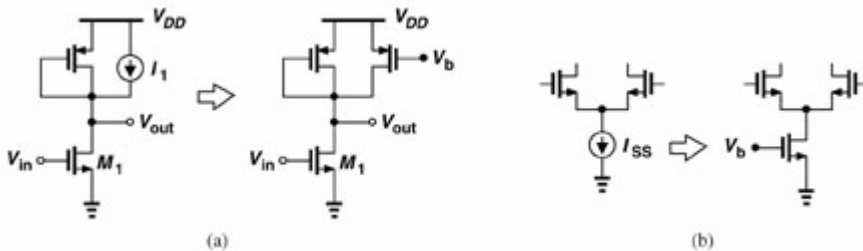


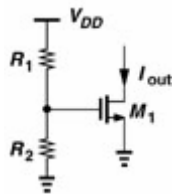
ΠΑΘΗΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΙ ΚΑΘΡΕΦΤΕΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Βασικοί καθρέφτες ρεύματος



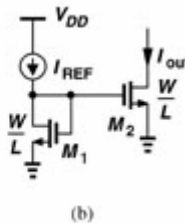
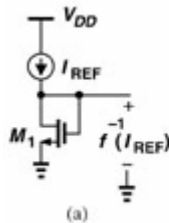
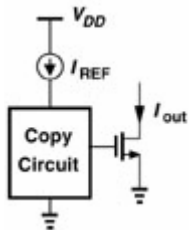
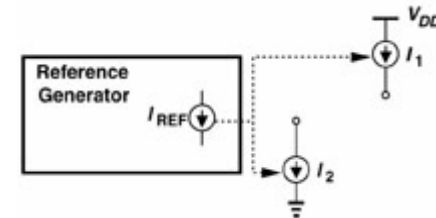
Το μέτρο του ρεύματος επηρεάζεται από :
την αντίσταση εξόδου, τη χωρητικότητα, το περιθώριο τάσης, την τροφοδοσία, τη διαδικασία κατασκευής, τη θερμοκρασία και το θόρυβο.

Πόλωση με διαιρέτη τάσης



$$I_{out} \approx \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} - V_{TH} \right)^2$$

Πόλωση με «αντιγραφή» ρεύματος



Για $\lambda=0$

$$I_{REF} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS} - V_{TH})^2$$

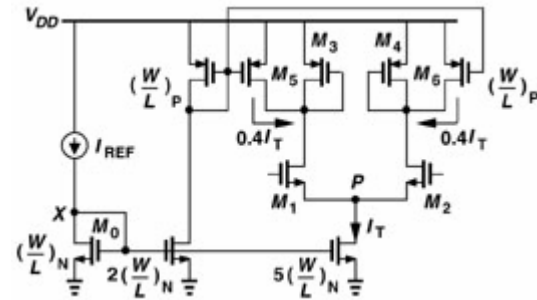
$$I_{out} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_2 (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$I_{out} = \frac{(W/L)_2}{(W/L)_1} I_{REF}$$

Το ρεύμα «αντιγράφεται» με ακρίβεια ανεξάρτητα από τις κατασκευαστικές ατέλειες και τη θερμοκρασία.

Ο λόγος των ρευμάτων εξαρτάται μόνο από το λόγο των διαστάσεων.

Πόλωση του διαφορικού ενισχυτή με καθρέφτες ρεύματος.



-Το L διατηρείται σταθερό και αλλάζει το W

-Ο καθρέφτης ρεύματος κάνει και ενίσχυση ρεύματος

Καθρέφτες ρεύματος σε συνδεσμολογία σειράς

Για $\lambda \neq 0$

$$I_{D1} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS1})$$

$$I_{D2} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right)_2 (V_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda V_{DS2})$$

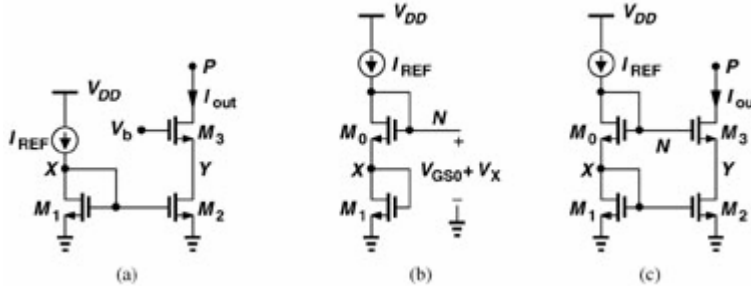
$$\frac{I_{D2}}{I_{D1}} = \frac{(W/L)_2}{(W/L)_1} \cdot \frac{1 + \lambda V_{DS2}}{1 + \lambda V_{DS1}}$$

$$V_{DS1} = V_{GS1} = V_{GS2} \neq V_{DS2}$$

Απαλλαγή από την επίδραση του μήκους καναλιού.

$$V_b: V_Y = V_X \Rightarrow I_{out} = I_{REF}$$

$$\Delta V_Y \approx \Delta V_P / [(g_{m3} + g_{mb3}) r_{o3}]$$



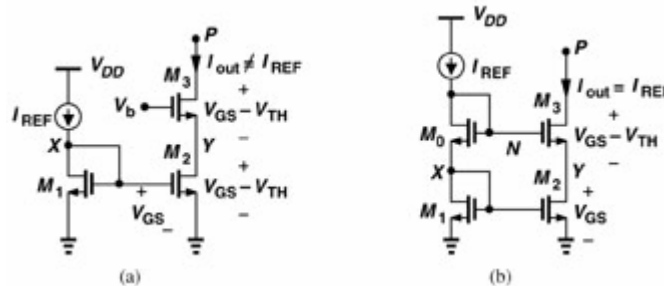
$$V_{GS0} + V_X = V_{GS3} + V_Y$$

$$\text{Αν διαλέξουμε: } (W/L)_3 / (W/L)_0 = (W/L)_2 / (W/L)_1$$

$$\text{Τότε } V_{GS3} = V_{GS0} \text{ και επομένως } V_X = V_Y$$

Περιθώριο τάσης στο P.

Χαμηλή V_P , άνισα ρεύματα



$$V_N - V_{TH} = V_{GS0} + V_{GS1} - V_{TH}$$

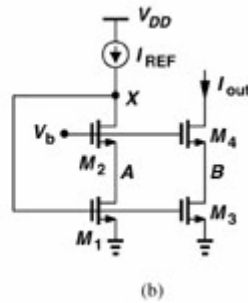
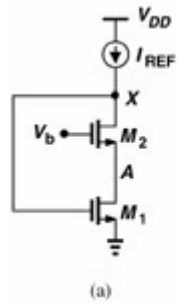
$$= (V_{GS0} - V_{TH}) + (V_{GS1} - V_{TH}) + V_{TH}$$

Ίσα ρεύματα, υψηλότερη V_P

Συνδεσμολογία σειράς χαμηλής τάσης

$$V_{GS2} + (V_{GS1} - V_{TH1}) \leq V_b \leq V_{GS1} + V_{TH2} \Rightarrow$$

$$V_{GS2} - V_{TH2} \leq V_{TH1}$$

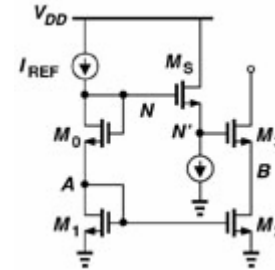
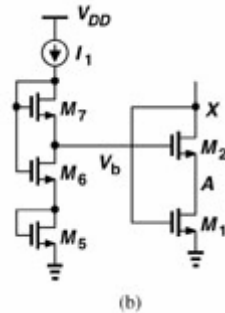
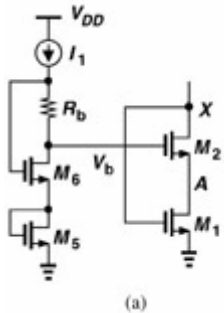


$$Aν \quad V_{GS2} = V_{GS4} \quad \text{και}$$

$$V_b = V_{GS2} + (V_{GS1} - V_{TH1}) = V_{GS4} + (V_{GS3} - V_{TH3})$$

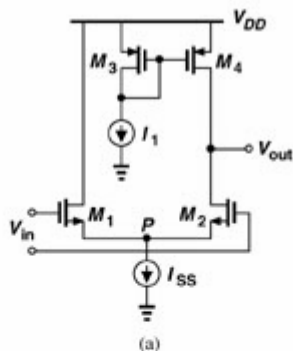
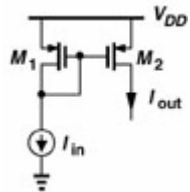
Ίσα ρεύματα και ελάχιστη τάση.

Πόλωση της συνδεσμολογίας σειράς χαμηλής τάσης (παραγωγή της V_b).



$$V_B = V_{GS1} + V_{GS0} - V_{TH3} - V_{GS3} = V_{GS1} - V_{TH3}$$

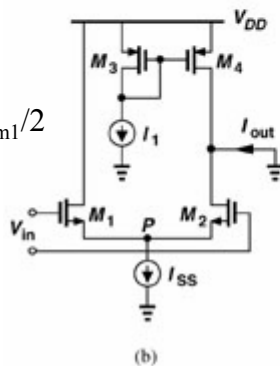
Ενεργοί καθρέφτες ρεύματος



Α' τρόπος

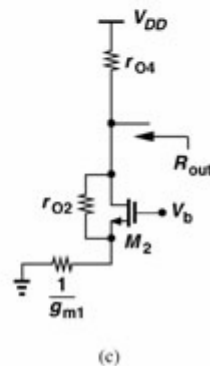
$$|A_v| = G_m R_{out}$$

$$G_m = I_{out} / V_{in} = (g_{m1} V_{in} / 2) / V_{in} = g_{m1} / 2$$



$$(1 + g_{m2} r_{O2})(1/g_{m1,2}) + r_{O2} = 2r_{O2} + 1/g_{m1} \approx 2r_{O2}$$

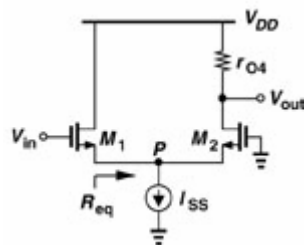
$$R_{out} \approx (2r_{O2}) || r_{O4}$$



$$|A_v| \approx \frac{g_{m1}}{2} [(2r_{O2}) || r_{O4}]$$

για $r_{O4} \rightarrow \infty \Rightarrow A_v \rightarrow g_{m1} r_{O2}$

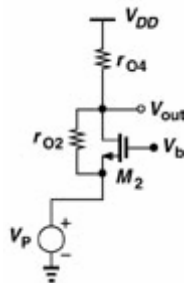
Β' τρόπος



$$\frac{V_P}{V_{in}} = \frac{R_{eq}}{R_{eq} + \frac{1}{g_{m1}}}$$

$$R_{eq} \approx \frac{1}{g_{m2}} + \frac{r_{O4}}{g_{m2} r_{O2}} = \frac{1}{g_{m2}} \left(1 + \frac{r_{O4}}{r_{O2}} \right)$$

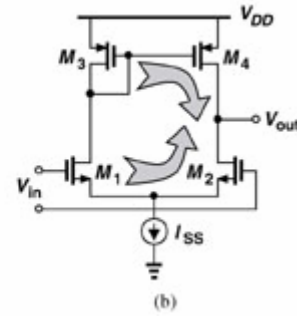
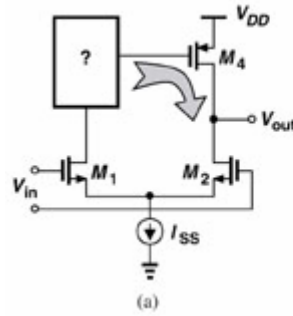
$$\frac{V_P}{V_{in}} = \frac{1 + \frac{r_{O4}}{r_{O2}}}{2 + \frac{r_{O4}}{r_{O2}}}$$



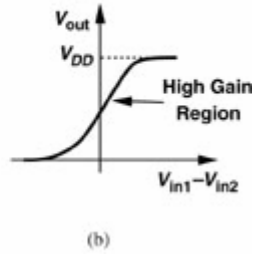
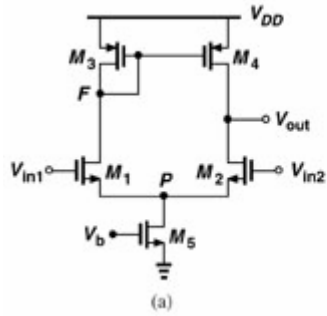
$$\frac{V_{out}}{V_P} = \frac{1 + g_{m2} r_{O2}}{1 + \frac{r_{O2}}{r_{O4}}} \approx \frac{g_{m2} r_{O2}}{1 + \frac{r_{O2}}{r_{O4}}}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1 + \frac{r_{O4}}{r_{O2}}}{2 + \frac{r_{O4}}{r_{O2}}} \cdot \frac{g_{m2} r_{O2}}{1 + \frac{r_{O2}}{r_{O4}}} = \frac{g_{m2} r_{O2} r_{O4}}{2r_{O2} + r_{O4}} = \frac{g_{m2}}{2} [(2r_{O2}) || r_{O4}]$$

Διαφορικό ζεύγος με ενεργό καθρέφτη ρεύματος.
 Μετατρέπει τη διαφορική είσοδο σε μονόπλευρη έξοδο.



- Συμπεριφορά μεγάλου σήματος

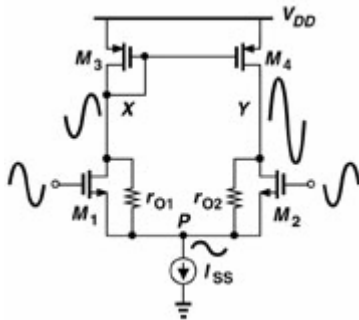


Η μεταβολή της τάσης εξόδου εξαρτάται άμεσα από την τάση CM

$$\text{για } V_{in1} = V_{in2} \Rightarrow V_{out} = V_F = V_{DD} - |V_{GS3}|$$

(οι ασυμμετρίες επηρεάζουν πολύ)

- Συμπεριφορά μικρού σήματος



$$V_p \neq 0$$

Α' τρόπος

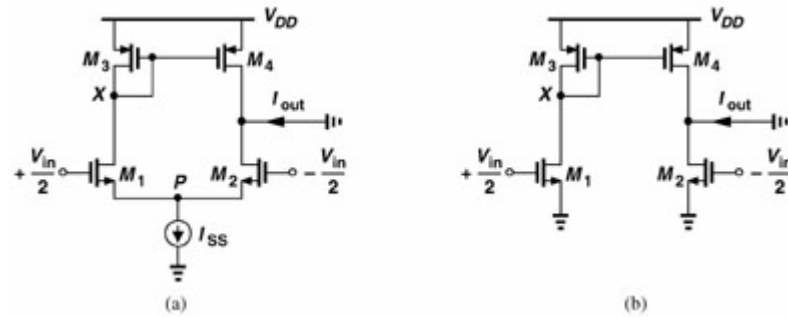
$$|A_V| = G_m R_{out}$$

$$I_{D1} = |I_{D3}| = |I_{D4}| = g_{m1,2} V_{in}/2$$

$$I_{D2} = -g_{m1,2} V_{in}/2$$

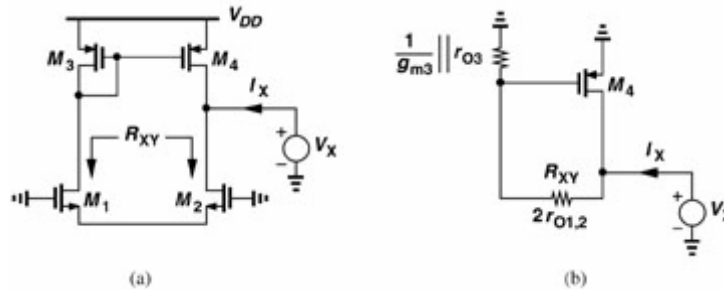
$$I_{out} = -g_{m1,2} V_{in}$$

$$|G_m| = g_{m1,2}$$



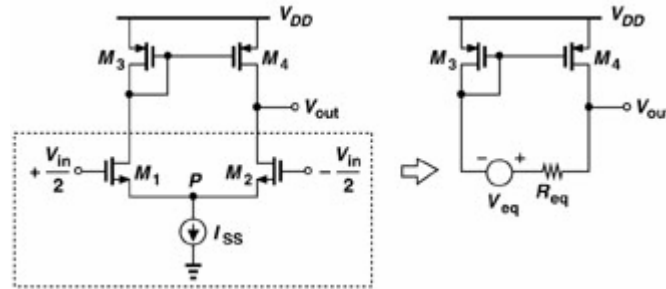
$$I_X = 2 \frac{V_X}{2r_{O1,2} + \frac{1}{g_{m3}} \parallel r_{O3}} + \frac{V_X}{r_{O4}}$$

$$R_{out} \approx r_{O2} \parallel r_{O4}$$



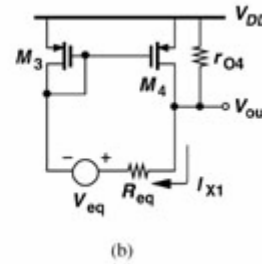
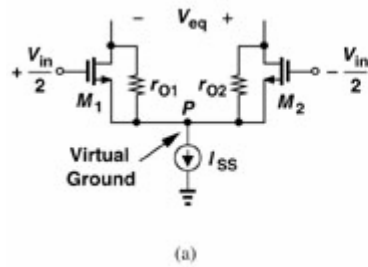
$$|A_V| = G_m R_{out} = g_{m1,2} (r_{O2} \parallel r_{O4})$$

B' τρόπος



$$V_{eq} = g_{m1,2} r_{O1,2} V_{in}$$

$$R_{eq} = 2r_{O1,2}$$



$$2 \frac{V_{out} - g_{m1,2} r_{O1,2} V_{in}}{2r_{O1,2} + \frac{1}{g_{m3}} \parallel r_{O3}} = - \frac{V_{out}}{r_{O4}}$$

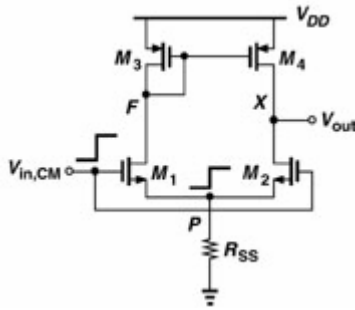
$$I_{X1} = \frac{V_{out} - g_{m1,2} r_{O1,2} V_{in}}{2r_{O1,2} + \frac{1}{g_{m3}} \parallel r_{O3}}$$

$$A_v \quad 2r_{O1,2} \gg (1/g_{m3,4}) \parallel r_{O3,4} \Rightarrow$$

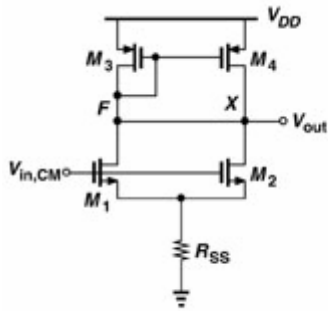
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{g_{m1,2} r_{O3,4} r_{O1,2}}{r_{O1,2} + r_{O3,4}} = g_{m1,2} (r_{O1,2} \parallel r_{O3,4})$$

• Λειτουργία κοινού τρόπου

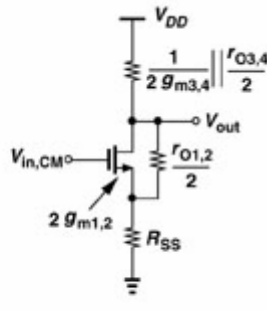
α) Για $R_{SS} \neq \infty$



$$A_{CM} \equiv \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in,CM}}$$



(a)



(b)

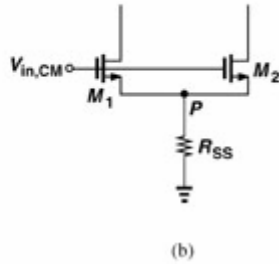
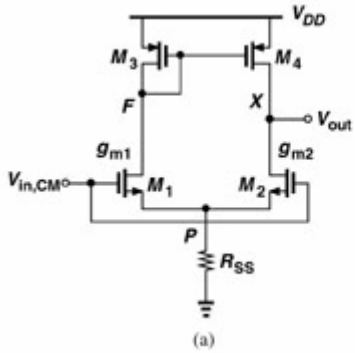
$$A_{CM} \approx \frac{-\frac{1}{2g_{m3,4}} \parallel \frac{r_{O3,4}}{2}}{\frac{1}{2g_{m1,2}} + R_{SS}} = \frac{-1}{1 + 2g_{m1,2}R_{SS}} \frac{g_{m1,2}}{g_{m3,4}}$$

Όπου $1/(2g_{m3,4}) \ll r_{O3,4}$ και $r_{O1,2}/2$ αμελητέο \Rightarrow

$$CMRR = \left| \frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right| = g_{m1,2} (r_{O1,2} \parallel r_{O3,4}) \frac{g_{m3,4} (1 + 2g_{m1,2}R_{SS})}{g_{m1,2}} = (1 + 2g_{m1,2}R_{SS}) g_{m3,4} (r_{O1,2} \parallel r_{O3,4})$$

Ακόμη και με πλήρη συμμετρία το σήμα εξόδου επηρεάζεται από τις μεταβολές της εισόδου CM.

β) Παρουσία αστοχιών π.χ. $g_{m1} \neq g_{m2}$.



$$\Delta V_P = \Delta V_{in,CM} \frac{R_{SS}}{R_{SS} + \frac{1}{g_{m1} + g_{m2}}}$$

$$\Delta I_{D1} = g_{m1} (\Delta V_{in,CM} - \Delta V_P) = \frac{\Delta V_{in,CM}}{R_{SS} + \frac{1}{g_{m1} + g_{m2}}} \frac{g_{m1}}{g_{m1} + g_{m2}}$$

$$\Delta I_{D2} = g_{m2} (\Delta V_{in,CM} - \Delta V_P) = \frac{\Delta V_{in,CM}}{R_{SS} + \frac{1}{g_{m1} + g_{m2}}} \frac{g_{m2}}{g_{m1} + g_{m2}}$$

$$|\Delta I_{D4}| = g_{m4} [(1/g_{m3}) || r_{O3}] \Delta I_{D1}$$

$$\Delta V_{out} = \left[\frac{g_{m1} \Delta V_{in,CM}}{1 + (g_{m1} + g_{m2}) R_{SS}} \frac{r_{O3}}{r_{O3} + \frac{1}{g_{m3}}} - \frac{g_{m2} \Delta V_{in,CM}}{1 + (g_{m1} + g_{m2}) R_{SS}} \right] r_{O4} = \frac{\Delta V_{in,CM}}{1 + (g_{m1} + g_{m2}) R_{SS}} \frac{(g_{m1} - g_{m2}) r_{O3} - g_{m2} / g_{m3}}{r_{O3} + \frac{1}{g_{m3}}} r_{O4}$$

$$A_v \quad r_{O3} \gg 1/g_{m3} \Rightarrow \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in,CM}} \approx \frac{(g_{m1} - g_{m2}) r_{O3} - g_{m2} / g_{m3}}{1 + (g_{m1} + g_{m2}) R_{SS}}$$