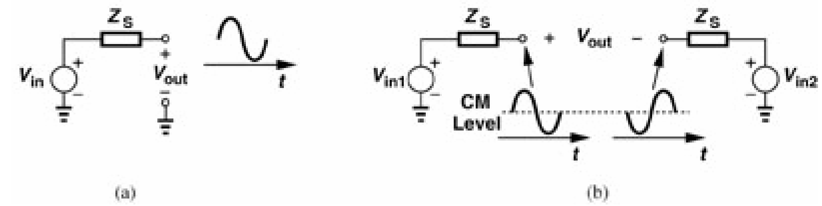
ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

Μονόπλευρη και διαφορική λειτουργία

•**Μονόπλευρη έξοδος ή είσοδος:** όταν το σήμα μετράται ως προς ένα σταθερό δυναμικό (συνήθως τη γη).

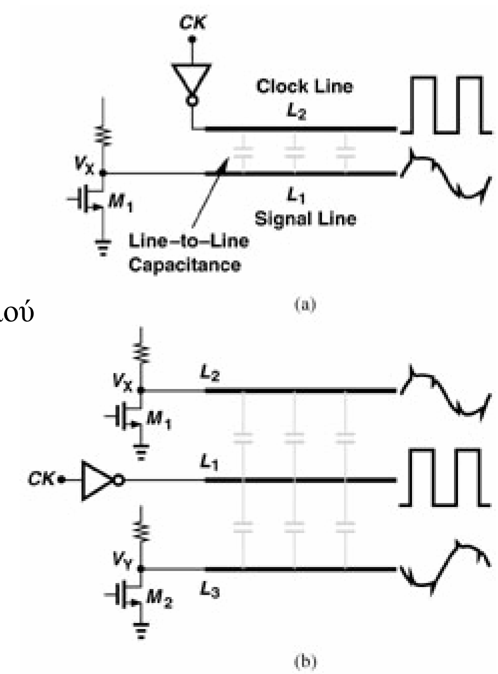
•**Διαφορική έξοδος ή είσοδος:** όταν το σήμα μετράται μεταξύ δύο σημείων με αντίθετες μεταβολές τάσης γύρω από ένα σταθερό δυναμικό (στάθμη **κοινού τρόπου**). Υποτίθενται επίσης ίσες σύνθετες αντιστάσεις.



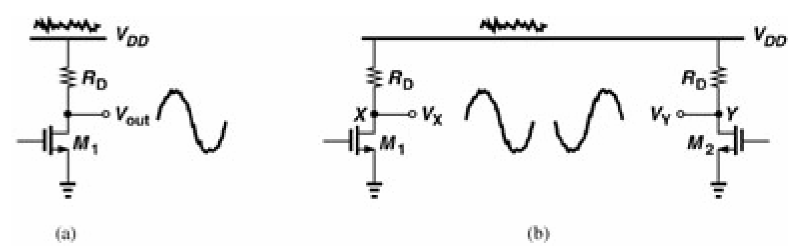
Πλεονεκτήματα της διαφορικής λειτουργίας

1. Απόρριψη θορύβου

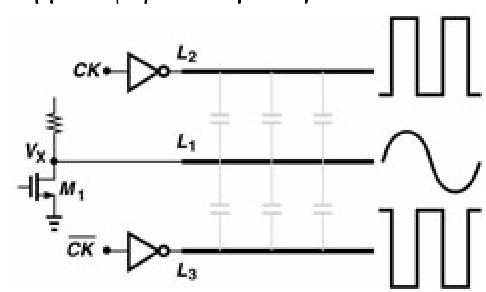
Θόρυβος ρολογιού



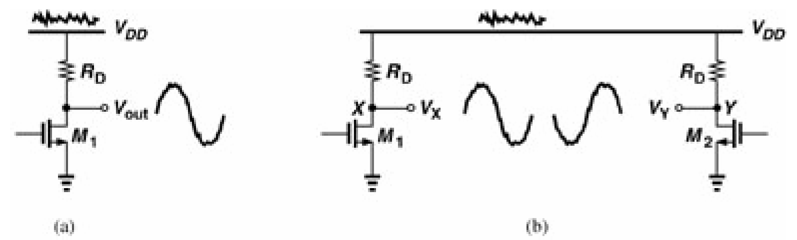
Θόρυβος τάσης τροφοδοσίας



Διαφορική μεταφορά του ρολογιού



2. Αύξηση των ορίων μεταβολής της τάσης εξόδου



$$\Delta V_{X\max} = \Delta V_{Y\max} = V_{DD} - (V_{GS} - V_{TH})$$ Μονόπλευρη έξοδος

$$\Delta(V_X - V_Y)_{\max} = 2[V_{DD} - (V_{GS} - V_{TH})]$$ Διαφορική έξοδος

3. Απλούστερη πόλωση

4. Υψηλότερη γραμμικότητα

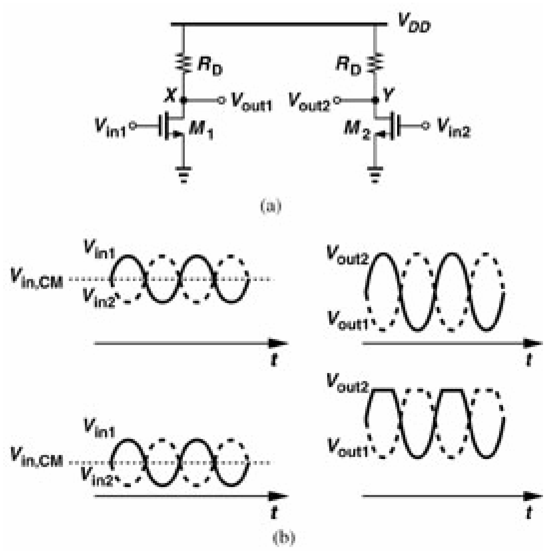
Μειονέκτημα της διαφορικής λειτουργίας: Διπλάσια επιφάνεια (όχι τόσο σημαντικό)

Βασικό διαφορικό ζεύγος

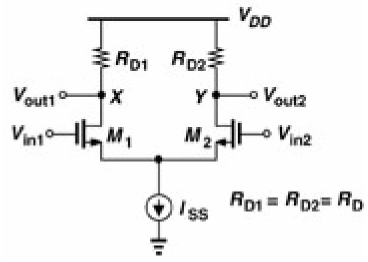
Επίδραση της τάσης εισόδου κοινού τρόπου:

•Στη διαγωγιμότητα

•Στη στάθμη εξόδου CM

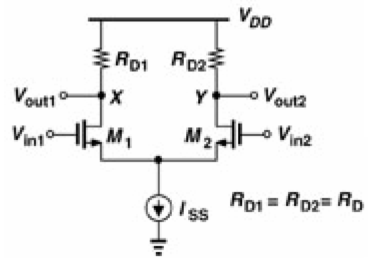


Πόλωση με πηγή σταθερού ρεύματος: καταργεί την εξάρτηση της πόλωσης από τη στάθμη εισόδου CM



$$V_{outCM} = V_{DD} - R_D \frac{I_{SS}}{2}$$

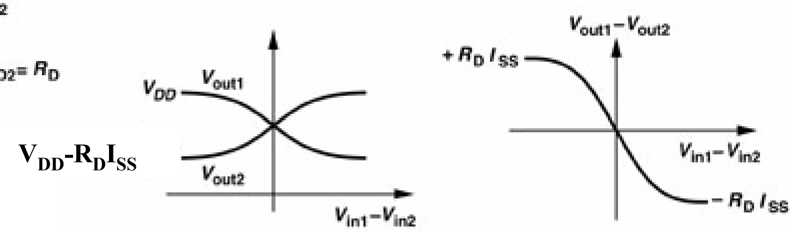
Ποιοτική ανάλυση



Διαφορική συμπεριφορά:

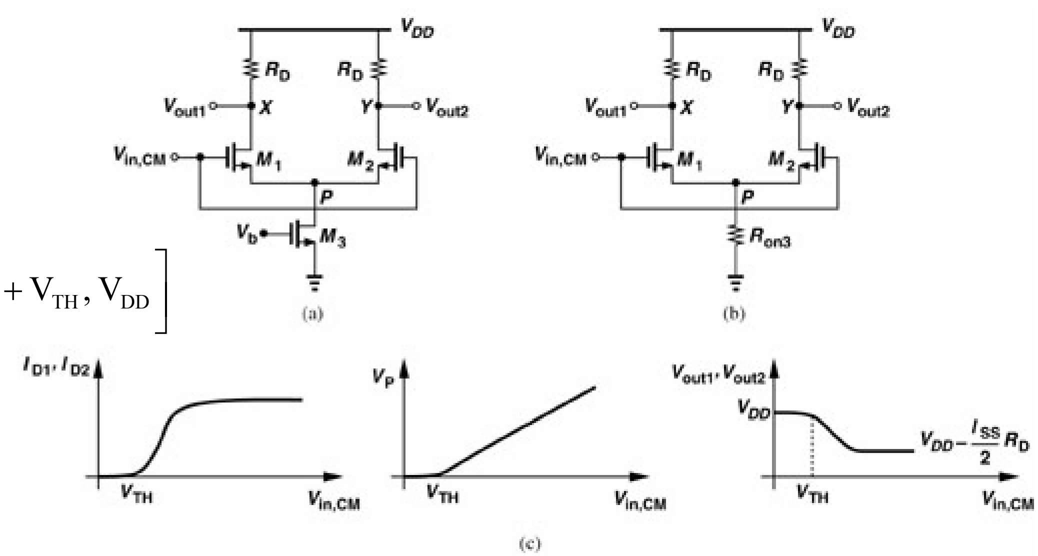
•Στάθμες εξόδου ανεξάρτητες της στάθμης εισόδου CM.

•Απολαβή μικρού σήματος μέγιστη για $V_{in1}=V_{in2}$.



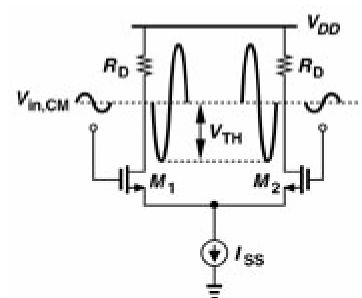
Συμπεριφορά κοινού τρόπου

$$V_{GS1}+\left(V_{GS3}-V_{TH3}\right)\leq V_{in,CM}\leq \min\left[V_{DD}-R_D\frac{I_{SS}}{2}+V_{TH}, V_{DD}\right]$$

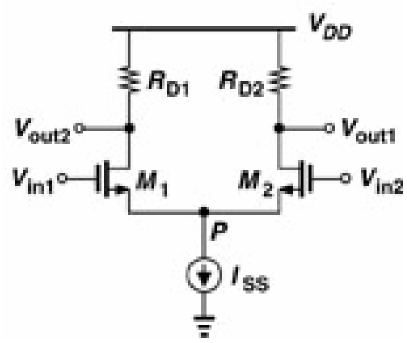


Μέγιστη μεταβολή της τάσης εξόδου

$$V_{in,CM}-V_{TH}\leq V_{out}\leq V_{DD}$$



Ποσοτική ανάλυση



Ανάλυση μεγάλου σήματος

$$V_{out1} - V_{out2} = R_D(I_{D2} - I_{D1}) \qquad V_{in1} - V_{in2} = V_{GS1} - V_{GS2}$$

Θεωρούμε το κύκλωμα συμμετρικό και τα M1 και M2 στον κόρο.

$$\text{Για} \quad \lambda = 0 \Rightarrow (V_{GS} - V_{TH})^2 = \frac{I_D}{\frac{1}{2}\mu_n C_{OX}\frac{W}{L}} \qquad \Rightarrow V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_D}{\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}}} + V_{TH}$$

$$V_{in1} - V_{in2} = \sqrt{\frac{2I_{D1}}{\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}}} - \sqrt{\frac{2I_{D2}}{\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}}} \Rightarrow \qquad (V_{in1} - V_{in2})^2 = \frac{2}{\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}}\left(I_{SS} - 2\sqrt{I_{D1}I_{D2}}\right), \quad \text{επειδή} \quad I_{D1} + I_{D2} = I_{SS}$$

$$\text{Δηλαδή} \quad \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{in1} - V_{in2})^2 - I_{SS} = -2\sqrt{I_{D1}I_{D2}}$$

$$(I_{D1} - I_{D2})^2 = -\frac{1}{4}\left(\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}\right)^2 (V_{in1} - V_{in2})^4 + I_{SS}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{in1} - V_{in2})^2$$

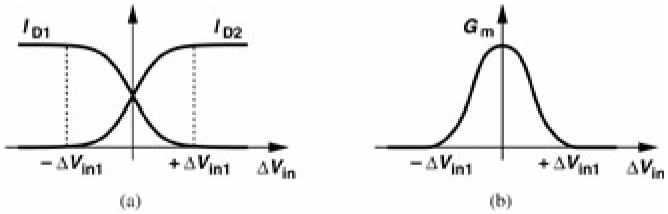
επειδή $4I_{D1}I_{D2} = (I_{D1}+I_{D2})^2-(I_{D1}-I_{D2})^2=I^2_{SS}-(I_{D1}-I_{D2})^2$

$$I_{D1} - I_{D2} = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}(V_{in1} - V_{in2})\sqrt{\frac{4I_{SS}}{\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}} - (V_{in1} - V_{in2})^2} \Rightarrow I_{D1} - I_{D2} = 0, \text{για} V_{in1} = V_{in2}$$

$$G_m = \frac{\partial \Delta I_D}{\partial \Delta V_{in}} = \frac{1}{2}\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}\frac{\frac{4I_{SS}}{\mu_n C_{ox} W/L} - 2\Delta V_{in}^2}{\sqrt{\frac{4I_{SS}}{\mu_n C_{ox} W/L} - \Delta V_{in}^2}} \Rightarrow \gamma\iota\alpha \quad \Delta V_{in} = 0 \Rightarrow G_m = \sqrt{\mu_n C_{ox}(W/L) I_{SS}}$$

$$G_m = 0 \cdot \gamma\iota\alpha \cdot \Delta V_{in1} = \sqrt{\frac{2I_{SS}}{\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}}}$$

Η ΔV_{in1} είναι η μέγιστη επιτρεπτή διαφορική είσοδος.

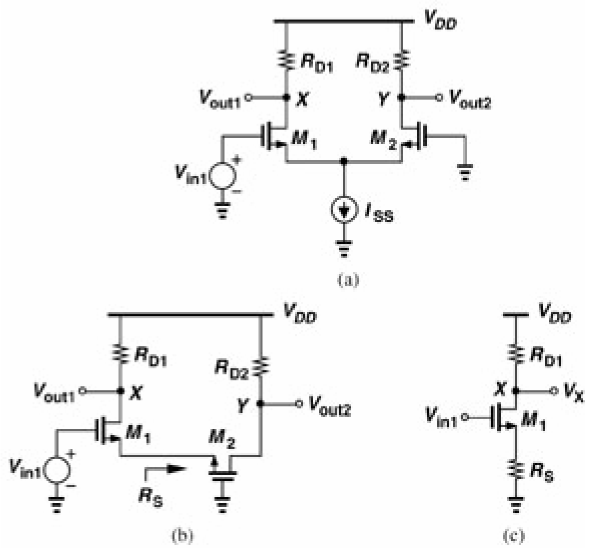


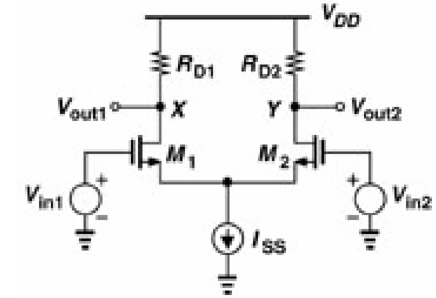
$$\text{Εφόσον} \cdot V_{out1} - V_{out2} = R_D G_m \Delta V_{in} \Rightarrow |A_v| = \sqrt{\mu_n C_{ox}\frac{W}{L} I_{SS}} R_D = g_m R_D$$

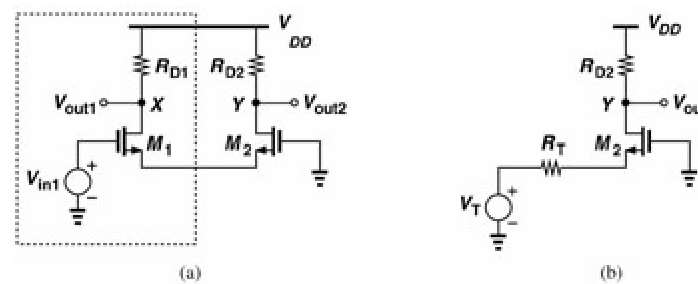
$$\text{Όταν} \quad I_{D1} = I_{D2} = \frac{I_{SS}}{2} \Rightarrow (V_{GS} - V_{TH})_{1,2} = \sqrt{\frac{I_{SS}}{\mu_n C_{ox}\frac{W}{L}}} = \frac{\Delta V_{in1}}{\sqrt{2}}$$

Ανάλυση μικρού σήματος

Μέθοδος Ι (υπέρθεση ή αρχή της επαλληλίας)







$$R_S = \frac{1}{g_{m2}} \qquad \frac{V_X}{V_{in1}} = \frac{-R_D}{\dfrac{1}{g_{m1}} + \dfrac{1}{g_{m2}}}. \qquad \frac{V_Y}{V_{in1}} = \frac{R_D}{\dfrac{1}{g_{m2}} + \dfrac{1}{g_{m1}}}.$$

$$\left.(V_X - V_Y)\right|_{Due \cdot to \cdot V_{in1}} = \frac{-2R_D}{\dfrac{1}{g_{m1}} + \dfrac{1}{g_{m2}}} V_{in1}, \text{για} \quad g_{m1} = g_{m2} = g_m \Rightarrow \qquad \left.(V_X - V_Y)\right|_{Due \cdot to \cdot V_{in1}} = -g_m R_D V_{in1}.$$

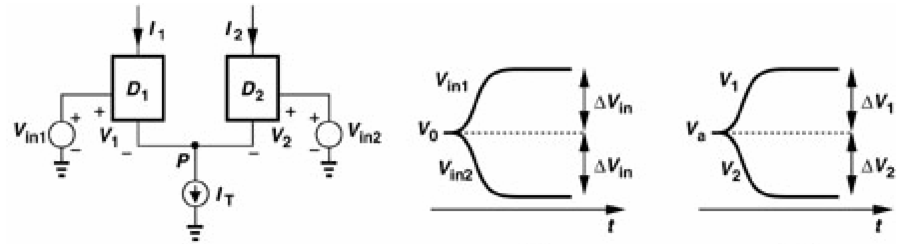
$$\left.(V_X - V_Y)\right|_{Due \cdot to \cdot V_{in2}} = g_m R_D V_{in2}.$$

$$\frac{(V_X - V_Y)_{tot}}{V_{in1} - V_{in2}} = -g_m R_D.$$

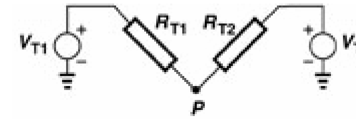
(g_m μικρότερο από του ενισχυτή CS με το ίδιο ρεύμα πόλωσης)

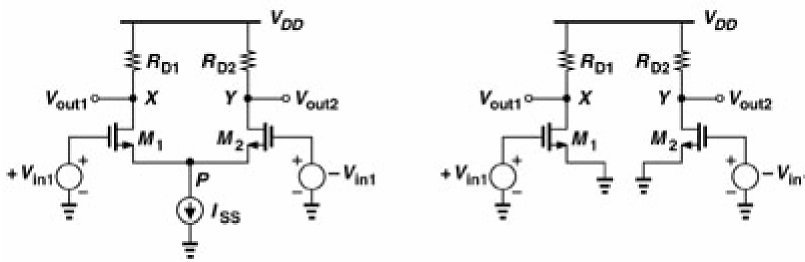
Μέθοδος II

<u>Λήμμα</u> Για μικρές αντίθετες μεταβολές Δv_{in} το V_P δεν μεταβάλλεται



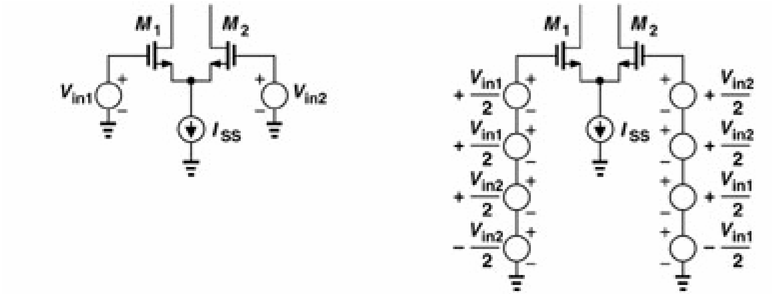
(a) (b) (c)





(a) (b)

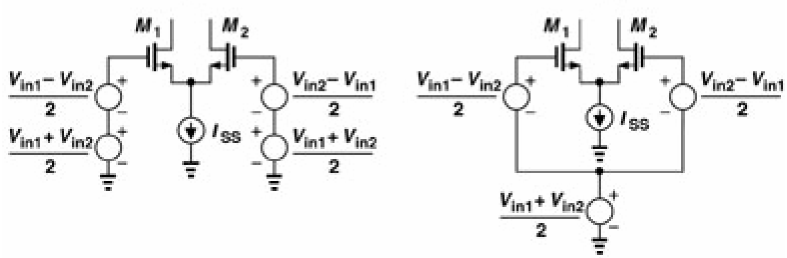
$$\frac{V_X - V_Y}{2V_{in}} = -g_m R_D$$



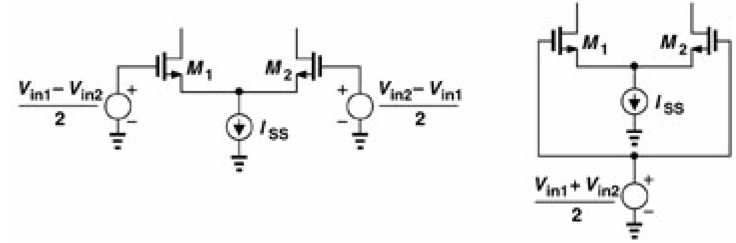
(a) (b)

$$V_{in1} = \frac{V_{in1} - V_{in2}}{2} + \frac{V_{in1} + V_{in2}}{2}$$

$$V_{in2} = \frac{V_{in2} - V_{in1}}{2} + \frac{V_{in1} + V_{in2}}{2}.$$



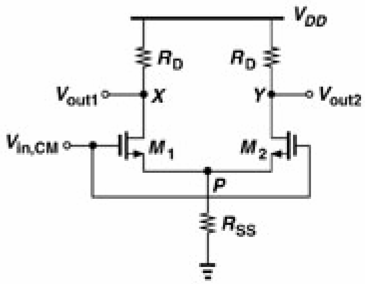
(c) (d)



(a) (b)

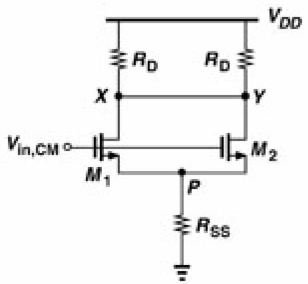
Απόκριση κοινού-τρόπου

- Μη ιδανική πηγή ρεύματος

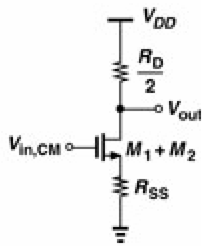


(a)

$$A_{V,CM} = \frac{V_{out}}{V_{in,CM}} = -\frac{R_D/2}{1/(2g_m)+R_{SS}}$$ (απολαβή κοινού τρόπου)

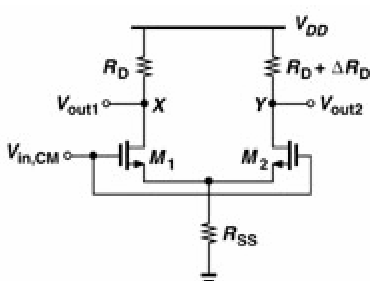


(b)



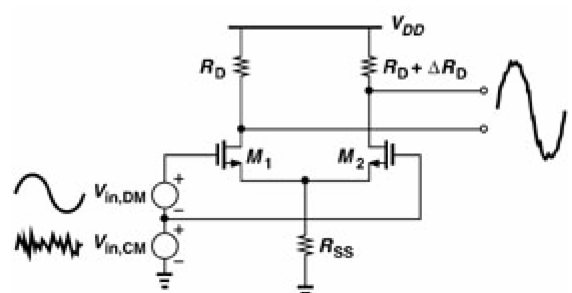
(c)

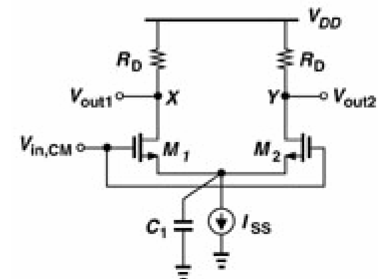
- Ασυμμετρία του κυκλώματος



$$\Delta V_X = \Delta V_{in,CM}\frac{g_m}{1+2g_m R_{SS}} R_D.$$

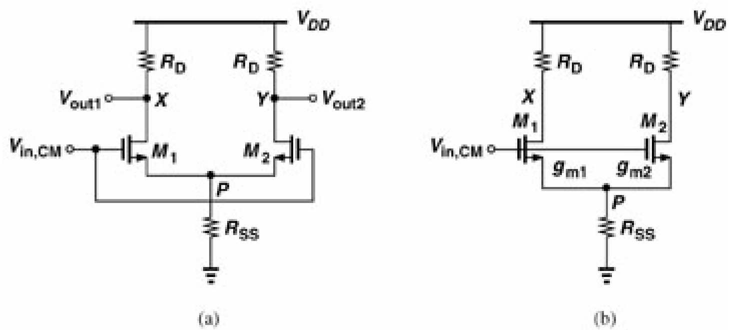
$$\Delta V_Y = \Delta V_{in,CM}\frac{g_m}{1+2g_m R_{SS}}(R_D+\Delta R_D).$$





(μετατροπή κοινού τρόπου σε διαφορικό)

- Ασυμμετρία μεταξύ των M1 και M2



$$I_{D1} = g_{m1}\left(V_{in,CM} - V_p\right) \text{και} I_{D2} = g_{m2}\left(V_{in,CM} - V_p\right)$$

$$\left(g_{m1} + g_{m2}\right)\left(V_{in,CM} - V_p\right)R_{SS} = V_p \Rightarrow \qquad V_p = \frac{\left(g_{m1} + g_{m2}\right)R_{SS}}{\left(g_{m1} + g_{m2}\right)R_{SS} + 1}V_{in,CM}.$$

$$V_X = -g_{m1}\left(V_{in,CM} - V_p\right)R_D = \frac{-g_{m1}}{\left(g_{m1} + g_{m2}\right)R_{SS} + 1}R_D V_{in,CM}$$

$$V_Y = -g_{m2}\left(V_{in,CM} - V_p\right)R_D = \frac{-g_{m2}}{\left(g_{m1} + g_{m2}\right)R_{SS} + 1}R_D V_{in,CM}.$$

$$V_X - V_Y = -\frac{g_{m1} - g_{m2}}{\left(g_{m1} + g_{m2}\right)R_{SS} + 1}R_D V_{in,CM}$$

$$A_{CM-DM} = -\frac{\Delta g_m R_D}{\left(g_{m1} + g_{m2}\right)R_{SS} + 1}$$

$$CMRR = \frac{A_{DM}}{A_{CM-DM}}$$

$$\left|A_{DM}\right| = \frac{R_D}{g_{m1}^{-1} + g_{m2}^{-1}} = \frac{g_{m1}g_{m2}}{g_{m1} + g_{m2}}R_D$$

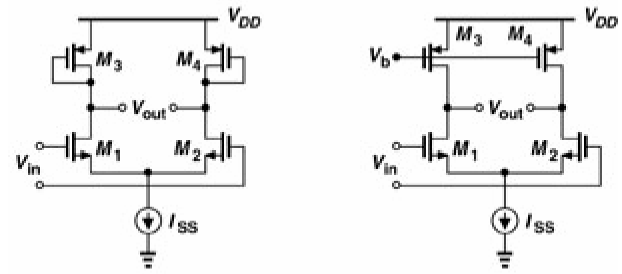
Αν λάβουμε υπόψη μόνο την αστοχία του g_m

$$CMRR = \frac{\dfrac{g_{m1}g_{m2}}{g_{m1} + g_{m2}}R_D}{\dfrac{\Delta g_{in}R_D}{1 + \left(g_{m1} + g_{m2}\right)R_{SS}}} = \frac{g_{m1}g_{m2}}{\left(g_{m1} + g_{m2}\right)\Delta g_{in}}\left[1 + \left(g_{m1} + g_{m2}\right)R_{SS}\right]$$

Διαφορικό ζεύγος με φόρτους MOS

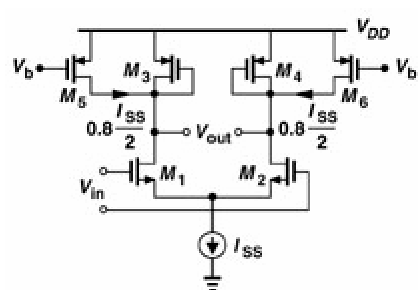
$$A_V = -g_{mN}\left(\frac{1}{g_{mP}^{-1}\|r_{0N}\|r_{0P}}\right) \approx -\frac{g_{mN}}{g_{mP}}$$

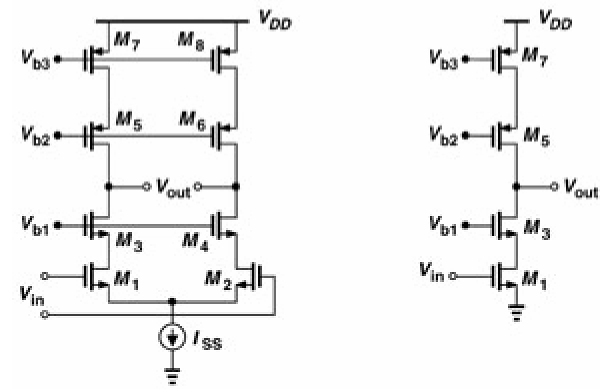
$$A_V \approx -\sqrt{\frac{\mu_n (W/L)_N}{\mu_p (W/L)_p}}$$



(a) (b)

$$A_V = -g_{mN}\left(r_{0N}\|r_{0P}\right).$$





(a) (b)

$$|A_v| \approx g_{m1}\left[(g_{m3} r_{03} r_{01}) \| (g_{m5} r_{05} r_{07})\right]$$