι $1.95 / 86.1 = 0.023 \text{ V} = 23 \text{ mV}$.

• Εκφώνηση άσκησης 3:

Στο κύκλωμα του σχήματος είναι $V_{DD} = -V_{SS} = 5 \text{ V}$, $I_b = 0.48 \text{ mA}$, τα τρανζίστορ είναι ίδια και έχουν $k_p = 150 \mu\text{A/V}^2$, $|V_t| = 0.8 \text{ V}$. Να βρεθεί το σημείο λειτουργίας (V_{DS} , V_{GS}) του κάθε τρανζίστορ καθώς και η τάση εξόδου V_{OUT} .



– Οδηγίες επίλυσης:

Τα τρανζίστορ είναι τύπου p-MOS πύκνωσης, οπότε πρέπει $V_{DS} < 0$, $V_{GS} < 0$ και $V_t < 0$.

Το τρανζίστορ Q2 λειτουργεί στην περιοχή μετά τον κορεσμό, αφού έχει βραχυκυκλωμένη την εκροή με την πύλη και υπάρχει ρεύμα I_D . (Είναι $V_{DS} = V_{GS}$, οπότε ισχύει υποχρεωτικά $V_{DS} < V_{GS} - V_t$.)

Από την σχέση $I_D = (1/2) k_p (V_{GS2} - V_t)^2$ προκύπτει:

$$V_{GS2} = V_t \pm \sqrt{2 I_D / k_p} = -0.8 \pm \sqrt{6.4}$$

Αφού πρέπει $V_{GS} < 0$, η αποδεκτή λύση είναι η $V_{GS2} = V_{DS2} = -3.33$ V.

Για το τρανζίστορ Q1 ισχύει $V_{GS1} = -5$ V, οπότε αν λειτουργεί στην περιοχή μετά τον κορεσμό, θα είναι $I_{D1} = (1/2) k_p (V_{GS1} - V_t)^2 = 1.323$ mA, τιμή που δεν συμφωνεί με την τιμή $I_b = 0.48$ mA. Άρα το Q1 είναι στην περιοχή πριν τον κορεσμό (τριοδική ή ωμική), οπότε ισχύει η σχέση:

$$I_D = k_p [(V_{GS1} - V_t) V_{DS1} - (1/2) V_{DS1}^2]$$

που είναι δευτέρου βαθμού ως προς V_{DS1} και έχει λύσεις -7.55 και -0.85 V. Η πρώτη απορρίπτεται, αφού σε σειρά με την $V_{DS2} = -3.33$ V ξεπερνάει την τροφοδοσία ($V_{DD} - V_{SS} = 10$ V). Έτσι το σημείο

λειτουργίας του Q1 (V_{DS1} , V_{GS1}) είναι $(-0.85$ V, -5 V).

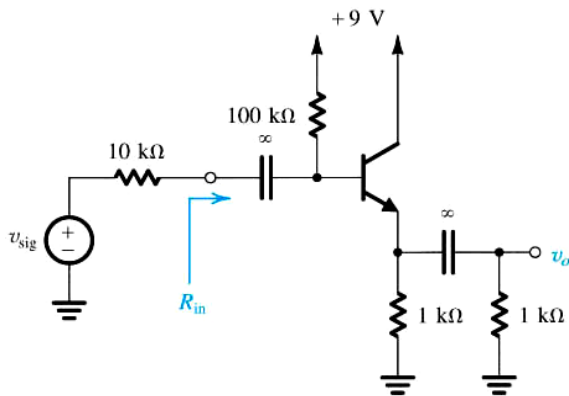
Η τάση V_{OUT} είναι:

$$V_{OUT} = V_{DD} - V_{SD1} - V_{SG2} = 5 - 0.85 - 3.33 = 0.82$$
 V.

Ενότητες 5, 6, 7, 8: Ασκήσεις διπολικών τρανζίστορ

- Εκφώνηση άσκησης 1:

Στο κύκλωμα του σχήματος το τρανζίστορ είναι πυριτίου με $n=1$, $V_{BE} = 0.7$ Volt, $\beta = 40$ ως 200, τιμές αντιστάσεων όπως δίνονται στο σχήμα, $V_{CC} = 9$ V και C_{in} , $C_{out} \rightarrow \infty$. Για αυτή την διασπορά των τιμών του β να βρεθούν τα όρια μεταβολής τιμών των: I_E , V_E , V_B , αντίστασης εισόδου R_{in} και κέρδους τάσης u_o/u_{sig} .



– Οδηγίες επίλυσης:

Από το κύκλωμα βάσης-εκπομπού προκύπτει:

$$I_E = (9 - 0.7) / [1 + 100 / (\beta + 1)] \text{ οπότε:}$$

$$\text{Για } \beta = 40 \text{ θα είναι } I_E = 8.3 / (1 + 100/41) = 2.41 \text{ mA, } V_E = 1 * 2.41 = 2.41 \text{ V, } V_B = 2.41 + 0.7 = 3.11 \text{ V.}$$

$$\text{Για } \beta = 200 \text{ θα είναι } I_E = 8.3 / (1 + 100/201) = 5.54 \text{ mA, } V_E = 1 * 5.54 = 5.54 \text{ V, } V_B = 5.54 + 0.7 = 6.24 \text{ V.}$$

Η αντίσταση εισόδου R_{in} είναι:

$$R_{in} = 100 \text{ k}\Omega // r_{in} = 100 \text{ k}\Omega // [(\beta + 1) (r_d + R_E // R_L)], \text{ όπου } r_d = nV_T / I_E \text{ και } V_T = 25 \text{ mV.}$$

$$\text{Για } \beta = 40 \text{ θα είναι } r_d = nV_T / I_E = 25 / 2.41 = 10.37 \text{ }\Omega, R_{in} = 100 \times 10^3 \text{ }\Omega // [41 (10.37 + 500)] = 17.3 \text{ k}\Omega.$$

$$\text{Για } \beta = 200 \text{ θα είναι } r_d = nV_T / I_E = 25 / 5.54 = 4.51 \text{ }\Omega, R_{in} = 100 \times 10^3 \text{ }\Omega // [41 (4.51 + 500)] = 50.3 \text{ k}\Omega.$$

Το κέρδος τάσης βαθμίδας κοινού συλλέκτη είναι $A_v \cong (R_E // R_L) / [r_d + (R_E // R_L)]$, οπότε λαμβάνοντας υπόψη και την προσαρμογή εισόδου, θα είναι:

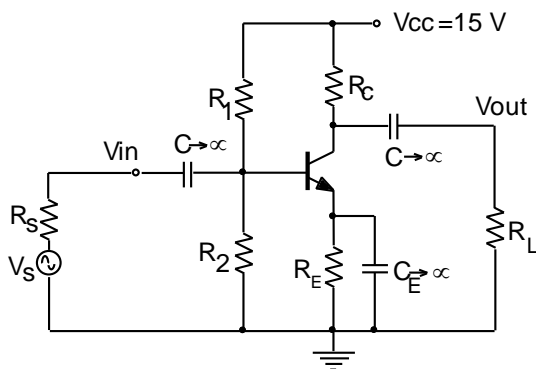
$$v_o / v_{sig} = [R_{in} / (R_{in} + R_{sig})] [(R_E // R_L) / [r_d + (R_E // R_L)]].$$

$$\text{Για } \beta = 40 \text{ θα είναι } v_o / v_{sig} = [17.3 / (17.3 + 10)] [0.5 / (0.01037 + 0.5)] = 0.621 \text{ V/V.}$$

$$\text{Για } \beta = 200 \text{ θα είναι } v_o / v_{sig} = [50.3 / (50.3 + 10)] [0.5 / (0.00451 + 0.5)] = 0.827 \text{ V/V.}$$

• Εκφώνηση άσκησης 2:

Στον ενισχυτή του σχήματος με $R_C = 4.5 \text{ k}\Omega$, $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ και $R_E = 1 \text{ k}\Omega$, να υπολογιστούν οι τιμές των αντιστάσεων R_1 και R_2 ώστε το τρανζίστορ να πολωθεί στο μέσο της ευθείας φορτίου στο εναλλασσόμενο (AC). Να υπολογιστεί επίσης το μέγιστο πλάτος του σήματος V_s της γεννήτριας, ώστε να μην ψαλιδίζεται το σήμα V_{out} στην έξοδο, όταν η αντίσταση εξόδου της γεννήτριας είναι $R_S = 300 \Omega$. Για το τρανζίστορ ισχύουν: $n=2$, $V_{BE} = 0.7 \text{ Volt}$, $\beta = 100$, $r_{bb'} = 40 \Omega$, $I_{CO} \approx 0$, $V_{CEsat} = 0.1 \text{ Volt}$, $V_A = -90 \text{ V}$ και είναι $V_{CC} = 15 \text{ Volt}$.



– Οδηγίες επίλυσης:

Για την πόλωση στο μέσο της ευθείας φόρτου στο εναλλασσόμενο (AC) επιλέγεται τιμή τάσης συλλέκτη V_{CQ} με βάση την εξίσωση:

$$V_{CQ} = V_{CC} \frac{R_{ac} + R_E}{R_{ac} + R_{dc}}$$

όπου στο κύκλωμα αυτό είναι $R_{ac} = R_C // R_L = 4.5 // 1 = 0.82 \text{ k}\Omega$ και $R_{dc} = R_C + R_E = 5.5 \text{ k}\Omega$. Άρα:

$$V_{CQ} = 15(0.82+1)/(0.82+5.5) = 4.32 \text{ V.}$$

$$I_{CQ} = (V_{CC} - V_{CQ}) / R_C = (15 - 4.32)/4.5 = 2.373 \text{ mA.}$$

$$I_{BQ} = I_{CQ} / \beta = 0.02373 \text{ mA}$$

$$V_{BQ} = V_{BE} + (I_{CQ} + I_{BQ}) R_E = 0.7 + (2.373 + 0.02373) 1 = 3.097 \text{ V}$$

Επιλέγεται η R_2 στα όρια: $10 R_E \leq R_2 \leq 20 R_E$ και έστω ότι λαμβάνεται $R_2 = 15 \text{ k}\Omega$, οπότε:

$$I_2 = V_{BQ} / R_2 = 3.097/15 = 0.2 \text{ mA και}$$

$$R_1 = (V_{CC} - V_{BQ}) / (I_B + I_2) = (15 - 3.097) / (0.02373 + 0.2) = 53.2 \text{ k}\Omega.$$

Για τον υπολογισμό του κέρδους u_{out} / u_s θα χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$A_u = -\beta (R_C / r_{in}) (R_{in} / (R_{in} + R_S)) (R_L / (R_L + R_C // r_o))$$

όπου $r_d = nV_T / I_E = 2 * 25 / 2.397 = 20.86 \Omega$ ($V_T = 25 \text{ mV}$), $r_{in} = r_{bb'} + (\beta + 1) r_d = 40 + 101 * 20.86 = 2.147 \text{ k}\Omega$, $r_o = 90 / 2.373 = 37.92 \text{ k}\Omega$ και $R_{in} = r_{in} // R_1 // R_2 = 2.147 // 15 // 53.2 = 1.814 \text{ k}\Omega$.

Άρα:

$$A_u = u_{out} / u_s = -100 (4.5/2.147) (1.814/2.114)(1/(1+4.5//37.92)) = -35.8 \text{ V/V.}$$

Η τάση πόλωσης V_{CEQ} έχει επιλεγεί:

$$V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{(1 + R_{dc} / R_{ac})}$$

δηλαδή είναι $15/(1+5.5/0.82) = 1.95 \text{ V}$. Με δεδομένο ότι $V_{CEsat} = 0.1 \text{ V}$, η διακύμανση στην έξοδο μπορεί να είναι το πολύ $1.95 - 0.1 = 1.85 \text{ V}$, οπότε το αντίστοιχο πλάτος στην είσοδο (έξοδος γεννήτριας) μπορεί να είναι το πολύ $1.85/35.8 = 0.0517 \text{ V}$ ή 51.7 mV .