



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Σχεδίαση Μεικτών VLSI Κυκλωμάτων

Ενότητα 4: Τεχνικές βελτίωσης των επιδόσεων των ενισχυτών μια βαθμίδα

Αγγελική Αραπογιάννη

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

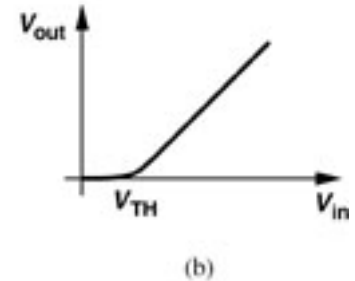
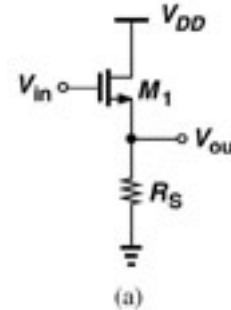
Ακολουθητής πηγής

Αν $V_{in} < V_{TH} \Rightarrow V_{out} = 0$

Αν $V_{in} > V_{TH} \Rightarrow \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{in} - V_{TH} - V_{out})^2 R_S = V_{out}$

Επειδή για $V_{in} \leq V_{DD}$ πάντοτε $V_{DS} > V_{GS} - V_T$

$$\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} 2(V_{in} - V_{TH} - V_{out}) \left(1 - \frac{\partial V_{TH}}{\partial V_{in}} - \frac{\partial V_{out}}{\partial V_{in}}\right) R_S = \frac{\partial V_{out}}{\partial V_{in}}$$

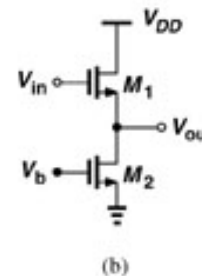
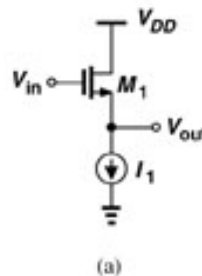
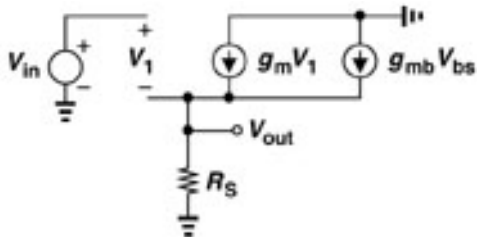
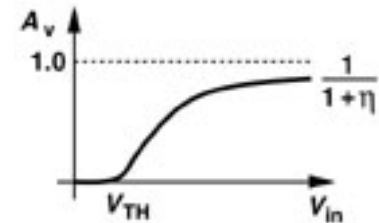


$$\frac{\partial V_{TH}}{\partial V_{in}} = \eta \frac{\partial V_{out}}{\partial V_{in}}$$

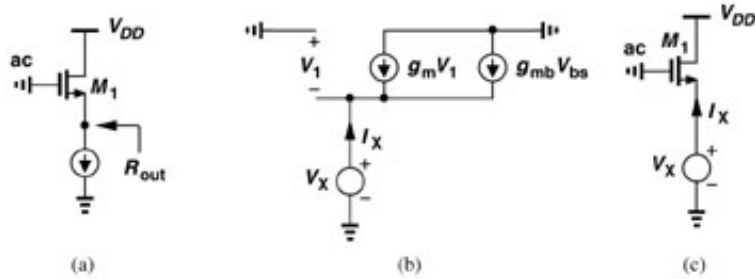
$$\frac{\partial V_{out}}{\partial V_{in}} = \frac{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{in} - V_{TH} - V_{out}) R_S}{1 + \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{in} - V_{TH} - V_{out}) R_S (1 + \eta)}$$

$$g_m = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{in} - V_{TH} - V_{out})$$

$$A_v = \frac{g_m R_S}{1 + (g_m + g_{mb}) R_S}$$

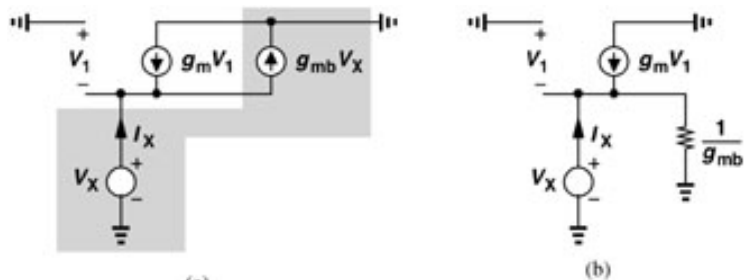


Αντίσταση εξόδου (1 από 2)

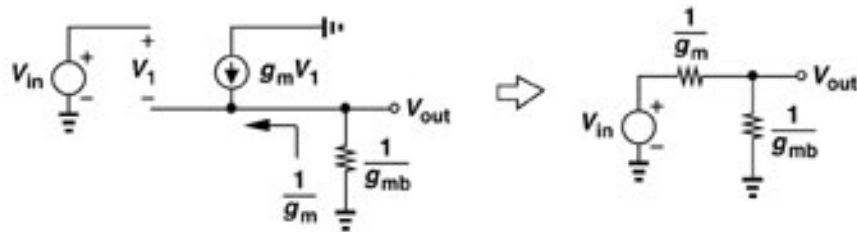


$$I_x - g_m V_{\chi} - g_{mb} V_{\chi} = 0$$

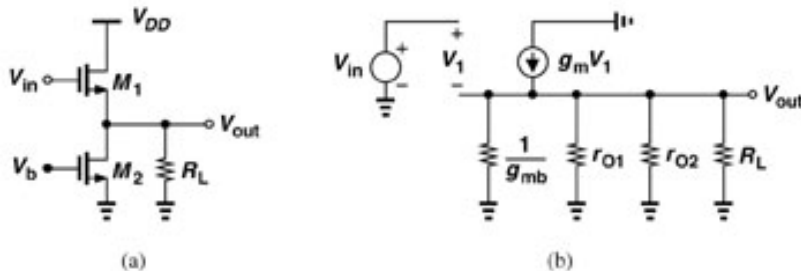
$$R_{out} = \frac{1}{g_m + g_{mb}}$$



$$R_{out} = \frac{1}{g_m} \parallel \frac{1}{g_{mb}} = \frac{1}{g_m + g_{mb}}$$



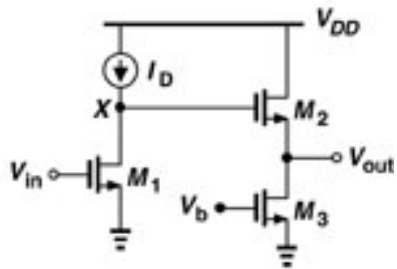
$$A_v \quad R_S = \infty \Rightarrow A_v = \frac{1}{\frac{1}{g_m} + \frac{1}{g_{mb}}} = \frac{g_m}{g_m + g_{mb}}$$



$$A_v \quad \lambda \neq 0 \Rightarrow A_v = \frac{\frac{1}{g_{mb}} \parallel r_{D1} \parallel r_{D2} \parallel R_L}{\frac{1}{g_{mb}} \parallel r_{D1} \parallel r_{D2} \parallel R_L + \frac{1}{g_m}}$$

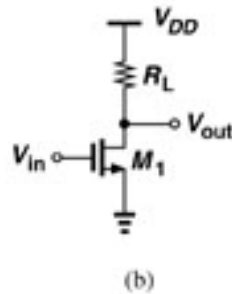
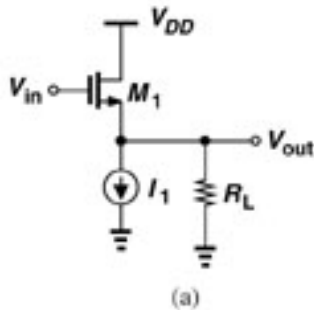
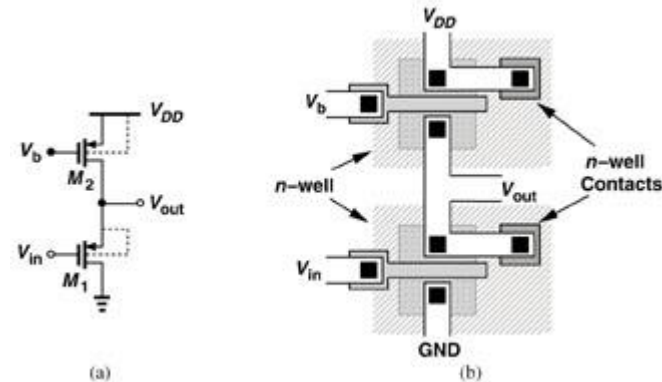
Αντίσταση εξόδου (2 από 2)

Όχι φαινόμενο σώματος αλλά μεγαλύτερη αντίσταση εξόδου.



Ολίσθηση της DC τάσης κατά V_{GS} .

$$V_X = V_{GS2} + V_{DS3} \geq V_{GS2} + (V_{GS3} - V_{TH3})$$



Η απολαβή για μικρή R_L .

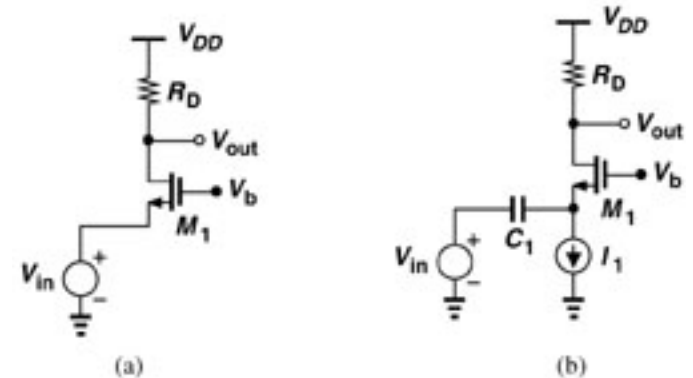
$$\left. \frac{V_{out}}{V_{in}} \right|_{SF} \approx \frac{R_L}{R_L + \frac{1}{g_{m1}}}$$

$$\left. \frac{V_{out}}{V_{in}} \right|_{CS} \approx -g_{m1} R_L$$

Βαθμίδα Κοινής Πύλης (1 από 3)

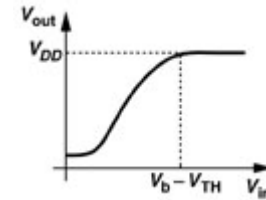
$$\text{Αν } V_{in} \geq V_b - V_{TH} \Rightarrow V_{out} = V_{DD}$$

$$\text{Αν } V_{in} < V_b - V_{TH} \Rightarrow I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_b - V_{in} - V_{TH})^2$$



$$\text{Αν } V_{DD} - \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_b - V_{in} - V_{TH})^2 R_D = V_b - V_{TH} \quad \text{τρίοδος}$$

$$\text{Στον κόρο: } V_{out} = V_{DD} - \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_b - V_{in} - V_{TH})^2 R_D$$



$$\frac{\partial V_{out}}{\partial V_{in}} = -\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_b - V_{in} - V_{TH}) \left(-1 - \frac{\partial V_{TH}}{\partial V_{in}}\right) \cdot R_D \quad \frac{\partial V_{TH}}{\partial V_{in}} = \frac{\partial V_{TH}}{\partial V_{SB}} = \eta$$

$$\frac{\partial V_{out}}{\partial V_{in}} = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} R_D (V_b - V_{in} - V_{TH}) (1 + \eta) = g_m (1 + \eta) R_D$$

Το φαινόμενο σώματος αυξάνει την απολαβή !

Αντίσταση εισόδου για $\lambda=0$ $1/(g_m + g_{mb}) = 1/[g_m (1 + \eta)]$

Το φαινόμενο σώματος μειώνει την αντίσταση εισόδου



Βαθμίδα Κοινής Πύλης (2 από 3)

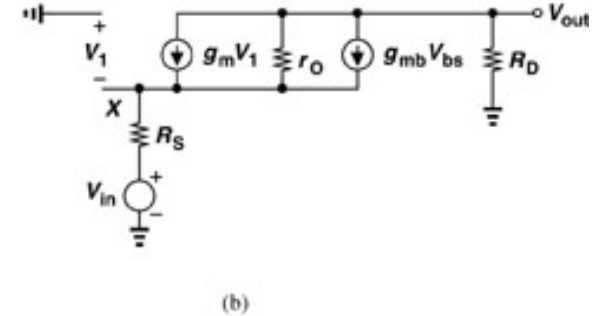
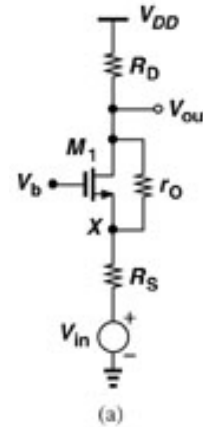
Απολαβή τάσης για $\lambda \neq 0$ και $R_S \neq 0$

$$V_1 - \frac{V_{out}}{R_D} R_S + V_{in} = 0$$

$$r_D \left(-\frac{V_{out}}{R_D} - g_m V_1 - g_{mb} V_1 \right) - \frac{V_{out}}{R_D} R_S + V_{in} = V_{out}$$

$$r_D \left[-\frac{V_{out}}{R_D} - (g_m + g_{mb}) \left(V_{out} \frac{R_S}{R_D} - V_{in} \right) \right] - \frac{V_{out}}{R_D} R_S + V_{in} = V_{out}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{(g_m + g_{mb}) r_D + 1}{r_D + (g_m + g_{mb}) r_D R_S + R_S + R_D} R_D$$



Βαθμίδα Κοινής Πύλης (3 από 3)

Οι αντιστάσεις εισόδου και εξόδου της τοπολογίας κοινής πύλης

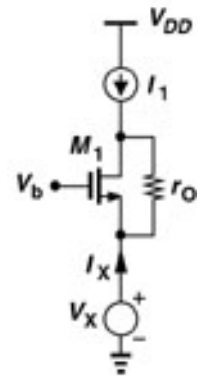
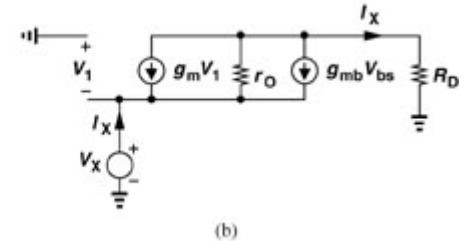
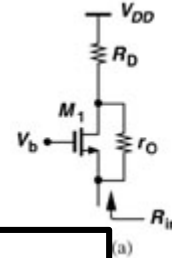
$$R_D I_X + r_D [I_X - (g_m + g_{mb}) V_X] = V_X$$

$$R_{in} = \frac{V_x}{I_x} = \frac{R_D + r_D}{1 + (g_m + g_{mb})r_D} \approx \frac{R_D}{(g_m + g_{mb})r_D} + \frac{1}{g_m + g_{mb}}$$

$$R_D = 0 \Rightarrow \frac{V_x}{I_x} = \frac{r_D}{1 + (g_m + g_{mb})r_D} = \frac{1}{\frac{1}{r_D} + g_m + g_{mb}} \quad \text{Όπως στον ακολουθητή πηγής.}$$

$R_{in} \Rightarrow \infty$ Άρα, η αντίσταση εισόδου της βαθμίδας κοινής πύλης είναι σχετικά μικρή μόνο αν η R_D είναι μικρή.

$R_{out} = \{ [1 + (g_m + g_{mb})r_D] R_S + r_D \} \parallel R_D$ Όπως στον CS με εκφυλισμό πηγής.



Συνδεσμολογία σειράς (cascode)

(1 από 3)

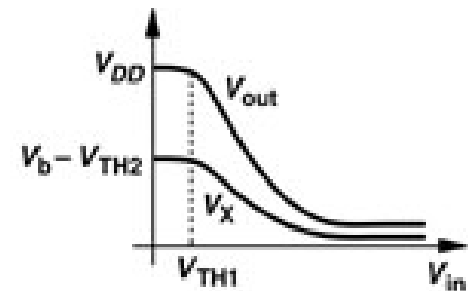
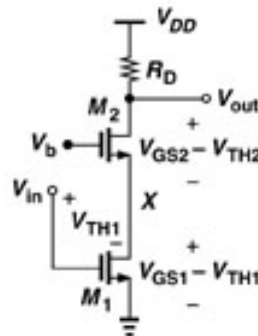
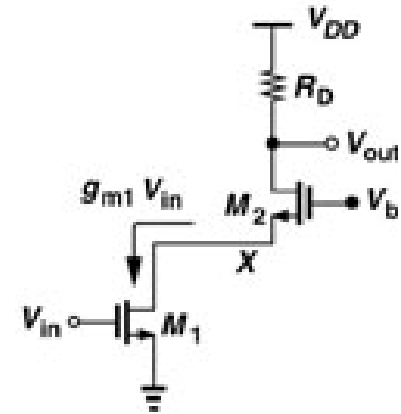
Για $V_X \geq V_{in} - V_{TH1} \Rightarrow M1$ στον κόρο.

Επειδή $V_X = V_b - V_{GS2} \Rightarrow V_b - V_{GS2} \geq V_{in} - V_{TH1}$ και επομένως $V_b > V_{in} + V_{GS2} - V_{TH1}$.

Για να είναι το $M2$ στον κόρο, πρέπει

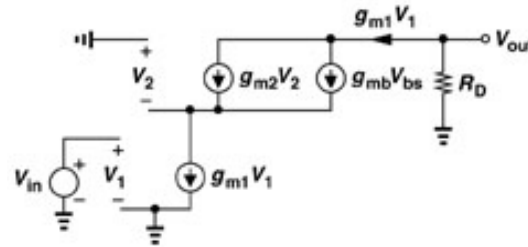
$$V_{out} \geq V_b - V_{TH2} \Rightarrow V_{out} \geq V_{in} - V_{TH1} + V_{GS2} - V_{TH2}$$

αν το V_b επιλεγεί έτσι ώστε να τοποθετεί το $M1$ στην αρχή του κόρου.



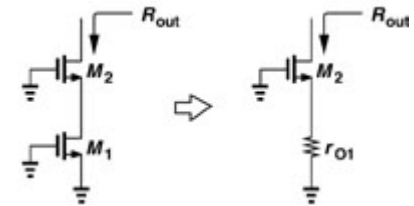
Συνδεσμολογία σειράς (cascode) (2 από 3)

Αν $\lambda = 0 \Rightarrow A_v = A_{vCS}$



$$R_{out} = [1 + (g_{m2} + g_{mb2})r_{D2}]r_{D1} + r_{D2}$$

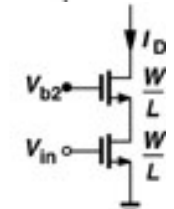
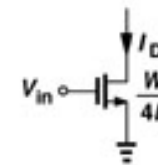
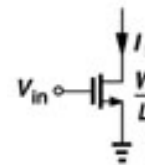
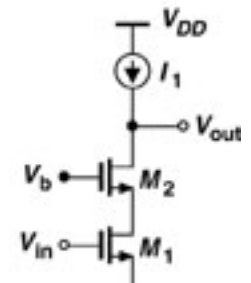
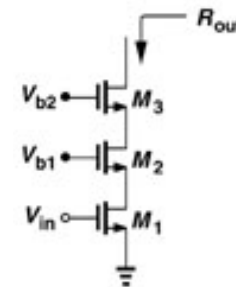
Υψηλή αντίσταση εξόδου.



$G_m \approx g_{m1}$ και $R_{out} \approx (g_{m2} + g_{mb2})r_{D2}r_{D1} \Rightarrow$

$$A_v = (g_{m2} + g_{mb2})r_{D2}g_{m1}r_{D1}$$

$$g_m r_D = \sqrt{2 \frac{W}{L} \mu_n C_{ox} I_D} \frac{1}{\lambda I_D}$$



(a)

(b)

(c)

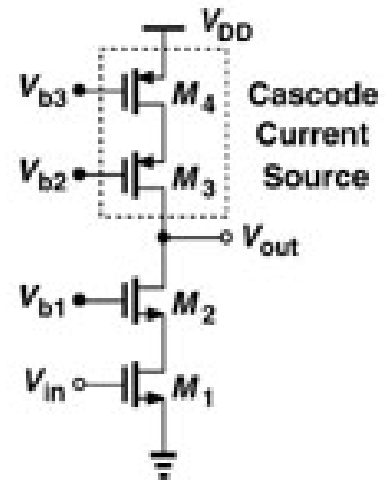


Συνδεσμολογία σειράς (cascode) (3 από 3)

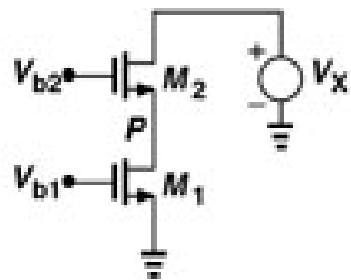
$$V_{DD} - (V_{GS1} - V_{TH1}) - (V_{GS2} - V_{TH2}) - |V_{GS3} - V_{TH3}| - |V_{GS4} - V_{TH4}|$$

$$R_{out} = \{ [1 + (g_{m2} + g_{mb2})r_{D2}]r_{D1} + r_{D2} \} \parallel \{ [1 + (g_{m3} + g_{mb3})r_{D3}]r_{D4} + r_{D3} \}$$

$$|A_v| \approx g_{m1} R_{out} \quad |A_v| \approx g_{m1} [(g_{m2} r_{D2} r_{D1}) \parallel (g_{m3} r_{D3} r_{D4})]$$



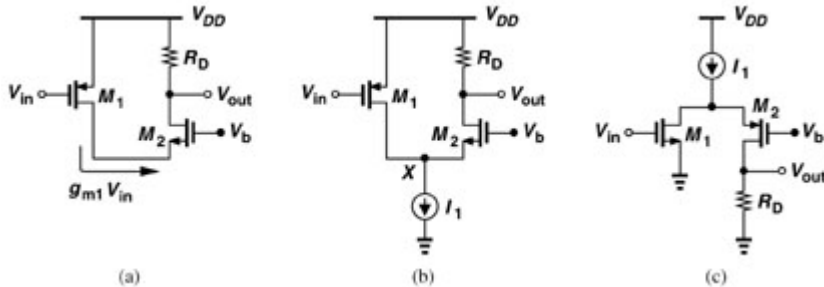
Ιδιότητα θωράκισης



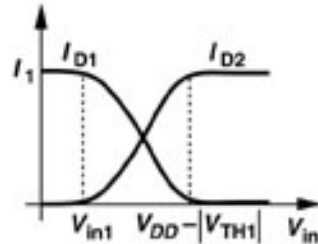
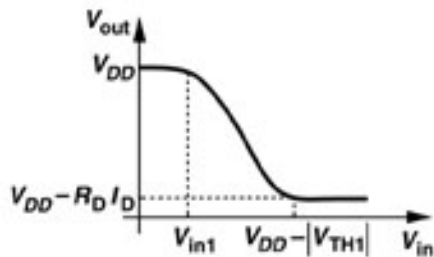
$$I_{D2} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_2 [2(V_{b2} - V_P - V_{TH2})(V_X - V_P) - (V_X - V_P)^2]$$



Αναδιπλωμένη συνδεσμολογία σειράς



Για $V_{in} < V_{DD} - |V_{TH1}| \Rightarrow M1$ στον κόρο



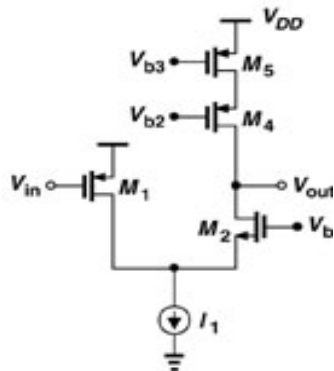
$$I_{D2} = I_1 - \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_1 (V_{DD} - V_{in} - |V_{TH1}|)^2$$

Για $V_{in} \ll \Rightarrow I_{D2} = 0$

$$\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_1 (V_{DD} - V_{in} - |V_{TH1}|)^2 = I_1$$

$$V_{in} = V_{DD} - \sqrt{\frac{2I_1}{\mu_p C_{ox} (W/L)_1}} - |V_{TH1}|$$

$$V_X \rightarrow V_{DD}$$



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. Τεχνικές βελτίωσης των επιδόσεων των ενισχυτών μιας βαθμίδας.». 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 .

