



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΙΙΙ

Ενότητα 1: Σχεδίαση τελεστικών ενισχυτών

Χατζόπουλος Αλκιβιάδης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχ. Υπολογιστών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

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.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Σχεδιασμός ενοτήτων:

- 1. Σχεδίαση τελεστικών ενισχυτών
- 2. Κυκλώματα ανόρθωσης - δίοδοι zener
- 3. Κυκλώματα αναφοράς
- 4. Ενισχυτές ισχύος
- 5. Ηλεκτρονικά ελέγχου ισχύος
- 6. 1η εργαστηριακή άσκηση και προσομοίωση με το SPICE
- 7. 2η εργαστηριακή άσκηση και προσομοίωση με το SPICE

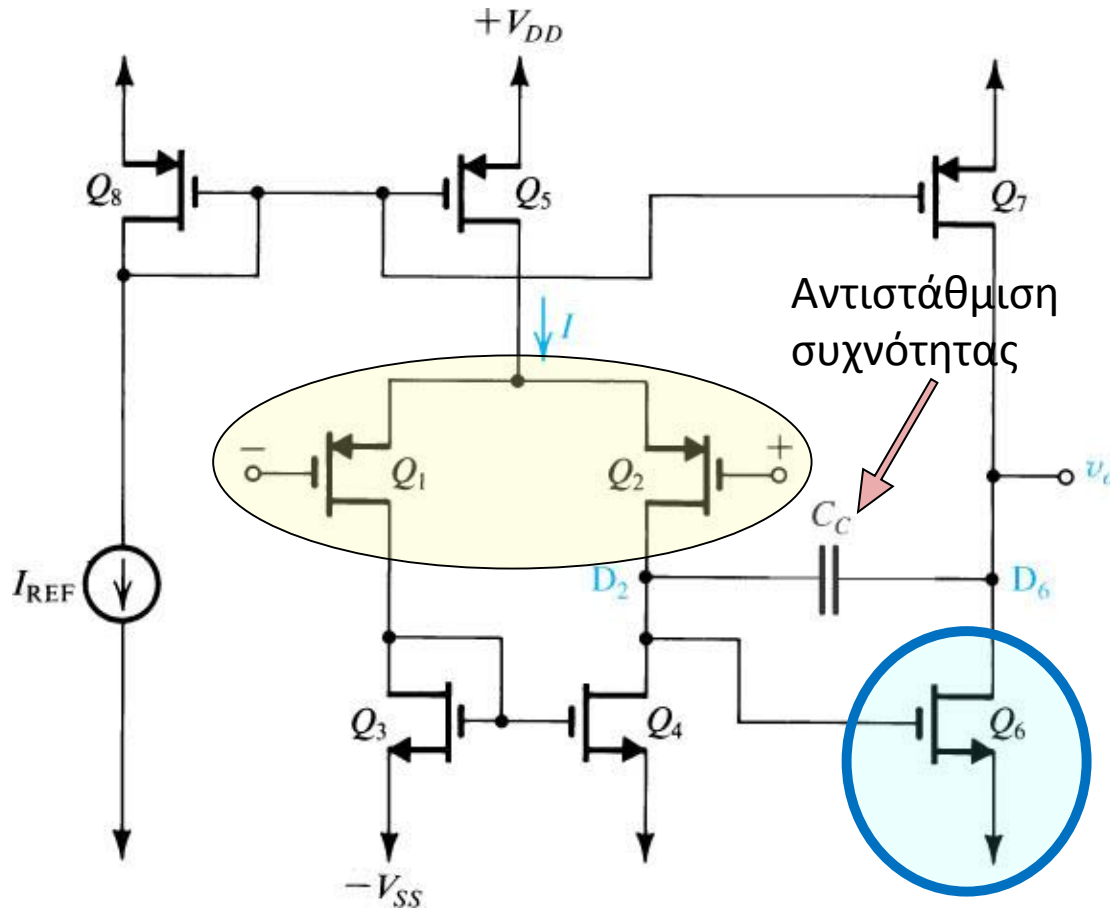


Περιεχόμενα ενότητας

1. Ανασκόπηση ανάλυσης τελεστικού ενισχυτή MOS δύο βαθμίδων (διαφ. 7- 14)
2. Μεθοδολογία σχεδιασμού – Αρχιτεκτονικές (διαφ. 15- 22)
3. Ορισμοί και υπολογισμοί παραμέτρων (κέρδος τάσης, τάση απόκλισης, PSRR, κ.λ.π.) (διαφ. 23 - 31)
4. Συχνотική απόκριση και αντιστάθμιση (διαφ. 32 - 41)
5. Σχεδίαση – εξισώσεις υπολογισμών (διαφ. 42- 46)
6. Βήματα σχεδίασης (διαφ. 47- 51)
7. Παράδειγμα σχεδίασης (διαφ. 52- 58)



Τελεστικός ενισχυτής MOS δύο βαθμίδων



Αντίσταση εξόδου
 $r_{o6} \parallel r_{o7}$

Κέρδος τάσης

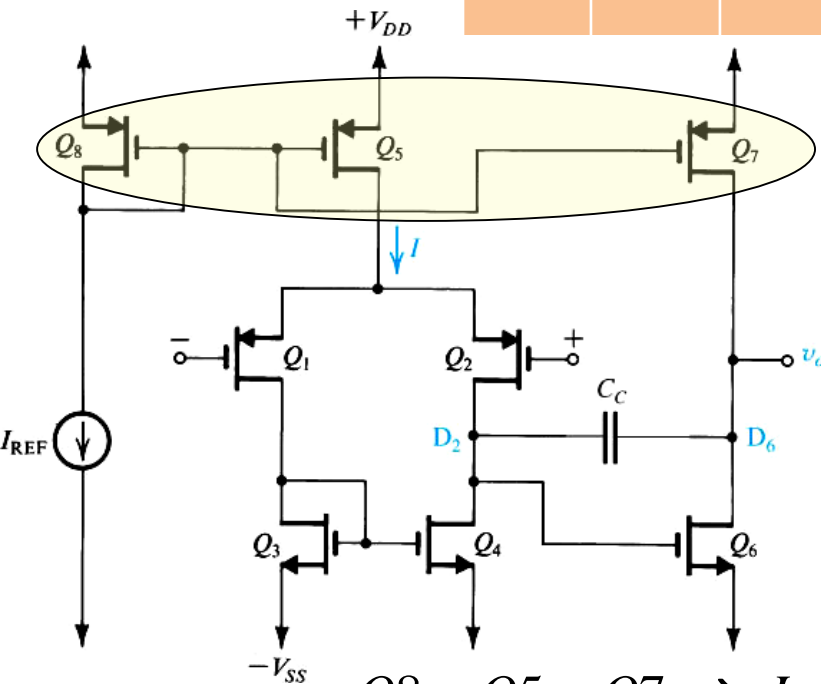
$$A_1 = -g_{m1}(r_{o2} \parallel r_{o4})$$

$$A_2 = -g_{m6}(r_{o6} \parallel r_{o7})$$



Παράδειγμα ανάλυσης τελεστικού ενισχυτή MOS (1/3)

| Q ₁ | Q ₂ | Q ₃ | Q ₄ | Q ₅ | Q ₆ | Q ₇ | Q ₈ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 20/0.8 | 20/0.8 | 5/0.8 | 5/0.8 | 40/0.8 | 10/0.8 | 40/0.8 | 40/0.8 |



$$I_{REF} = 90 \mu\text{A}, V_{tn} = 0.7 \text{ V}, V_{tp} = -0.8 \text{ V},$$

$$\mu_n C_{ox} = 160 \mu\text{A/V}^2, \mu_p C_{ox} = 40 \mu\text{A/V}^2,$$

$$|V_A| = 10 \text{ V}, V_{DD} = V_{SS} = 2.5 \text{ V}.$$

Ζητούνται για όλα τα τρανζίστορ τα I_D , $|V_{OV}|$, $|V_{GS}|$, g_m και r_o . Να υπολογιστούν επίσης τα κέρδη A_1 , A_2 , το dc κέρδος τάσης ανοικτού βρόχου A_0 , η περιοχή κοινού σήματος εισόδου και το εύρος τάσης εξόδου. Να αγνοηθεί η επίδραση της V_A στο ρεύμα πόλωσης.

$$Q_8 = Q_5 = Q_7 \Rightarrow I = I_{REF} = I_{D7} = I_{D6} = 90 \mu\text{A}$$

$$I_D = \frac{1}{2} (\mu C_{ox}) (W/L) V_{OV}^2$$

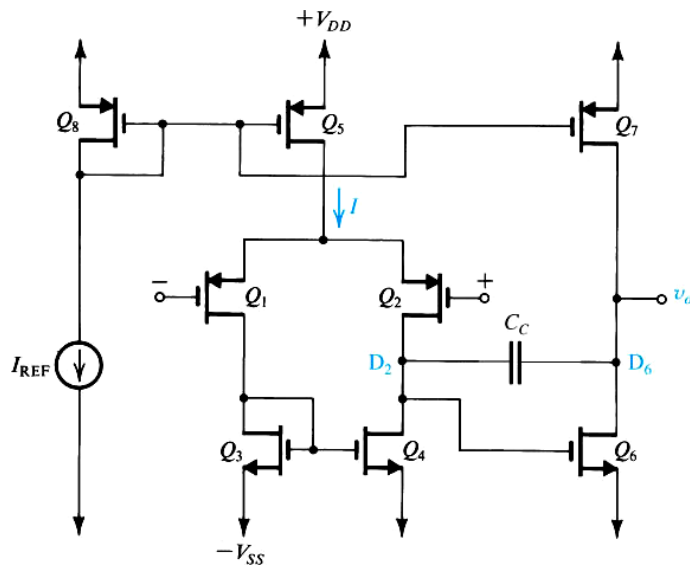
$$|V_{GS}| = |V_t| + |V_{OV}|$$

$$g_m = 2I_D / |V_{OV}|$$

$$r_o = |V_A| / I_D$$

Παράδειγμα ανάλυσης τελεστικού ενισχυτή MOS (2/3)

| | Q ₁ | Q ₂ | Q ₃ | Q ₄ | Q ₅ | Q ₆ | Q ₇ | Q ₈ |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $I_D (\mu A)$ | 45 | 45 | 45 | 45 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| $ V_{OV} (V)$ | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| $ V_{GS} (V)$ | 1.1 | 1.1 | 1 | 1 | 1.1 | 1 | 1.1 | 1.1 |
| $g_m (mA/V)$ | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| $r_o (k\Omega)$ | 222 | 222 | 222 | 222 | 111 | 111 | 111 | 111 |



$$A_1 = -g_{m1}(r_{o2} \parallel r_{o4})$$

$$= -0.3(222 \parallel 222) = -33.3 \text{ V/V}$$

$$A_2 = -g_{m6}(r_{o6} \parallel r_{o7})$$

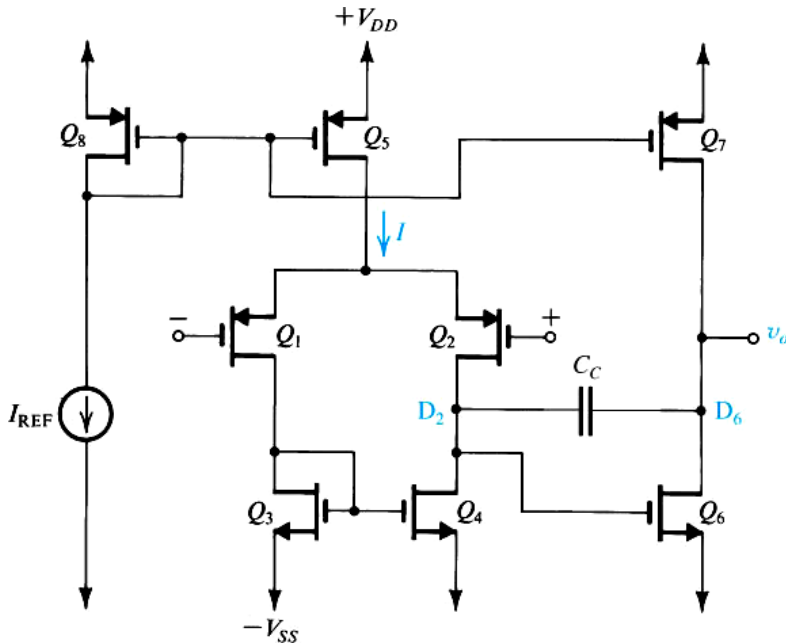
$$= -0.6(111 \parallel 111) = -33.3 \text{ V/V}$$

$$A_0 = A_1 A_2 = (-33.3) \times (-33.3) = 1109 \text{ V/V}$$

$$20 \log 1109 = 61 \text{ dB}$$



Παράδειγμα ανάλυσης τελεστικού ενισχυτή MOS (3/3)



| | Q ₁ | Q ₂ | Q ₃ | Q ₄ | Q ₅ | Q ₆ | Q ₇ | Q ₈ |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $I_D (\mu A)$ | 45 | 45 | 45 | 45 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| $ V_{OV} (V)$ | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| $ V_{GS} (V)$ | 1.1 | 1.1 | 1 | 1 | 1.1 | 1 | 1.1 | 1.1 |
| $g_m (mA/V)$ | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| $r_o (k\Omega)$ | 222 | 222 | 222 | 222 | 111 | 111 | 111 | 111 |

Για την είσοδο:

$$V_{D1} = V_{SS} + V_{GS3} = -2.5 + 1 = -1.5 \text{ V}$$

Για παραμονή του Q1 στον κορεσμό πρέπει:

$$V_{DS1} < V_{GS1} - V_{tp} \Rightarrow V_{D1} < V_{G1} - V_{tp} \Rightarrow$$

$$U_{iCMmin} = V_{D1} + V_{tp} = -1.5 - 0.8 = -2.3 \text{ V.}$$

Για παραμονή του Q5 στον κορεσμό πρέπει:

$$V_{SD5} \geq V_{OV5} \Rightarrow V_{D5} \leq 2.5 - 0.3 = 2.2 \text{ V} \Rightarrow U_{iCMmax} = V_{D5max}$$

$$-V_{GS1} = 2.2 - 1.1 = 1.1 \text{ V.}$$

Για την έξοδο:

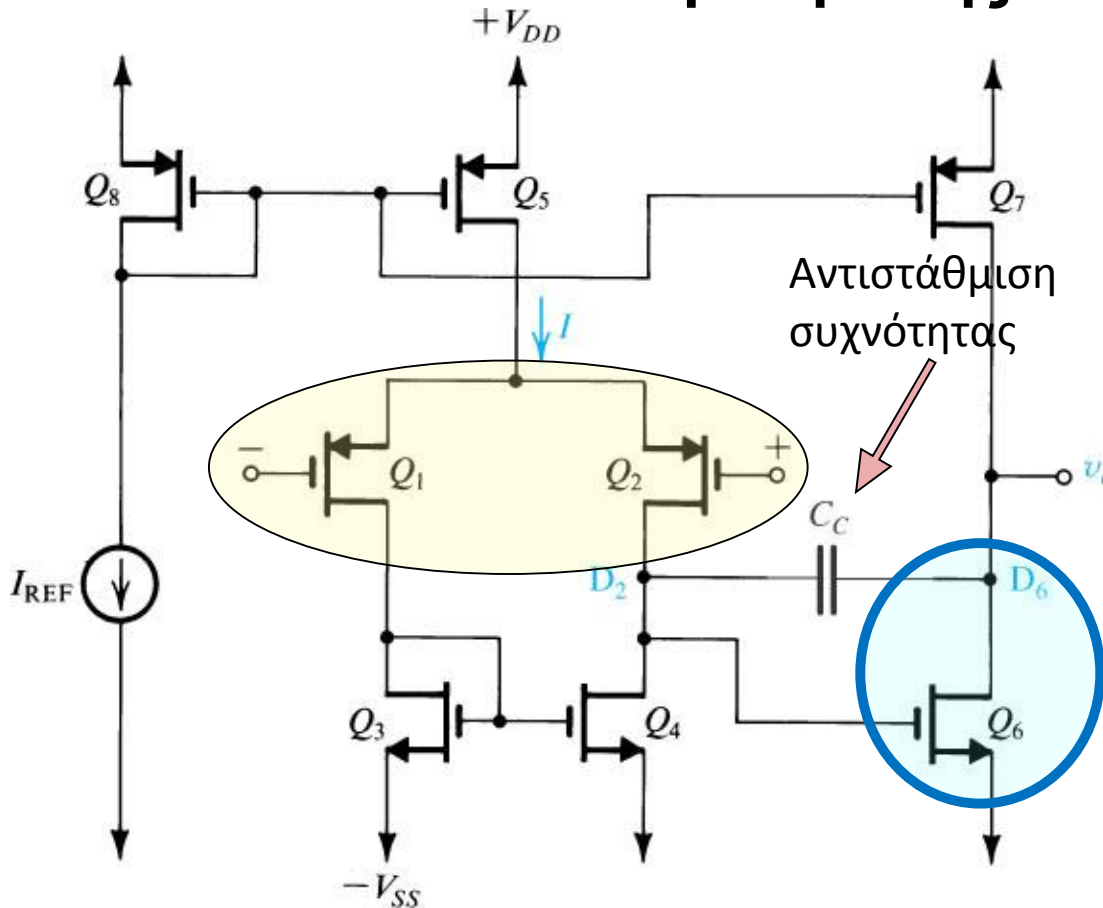
Για παραμονή του Q7 στον κορεσμό πρέπει: $V_{SD7} \geq V_{OV7} \Rightarrow$
 $V_{D7} \leq 2.5 - 0.3 = 2.2 \text{ V}$

Για παραμονή του Q6 στον κορεσμό πρέπει: $V_{DS6} \geq V_{OV6} \Rightarrow$
 $V_{D6} \geq -2.5 + 0.3 = -2.2 \text{ V}$



Τελεστικός ενισχυτής δύο βαθμίδων (1/3)

Τάση εκτροπής εισόδου V_{os}



Για γειωμένες εισόδους:

$$I_6 = \frac{(W/L)_6}{(W/L)_4} (I/2)$$

$$I_7 = \frac{(W/L)_7}{(W/L)_5} I$$

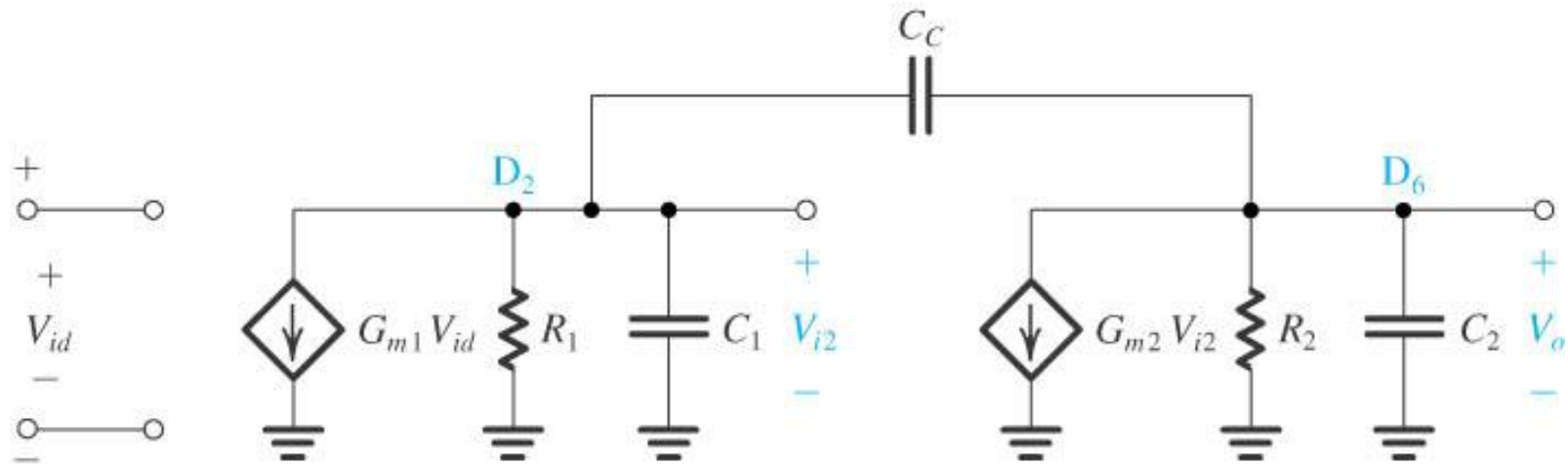
Πρέπει $I_6 = I_7$ άρα:

$$\frac{(W/L)_6}{(W/L)_4} = 2 \frac{(W/L)_7}{(W/L)_5}$$



Τελεστικός ενισχυτής δύο βαθμίδων (2/3)

Απόκριση συχνότητας



$$C_1 = c_{gd4} + C_{db4} + C_{gd2} + C_{db2} + C_{gs6}$$

$$C_2 = C_{db6} + C_{db7} + C_{gd7} + C_L$$

$$G_{m1} V_{id} + \frac{V_{i2}}{R_1} + sC_1 V_{i2} + sC_C (V_{i2} - V_o) = 0 \quad G_{m2} V_{i2} + \frac{V_o}{R_2} + sC_2 V_o + sC_C (V_o - V_{i2}) = 0$$

$$\frac{V_o}{V_{id}} = \frac{G_{m1} (G_{m2} - sC_C) R_1 R_2}{1 + s[C_1 R_1 + C_2 R_2 + C_C (G_{m2} R_1 R_2 + R_1 + R_2)] + s^2 [C_1 C_2 + C_C (C_1 + C_2)] R_1 R_2}$$



Τελεστικός ενισχυτής δύο βαθμίδων (3/3)

Απόκριση συχνότητας

$$\frac{V_o}{V_{id}} = \frac{G_{m1}(G_{m2} - sC_C)R_1R_2}{1 + s[C_1R_1 + C_2R_2 + C_C(G_{m2}R_1R_2 + R_1 + R_2)] + s^2[C_1C_2 + C_C(C_1 + C_2)]R_1R_2}$$

Μηδενικό:

$$\omega_Z = \frac{G_{m2}}{C_C}$$

Πόλοι:

$$\begin{aligned} D(s) &= \left(1 + \frac{s}{\omega_{p1}}\right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{p2}}\right) \\ &= 1 + s \left(\frac{1}{\omega_{p1}} + \frac{1}{\omega_{p2}}\right) + \frac{s^2}{\omega_{p1}\omega_{p2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_{p1} &= \frac{1}{C_1R_1 + C_2R_2 + C_C(G_{m2}R_2R_1 + R_1 + R_2)} \\ &= \frac{1}{R_1[C_1 + C_C(1 + G_{m2}R_2)] + R_2(C_2 + C_C)} \\ &\cong \frac{1}{R_1[C_1 + C_C(1 + G_{m2}R_2)]} \cong \frac{1}{R_1C_CG_{m2}R_2} \end{aligned}$$

Για $\omega_{p2} \gg \omega_{p1}$ θα είναι:

$$D(s) \cong 1 + \frac{s}{\omega_{p1}} + \frac{s^2}{\omega_{p1}\omega_{p2}}$$

$$\omega_{p2} = \frac{G_{m2}C_C}{C_1C_2 + C_C(C_1 + C_2)} \cong \frac{G_{m2}}{C_2}$$

$$\omega_t = (G_{m1}R_1G_{m2}R_2)\omega_{p1} = \frac{G_{m1}}{C_C}$$

Επιλογή C_C ώστε $\omega_t < \omega_Z, \omega_{p2}$



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζόπουλος Αλκιβιάδης. «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΙΙΙ, Σχεδίαση τελεστικών ενισχυτών». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

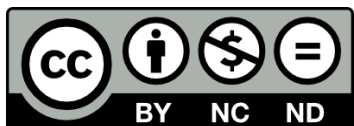
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2013-2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

