

ΑΝΕΞΕ ΤΡΙΤΗΣ ΠΡΟΣΑΟΥ.

ΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ.

Άσκηση 1. (Μονάδες 6). Στο κύκλωμα του σχήματος έχετε δύο ίδια n-MOSFET 2N7000 τρανζίστορ, τα οποία λειτουργούν σαν ενισχυτές της τάσης εισόδου V_i . Υπολογίστε τα σημεία λειτουργίας των τρανζίστορ (V_{DS}, I_{DS}) όταν στην είσοδο δεν έχουμε σήμα, $\Delta V_i = 0$ (DC κατάσταση), και σημειώστε τα επάνω στο διάγραμμα που δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε είτε την αριθμητική προσέγγιση των μαθηματικών σχέσεων είτε να κάνετε γραφική επίλυση. Πόσο είναι το κέρδος ενίσχυσης της τάσης V_o ως προς την είσοδο V_i ;

Αγνοείστε την επίδραση των πυκνωτών στο κύκλωμα.

$$I_D = kI_2(V_{GS} - V_{GS(th)})V_{DS} - \frac{1}{2}V_{DS}^2$$

$$I_D = k(V_{GS} - V_{GS(th)})^2$$

$$k = \frac{I_D}{(V_{GS} - V_{GS(th)})^2}$$

$$k = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS(on)} - V_{GS(th)})^2}$$

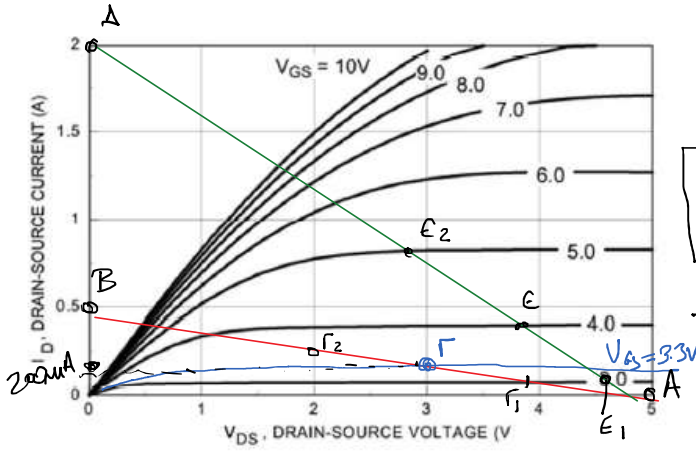
$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \Big|_{V_{DS}} = \frac{1}{R_{DS}}$$

$$= 2k(V_{GS} - V_{GS(th)}) = 2\sqrt{kI_D}$$

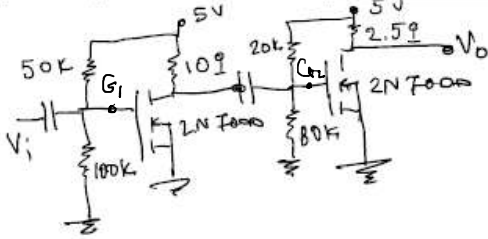
$$= g_m \sqrt{\frac{I_D}{k}}$$

$$R_{DS} = \frac{1}{g_m}$$

$$R_{DS2} = \frac{V_{G1} - V_{GS(th)}}{V_{G2} - V_{GS(th)}} R_{DS1}$$



$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 1 \text{ mA}$	2N7000	0.8	2.1	3	V
$I_{D(on)}$	On-State Drain Current	$V_{GS} = 4.5 \text{ V}, V_{DS} = 10 \text{ V}$	2N7000	75	600		mA
				MIN	TYPICAL	MAX	



ΕΤΗΝ ΑΡΓΗΤΗ ΒΑΘΜΙΑ Α
ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΣΟ ΚΙΝΗΜΑ
ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ 2N7000
ΕΧΩ.

$$V_{CC} = 5V = 10\Omega \cdot I_{DS} + V_{DS}$$

$$\Rightarrow 5V = 10\Omega \cdot I_{DS} + V_{DS} \Rightarrow$$

$$I_{DS} = \phi \Rightarrow V_{DS} = 5V$$

ΕΠΗΜΕΙΟ Α

$$V_{DS} = \phi \Rightarrow I_{DS} = \frac{5}{10} = 0.5V$$

ΕΠΗΜΕΙΟ Β.

ΦΤΙΑΧΝΩ ΤΟ ΕΠΙΘΕΤΟ ΓΡΑΜΜΟ
ΤΜΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ
2N7000 (ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ)
ΥΠΟΛΟΓΙΣΩ

$$V_{G1} = \frac{100}{100+50} V_{CC} = 3.33V \Rightarrow$$

$V_{GS} = 3.33$ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΡΩΤΗ ΒΑΘΜΙΑ.

ΕΧΩ ΤΙΣ ΚΑΜΜΥΛΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΙΑ $V_{GS} = 3V$
ΚΑΙ ΓΙΑ $V_{GS} = 4V$. ΤΕΤΑΡΤΟΥ ΤΟ 1/3 ΤΗΣ ΑΡΩΣΤΑΘΗΣ
ΑΝΑΜΕΣΑ ΕΠΙΣ ΔΥΟ ΚΑΜΜΥΛΕΣ (ΜΟΛΕ ΚΑΜΜΥΛΗ)
ΤΟ ΕΠΗΜΕΙΟ ΤΟΜΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΓΡΑΜΜΩΝ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ

ΠΕΡΙΠΟΥ ΕΣΟ ΕΠΗΜΕΙΟ Γ $\Rightarrow V_{DS} \approx 3V, I_{DS} \approx 0.2A = 200\mu A$.

ΑΚΟΛΟΥΘΟΥΝΤΑΣ ΤΗΝ ΙΔΙΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΕΥΤΕΡΗ ΒΑΘΜΙΑ

ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ, ΕΧΩ: $V_{CC} = 2.5\Omega I_{DS} + V_{DS} \Rightarrow$

$$I_{DS} = 0 \Rightarrow V_{DS} = 5V \rightarrow \text{ΕΠΗΜΕΙΟ Α}$$

$$V_{DS} = \phi \Rightarrow I_{DS} = \frac{5V}{2.5\Omega} = 2A \rightarrow \text{ΕΠΗΜΕΙΟ Δ}$$

ΓΡΑΦΩΝ ΓΡΑΜΜΗΣ.

ΓΙΑ ΤΟ V_{G2} ΕΧΩ: $V_{G2} = \frac{80}{20+80} 5V = \frac{80}{100} \cdot 5 = 4V \Rightarrow V_{G2} = 4V$

ΤΗΝ ΚΑΜΜΥΛΗ ΛΕΙΤ. $V_{GS} = 4V$ ΤΗΝ ΕΧΩ

ΕΥΝΕΤΩΣ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΕΠΗΜΕΙΟ DC ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΙΝΑΙ ΤΟ (Ε) $V_{DS} \approx 3.8V$
 $I_{DS} \approx 400\mu A$

ΕΣΤΟ ΕΠΗΜΕΙΟ Γ₁: $V_{DS} \approx 3.8V, V_{GS} \approx 3V$

— Γ₂: $V_{DS} \approx 2V, V_{GS} \approx 3.7V$

$$\frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}} = \frac{3.8 - 2V}{3 - 3.7V} = \frac{1.8}{-0.7} = -2.57 \Rightarrow G_{mid1} = -2.57$$

ΕΣΤΟ ΕΠΗΜΕΙΟ Ε₁: $V_{DS} \approx 4.6V, V_{GS} \approx 3V$

$$\frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}} = \frac{4.6 - 2.8}{3 - 5} = \frac{1.8}{-2} = -0.9 \Rightarrow G_{mid2} = -0.9$$

ΕΣΤΙ ΣΗΜΕΙΟ Ε1: $V_{D1} \approx 4.6V, V_{G1} \approx 3V$
 -1- Ε2 $V_{D1} \approx 2.8, V_{G1} \approx 5V$ } $\Rightarrow \frac{\Delta V_{D1}}{\Delta V_{G1}} = \frac{4.6-2.8}{3-5} = \frac{1.8}{-2} = -0.9$ $G_{gain2} = -0.9$

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ: $G_{\text{συνολικό}} = G_{\text{αίμ1}} * G_{\text{αίμ2}} = (-2.5) * (-0.9) = \underline{\underline{2.313}}$

ΕΠΙΜΕΛΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΣ ΤΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΕΣ ΕΚΦΕΣΕΙΣ:

ΑΠΟ ΤΑ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΖΗΤΟΥΣ ΕΧΩ $V_{G1,TH} = V_{G1(TH)} = 2.1V$

ΜΟΥ ΔΙΝΕΙ ΕΜΕΙΣ ΚΑΙ ΕΝΑ ΣΗΜΕΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
 ΕΣΤΙΝ ΚΟΡΕΣΜΟ $\left\{ \begin{array}{l} I_D = 600\mu A \\ V_{G1} = 4.5V \\ V_{D1} = 10V \end{array} \right.$

ΑΠΟ ΑΥΤΕΣ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΖΩ ΤΟ $k \Rightarrow I_D = k(V_{G1} - V_{G1,TH})^2$ $\textcircled{1}$

$k = \frac{0.6}{(4.5-2.1)^2} = 0.1042 \mu A$

ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΒΑΘΜΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΧΩ

\textcircled{A}
 $\delta = 10 I_D + V_{D1}$

$V_{G1} = \frac{100}{100+50} \cdot 5V = 3.33V \Rightarrow I_D = 0.1(3.33-2.1)^2 \Rightarrow I_D = 151\mu A$ $\textcircled{1}$ (ΕΣΤΙΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΥΠΟΘΕΣΙΑ. $I_D = 200\mu A$)

ΕΣΤΙΝ ΔΕΥΤΕΡΗ ΒΑΘΜΙΑ ΕΧΩ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ:

\textcircled{B}
 $\delta = 2.5 I_D + V_{D1}$

$V_{G2} = \frac{80}{80+20} \cdot 5 = 4V \Rightarrow V_{G2} = 4V \Rightarrow I_D = 0.1(4-2.1)^2 A \Rightarrow I_D = 361\mu A$ \textcircled{B} (ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΗ $I_D = 400\mu A$)

ΤΟ ΚΕΡΔΟΣ ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΖΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΦΕΣΗ: ΠΡΩΤΗ ΒΑΘΜΙΑ

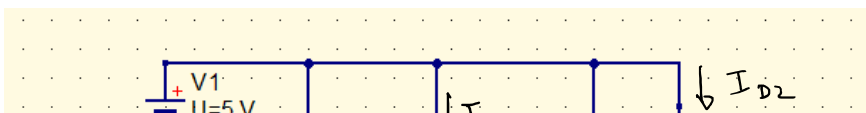
$\frac{\partial V_{D1}}{\partial V_{G1}} \textcircled{A} = \frac{\partial(5-10I_D)}{\partial V_{G1}} = -10 \frac{\partial I_D}{\partial V_{G1}} = -10 \sqrt{k I_D} = -10 \sqrt{0.1 \times 0.151} \approx -1.23 = G_1$

ΔΕΥΤΕΡΗ ΒΑΘΜΙΑ.

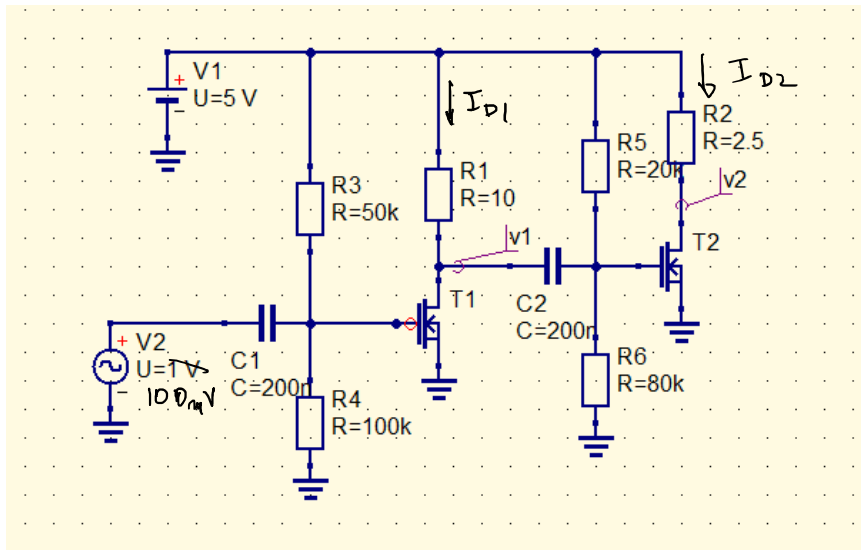
$\frac{\partial V_{D1}}{\partial V_{G1}} \textcircled{B} = \frac{\partial(5-2.5 \cdot I_D)}{\partial V_{G1}} = -2.5 \frac{\partial I_D}{\partial V_{G1}} = -2.5 \sqrt{k I_D} = -2.5 \sqrt{0.1 \times 0.361} = -0.475 = G_2$

ΕΣΤΙΝ ΟΛΟΚΛΗΡΟ $G_{\text{συνολικό}} = G_1 * G_2 = (-1.23) * (-0.475) = 0.58 \Rightarrow \text{G}_{\text{συνολικό}} \approx 0.58$

ΕΠΙΔΗ ΟΙ ΜΕΛΕΣ ΜΟΥ ΔΙΑΦΕΡΟΥΝ ΕΠΙΜΑΝΤΙΚΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΓΙΑ "ΔΙΑΤΗΤΗ" $\textcircled{3}$



ΑΠΟ ΤΗΝ DC ΑΝΑΛΥΣΗ. $\textcircled{3}$
 ΛΑΜΒΑΝΩ



ΑΠΟ ΤΗΝ DC ΑΝΑΛΥΣΗ
ΛΑΜΒΑΝΩ

$$V_1 = 4.22V = V_{D1} \text{ (1η ΒΑΘΜΙΔΑ)}$$

$$V_2 = 4.48V = V_{D2} \text{ (2η -η-)}$$

$$\text{ΟΠΩΣΤΕ } I_{D1} = \frac{5 - 4.22}{10} = 78\mu A$$

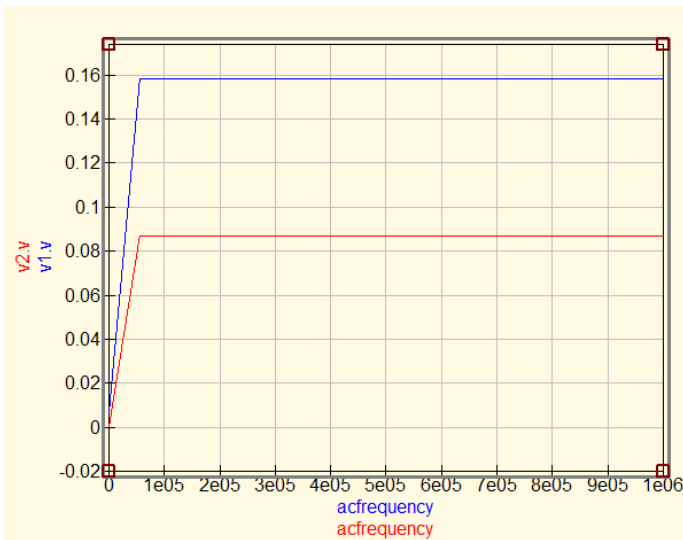
$$I_{D2} = \frac{5 - 4.48}{2.5} = 312\mu A$$

ΕΥΓΕΚΡΙΝΩ ΑΨΕΥΔΕ (μΑ)

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ, ΑΛΓΕΒΡΙΚΗ, QUCS

	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ	ΑΛΓΕΒΡΙΚΗ	QUCS
I_{D1}	200	151	78
I_{D2}	400	361	312

ΕΤΗΝ "AC" ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΑΜΒΑΝΟΥΜΕ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ



ΛΑΜΒΑΝΟΥΜΕ ΥΠΟΨΗΝ ΟΤΙ ΘΕΛΑΜΕ ΕΑΝ Ο ΕΙΣΟΔΟ $V_I = 100mV$ ΤΑ ΔΥΟ ΚΕΡΔΗ

$$|G_1| = \frac{160}{100} = 1.6$$

$$|G_{\text{συνολικό}}| = \frac{85}{100} = 0.85$$

$$\Rightarrow |G_2| = 0.53$$

ΕΥΓΕΚΡΙΝΟΝΤΑΣ ΤΑ ΚΕΡΔΗ ΤΑΧΕΣ ΕΚΩ.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ | ΑΛΓΕΒΡΙΚΗ | QUCS

	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ	ΑΛΓΕΒΡΙΚΗ	QUCS
$ G_1 $	2.57	1.23	1.6
$ G_2 $	0.9	0.475	0.53
$ G_{\text{συν.}} $	2.313	0.58	0.85

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

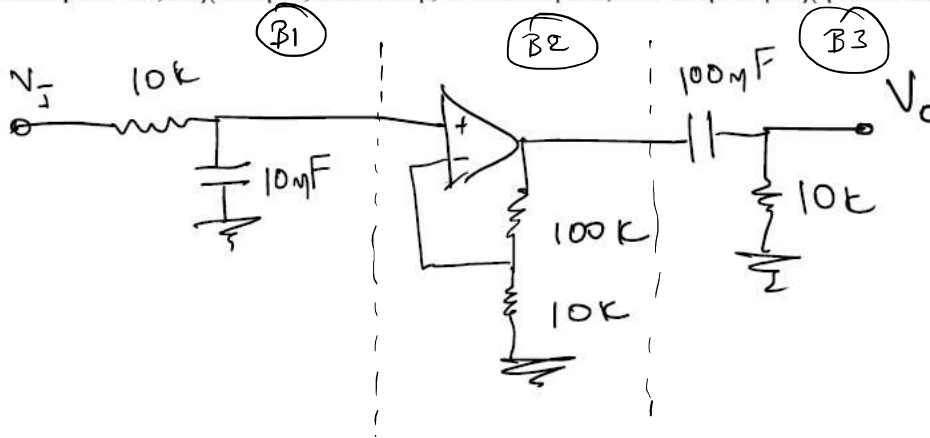
- 1) Η ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΡΟΞΕΓΓΙΗ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΧΟΥΜΕ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ (I_D, V_{D1}, V_{D2}) ΕΙΝΑΙ ΑΠΛΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΑΛΛΑ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΑΠΡΟΣΒΗ: ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΙΣΟΔΟΥ DC ΠΕΤΟΥΠΡΙΑΣ
- 2) Η ΑΛΓΕΒΡΙΚΗ ΤΡΟΞΕΓΓΙΗ ΕΙΝΑΙ ΚΑΙ ΑΥΤΗ ΑΠΛΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΕΧΕΙ ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΑΞΙΟΝΕΤΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ (ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΧΟΥΜΕ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΤΟ DATASHEET)
- 3) ΑΠΟ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΘ ΕΠΑΝΕΚΤΙΜΟΥΜΕ ΤΑ ΚΕΡΔΗ ΤΩΝ ΒΑΘΜΙΔΩΝ.
- 4) Η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΝΕΙ ΤΑ ΚΑΛΥΤΕΡΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΥΑΝΤΙΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΥ

ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΙΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΣΤΙΩΣΕΩΝ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΟ. (ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΧΟΥΜΕ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΚΑΘΙΣΤΟΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ)

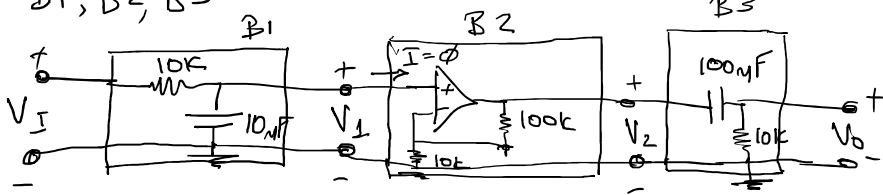
ΠΡΟΦΑΝΩΣ ΤΕΛΙΚΑ ΥΛΟΠΟΙΟΥΜΕ ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΠΩΣ ΠΡΟΕΔΙΟΡΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΒΗΜΑΤΑ 1, 2, 3 ΣΕ ΒΡΕΑΔΒΟΑΡΔ ΓΙΑ ΝΑ ΜΕΤΡΗΣΟΥΜΕ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΤΟΥ ΕΥΜΕΡΕΦΟΡΑ.

Άσκηση 2. (Μονάδες 6).

Στο κύκλωμα που ακολουθεί θεωρείστε ότι ο τελεστικός ενισχυτής είναι τέλειος (Άπειρο κέρδος, άπειρη αντίσταση εισόδου και μηδενική αντίσταση εξόδου). Αποδείξτε ότι το φίλτρο είναι ζωνοδιαβατό και υπολογίστε τις συχνότητες αποκοπής και το κέρδος του στην περιοχή διέλευσης.



ΧΡΗΣΙΖΟΥΜΕ ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΣΕ ΤΡΙΑ ΕΓΚΛΙΣΤΑ ΕΥΝΑΛΟΜΕΝΑ ΤΕΤΡΑΠΟΛΑ ΤΑ Β1, Β2, Β3



Ε.Χ.Ψ:

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ Β2 → +∞

ΕΞΟΔΟΥ Β2 → 0

ΕΥΝΩΝΙΣΜΟΣ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΜΕΛΕΤΗΣΕΙ ΤΟ $\frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$ ΓΙΑ ΚΑΘΕ

ΕΝΑ ΤΕΤΡΑΠΟΛΟ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΑΛΛΑ

Β1: ΧΑΜΗΛΟΔΙΑΒΑΤΟ ΦΙΛΤΡΟ ΜΕ $f_{LOWPASS} = \frac{1}{2\pi RC} \approx \frac{1}{6.28 \times 10^4 \times 10^{-8}} = 1.592 \text{ kHz}$

Β2: ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΤΑΣΗΣ $G = 1 + \frac{100k}{10k} = 1 + 10 = 11$

Β3: ΥΨΗΛΕΡΑΤΟ ΦΙΛΤΡΟ ΜΕ $f_{HIGHPASS} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{6.28 \times 10^4 \cdot 10^{-7}} = 159 \text{ Hz}$

ΣΥΝΕΛΙΞΕ ΠΕΡΙΚΕΝΣΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΟΚΡΕΦΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

$20 \log_{10} \left| \frac{V_O}{V_I} \right|$

$\left| \frac{V_O}{V_I} \right| \text{ dB}$



