

ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

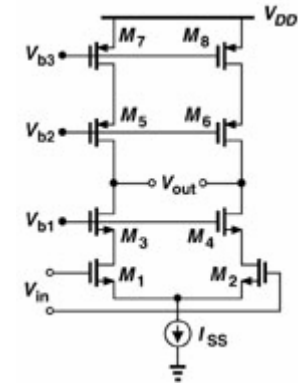
Ενισχυτές γενικής χρήσεως

Ιδανικός Τελεστικός Ενισχυτής:

Υψηλή απολαβή (10 ως 10^5)

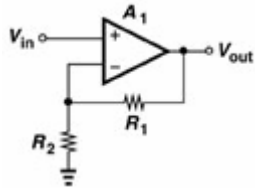
Μεγάλη αντίσταση εισόδου

Μικρή αντίσταση εξόδου



Παράμετροι επιδόσεων

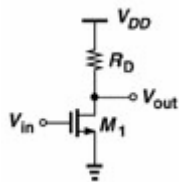
- Απολαβή



$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A_1}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} A_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \frac{A_1}{\frac{R_1 + R_2}{R_2} + A_1}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} \approx \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \left(1 - \frac{R_1 + R_2}{R_2} \frac{1}{A_1}\right)$$

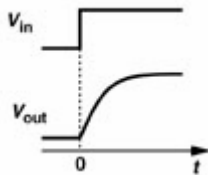
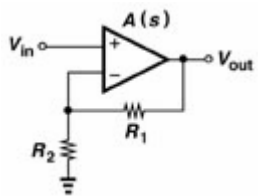
Σφάλμα απολαβής 1% αν $A_1=1000$



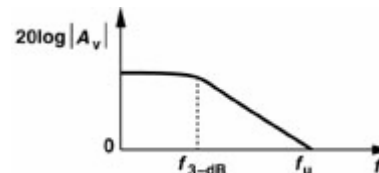
$$g_m R_D \approx 10 \quad \text{Σφάλμα απολαβής 20\%}$$

(λόγω διακυμάνσεων της ευκινησίας φορέων, του πάχους του οξειδίου και της τιμής της αντίστασης)

- Εύρος ζώνης μικρού σήματος



$$\frac{V_{out}}{V_{in}}(s) = \frac{A(s)}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} A(s)}$$



$A_v \quad A(s) = A_0 / (1 + s/\omega_0)$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}}(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} A_0 + \frac{s}{\omega_0}} = \frac{\frac{A_0}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} A_0}}{1 + \frac{s}{(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} A_0)\omega_0}}$$

$$\tau = \frac{1}{(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} A_0)\omega_0} \quad \tau \approx \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{1}{A_0\omega_0}$$

για $V_{in} = \alpha u(t) \quad V_{out}(t) \approx \alpha \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right) u(t)$

με τελική τιμή $V_F \approx \alpha (1 + R_1/R_2) \quad \left(1 - \exp\left(-\frac{t_{1\%}}{\tau}\right)\right) = 0.99$

$t_{1\%} = \tau \ln 100 \approx 4.6\tau = 5 \text{ ns} \Rightarrow \tau \approx 1.09 \text{ ns}$, και $A_0\omega_0 = (1 + R_1/R_2)/\tau = 9.21 \text{ Grad/s (1.47 GHz)}$.

- Εύρος ζώνης μεγάλου σήματος

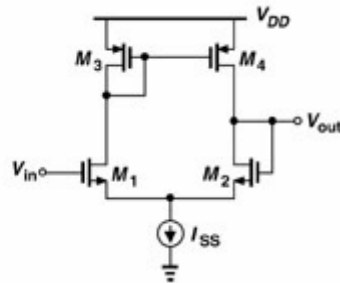
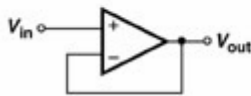
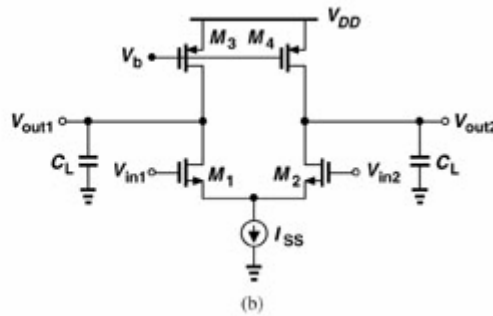
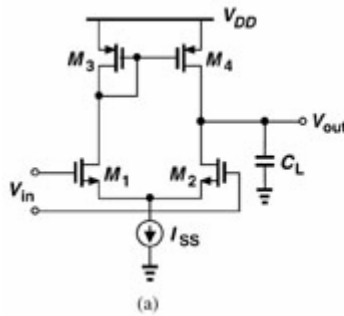
- Μεταβολή της εξόδου

- Γραμμικότητα

- Θόρυβος και ολίσθηση τάσης (offset)

- Απόρριψη τροφοδοσίας

Τελεστικοί ενισχυτές μιας βαθμίδας



Απολαβή $g_{mN}(r_{ON} \parallel r_{OP})$ όχι πάνω από 20
 Εύρος ζώνης από την C_L
 Πόλος καθρέφτη
 Θόρυβος

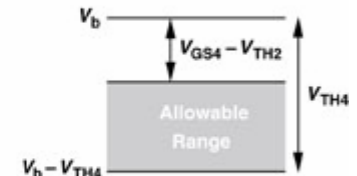
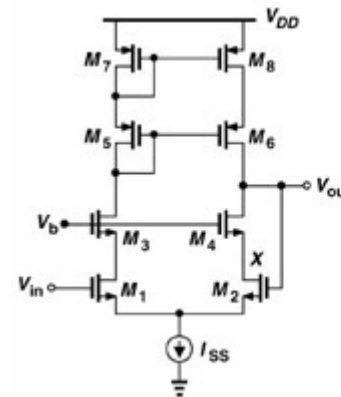
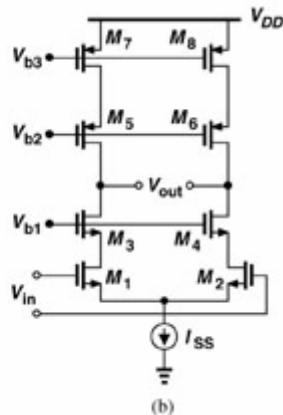
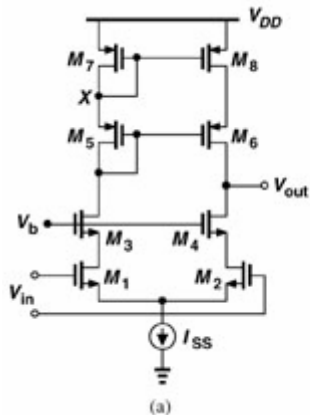
$$V_{in,min} = V_{CSS} + V_{GS1}$$

$$V_{in,max} = V_{DD} - |V_{GS3}| + V_{TH1}$$

$$r_{out} = (r_{OP} \parallel r_{ON}) / [g_{mN}(r_{OP} \parallel r_{ON})] = 1 / g_{mN}$$

Η αντίσταση εξόδου κλειστού βρόχου είναι σχετικά ανεξάρτητη από την αντίσταση ανοιχτού βρόχου.

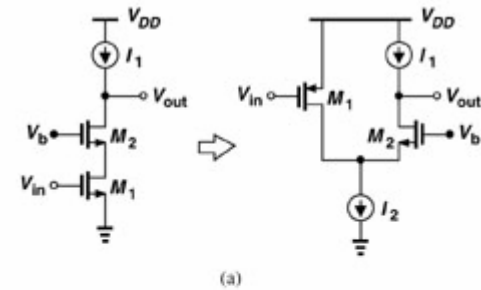
Τηλεσκοπικοί τελεστικοί ενισχυτές



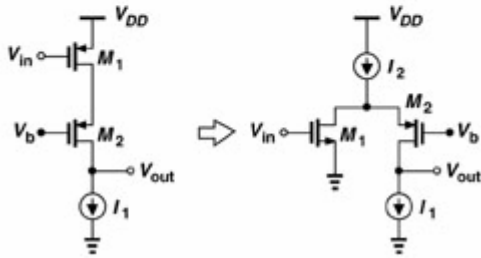
Μεγάλη απολαβή
 Μικρή μεταβολή της τάσης εισόδου
 Αύξηση του αριθμού των πόλων

Δυσκολία στη βραχυκύκλωση εισόδου-εξόδου

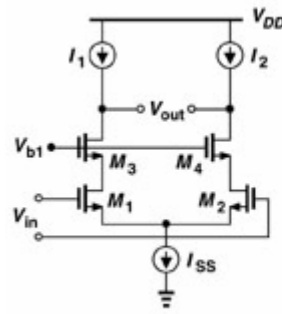
Τελεστικοί ενισχυτές με αναδίπλωση



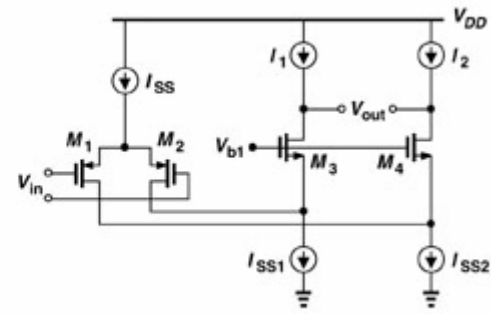
(a)



(b)

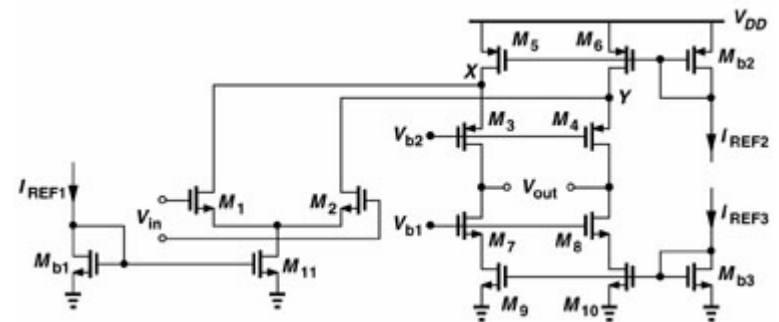
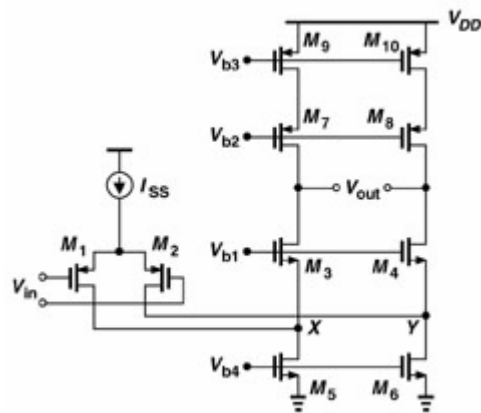


(a)



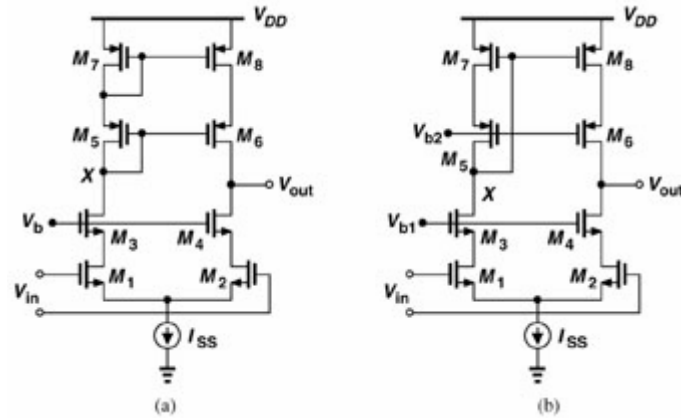
(b)

Μεγαλύτερες επιτρεπτές μεταβολές τάσης
 Μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος
 Δυνατότητα βραχυκύκλωσης εισόδου-εξόδου
 Μικρότερη απολαβή
 Πρόσθετοι πόλοι



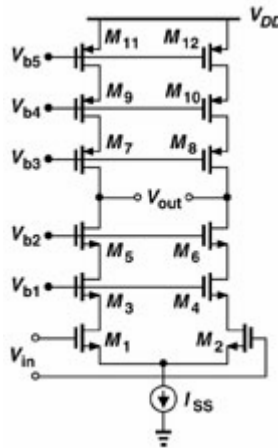
Μεγαλύτερη απολαβή
 Πόλος σε χαμηλότερη συχνότητα

Τηλεσκοπικοί τελεστικοί ενισχυτές με μονόπλευρη έξοδο



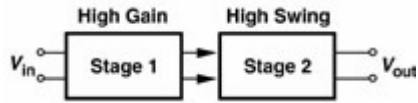
Βελτίωση της περιοχής μεταβολής της τάσης εξόδου

Τελεστικοί ενισχυτές με τριπλή συνδεσμολογία σειράς

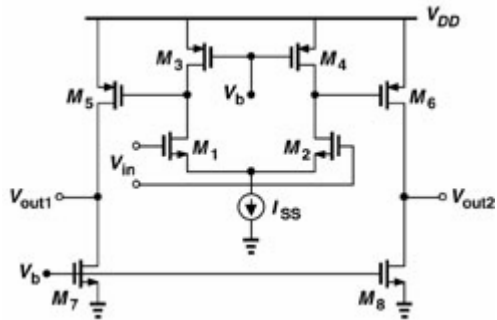


Δύσκολα χρησιμοποιείται με τροφοδοσία 3V ή μικρότερη.

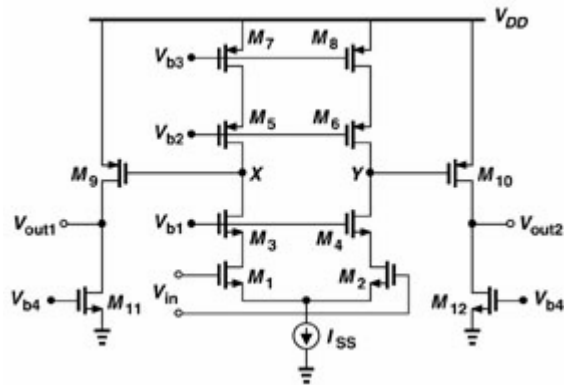
Τελεστικοί ενισχυτές δύο βαθμίδων



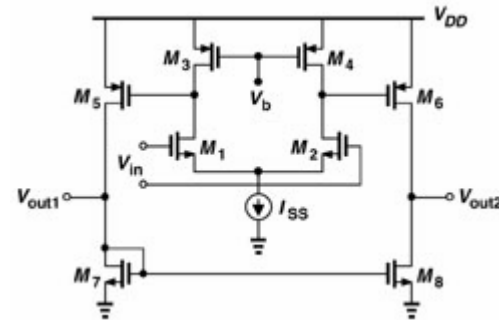
Απολαβή συγκρίσιμη με του τελεστικού σε συνδεσμολογία σειράς
Μεγαλύτερο περιθώριο μεταβολής τάσης εξόδου



Πρώτη βαθμίδα τελεστικός σε συνδεσμολογία σειράς



Δεύτερη βαθμίδα με μονόπλευρη έξοδο

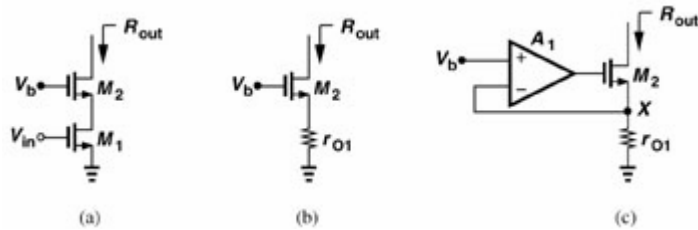


$$A_v \approx \{g_{m1,2} [(g_{m3,4} + g_{mb3,4})r_{O3,4} r_{O1,2}] \parallel [(g_{m5,6} + g_{mb5,6})r_{O5,6} r_{O7,8}]\} X [g_{m9,10} (r_{O9,10} \parallel r_{O11,12})]$$

Περισσότερες βαθμίδες για αύξηση της απολαβής =>

Αύξηση των πόλων => μείωση της σταθερότητας κλειστού βρόχου.

Υποβοήθηση της Απολαβής (Gain Boosting)

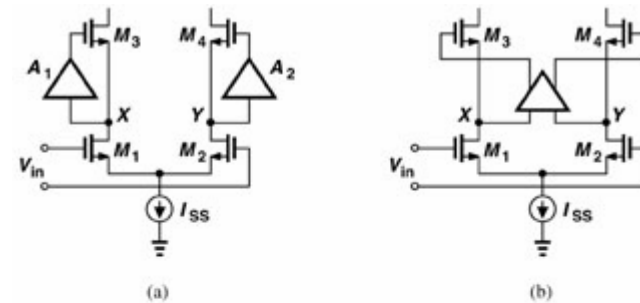
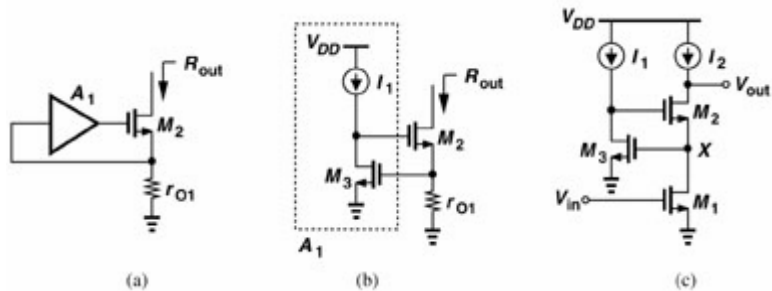


Αύξηση της αντίστασης εξόδου χωρίς προσθήκη διατάξεων σειράς

$$R_{out} = g_{m2} r_{O2} r_{O1}$$

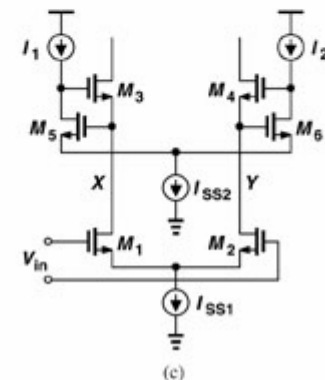
$$R_{out} \approx A_1 g_{m2} r_{O2} r_{O1}$$

Υλοποίηση της ιδέας αύξησης της αντίστασης εξόδου



Εφαρμογή της ιδέας αύξησης της αντίστασης εξόδου σε διαφορική βαθμίδα

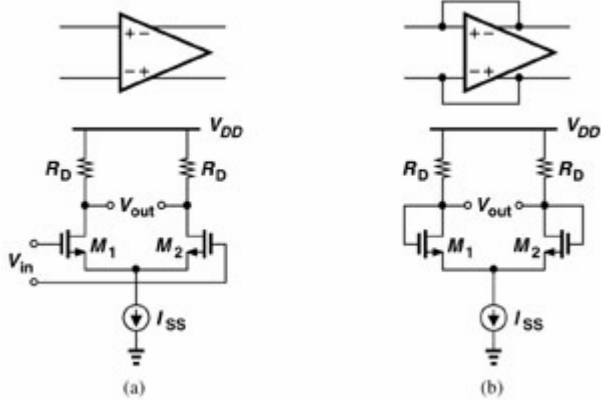
Εισάγονται πρόσθετοι πόλοι αλλά δεν επηρεάζουν όλο το σήμα



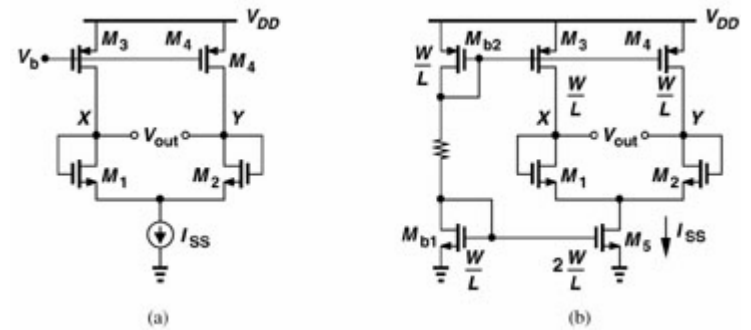
Σύγκριση των επιδόσεων των διαφόρων τοπολογιών των τελεστικών ενισχυτών

	Απολαβή	Μεταβολή της τάσης εξόδου	Ταχύτητα	Κατανάλωση ισχύος	Θόρυβος
Τηλεσκοπική	Μέτρια	Μέτρια	Μέγιστη	Χαμηλή	Χαμηλός
Αναδιπλωμένη συνδεσμολογία σειράς	Μέτρια	Μέτρια	Υψηλή	Μέτρια	Μέτριος
Δύο βαθμίδων	Υψηλή	Μέγιστη	Χαμηλή	Μέτρια	Χαμηλός
Με υποβοήθηση απολαβής	Υψηλή	Μέτρια	Μέτρια	Υψηλή	Μέτριος

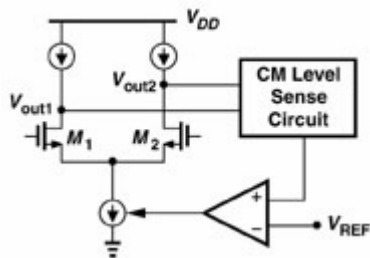
Ανατροφοδότηση κοινού τρόπου



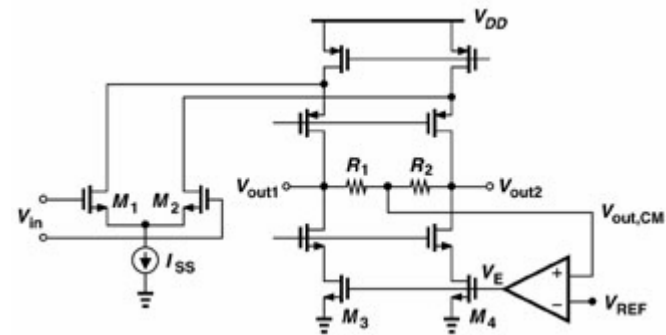
Καλά καθορισμένη στάθμη εξόδου CM



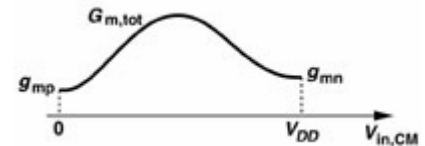
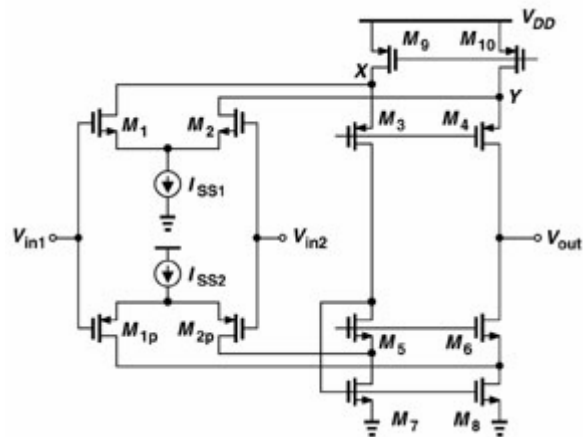
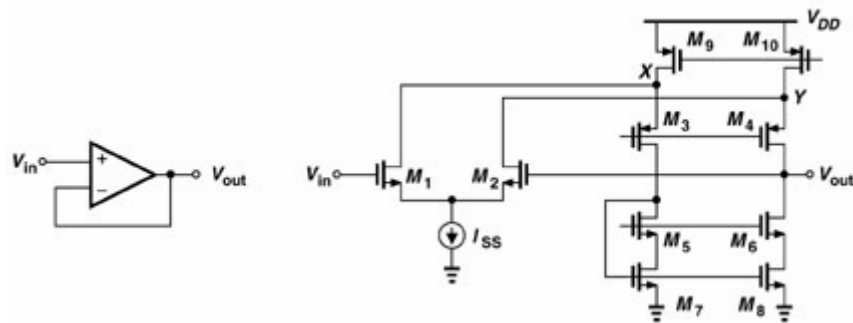
Κακώς καθορισμένη στάθμη εξόδου CM



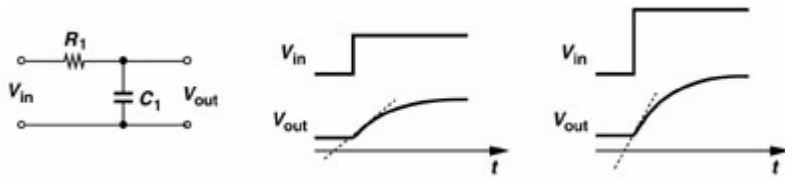
Η αρχή της ανατροφοδότησης κοινού τρόπου



Περιορισμοί της περιοχής τάσης εισόδου

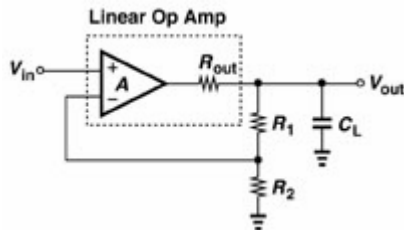


Ρυθμός ανόδου (slew rate)



$$V_{out} = V_0 [1 - \exp(-t/\tau)], \text{ όπου } \tau = RC$$

$$\frac{dV_{out}}{dt} = \frac{V_0}{\tau} \exp\left(\frac{t}{\tau}\right)$$



$$\left[\left(V_{in} - V_{out} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) A - V_{out} \right] \frac{1}{R_{out}} = \frac{V_{out}}{R_1 + R_2} + V_{out} C_L s$$

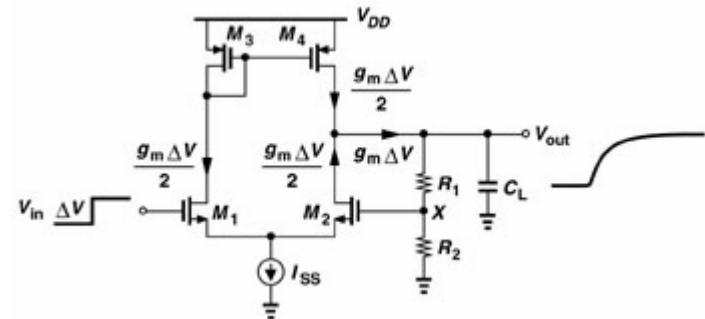
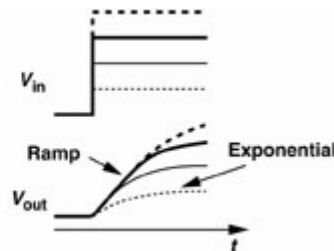
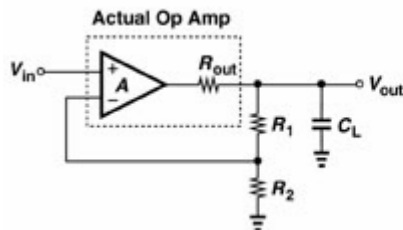
$$A v R_1 + R_2 \gg R_{out}$$

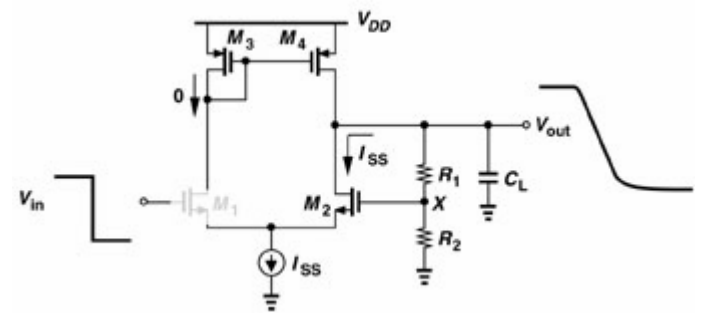
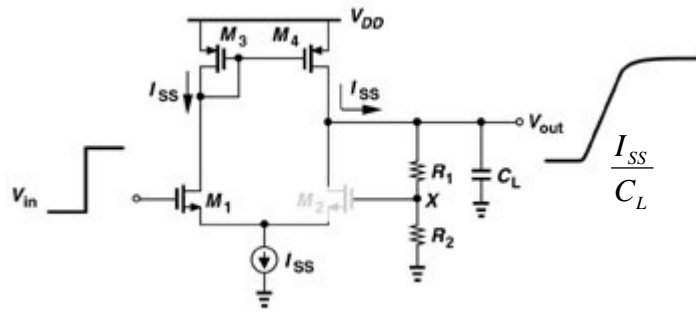
$$\frac{V_{out}}{V_{in}}(s) \approx \frac{A}{\left(1 + A \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \left[1 + \frac{R_{out} C_L}{1 + A R_2 / (R_1 + R_2)} s \right]}$$

Η απόκριση βήματος δίνεται από την

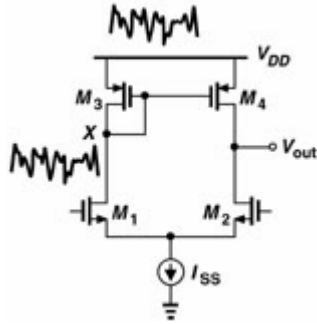
$$V_{out} = V_0 \frac{A}{1 + A \frac{R_2}{R_1 + R_2}} \left(1 - \exp \frac{-t}{\frac{C_L R_{out}}{1 + A R_2 / (R_1 + R_2)}} \right)$$

Γραμμική αποκατάσταση

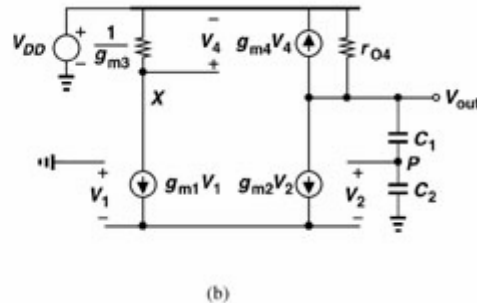
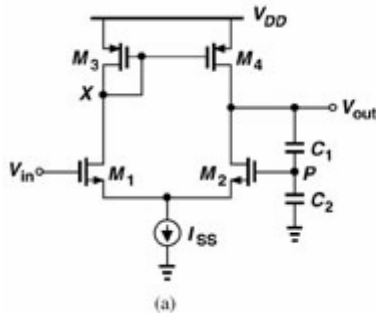




Απόρριψη της τροφοδοσίας



$$\text{PSRR} \approx g_{mN} (r_{OP} \parallel r_{ON})$$



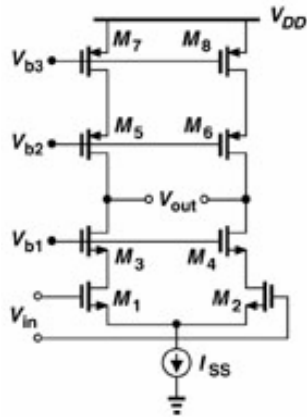
$$V_{out} \frac{C_1}{C_1 + C_2} - V_2 = -V_1 \quad V_2 = \frac{V_{out}}{2} \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$-\frac{g_{m1} V_1}{g_{m3}} g_{m4} - \frac{V_{DD} - V_{out}}{r_{O4}} + g_{m2} V_2 = 0$$

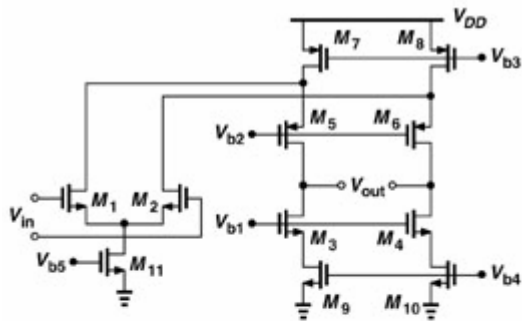
$$\frac{V_{out}}{V_{DD}} = \frac{1}{g_{m2} r_{O4} \frac{C_1}{C_1 + C_2} + 1}$$

$$\text{PSRR} \approx \frac{1 + \frac{C_2}{C_1}}{g_{m2} r_{O4} \frac{C_1}{C_1 + C_2} + 1}$$

Θόρυβος στους Τελεστικούς Ενισχυτές



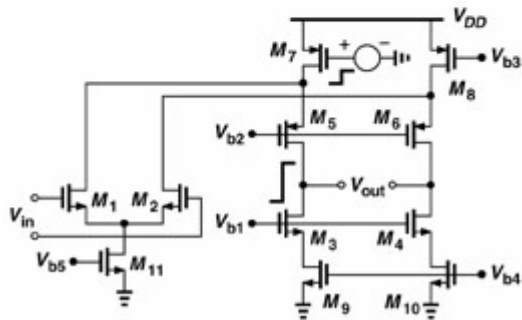
$$\overline{V_n^2} = 4kT \left(2 \frac{2}{3g_{m1,2}} + 2 \frac{2g_{m7,8}}{3g_{m1,2}^2} \right) + 2 \frac{K_N}{(WL)_{1,2} C_{OX} f} + 2 \frac{K_P}{(WL)_{7,8} C_{OX} f} \frac{g_{m7,8}^2}{g_{m1,2}^2}$$



(a)

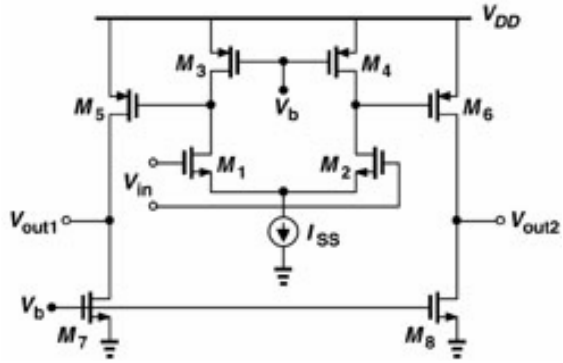
$$\overline{V_{n,out}^2} |_{M7,8} = 2 \left(4kT \frac{2}{3g_{m7,8}} g_{m7,8}^2 R_{out}^2 \right)$$

$$\overline{V_{n,out}^2} |_{M9,10} = 2 \left(4kT \frac{2}{3g_{m9,10}} g_{m9,10}^2 R_{out}^2 \right)$$



(b)

$$\overline{V_{n,int}^2} = 8kT \left(\frac{2}{3g_{m1,2}} + \frac{2g_{m7,8}}{3g_{m1,2}^2} + \frac{2g_{m9,10}}{3g_{m1,2}^2} \right)$$



$$\overline{V_n^2} = 2 \times 4kT \frac{2}{3} (g_{m5} + g_{m7}) (r_{o5} \parallel r_{o7})^2 \frac{1}{g_{m1}^2 (r_{o1} \parallel r_{o3})^2 g_{m5}^2 (r_{o5} \parallel r_{o7})^2} = \frac{16kT}{3} \frac{g_{m5} + g_{m7}}{g_{m1}^2 g_{m5}^2 (r_{o1} \parallel r_{o3})^2}$$

$$\overline{V_n^2} \Big|_{M1-4} = 2 \times 4kT \frac{2}{3} \frac{g_{m5} + g_{m7}}{g_{m5}^2 (r_{o1} \parallel r_{o3})^2}$$

$$\overline{V_{n,tot}^2} = \frac{16kT}{3} \frac{1}{g_{m1}^2} \left[g_{m1} + g_{m3} + \frac{g_{m5} + g_{m7}}{g_{m5}^2 (r_{o1} \parallel r_{o3})^2} \right]$$