



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Σχεδίαση Μεικτών VLSI Κυκλωμάτων

Ενότητα 7: Απόκριση κατά συχνότητα των
ενισχυτών

Αγγελική Αραπογιάννη

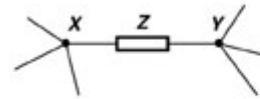
Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

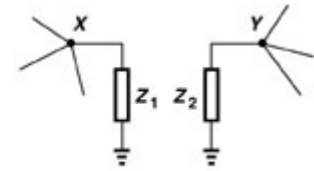
Το φαινόμενο Miller

Το θεώρημα του Miller Αν το κύκλωμα του (a) μπορεί να μετασχηματιστεί σε αυτό του (b), τότε $Z_1 = Z/(1 - A_v)$ και $Z_2 = Z/(1 - A_v^{-1})$, όπου $A_v = V_Y/V_X$.

$$\frac{V_X - V_Y}{Z} = \frac{V_X}{Z_1} \quad Z_1 = \frac{Z}{1 - \frac{V_Y}{V_X}} \quad Z_2 = \frac{Z}{1 - \frac{V_X}{V_Y}}$$



(a)

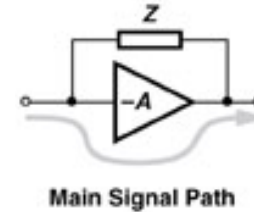
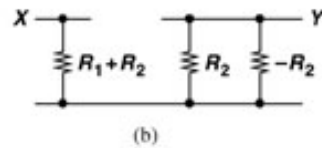
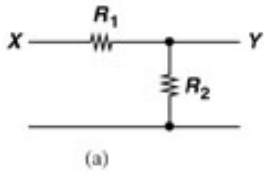


(b)

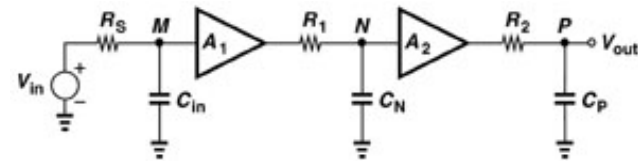


Σύνδεση των πόλων με τους κόμβους

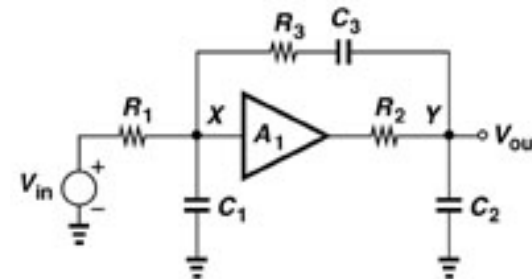
Πότε μπορεί να εφαρμοστεί το θεώρημα Miller;



$$\frac{V_{out}}{V_{in}}(s) = \frac{A_1}{1 + R_S C_{in} s} \cdot \frac{A_2}{1 + R_1 C_N s} \cdot \frac{1}{1 + R_2 C_P s}$$



Πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και τα μηδενικά ή ρίζες, που χάνονται με την εφαρμογή του θεωρήματος Miller.



Βαθμίδα κοινής-πηγής (1 από 4)

Για $\lambda=0$

$$C_{GS} + (1 - A_V)C_{GD}, \text{ όπου } A_V = -g_m R_D$$

$$C_{DB} + (1 - A_V^{-1})C_{GD} \approx C_{DB} + C_{GD}$$

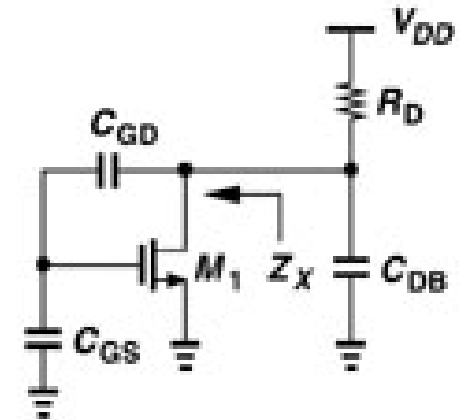
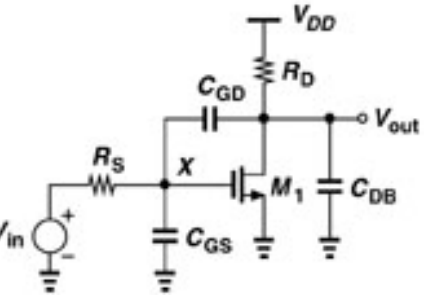
$$\omega_{in} = \frac{1}{R_S [C_{GS} + (1 + g_m R_D)C_{GD}]} \quad \omega_{out} = \frac{1}{R_D (C_{DB} + C_{GD})}$$

Για $R_S \gg Z_X$ $Z_X = \frac{1}{C_{eq} s} \left\| \left(\frac{C_{GD} + C_{GS}}{C_{GD}} \cdot \frac{1}{g_{m1}} \right) \right.$ $C_{eq} = C_{GD} C_{GS} / (C_{GD} + C_{GS})$

$$\omega_{out} = \frac{1}{R_D \left\| \left(\frac{C_{GD} + C_{GS}}{C_{GD}} \cdot \frac{1}{g_{m1}} \right) \right\| (C_{eq} + C_{DB})}$$

Υποθέτουμε ότι η συνάρτηση μεταφοράς είναι:

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{-g_m R_D}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{in}}\right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{out}}\right)}$$



Όπου όμως δεν έχουν υπολογιστεί οι ρίζες.



Βαθμίδα κοινής-πηγής (2 από 4)

Για μεγαλύτερη ακρίβεια.

$$V_X = -\frac{V_{out} \left(C_{GD}s + \frac{1}{R_D} + C_{DB}s \right)}{g_m - C_{GD}s} \quad \frac{V_X - V_{in}}{R_S} + V_X C_{GS}s + (V_X - V_{out}) C_{GD}s = 0$$

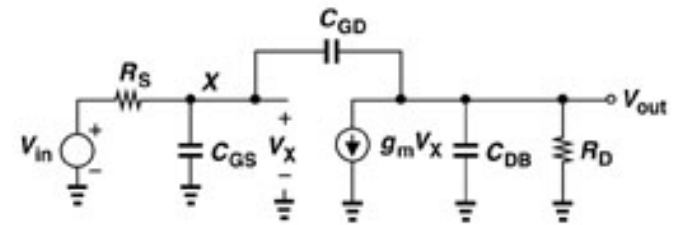
$$(V_{out} - V_X) C_{GD}s + g_m V_X + V_{out} \left(\frac{1}{R_D} + C_{DB}s \right) = 0 \Rightarrow$$

$$-V_{out} \frac{[R_S^{-1} + (C_{GS} + C_{GD})s][R_D^{-1} + (C_{GD} + C_{DB})s]}{g_m - C_{GD}s} - V_{out} C_{GD}s = \frac{V_{in}}{R_S}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}(s)} = \frac{(C_{GD}s - g_m)R_D}{R_S R_D \xi s^2 + [R_S(1 + g_m R_D)C_{GD} + R_S C_{GS} + R_D(C_{GD} + C_{DB})]s + 1}$$

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

$$\text{Όπου } \xi = C_{GS}C_{GD} + C_{GS}C_{DB} + C_{GD}C_{DB}$$



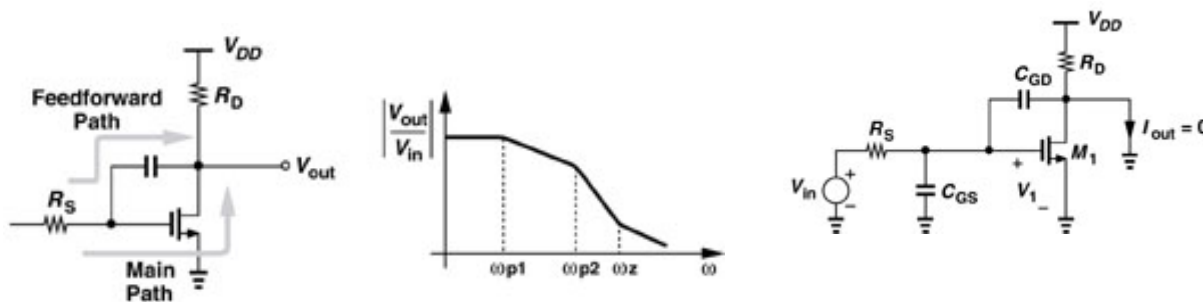
Βαθμίδα κοινής-πηγής (3 από 4)

Αν $\omega_{p1} \ll \omega_{p2} \Rightarrow \omega_{p1} = \frac{1}{R_S(1+g_m R_D)C_{GD} + R_S C_{GS} + R_D(C_{GD} + C_{DB})} \rightarrow \omega_{in}$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{\omega_{p1}} \cdot \frac{1}{R_S R_D (C_{GS} C_{GD} + C_{GS} C_{DB} + C_{GD} C_{DB})} = \frac{R_S(1+g_m R_D)C_{GD} + R_S C_{GS} + R_D(C_{GD} + C_{DB})}{R_S R_D (C_{GS} C_{GD} + C_{GS} C_{DB} + C_{GD} C_{DB})}$$

Αν $C_{GS} \gg (1+g_m R_D)C_{GD} + R_D(C_{GD} + C_{DB})/R_S \Rightarrow \omega_{p2} \approx \frac{R_S C_{GS}}{R_S R_D (C_{GS} C_{GD} + C_{GS} C_{DB})} = \frac{1}{R_D(C_{GD} + C_{DB})}$

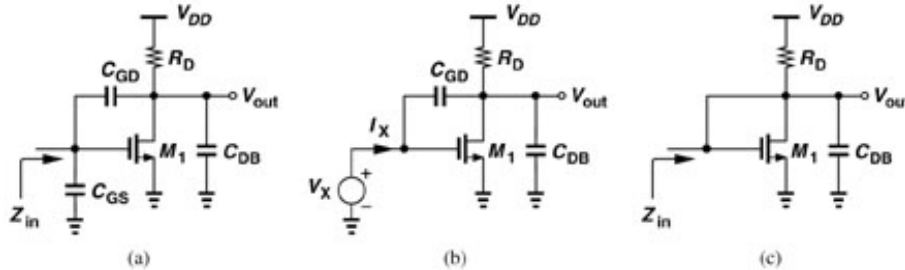
Υπάρχει ρίζα για $\omega_z = g_m / C_{GD}$



$$V_1 C_{GD} s_Z = g_m V_1$$

Βαθμίδα κοινής-πηγής (4 από 4)

Αντίσταση εισόδου



Α' προσέγγιση

$$Z_{in} = \frac{1}{[C_{GS} + (1 + g_m R_D)C_{GD}]s}$$

Ακριβέστερα

$$(I_X - g_m V_X) \frac{R_D}{1 + R_D C_{DB} s} + \frac{I_X}{C_{GD} s} = V_X \Rightarrow \frac{V_X}{I_X} = \frac{1 + R_D (C_{GD} + C_{DB}) s}{C_{GD} s (1 + g_m R_D + R_D C_{DB} s)} \quad Z_{in} = \frac{1}{C_{GS} s} \parallel \frac{V_X}{I_X}$$

Αν $|R_D (C_{GD} + C_{DB}) s| \ll 1$ και $|R_D C_{DB} s| \ll 1 + g_m R_D \Rightarrow [(1 + g_m R_D) C_{GD} s]^{-1} \Rightarrow$ κυρίως χωρητική αντίσταση εισόδου

Για $\omega \gg$ και $C_{GD} \gg$, από το (c) $\Rightarrow Z_{in} = R_D // (1/g_m)$



Ακολουθητής πηγής (1 από 3)

Κόμβος εξόδου

$$V_1 C_{GS} s + g_m V_1 = V_{out} C_L s \Rightarrow V_1 = \frac{C_L s}{g_m + C_{GS} s} V_{out}$$

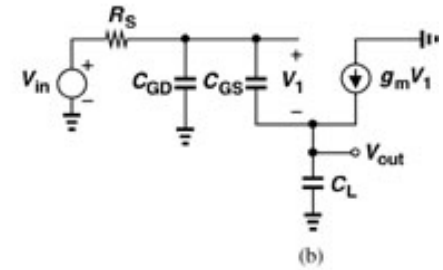
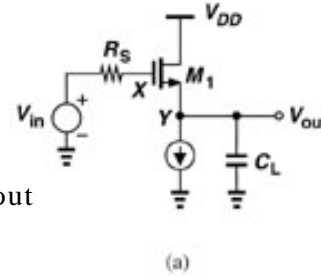
Τάσεις εισόδου

$$V_{in} = R_S [V_1 C_{GS} s + (V_1 + V_{out}) C_{GD} s] + V_1 + V_{out}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}}(s) = \frac{g_m + C_{GS} s}{R_S (C_{GS} C_L + C_{GS} C_{GD} + C_{GD} C_L) s^2 + (g_m R_S C_{GD} + C_L + C_{GS}) s + g_m}$$

$$\omega_{p1} \approx \frac{g_m}{g_m R_S C_{GD} + C_L + C_{GS}} = \frac{1}{R_S C_{GD} + \frac{C_L + C_{GS}}{g_m}}$$

Αν $R_S = 0$, τότε
 $\omega_{p1} = g_m / (C_L + C_{GS})$



Ακολουθητής πηγής (2 από 3)

Αντίσταση εισόδου του
ακολουθητή πηγής

Σε χαμηλές συχνότητες, $g_{mb} \gg |C_L s| \Rightarrow$

$$V_X = \frac{I_X}{C_{GS} s} + \left(I_X + \frac{g_m I_X}{C_{GS} s} \right) \left(\frac{1}{g_{mb}} \parallel \frac{1}{C_L s} \right)$$

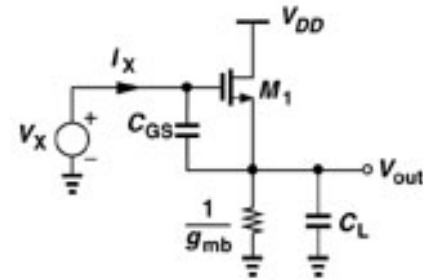
$$Z_{in} = \frac{1}{C_{GS} s} + \left(1 + \frac{g_m}{C_{GS} s} \right) \frac{1}{g_{mb} + C_L s}$$

$$Z_{in} \approx \frac{1}{C_{GS} s} \left(1 + \frac{g_m}{g_{mb}} \right) + \frac{1}{g_{mb}}$$

Σε υψηλές συχνότητες, $g_{mb} \ll |C_L s| \Rightarrow$

$$Z_{in} \approx \frac{1}{C_{GS} s} + \frac{1}{C_L s} + \frac{g_m}{C_{GS} C_L s^2}$$

Αντίσταση με αρνητικό ωμικό
μέρος



Ακολουθητής πηγής (3 από 3)

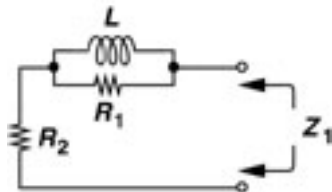
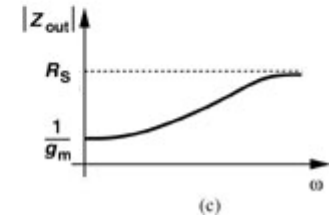
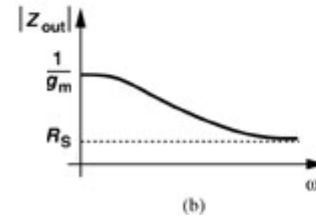
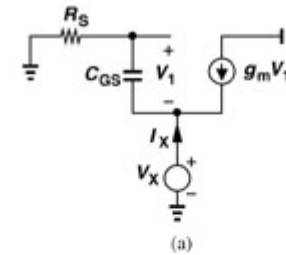
Αντίσταση εξόδου του ακολουθητή πηγής

Παραλείποντας την C_{GD} , έχουμε:

$$Z_{out} = \frac{V_X}{I_X} = \frac{R_S C_{GS} s + 1}{g_m + C_{GS} s}$$

Σε χαμηλές συχνότητες, $Z_{out} \approx 1/g_m$

Σε πολύ υψηλές συχνότητες, $Z_{out} \approx R_S$

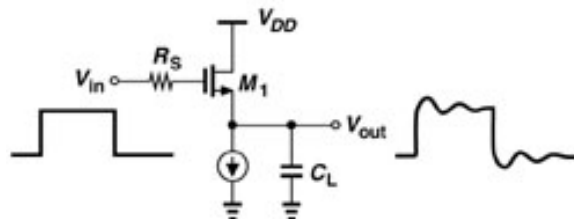


$Z_1 = Z_{out}$, αν $R_2 = 1/g_m$, $R_1 = R_S - 1/g_m$ και κατάλληλο L

$$Z_{out} - \frac{1}{s_m} = \frac{C_{GS} s \left(R_S - \frac{1}{g_m} \right)}{g_m + C_{GS} s}$$

$$\frac{1}{Z_{out} - \frac{1}{g_m}} = \frac{1}{R_S - \frac{1}{g_m}} + \frac{1}{\frac{C_{GS} s}{g_m} \left(R_S - \frac{1}{g_m} \right)}$$

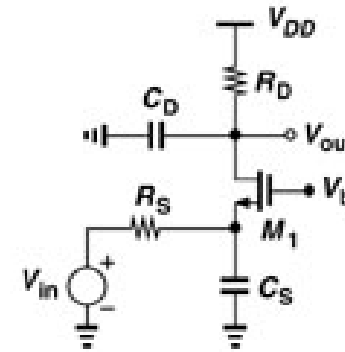
$$L = \frac{C_{GS}}{g_m} \left(R_S - \frac{1}{g_m} \right)$$



Βαθμίδα κοινής πύλης

Για $\lambda=0$ οι κόμβοι εισόδου και εξόδου είναι απομονωμένοι και δεν υπάρχει φαινόμενο Miller

$$\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{(g_m + g_{mb})R_D}{1 + (g_m + g_{mb})R_S} \frac{1}{\left(1 + \frac{C_S s}{g_m + g_{mb} + R_S^{-1}}\right)(1 + R_D C_D s)}$$



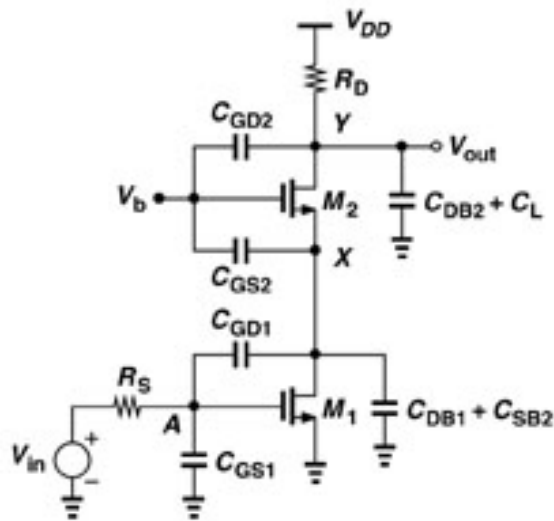
Για $\lambda \neq 0$.

$$Z_{in} \approx \frac{Z_L}{(g_m + g_{mb})r_O} + \frac{1}{g_m + g_{mb}}$$

Όπου $Z_L = R_D \parallel [1/(C_D s)]$

Η αντίσταση εξόδου μειώνεται στις ΥΣ αν $R_S \gg$

Βαθμίδα σε συνδεσμολογία σειράς



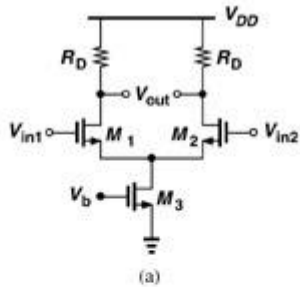
$$\omega_{p,A} = \frac{1}{R_S \left[C_{GS1} + \left(1 + \frac{g_{m1}}{g_{m2} + g_{mb2}} \right) C_{GD1} \right]}$$

$$\omega_{p,X} = \frac{g_{m2} + g_{mb2}}{2C_{GD1} + C_{DB1} + C_{SB2} + C_{GS2}}$$

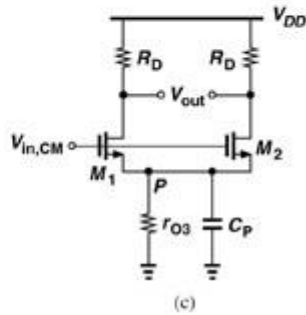
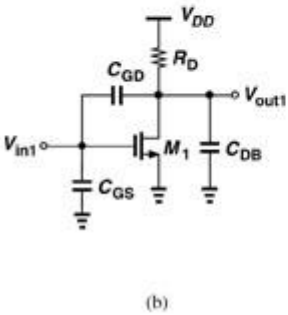
$$\omega_{p,Y} = \frac{1}{R_D (C_{DB2} + C_L + C_{GD2})}$$

Διαλέγουμε $\omega_{pX} > \omega_{pA}, \omega_{pY}$

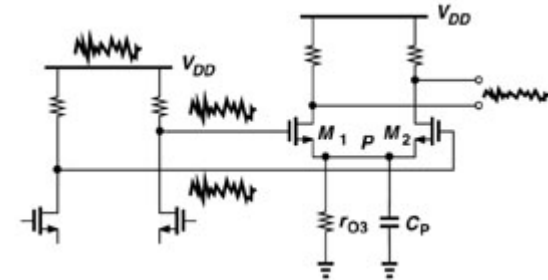
Διαφορικό ζεύγος



- Για διαφορική λειτουργία ο αριθμός των πόλων ισούται με εκείνον της κάθε διαδρομής.
- Για λειτουργία κοινού τρόπου επικρατεί ο πόλος από την C_p .



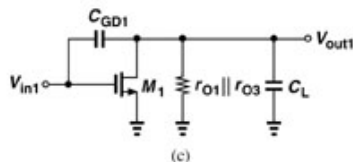
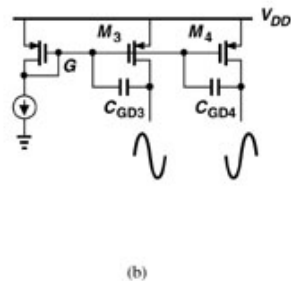
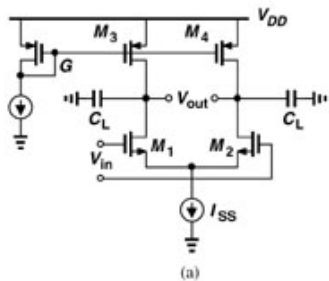
$$A_{v,CM} = - \frac{\Delta g_m \left[R_D \left\| \left(\frac{1}{C_L S} \right) \right\| \right]}{(g_{m1} + g_{m2}) \left[R_{SS} \left\| \left(\frac{1}{C_{pS}} \right) \right\| \right] + 1}$$



Διαφορικό ζεύγος με φόρτο υψηλής αντίστασης.

Η υψηλή αντίσταση κάνει τον πόλο εξόδου κυρίαρχο.

Οι μεταβολές από τα C_{GD3} και C_{GD4} αντισταθμίζονται.



Διαφορικό ζεύγος με ενεργό φόρτο

Ο πόλος που συνδέεται με τον κόμβο E ονομάζεται «πόλος καθρέφτη».

$$V_E = (V_{out} - V_X) \frac{1}{\frac{C_E s + g_{mP}}{1} + R_X}$$

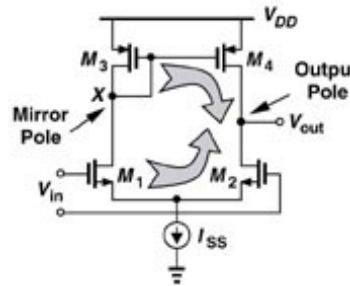
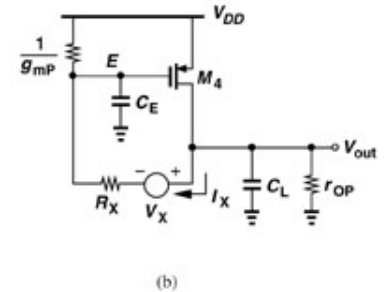
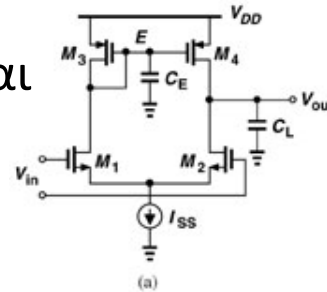
$$-g_{m4} V_E - I_X = V_{out} (C_L s + r_{op}^{-1})$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{g_{mN} r_{ON} (2g_{mP} + C_E s)}{2r_{OP} r_{ON} C_E C_L s^2 + [(2r_{ON} + r_{OP}) C_E + r_{OP} (1 + 2g_{mP} r_{ON}) C_L] s + 2g_{mP} (r_{ON} + r_{OP})}$$

$$\omega_{p1} \approx \frac{2g_{mP} (r_{ON} + r_{OP})}{(2r_{ON} + r_{OP}) C_E + r_{OP} (1 + 2g_{mP} r_{ON}) C_L} \quad \omega_{p1} \approx \frac{1}{(r_{ON} \parallel r_{OP}) C_L} \Rightarrow$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A_0}{1 + s/\omega_{p1}} \left(\frac{1}{1 + s/\omega_{p2}} + 1 \right) = \frac{A_0 (2 + s/\omega_{p2})}{(1 + s/\omega_{p1})(1 + s/\omega_{p2})}$$

Το κύκλωμα παρουσιάζει και ένα μηδενικό στο $2\omega_{p2}$.



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Αραπογιάννη Αγγελική 2015. «Σχεδίαση Μεικτών VLSI Κυκλωμάτων. Απόκριση κατά συχνότητα των ενισχυτών.». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI101/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 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».



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

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

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



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.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Οι εικόνες και τα διαγράμματα που χρησιμοποιούνται είναι από το βιβλίο:

Behzad Razavi. 2000. *Design of Analog CMOS Integrated Circuits* (1 ed.). McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA ©2000.

