

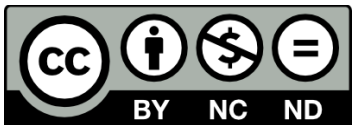


ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΙΙ

Ενότητα 1: Διαφορικός ενισχυτής (MOS)

Χατζόπουλος Αλκιβιάδης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχ. Υπολογιστών



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

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.



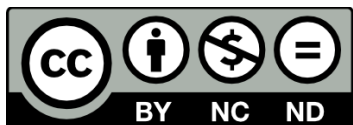
Σχεδιασμός ενοτήτων:

- 1. Διαφορικός ενισχυτής (MOS)
- 2. Διαφορικός ενισχυτής (BJT)
- 3. Ενισχυτές στις χαμηλές συχνότητες
- 4. Ενισχυτές στις υψηλές συχνότητες
- 5. Πολυβάθμιοι ενισχυτές
- 6. Ανάδραση
- 7. Τελεστικός ενισχυτής
- 8. Ταλαντωτές – Γεννήτριες σήματος





ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ (MOS)



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



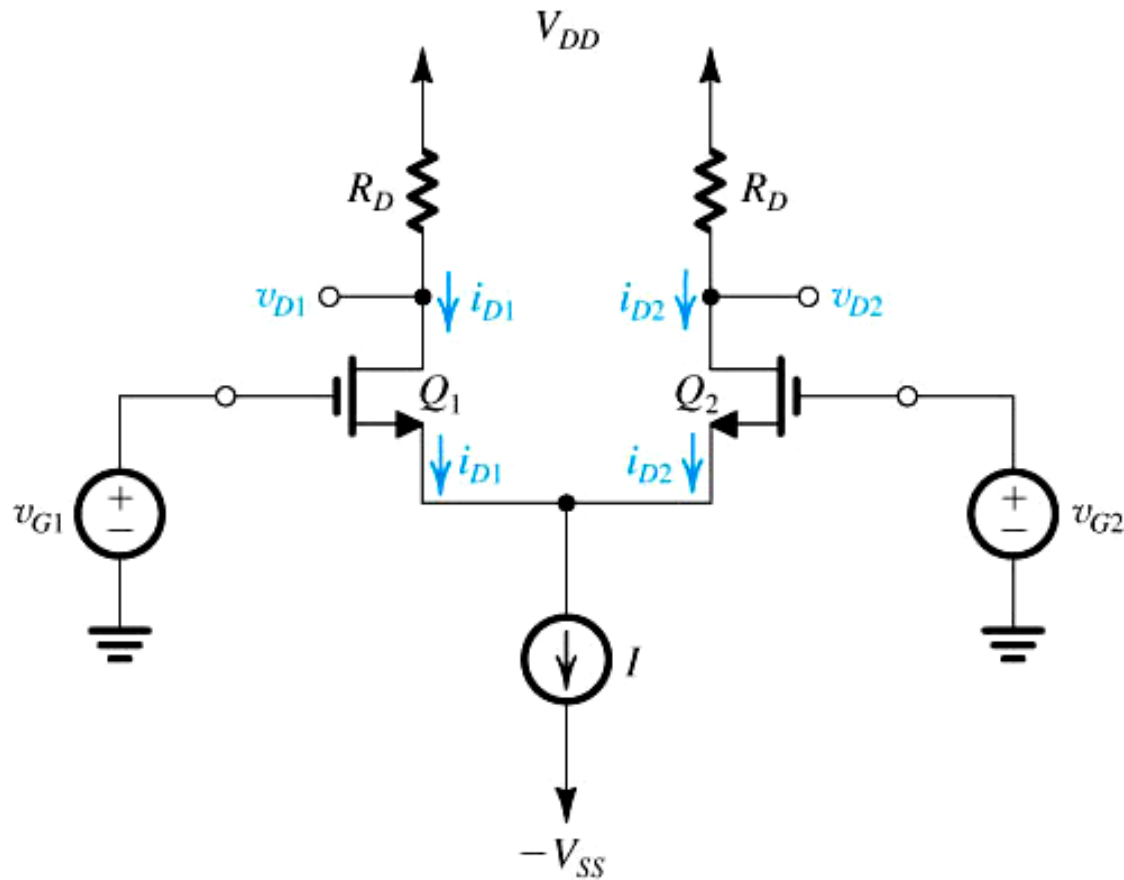
ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

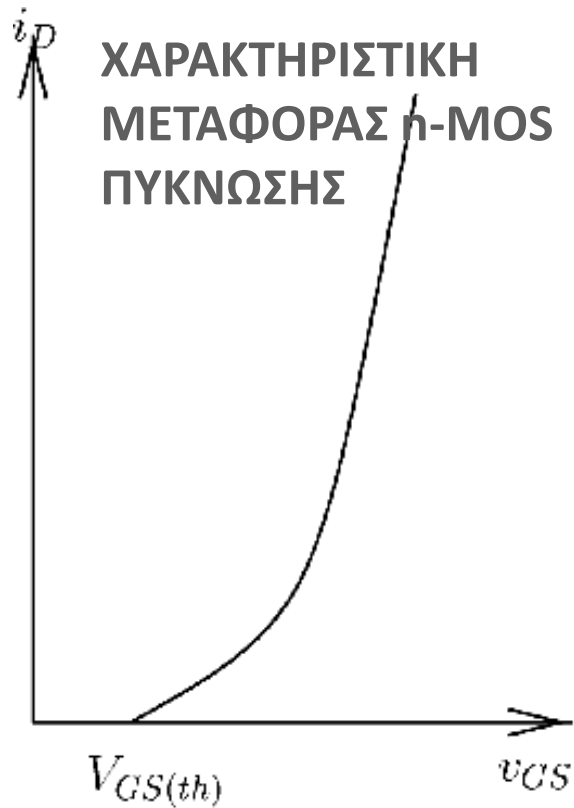
1. Εισαγωγή – Δ.Ε. με κοινό σήμα- παράδειγμα (διαφ. 7- 11)
2. Δ.Ε. με μεγάλο σήμα εισόδου (διαφ. 12- 16)
3. Δ.Ε. με μικρό σήμα εισόδου (διαφ. 17- 23)
4. Επίδραση ασυμμετριών στην συμπεριφορά του Δ.Ε. (διαφ. 24 – 30)
5. Δ.Ε. με ενεργό φορτίο (διαφ. 31-37)



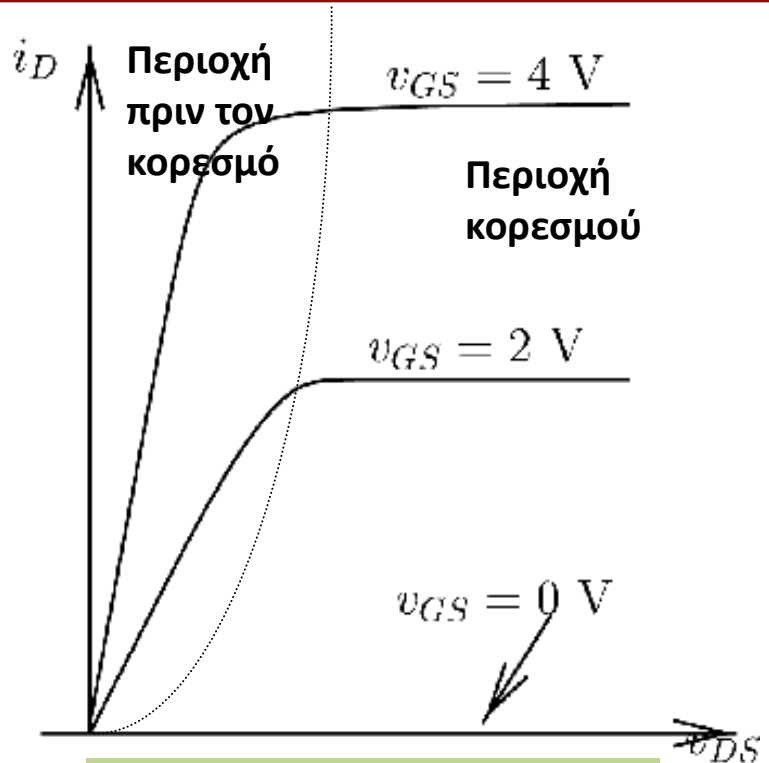
Διαφορικός ενισχυτής MOS



MOS Πύκνωσης - διαύλου n



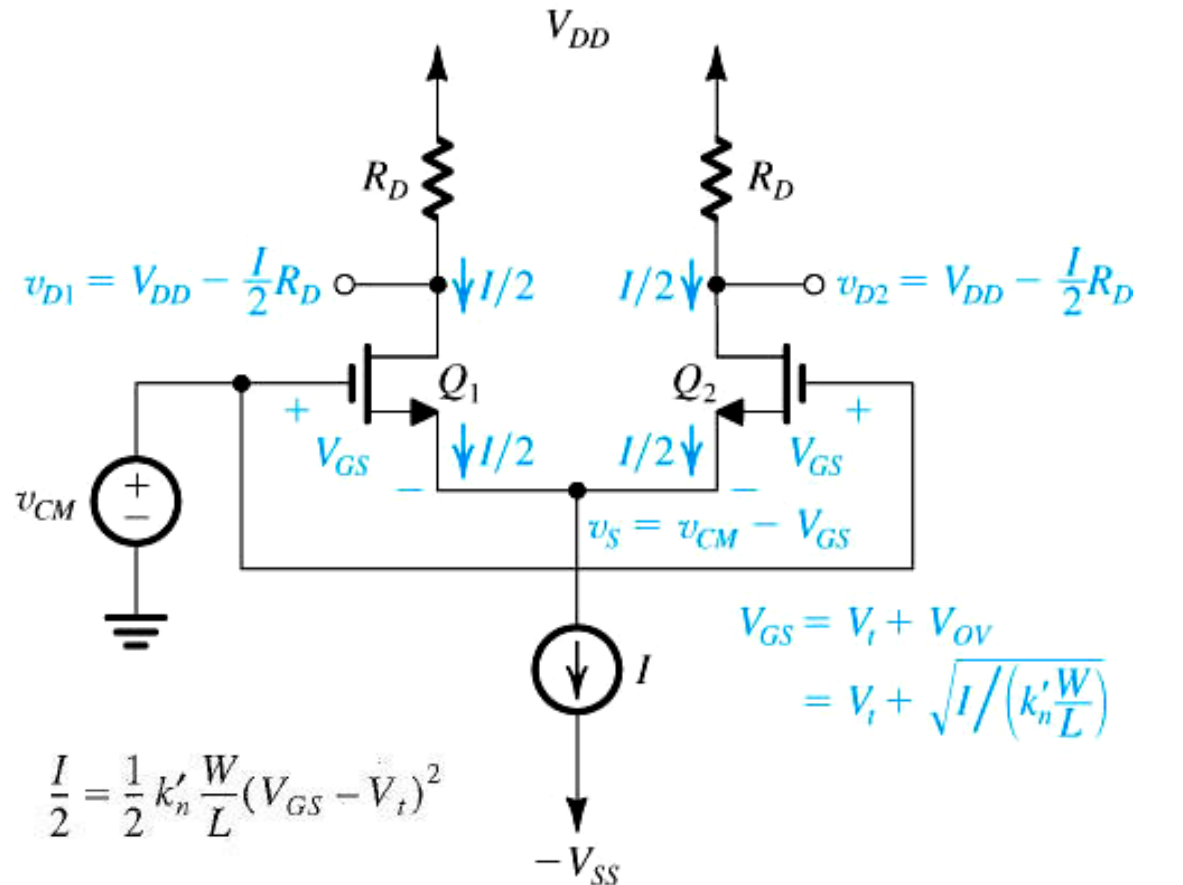
$V_{th} = \text{ΤΑΣΗ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ}$



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΞΟΔΟΥ n-MOS



Διαφορικός ενισχυτής MOS με κοινό σήμα



$$\frac{I}{2} = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

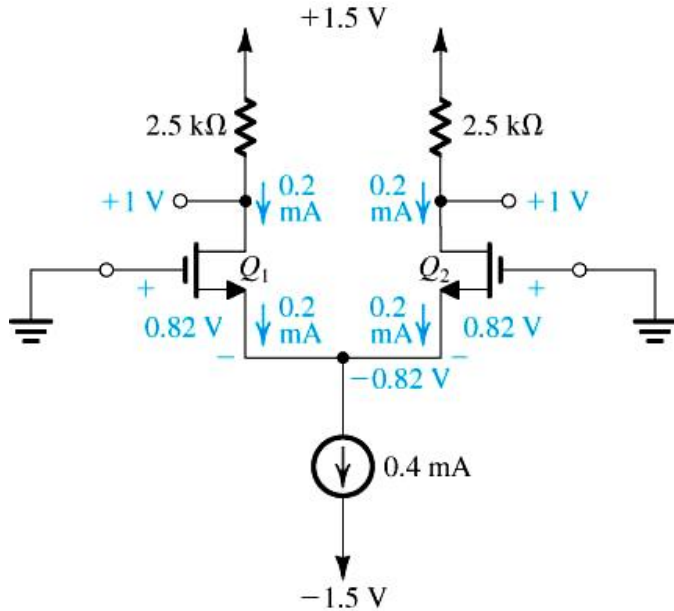
$$v_{CMmin} = -V_{SS} + V_{CS} + V_t + V_{OV}$$

$$v_{CMmax} = V_t + V_{DD} - \frac{I}{2} R_D$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με κοινό σήμα

Παράδειγμα (1)



$$K_n' (W/L) = 4 \text{ mA/V}^2$$

$$V_t = 0.5 \text{ V}$$

$$V_{CM} = 0 \text{ V}$$

$$V_{CS} = 0.4 \text{ V}$$

$$V_{GS} = ? \quad V_{OV} = ?$$

$$V_{D1} = ? \quad V_{D2} = ?$$

$$V_S = ?$$

$$i_{D1} = ? \quad i_{D2} = ?$$

$$i_{D1} = i_{D2} = 0.2 \text{ mA}$$

$$V_{D1} = V_{D2} = 1.5 - (0.2 \times 2.5) = 1 \text{ V}$$

$$V_{OV} = \sqrt{(0.4/4)} = 0.316 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_{OV} + V_t = 0.816 \text{ V}$$

$$V_S = -0.816 \text{ V}$$

$$V_{DS1} = V_{DS2} = 1.816 \text{ V}$$

$$\frac{I}{2} = \frac{1}{2} k_n' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

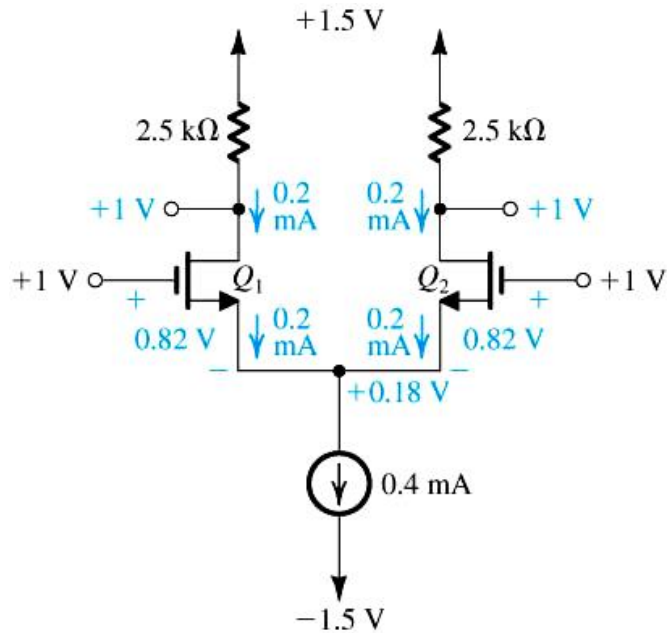
$$V_{CMmax} = V_t + V_{DD} - \frac{I}{2} R_D$$

$$V_{CMmin} = -V_{SS} + V_{CS} + V_t + V_{OV}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με κοινό σήμα

Παράδειγμα (2)



$$\frac{I}{2} = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$v_{CMmax} = V_t + V_{DD} - \frac{I}{2} R_D$$

$$v_{CMmin} = -V_{SS} + V_{CS} + V_t + V_{OV}$$

$$K'_n (W/L) = 4 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{GS} = ? \quad V_{OV} = ?$$

$$V_t = 0.5 \text{ V}$$

$$V_{D1} = ? \quad V_{D2} = ?$$

$$v_{CM} = 1 \text{ V}$$

$$V_S = ?$$

$$V_{CS} = 0.4 \text{ V}$$

$$i_{D1} = ? \quad i_{D2} = ?$$

$$i_{D1} = i_{D2} = 0.2 \text{ mA}$$

$$V_{D1} = V_{D2} = 1.5 - (0.2 \times 2.5) = 1 \text{ V}$$

$$V_{OV} = \sqrt{(0.4/4)} = 0.316 \text{ V}$$

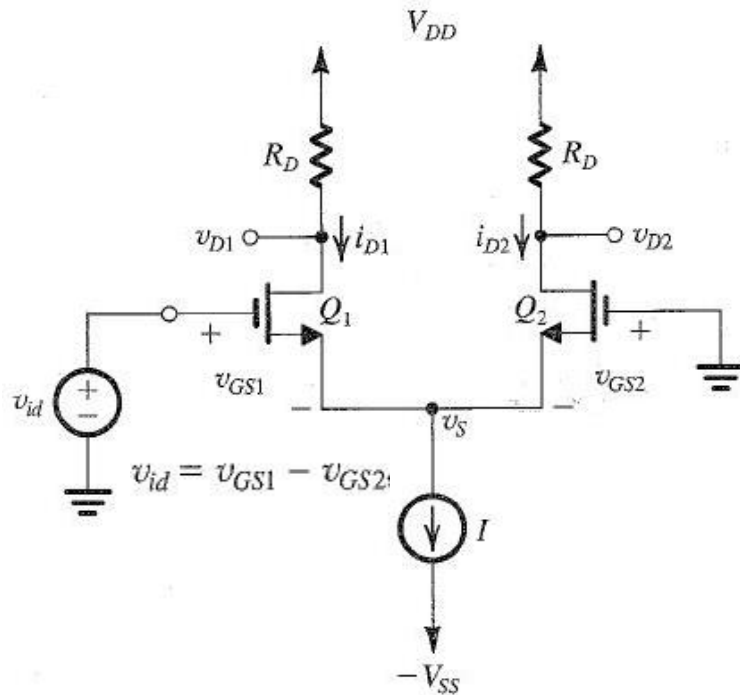
$$V_{GS} = V_{OV} + V_t = 0.816 \text{ V}$$

$$V_S = 1 - 0.816 = 0.184 \text{ V}$$

$$V_{DS1} = V_{DS2} = 0.816 \text{ V}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με διαφορική είσοδο (1/4)



$$I = \frac{1}{2} \left(k'_n \frac{W}{L} \right) (v_{GS1} - V_t)^2$$

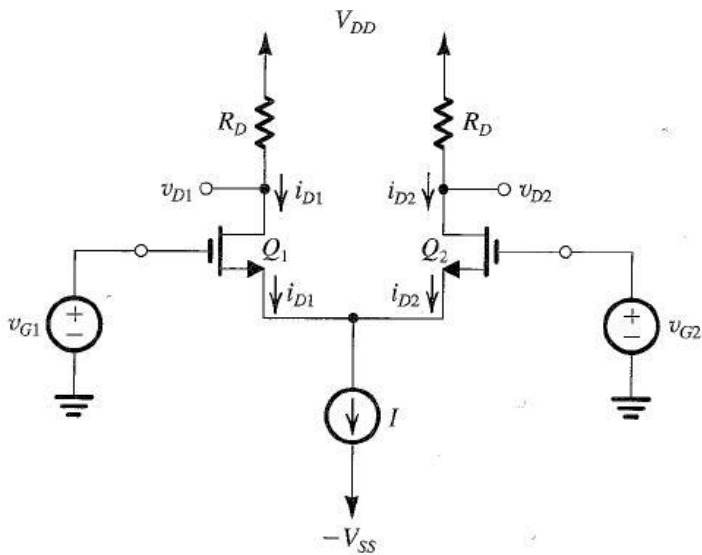
$$\begin{aligned} v_{GS1} &= V_t + \sqrt{2I/k'_n(W/L)} \\ &= V_t + \sqrt{2}V_{OV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{idmax} &= v_{GS1} + v_S \\ &= V_t + \sqrt{2}V_{OV} - V_t \\ &= \sqrt{2}V_{OV} \end{aligned}$$

$$-\sqrt{2}V_{OV} \leq v_{id} \leq \sqrt{2}V_{OV}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με διαφορική είσοδο (2/4)



$$i_{D1} = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (v_{GS1} - V_t)^2$$

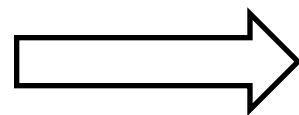
$$i_{D2} = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (v_{GS2} - V_t)^2$$

$$v_{GS1} - v_{GS2} = v_{G1} - v_{G2} = v_{id}$$

$$\sqrt{i_{D1}} - \sqrt{i_{D2}} = \sqrt{\frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L}} v_{id}$$

$$i_{D1} + i_{D2} = I$$

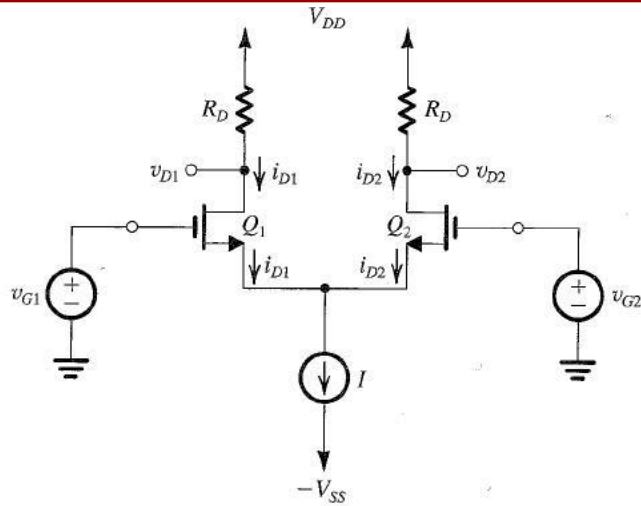
$$i_{D1} = \frac{I}{2} \pm \sqrt{k'_n \frac{W}{L} I} \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id}/2)^2}{I/k'_n \frac{W}{L}}}$$



$$\begin{cases} i_{D1} = \frac{I}{2} + \sqrt{k'_n \frac{W}{L} I} \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id}/2)^2}{I/k'_n \frac{W}{L}}} \\ i_{D2} = \frac{I}{2} - \sqrt{k'_n \frac{W}{L} I} \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id}/2)^2}{I/k'_n \frac{W}{L}}} \end{cases}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με διαφορική είσοδο (3/4)



$$i_{D1} = \frac{I}{2} + \sqrt{k'_n \frac{W}{L} I} \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id}/2)^2}{I/k'_n \frac{W}{L}}}$$

$$i_{D2} = \frac{I}{2} - \sqrt{k'_n \frac{W}{L} I} \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \frac{(v_{id}/2)^2}{I/k'_n \frac{W}{L}}}$$

$$\frac{I}{2} = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} V_{OV}^2$$

$$i_{D1} \cong \frac{I}{2} + \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$$i_{D2} \cong \frac{I}{2} - \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$$i_d = \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

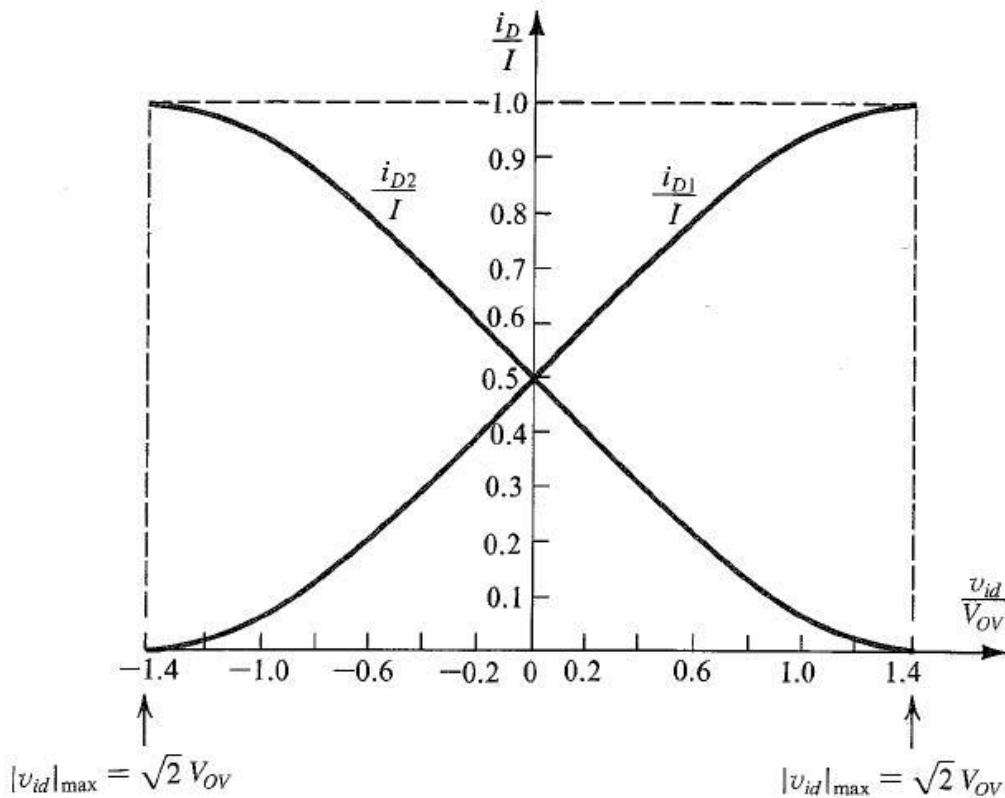
μικρό v_{id}

$$i_{D1} = \frac{I}{2} + \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{v_{id}/2}{V_{OV}} \right)^2}$$

$$i_{D2} = \frac{I}{2} - \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{v_{id}/2}{V_{OV}} \right)^2}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με διαφορική είσοδο (4/4)



$$i_{D1} = \frac{I}{2} + \left(\frac{I}{V_{OV}}\right)\left(\frac{v_{id}}{2}\right)\sqrt{1 - \left(\frac{v_{id}/2}{V_{OV}}\right)^2}$$

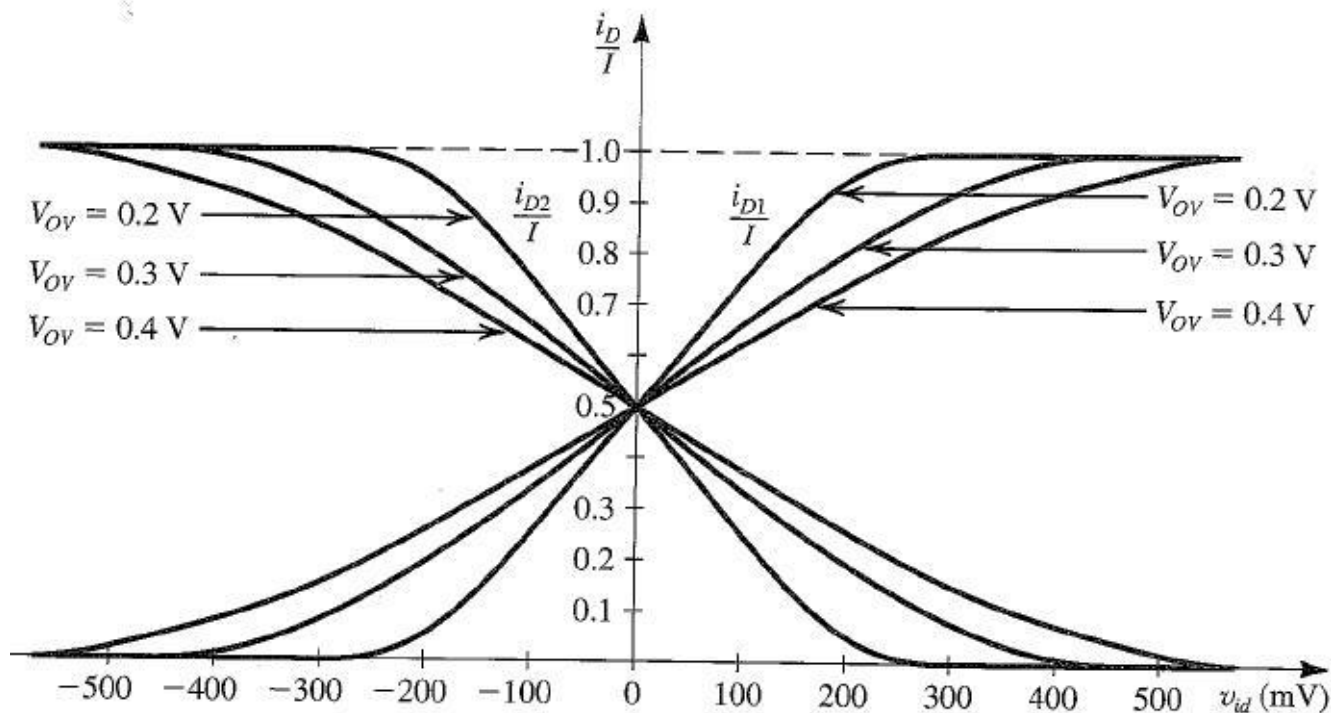
$$i_{D2} = \frac{I}{2} - \left(\frac{I}{V_{OV}}\right)\left(\frac{v_{id}}{2}\right)\sqrt{1 - \left(\frac{v_{id}/2}{V_{OV}}\right)^2}$$

$$-\sqrt{2}V_{OV} \leq v_{id} \leq \sqrt{2}V_{OV}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με μεγάλο σήμα εισόδου

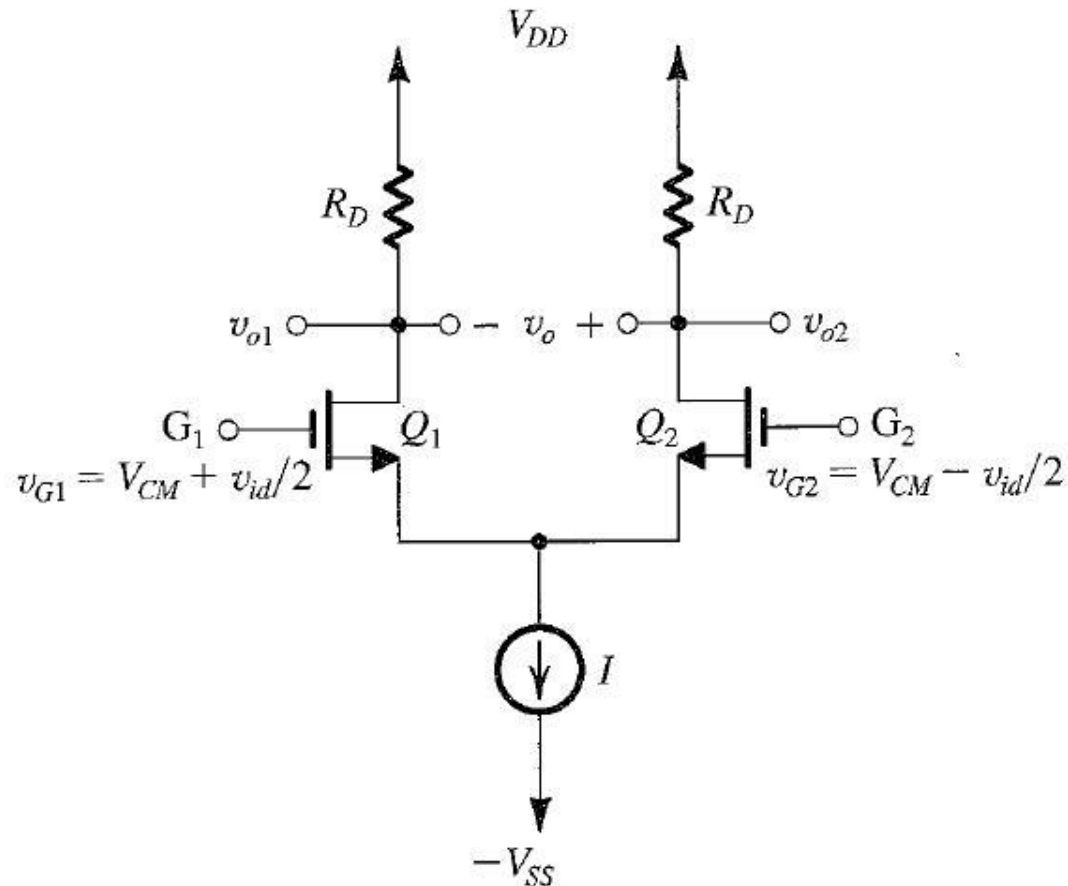
Επίδραση V_{OV}



$$i_{D1} = \frac{I}{2} + \left(\frac{I}{V_{OV}}\right)\left(\frac{v_{id}}{2}\right)\sqrt{1 - \left(\frac{v_{id}/2}{V_{OV}}\right)^2}$$

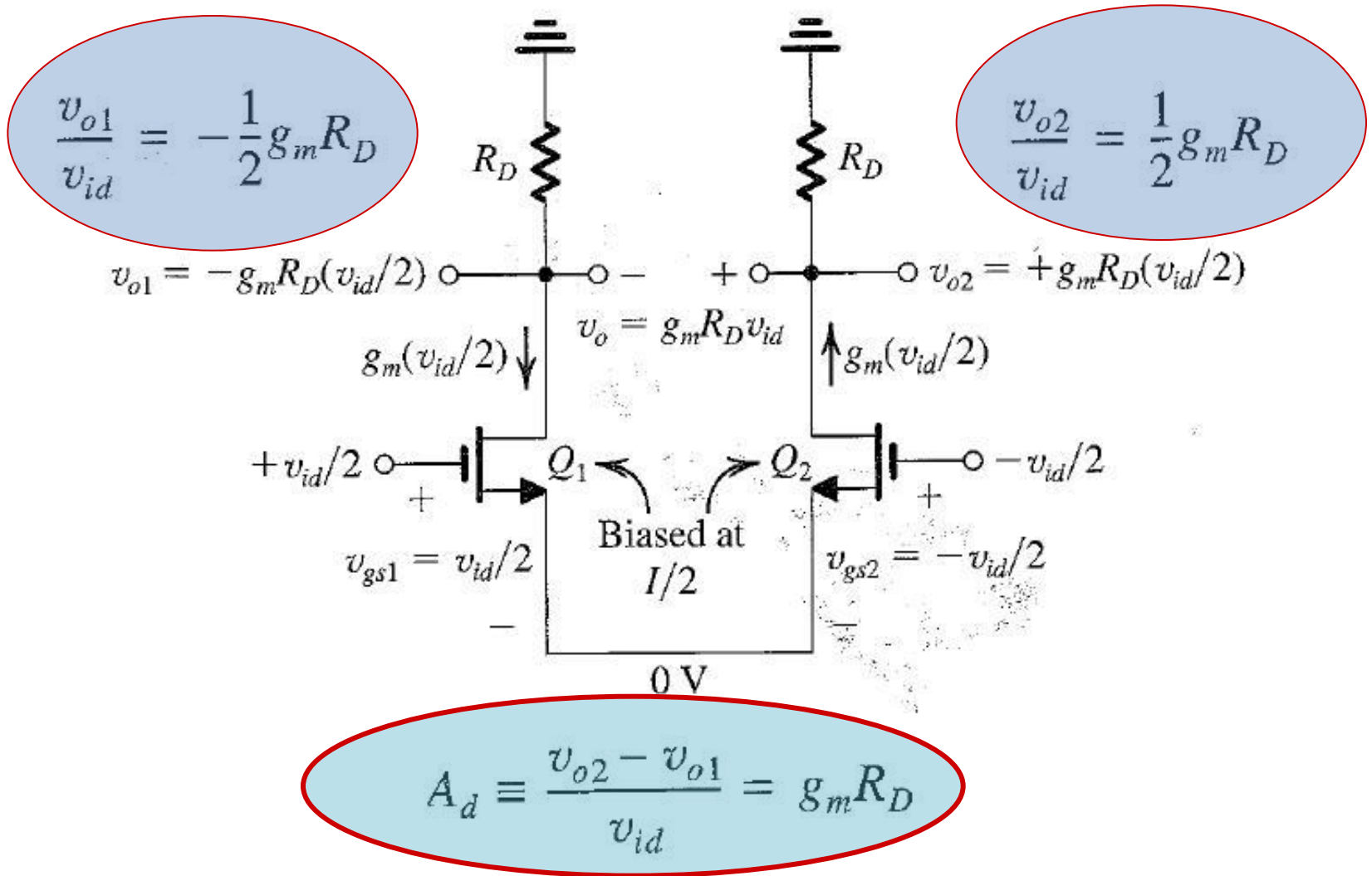
$$i_{D2} = \frac{I}{2} - \left(\frac{I}{V_{OV}}\right)\left(\frac{v_{id}}{2}\right)\sqrt{1 - \left(\frac{v_{id}/2}{V_{OV}}\right)^2}$$

Διαφορικός ενισχυτής MOS με μικρό σήμα εισόδου

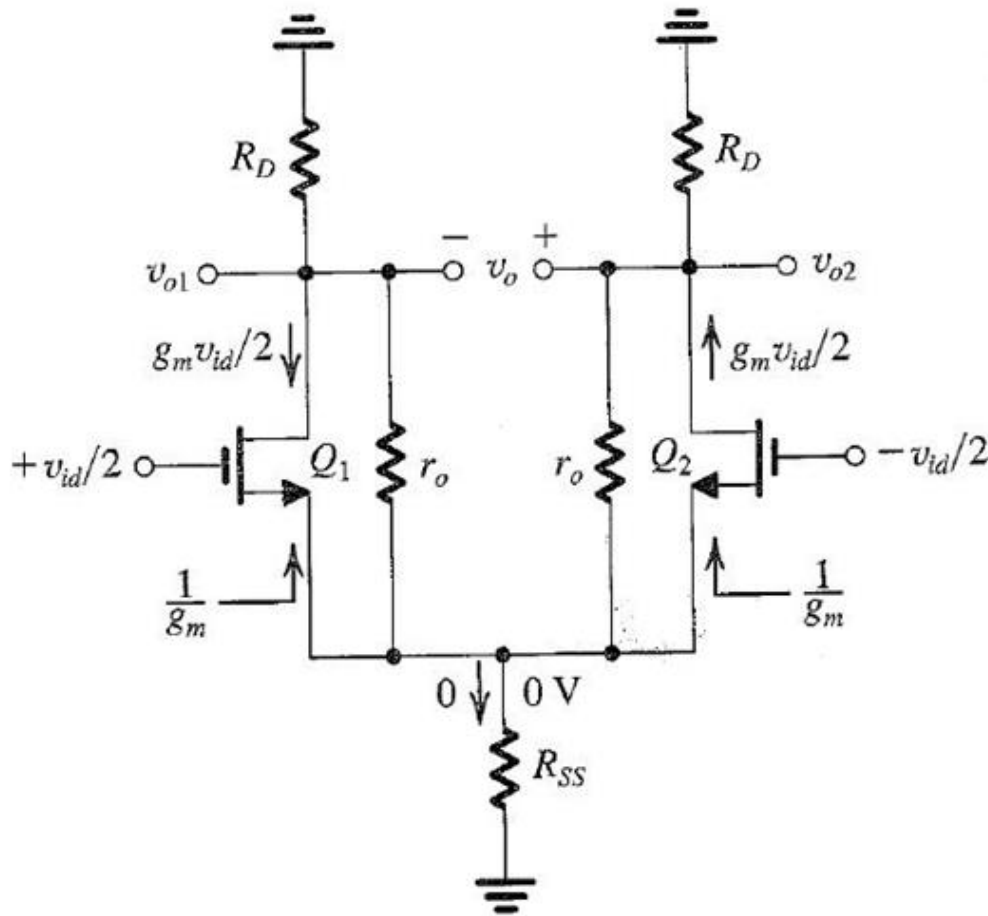


Διαφορικός ενισχυτής MOS με μικρό σήμα εισόδου

Διαφορικό κέρδος



Διαφορικός ενισχυτής MOS με μικρό σήμα εισόδου Επίδραση της αντίστασης r_o



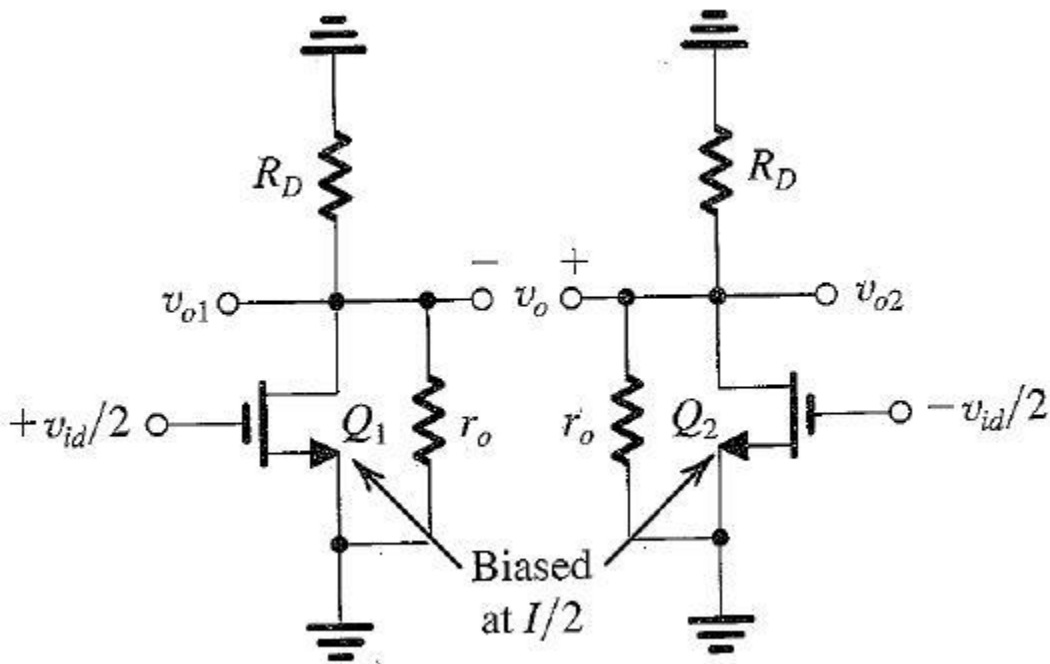
$$v_{o1} = -g_m(R_D \parallel r_o)(v_{id}/2)$$

$$v_{o2} = g_m(R_D \parallel r_o)(v_{id}/2)$$

$$v_o = v_{o2} - v_{o1} = g_m(R_D \parallel r_o)v_{id}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με μικρό σήμα εισόδου Ισοδύναμο με «διαφορικό ημικύκλωμα»



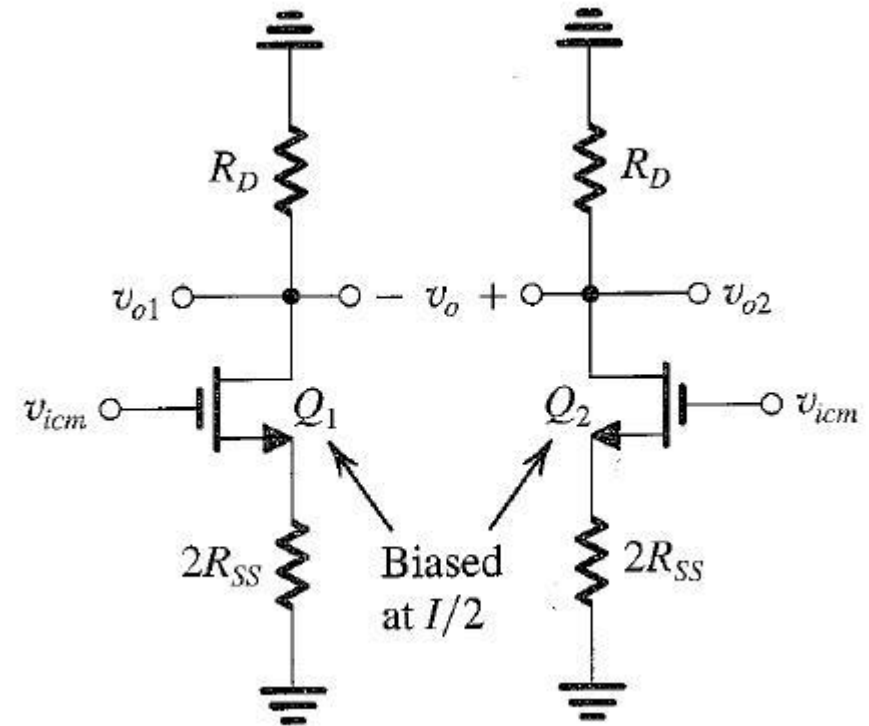
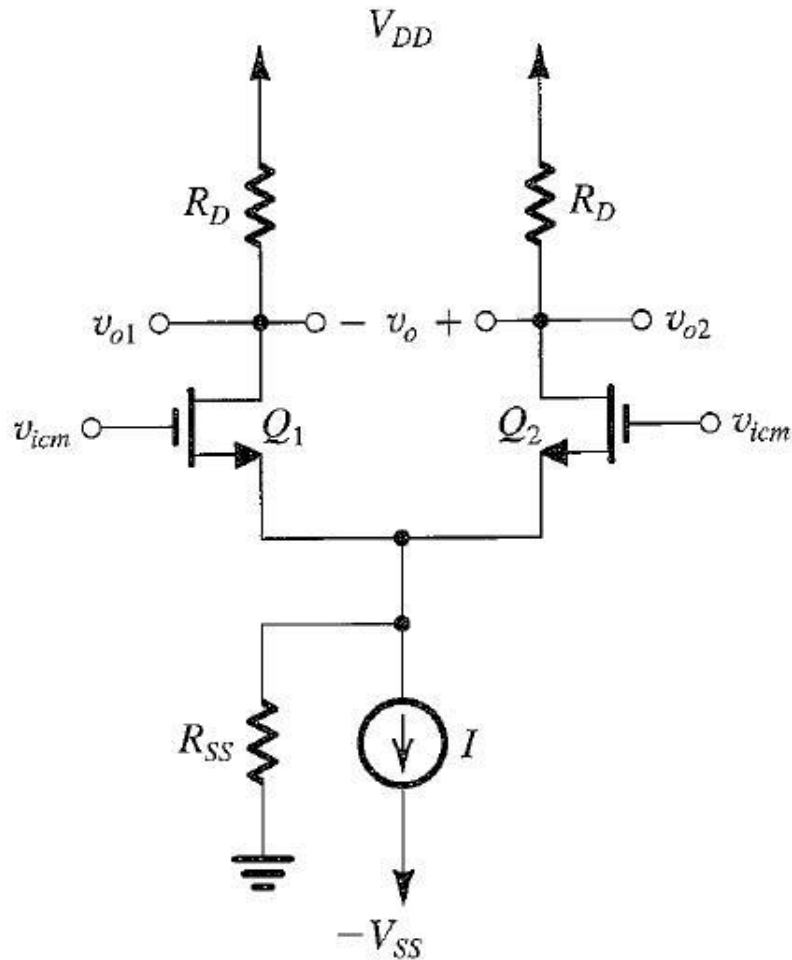
$$v_{o1} = -g_m(R_D \parallel r_o)(v_{id}/2)$$

$$v_{o2} = g_m(R_D \parallel r_o)(v_{id}/2)$$

$$v_o = v_{o2} - v_{o1} = g_m(R_D \parallel r_o)v_{id}$$

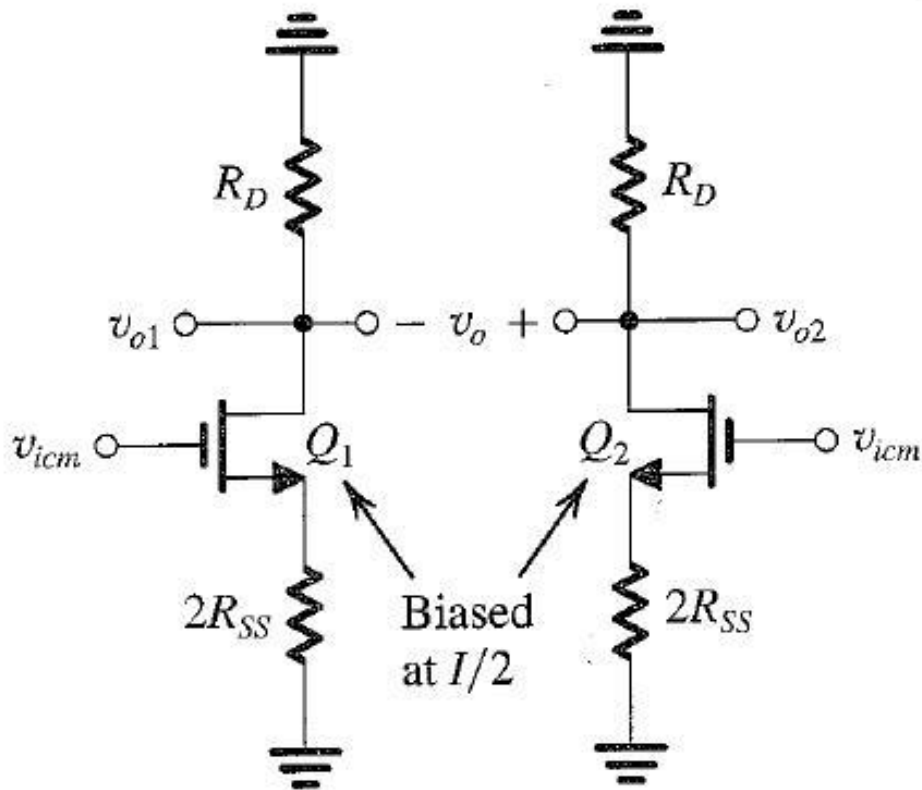
Διαφορικός ενισχυτής MOS με μικρό σήμα εισόδου

Κέρδος κοινού σήματος



Διαφορικός ενισχυτής MOS με μικρό σήμα εισόδου

Κέρδος κοινού σήματος και CMRR (1/2)



$$\frac{v_{o1}}{v_{icm}} = \frac{v_{o2}}{v_{icm}} = -\frac{R_D}{\frac{1}{g_m} + 2R_{SS}} \cong -\frac{R_D}{2R_{SS}}$$

Για απλή έξοδο:

$$|A_{cm}| = \frac{R_D}{2R_{SS}}$$

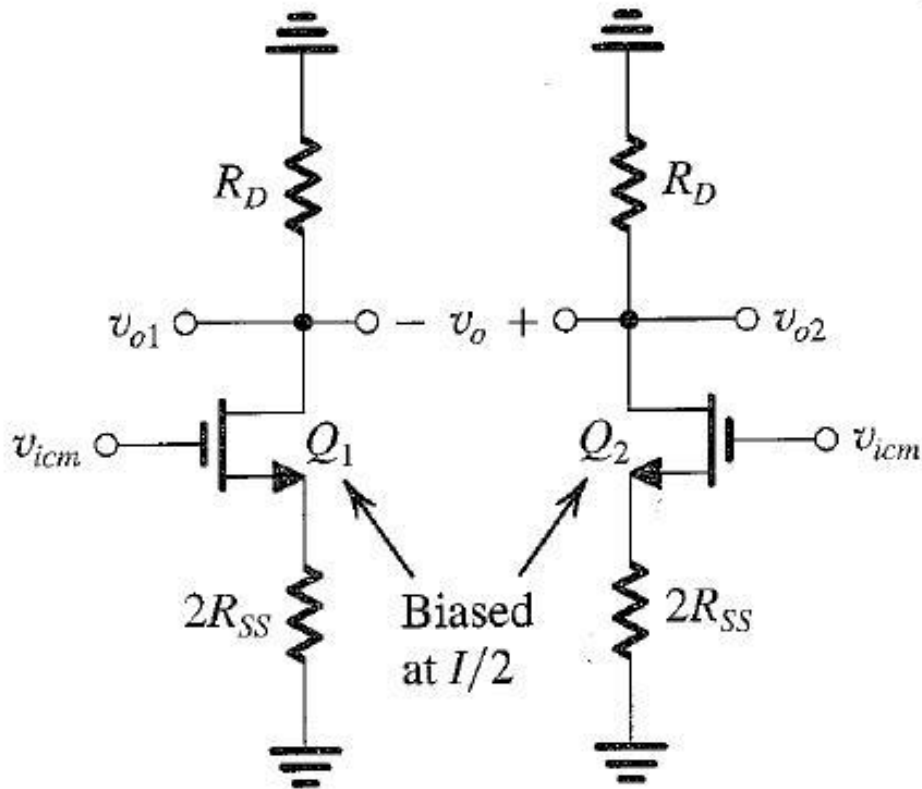
$$|A_d| = \frac{1}{2}g_m R_D$$

$$\text{CMRR} \equiv \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = g_m R_{SS}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με μικρό σήμα εισόδου

Κέρδος κοινού σήματος και CMRR (2/2)



$$\frac{v_{o1}}{v_{icm}} = \frac{v_{o2}}{v_{icm}} = -\frac{R_D}{\frac{1}{g_m} + 2R_{SS}} \cong -\frac{R_D}{2R_{SS}}$$

Για διαφορική έξοδο:

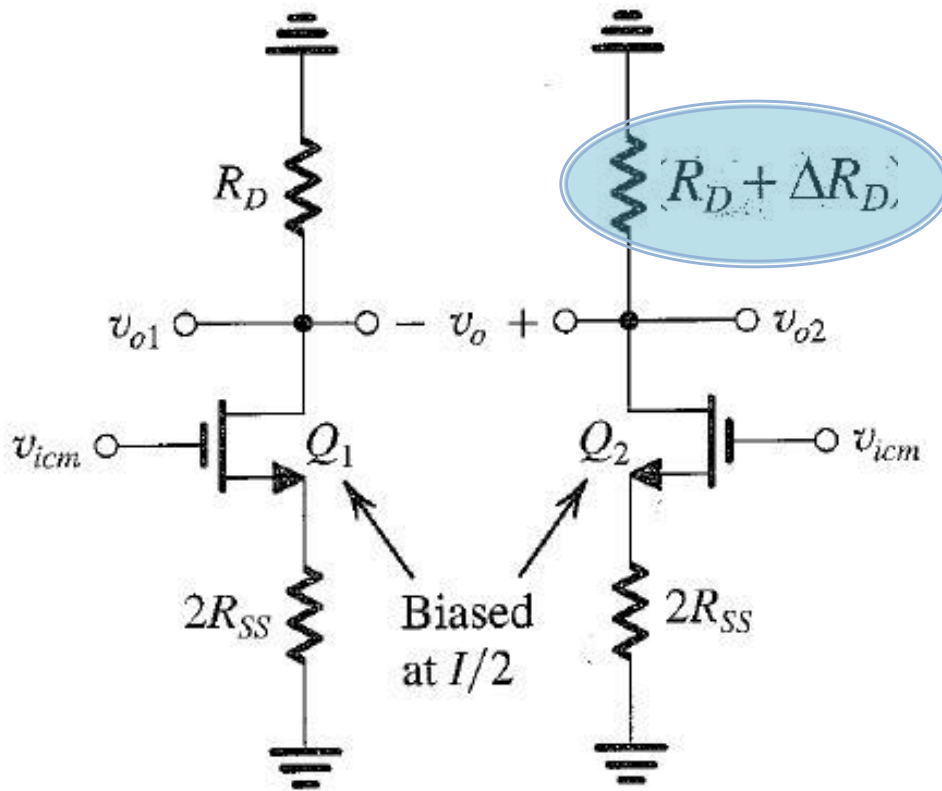
$$A_{cm} = \frac{v_{o2} - v_{o1}}{v_{icm}} = 0$$

$$A_d = \frac{v_{o2} - v_{o1}}{v_{id}} = g_m R_D$$

$$\text{CMRR} = \infty$$



Επίδραση ΔR_D στο λόγο απόρριψης κοινού σήματος CMRR



$$v_{o1} \cong -\frac{R_D}{2R_{SS}} v_{icm}$$

$$v_{o2} \cong -\frac{R_D + \Delta R_D}{2R_{SS}} v_{icm}$$

Για διαφορική έξοδο:

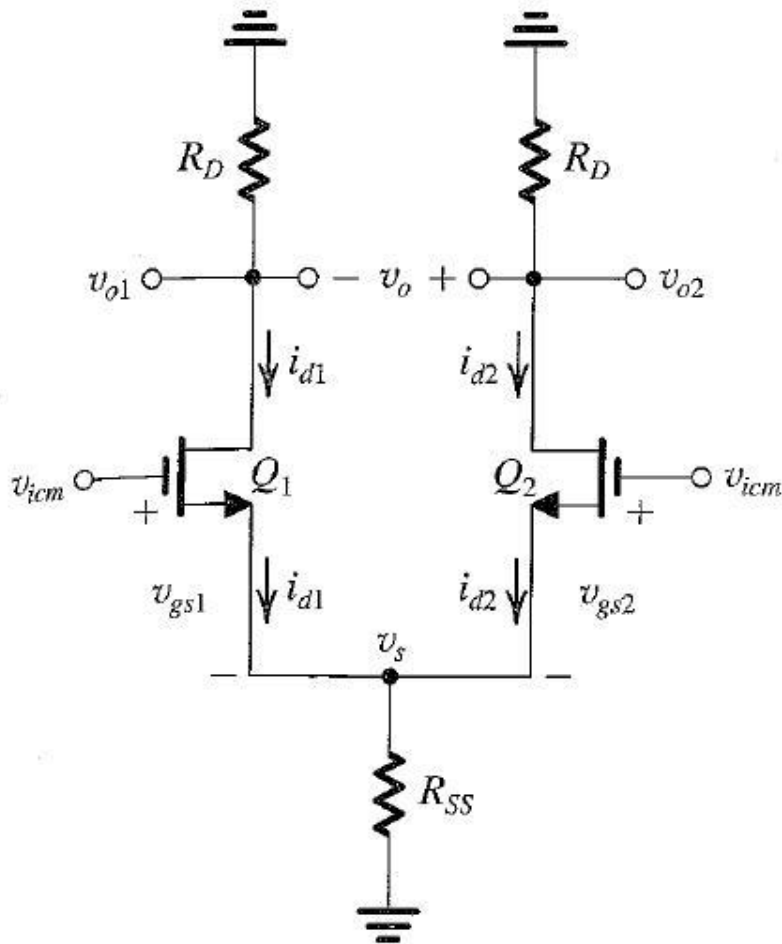
$$A_{cm} = -\frac{\Delta R_D}{2R_{SS}} = -\frac{R_D}{2R_{SS}} \left(\frac{\Delta R_D}{R_D} \right)$$

$$A_d \cong -g_m R_D$$

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = (2g_m R_{SS}) / \left(\frac{\Delta R_D}{R_D} \right)$$



Επίδραση Δg_m στο λόγο απόρριψης κοινού σήματος CMRR (1/2)



$$g_{m1} - g_{m2} = \Delta g_m$$

$$\begin{aligned} i_{d1} &= g_{m1} v_{gs1} \\ i_{d2} &= g_{m2} v_{gs2} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \frac{i_{d1}}{i_{d2}} = \frac{g_{m1}}{g_{m2}}$$

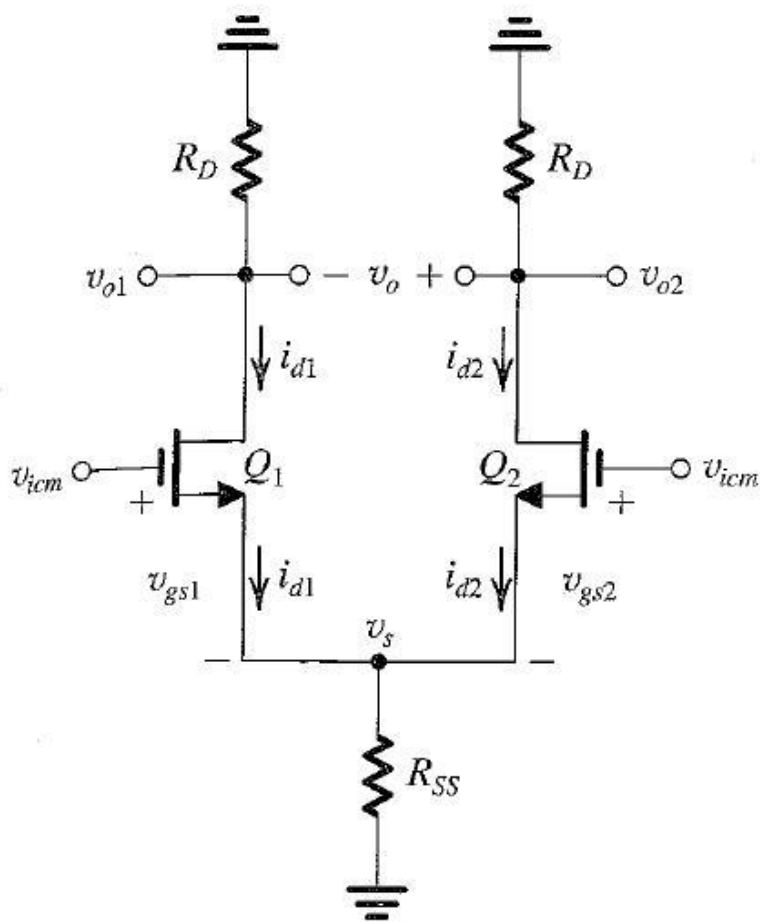
$$i_{d1} + i_{d2} = \frac{v_s}{R_{SS}} \cong \frac{v_{icm}}{R_{SS}}$$

$$i_{d1} = \frac{g_{m1} v_{icm}}{(g_{m1} + g_{m2}) R_{SS}} = \frac{g_{m1} v_{icm}}{2 g_m R_{SS}}$$

$$i_{d2} = \frac{g_{m2} v_{icm}}{(g_{m1} + g_{m2}) R_{SS}} = \frac{g_{m2} v_{icm}}{2 g_m R_{SS}}$$



Επίδραση Δg_m στο λόγο απόρριψης κοινού σήματος CMRR (2/2)



Για διαφορική έξοδο:

$$v_{o2} - v_{o1} = -i_{d2}R_D + i_{d1}R_D$$

$$= R_D(i_{d1} - i_{d2}) = \frac{\Delta g_m R_D}{2g_m R_{SS}} v_{icm}$$

$$A_{cm} = \left(\frac{R_D}{2R_{SS}} \right) \left(\frac{\Delta g_m}{g_m} \right)$$

$$A_d \cong -g_m R_D$$

$$CMRR \cong \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = (2g_m R_{SS}) / \left(\frac{\Delta g_m}{g_m} \right)$$



Τάση εκτροπής εισόδου V_{OS} : επίδραση ΔR_D

$$R_{D1} = R_D + \frac{\Delta R_D}{2}$$

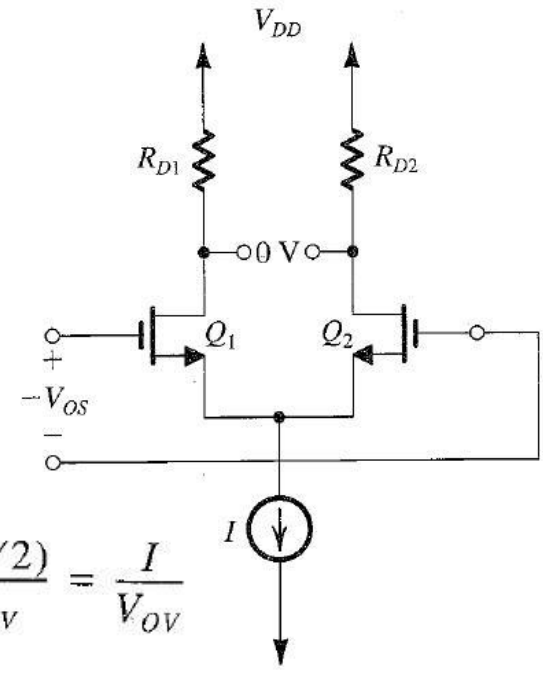
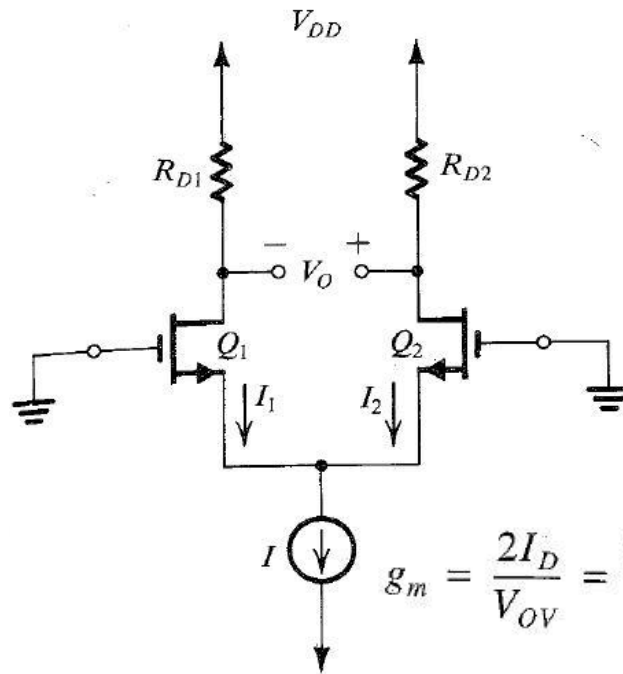
$$R_{D2} = R_D - \frac{\Delta R_D}{2}$$

$$V_{D1} = V_{DD} - \frac{I}{2} \left(R_D + \frac{\Delta R_D}{2} \right)$$

$$V_{D2} = V_{DD} - \frac{I}{2} \left(R_D - \frac{\Delta R_D}{2} \right)$$

$$V_O = V_{D2} - V_{D1}$$

$$= \left(\frac{I}{2} \right) \Delta R_D$$



$$g_m = \frac{2I_D}{V_{OV}} = \frac{2(I/2)}{V_{OV}} = \frac{I}{V_{OV}}$$

$$V_{OS} = V_O / A_d$$

$$V_{OS} = \left(\frac{V_{OV}}{2} \right) \left(\frac{\Delta R_D}{R_D} \right)$$



Τάση εκτροπής εισόδου V_{OS} : επίδραση $\Delta(W/L)$

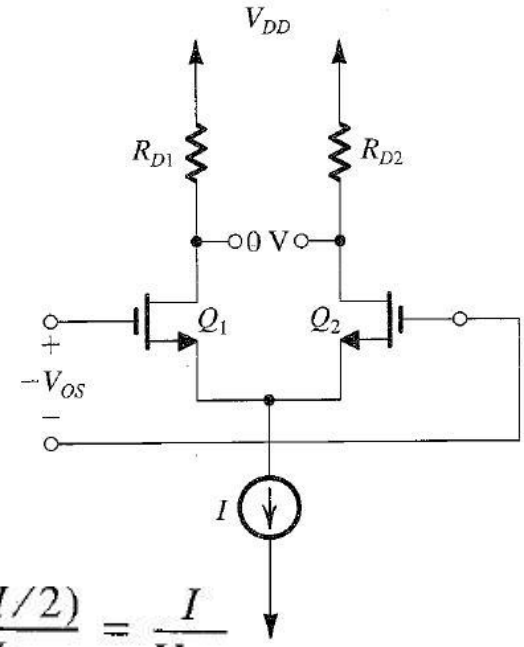
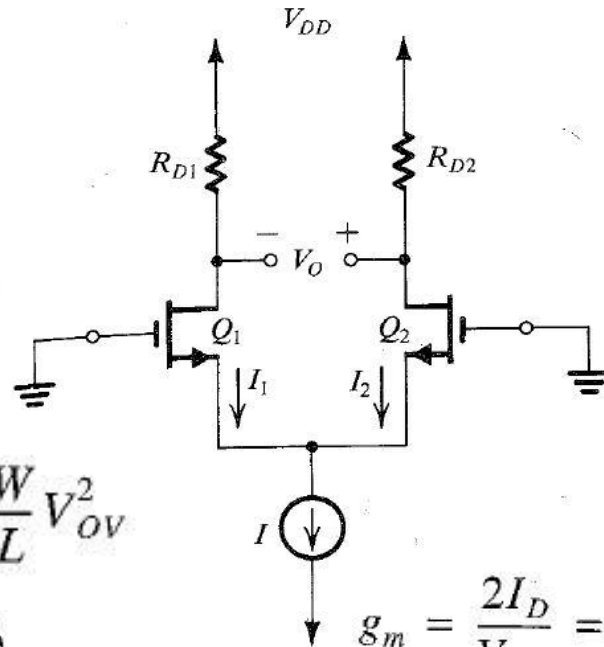
$$\left(\frac{W}{L}\right)_1 = \frac{W}{L} + \frac{1}{2}\Delta\left(\frac{W}{L}\right)$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_2 = \frac{W}{L} - \frac{1}{2}\Delta\left(\frac{W}{L}\right)$$

$$\frac{I}{2} = \frac{1}{2}k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 = \frac{1}{2}k'_n \frac{W}{L} V_{OV}^2$$

$$I_1 = \frac{I}{2} + \frac{I}{2} \left(\frac{\Delta(W/L)}{2(W/L)} \right)$$

$$I_2 = \frac{I}{2} - \frac{I}{2} \left(\frac{\Delta(W/L)}{2(W/L)} \right)$$



$$g_m = \frac{2I_D}{V_{OV}} = \frac{2(I/2)}{V_{OV}} = \frac{I}{V_{OV}}$$

$$V_{OS} = \left(\frac{V_{OV}}{2} \right) \left(\frac{\Delta(W/L)}{(W/L)} \right)$$



Τάση εκτροπής εισόδου V_{os} : επίδραση ΔV_t

$$V_{t1} = V_t + \frac{\Delta V_t}{2}$$

$$V_{t2} = V_t - \frac{\Delta V_t}{2}$$

$$I_1 = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} \left(V_{GS} - V_t - \frac{\Delta V_t}{2} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 \left[1 - \frac{\Delta V_t}{2(V_{GS} - V_t)} \right]^2$$

$$I_1 \approx \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 \left(1 - \frac{\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right)$$

$$I_2 \approx \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 \left(1 + \frac{\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} \right)$$

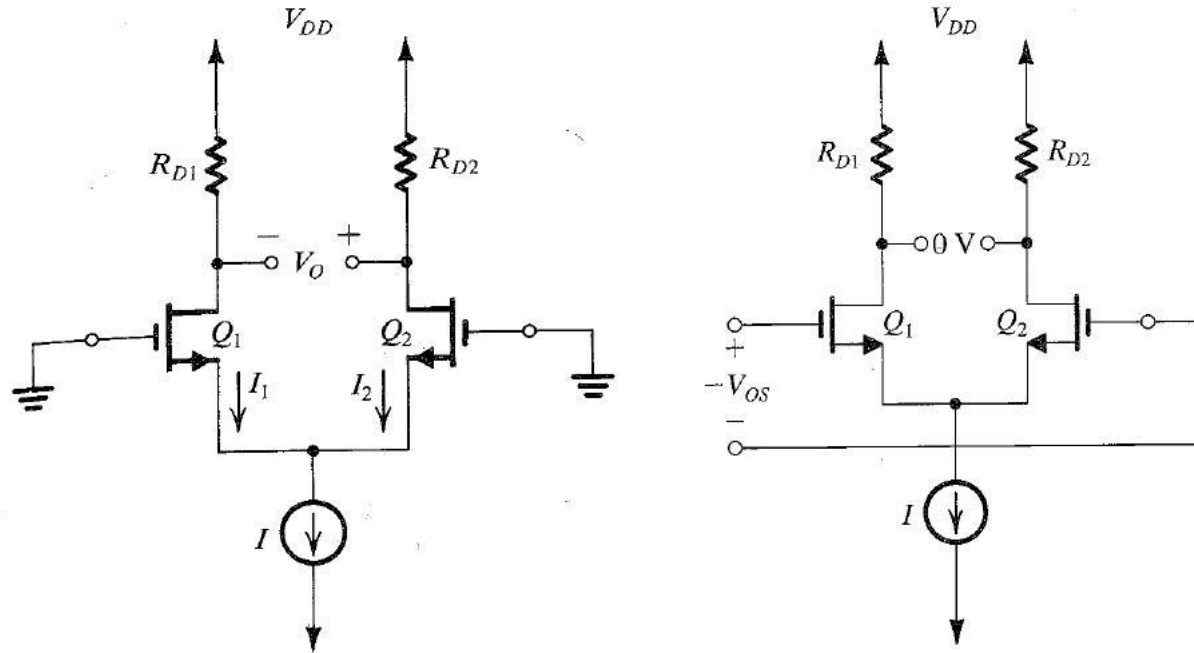
$$g_m = \frac{2I_D}{V_{OV}} = \frac{2(I/2)}{V_{OV}} = \frac{I}{V_{OV}}$$

$$\Delta I = \frac{I}{2} \frac{\Delta V_t}{V_{GS} - V_t} = \frac{I}{2} \frac{\Delta V_t}{V_{OV}}$$

$$V_{OS} = \Delta V_t$$



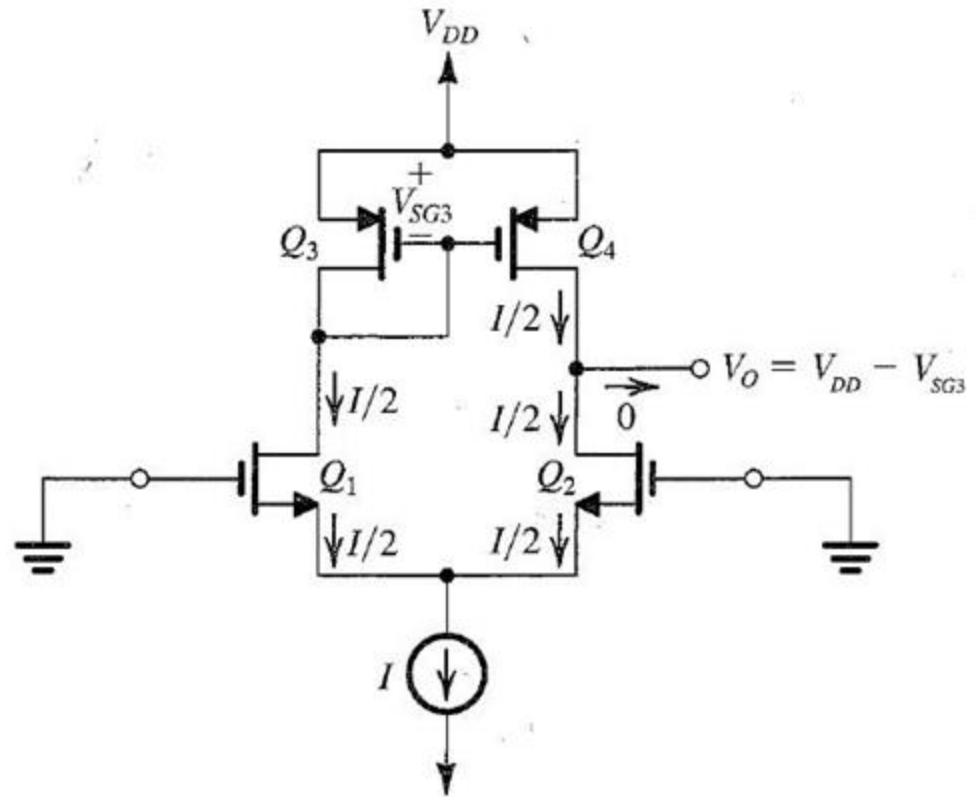
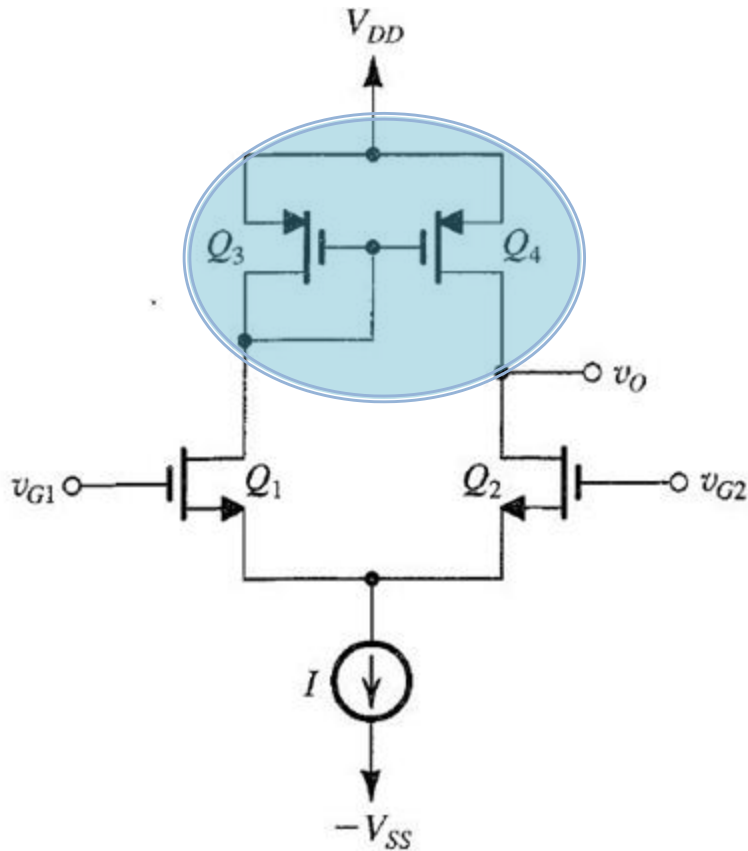
Τάση εκτροπής εισόδου V_{os} : συνολική επίδραση



$$V_{os} = \sqrt{\left(\frac{V_{OV}}{2} \frac{\Delta R_D}{R_D}\right)^2 + \left(\frac{V_{OV}}{2} \frac{\Delta(W/L)}{W/L}\right)^2 + (\Delta V_t)^2}$$

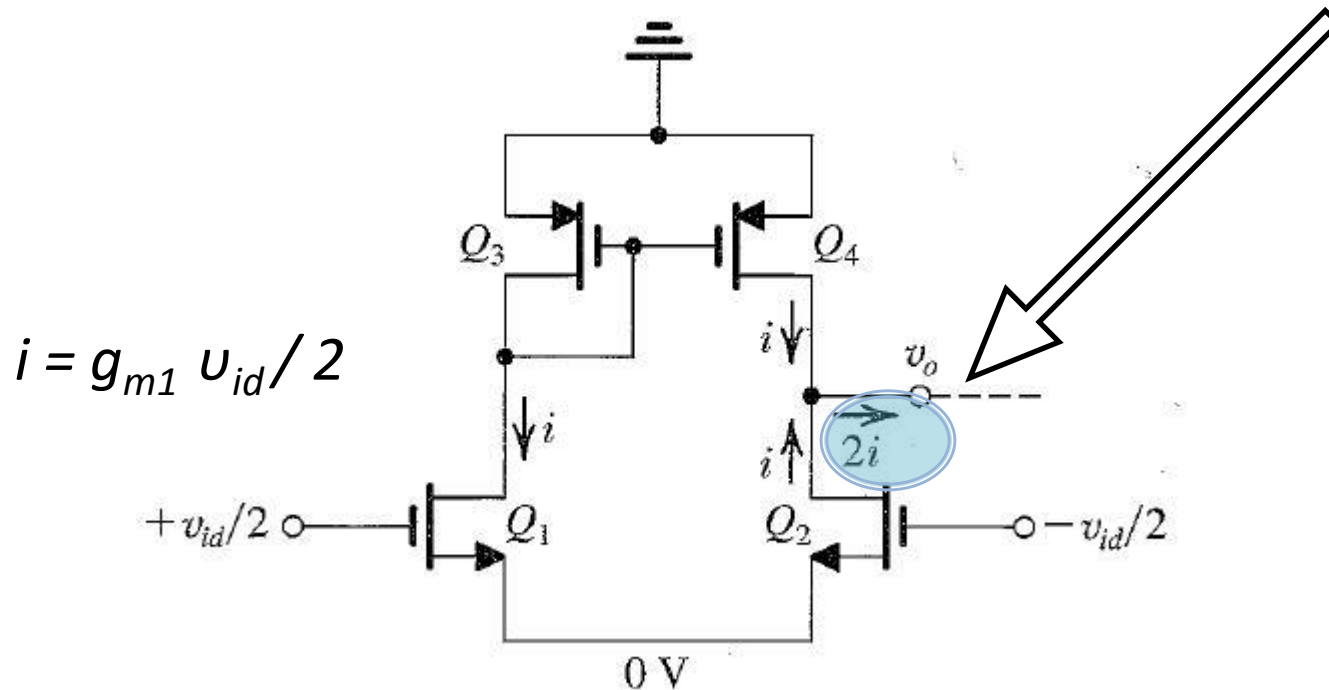


Διαφορικός ενισχυτής MOS με ενεργό φορτίο (1/2)



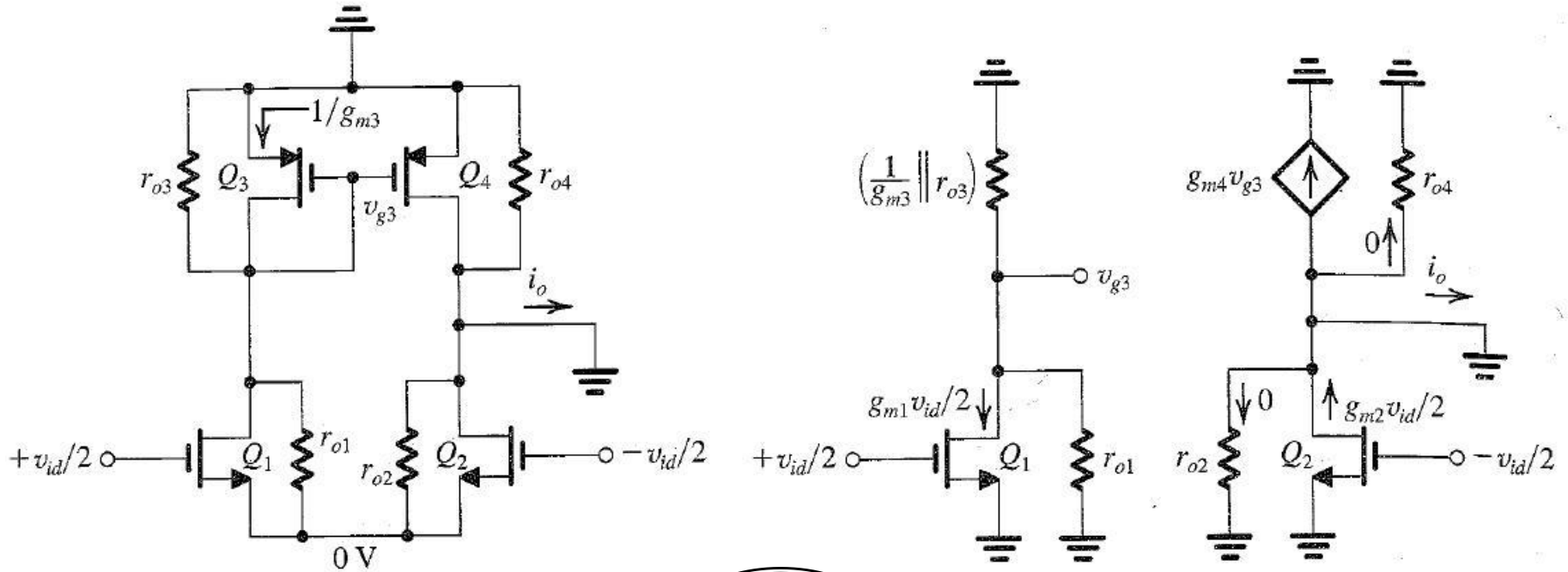
Διαφορικός ενισχυτής MOS με ενεργό φορτίο (2/2)

Απλή (μη διαφορική) έξοδος
χωρίς απώλεια κέρδους



Διαφορικός ενισχυτής MOS με ενεργό φορτίο

Υπολογισμός διαγωγιμότητας g_m



$$v_{g3} = -g_{m1} \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \left(\frac{1}{g_{m3}} \parallel r_{o3} \parallel r_{o1} \right) \approx - \left(\frac{g_{m1}}{g_{m3}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$$i_o = -g_{m4} v_{g3} + g_{m2} \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

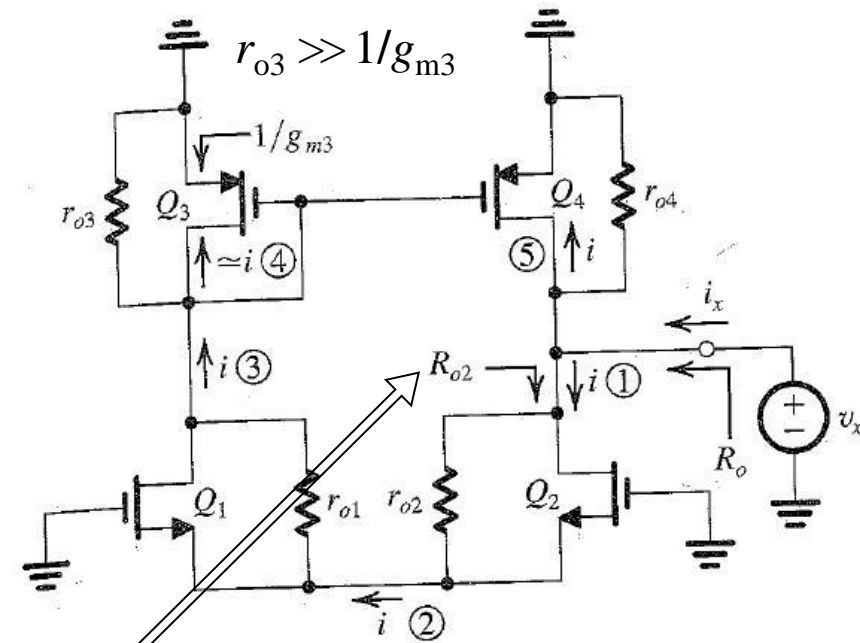
$$i_o = g_{m1} \left(\frac{g_{m4}}{g_{m3}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) + g_{m2} \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$$i_o = g_m v_{id}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με ενεργό φορτίο

Υπολογισμός αντίστασης εξόδου R_o



$$i = v_x / R_{o2}$$

$$R_{o2} = r_{o2} + (1 + g_{m2}r_{o2})(1/g_{m1}) \cong 2r_{o2}$$

$$i_x = 2i + \frac{v_x}{r_{o4}} = 2\frac{v_x}{R_{o2}} + \frac{v_x}{r_{o4}} = \frac{v_x}{r_{o2}} + \frac{v_x}{r_{o4}}$$

$$R_{out} = r_o + [1 + (g_m + g_{mb})r_o]R_s$$

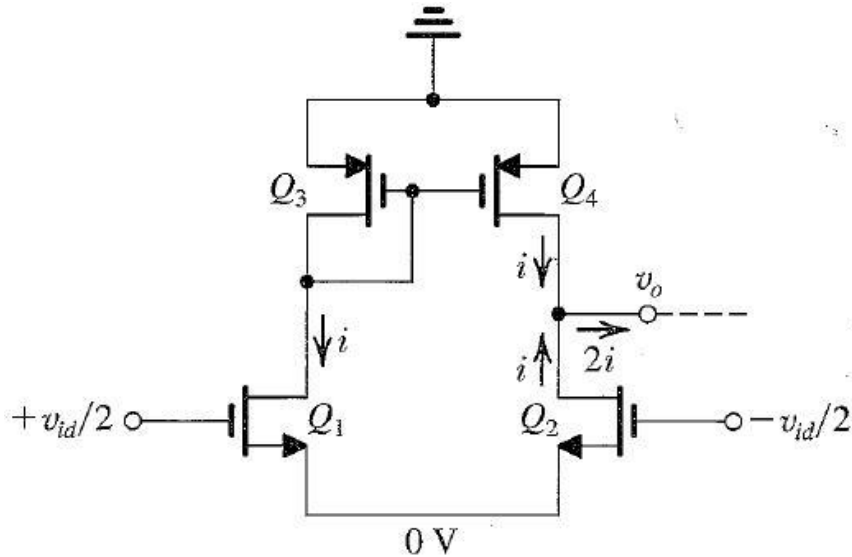
$$R_s = 1/g_{m1}$$

$$R_o \cong \frac{v_x}{i_x} = r_{o2} \parallel r_{o4}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με ενεργό φορτίο

Υπολογισμός διαφορικού κέρδους A_d



$$R_o \equiv \frac{v_x}{i_x} = r_{o2} \parallel r_{o4}$$

$$A_d \equiv \frac{v_o}{v_{id}} = G_m R_o = g_m (r_{o2} \parallel r_{o4})$$

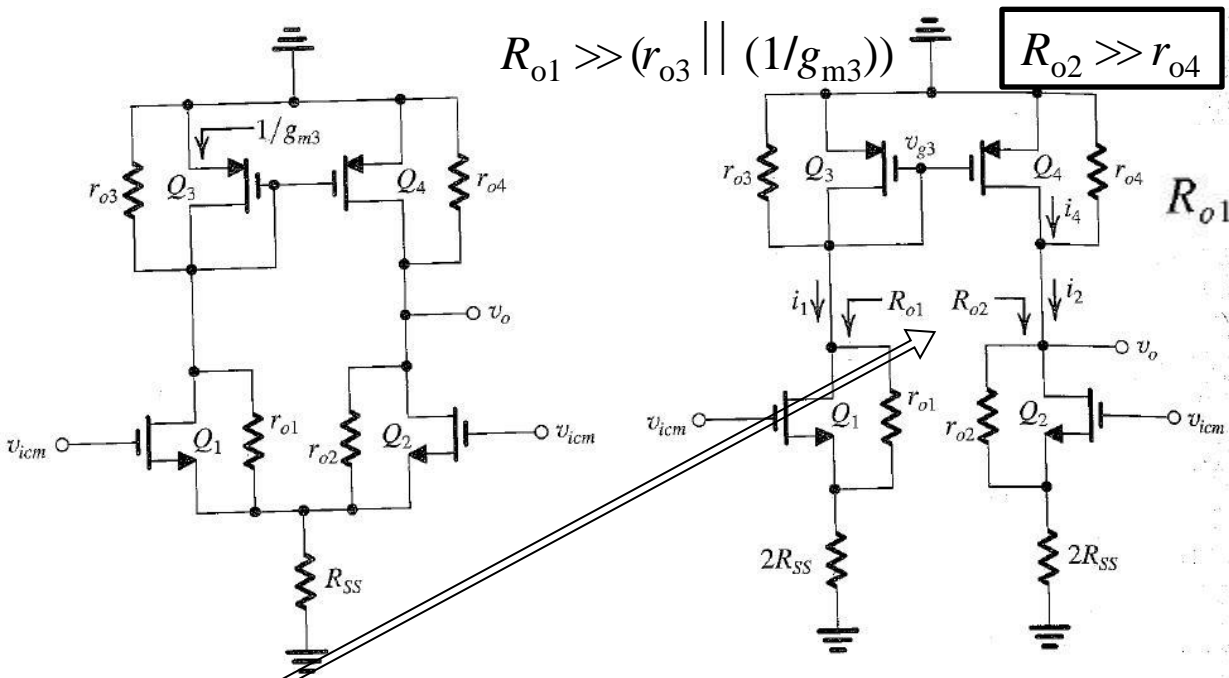
$$r_{o2} = r_{o4} = r_o \implies$$

$$A_d = \frac{1}{2} g_m r_o = \frac{A_0}{2}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με ενεργό φορτίο

Υπολογισμός κέρδους κοινού σήματος



$$R_{o1} \gg (r_{o3} \parallel (1/g_{m3}))$$

$$R_{o2} \gg r_{o4}$$

$$i_1 = i_2 \cong \frac{v_{icm}}{2R_{SS}}$$

$$R_{o1} = R_{o2} = r_o + 2R_{SS} + 2g_m r_o R_{SS}$$

$$v_{g3} = -i_1 \left(\frac{1}{g_{m3}} \parallel r_{o3} \right)$$

$$i_4 = -g_{m4} v_{g3}$$

$$= i_1 g_{m4} \left(\frac{1}{g_{m3}} \parallel r_{o3} \right)$$

$$v_o = (i_4 - i_2) r_{o4}$$

$$= \left[i_1 g_{m4} \left(\frac{1}{g_{m3}} \parallel r_{o3} \right) - i_2 \right] r_{o4}$$

$$R_{out} = r_o + [1 + (g_m + g_{mb}) r_o] R_s$$

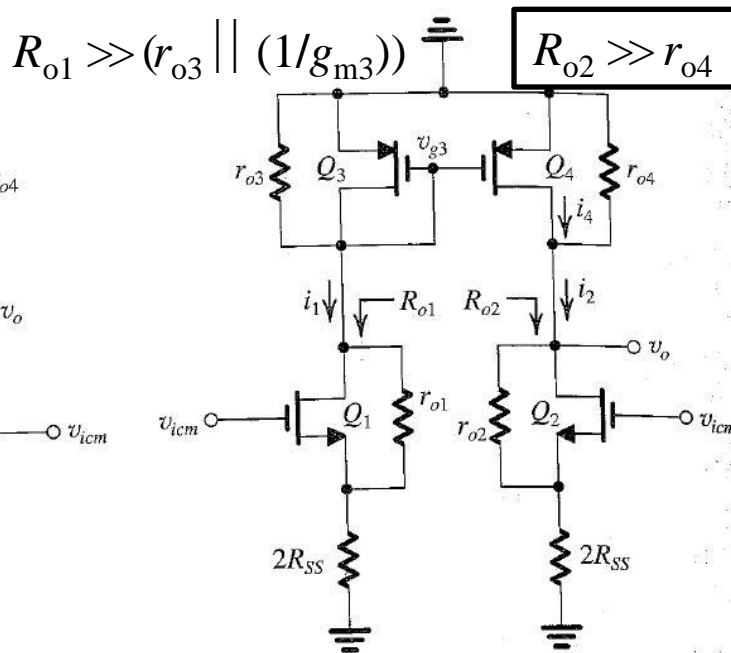
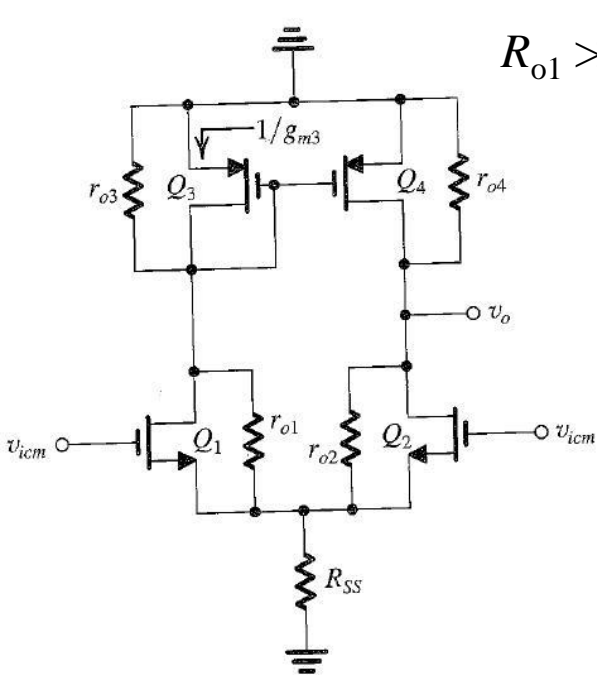
$$R_s = 2R_{SS}$$

$$A_{cm} \cong \frac{v_o}{v_{icm}} = - \frac{1}{2R_{SS}} \frac{r_{o4}}{1 + g_{m3} r_{o3}}$$



Διαφορικός ενισχυτής MOS με ενεργό φορτίο

Υπολογισμός λόγου απόρριψης κοινού σήματος



$$A_{cm} \equiv \frac{v_o}{v_{icm}} = -\frac{1}{2R_{SS}} \frac{r_{o4}}{1 + g_{m3}r_{o3}}$$

$$g_{m3}r_{o3} \gg 1 \quad r_{o3} = r_{o4}$$

$$A_{cm} \equiv -\frac{1}{2g_{m3}R_{SS}}$$

$$CMRR \equiv \frac{|A_d|}{|A_{cm}|} = [g_m(r_{o2} || r_{o4})][2g_{m3}R_{SS}]$$

$$CMRR = (g_m r_o)(g_m R_{SS})$$

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζόπουλος Αλκιβιάδης. «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ II, Διαφορικός ενισχυτής (MOS)». 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, χειμερινό εξάμηνο 2014-2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



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.

