

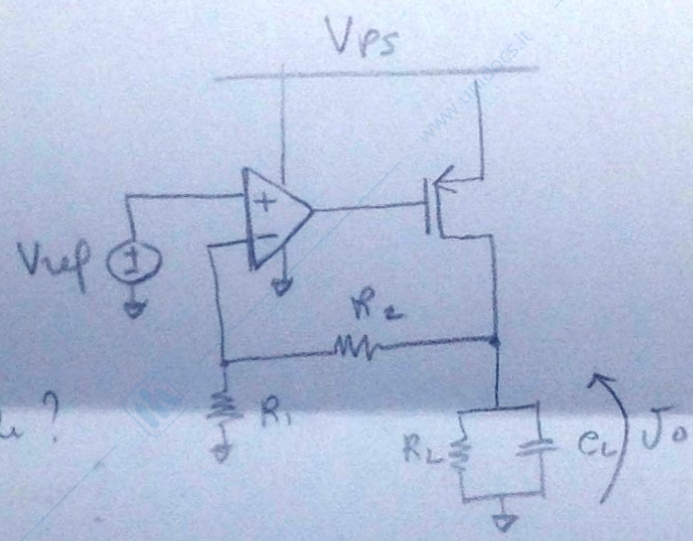
Analoga. Esame 5 luglio 2012

Progettare regolatore LDO con carico $R_L // C_L$

- $R_L = 8 \Omega$
- $C_L = 100 \mu F$
- $V_{out} = 1,5 V$
- $V_{PS} = 3 V$
- $V_{ref} = 0,65 V$

- PMOS: $\lambda_p = 0,1 V^{-1}$
- $V_{thp} = 0,7 V$
- $\mu_p C_{ox} = 20 \mu A/V^2$
- $\frac{W}{L} = 10^4$

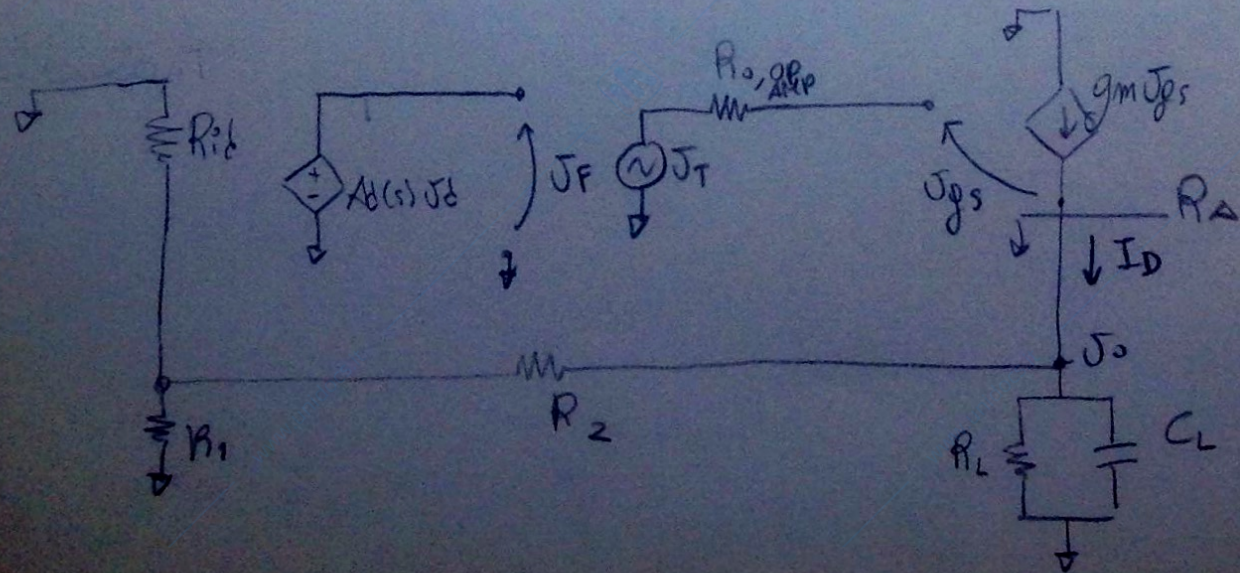
self-invento



2) scelta dimensionale?

3) $V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{ref}$, $\frac{V_o}{V_{ref}} - 1 = \frac{R_2}{R_1}$; $\frac{R_2}{R_1} = \frac{1,5}{0,65} - 1 \cong 1,3$

4) analisi in frequenza
calcolo T



$$I_{R_1 \parallel R_{id}} = I_D \cdot \frac{Z_L}{Z_L + (R_2 + R_1 \parallel R_{id})} \quad I_D = g_m V_{gs}$$

troviamo $R_{oP,AMP}$

$$\text{LKT } V_T - V_{gs} - V_o = 0 \quad V_{gs} = V_T - V_o = V_T - I_D R_A$$

$$V_{gs} = V_T - g_m V_{gs} R_A \quad ; \quad V_T = V_{gs} (1 + g_m R_A)$$

$$V_{gs} = \frac{V_T}{1 + g_m R_A}$$

$$R_A = (R_1 + R_2) \parallel Z_L$$

\uparrow
 $R_{id} \gg R_1$

$$\Rightarrow I_{R_1 \parallel R_{id}} = g_m \frac{V_T}{1 + g_m R_A} \left(\frac{Z_L}{Z_L + R_2 + R_1} \right)$$

\uparrow
 $R_{id} \gg R_1$

$$V_F = -A_d(s) \cdot V_o = -A_d(s) \cdot R_1 \cdot I_{R_1 \parallel R_{id}} =$$

$$= -A_d(s) \cdot R_1 \cdot \frac{g_m V_T}{1 + g_m R_A} \left(\frac{Z_L}{Z_L + R_2 + R_1} \right)$$

$$Y_L = sC_L + \frac{1}{R_L} = \frac{1 + sR_L C_L}{R_L}$$

$$\frac{Z_L}{Z_L + R_1 + R_2} = \frac{R_L}{\frac{R_L}{1 + sC_L R_L} + R_1 + R_2} = \frac{R_L}{R_L + R_1 + R_2 + sC_L R_L (R_1 + R_2)}$$

$$R_A = \frac{(R_1 + R_2) R_L}{1 + sC_L R_L} = \frac{(R_1 + R_2) R_L}{R_L + R_1 + R_2 + sC_L R_L (R_1 + R_2)} \Big|_{s=0}$$

$$R_1 + R_2 + \frac{R_L}{1 + sC_L R_L} = \frac{(1 + 1,3)8}{1 + 0,3} = \frac{10,4}{1,3} = 8 \Omega$$

$$\Rightarrow \frac{U_F}{U_T} = -A_d(s) \cdot R_1 \cdot \frac{g_m}{1 + g_m \left(\frac{(R_1 + R_2) R_L}{R_L + R_1 + R_2 + s C_L R_L (R_1 + R_2)} \right)}$$

$$\cdot \frac{R_L}{R_L + R_1 + R_2 + s C_L R_L (R_1 + R_2)} =$$

$$- A_d(s) \cdot R_1 \cdot R_L \cdot g_m \frac{1}{R_L + R_1 + R_2 + s C_L R_L (R_1 + R_2) + g_m (R_1 + R_2) R_L}$$

$$- A_d(s) \cdot R_1 \cdot R_L \cdot g_m \frac{1}{R_1 + R_2 + R_L + g_m (R_1 + R_2) R_L}$$

$$1 + \frac{s C_L R_L (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_L + g_m (R_1 + R_2) R_L}$$

$$\Rightarrow \omega_{p1} = \frac{R_1 + R_2 + R_L + g_m (R_1 + R_2) R_L}{C_L R_L (R_1 + R_2)}$$

$$\omega_{p0} = \frac{2\pi f_T}{A_{d0}} \quad \text{DATASHEET}$$

per il primo polo $\omega_{p1} = 3 \omega_T = 3 \cdot 2\pi \cdot f_T$

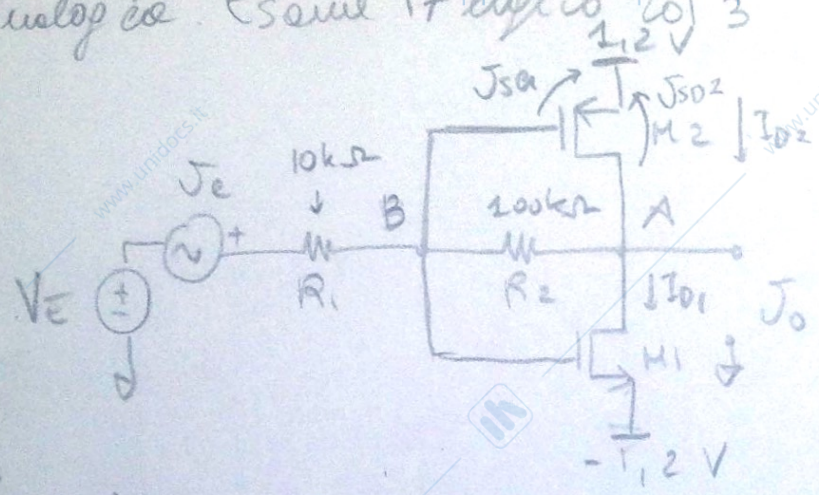
$$\omega_{p1} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1} + R_L + g_m \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) R_L}{C_L R_L \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)} = \frac{1 + 1,3 + 8 + g_m (1 + 1,3) 8}{8 \cdot 100 \cdot 10^{-9} (1 + 1,3)}$$

$$= \frac{10,3 + g_m 18,4}{18,4 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} =$$

per SATURAZIONE!
 con $g_m = (4 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \cdot i_{DQ})^{\frac{1}{2}}$
 $i_{DQ} = \frac{V_0}{R_A} = \frac{1,5}{1,8} = 0,84 \text{ A}$

$$\Rightarrow g_m = 0,81 \rightarrow \omega_{p1} = 1,37 \cdot 10^7$$

Analogia. Esempio 17 luglio 2013



$$\frac{\mu_{n,ox}}{2} = 30 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$\frac{\mu_{p,ox}}{2} = 20 \frac{\mu A}{V^2}$$

$$\frac{W}{L} = 60$$

$$V_{thn} = 600 mV$$

$$V_{thp} = 700 mV$$

Svolgimento

1) \$V_E\$ t.c. \$V_O = V_E\$ con \$J_c = 0\$

Per \$V_E = V_O \Rightarrow I_{R1} = I_{R2} = 0 \Rightarrow\$ t.c. modo A: \$I_{D2} = I_{D1}\$
 Supponendo \$M_1\$ ed \$M_2\$ in saturazione

$$I_{D1} = \frac{\mu_{n,ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_1 (V_{gs1} - V_{thn})^2 \text{ con } V_{gs1} = V_B - V_{ss} = V_E - V_{ss}$$

$$= \frac{\mu_{n,ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_1 (V_E - V_{ss} - V_{thn})^2$$

$$I_{D2} = \frac{\mu_{p,ox}}{2} \left(\frac{W}{L}\right)_2 (V_{gs2} - V_{thp})^2 = B_2 (1.2 - V_E - V_{thp})^2$$

LUT: \$V_E + V_{gs1} - 1.2 = 0\$

$$\Rightarrow B_1 (V_E - V_{ss} - V_{thn})^2 = B_2 (1.2 - V_E - V_{thp})^2$$

$$\sqrt{B_1 (V_E + 0.6)^2} = \sqrt{B_2 (0.5 - V_E)^2}$$

$$\sqrt{B_1} (V_E + 0.6) = \sqrt{B_2} (0.5 - V_E)$$

$$\frac{\mu_{n,ox}}{2} (V_E + 0.6) = \frac{\mu_{p,ox}}{2} (0.5 - V_E)$$

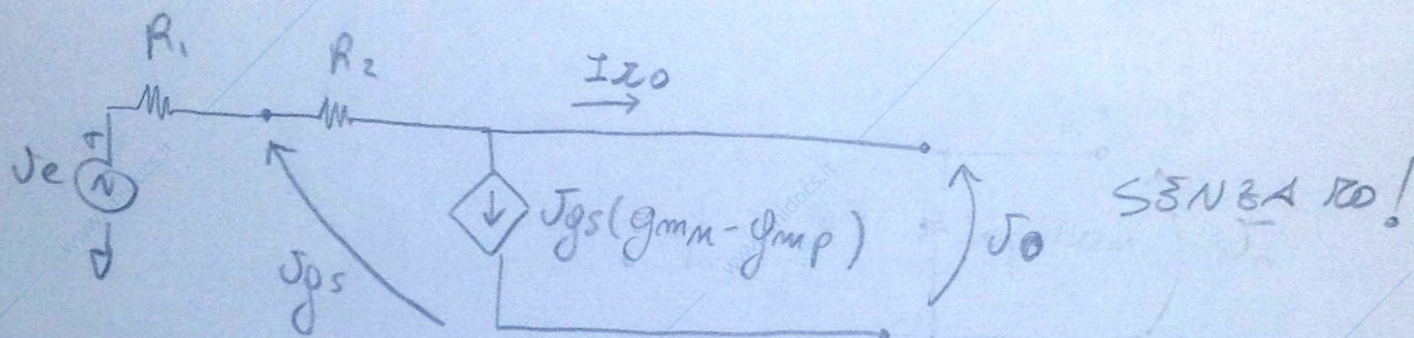
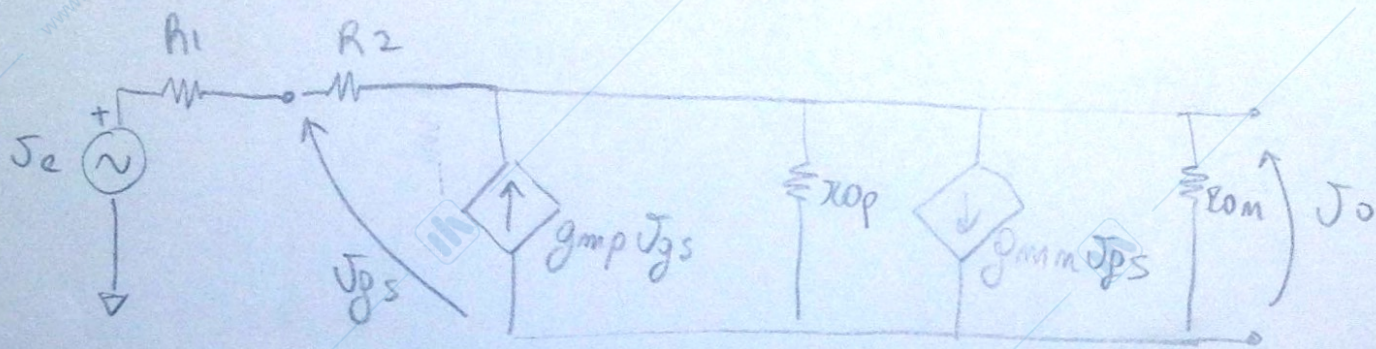
$$\sqrt{\frac{3}{2}} V_E + \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot 0.6 = 0.5 - V_E$$

$$V_E \left(\sqrt{\frac{3}{2}} + 1\right) = 0.5 - \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot 0.6 \Rightarrow V_E = -0.1055 V$$

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

2) guadagno a bassa frequenza



LUT: $J_e - J_{R1} - J_{gs} = 0$

$J_{R1} = R_1 \cdot [I_{r0} + J_{gs}(g_{mm} - g_{mp})]$
 con $R_A = r_{0p} \parallel r_{0m}$

(1) $J_e - R_1 \left[\frac{J_o}{R_A} + J_{gs} g_{mp} \right] - J_{gs} = 0$ con $g_{mp} = g_{mm} - g_{mp}$

LUT: $J_{gs} - J_{R2} - J_o = 0$; $J_{gs} - R_2 \frac{J_o}{R_A} - R_2 J_{gs} g_{mp} - J_o = 0$

$J_{gs} (1 - R_2 g_{mp}) = \left(\frac{R_2}{R_A} + 1 \right) J_o$

$J_{gs} = J_o \frac{\left(\frac{R_2}{R_A} + 1 \right)}{1 - R_2 g_{mp}}$

$\Rightarrow \text{in (1)} J_e - R_1 \left[\frac{J_o}{R_A} + \frac{J_o \left(\frac{R_2}{R_A} + 1 \right)}{1 - R_2 g_{mp}} \right] - \frac{J_o \left(\frac{R_2}{R_A} + 1 \right)}{1 - R_2 g_{mp}} = 0$

Avolve 17 lug 2013

pag 3

$$\text{LUT: } J_e - J_{R1} - J_{R2} - J_0 = 0$$

$$J_e - J_{R1} (R_1 + R_2) = J_0$$

$$J_{R1} = J_{gs} (g_{mm} - g_{mp})$$

$$\text{LUT: } J_{gs} - J_{R2} - J_0 = 0$$

$$J_{gs} - J_{R2} \cdot R_2 - J_0 = 0$$

$$J_{gs} - J_{gs} (g_{mm} - g_{mp}) \cdot R_2 - J_0 = 0$$

$$J_{gs} = \frac{J_0}{1 - (g_{mm} - g_{mp}) R_2}$$

$$\Rightarrow J_e = J_0 + \frac{J_0}{1 - (g_{mm} - g_{mp}) R_2} \cdot (g_{mm} - g_{mp})$$

$$= J_0 \left(\frac{1 - g_{mep} R_2 + g_{mep}}{1 - g_{mep} R_2} \right)$$

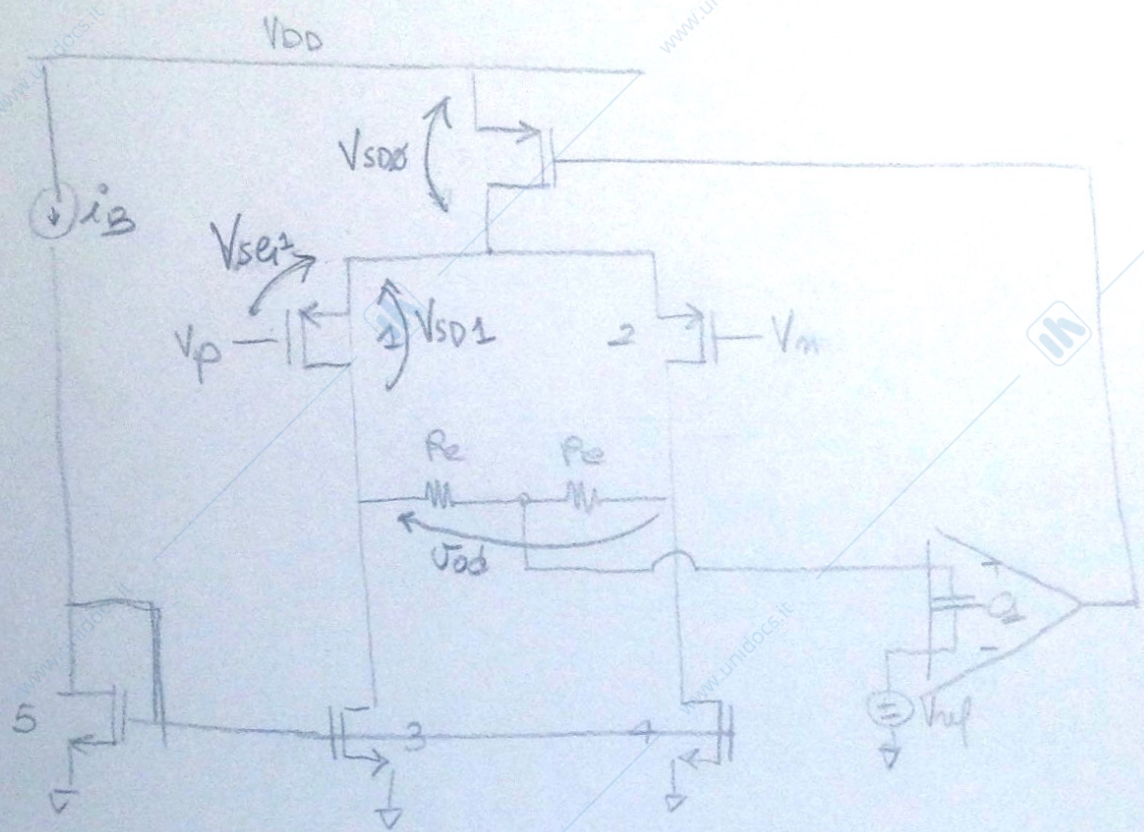
$$\frac{J_0}{J_e} = \frac{1 - g_{mep} R_2}{1 + g_{mep} (1 - R_2)}$$

3) Intervallo J_0 tra M_1 e M_2 solo in SAT

$$J_{0 \max}: J_0 + J_{D2} \cdot 1,2 = 0; J_0 < 1,2 - J_{D2}$$

\downarrow
 $> J_{D2}$ con $J_{D2} =$

$$J_{0 \min}: J_0 > J_{D1} \cdot 1,2$$



1) CMIR

$$V_{pmax} : \text{LUT } V_p + V_{se1} + V_{sd0} - V_{DD} = 0 \quad \begin{matrix} V_{se1} > V_{th1} \\ V_{sd0} > V_{od0} \end{matrix}$$

$$V_p = V_{DD} - V_{se1} - V_{sd0} < V_{DD} - V_{th1} - V_{od0}$$

$$V_p < V_{th1} + V_{od0} + V_{DD}$$

$$V_{th1} = 0,7 \text{ V}, \quad V_{od0} = \left(\frac{2 \cdot i_B}{\beta_p \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_0} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{24 \cdot 10^{-6} \cdot 20} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{4}{160} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,16$$

$$\Rightarrow V_p < 3 - 0,7 - 0,16 = 2,14 \text{ V}$$

V_{pmin} (dato che è in modo comune le correnti nelle R_C e i_{null})

$$I_{SD1} > I_{OD1}$$

$$\text{LUT: } V_p + V_{se1} - V_{sd1} - V_{ref} = 0$$

$$V_p = V_{sd1} + V_{ref} - V_{se1}$$

$$V_p > I_{OD1} + V_{ref} - V_{se1} = V_{ref} - V_{thp} = 1,4 - 0,7 - 0,7 \text{ V}$$

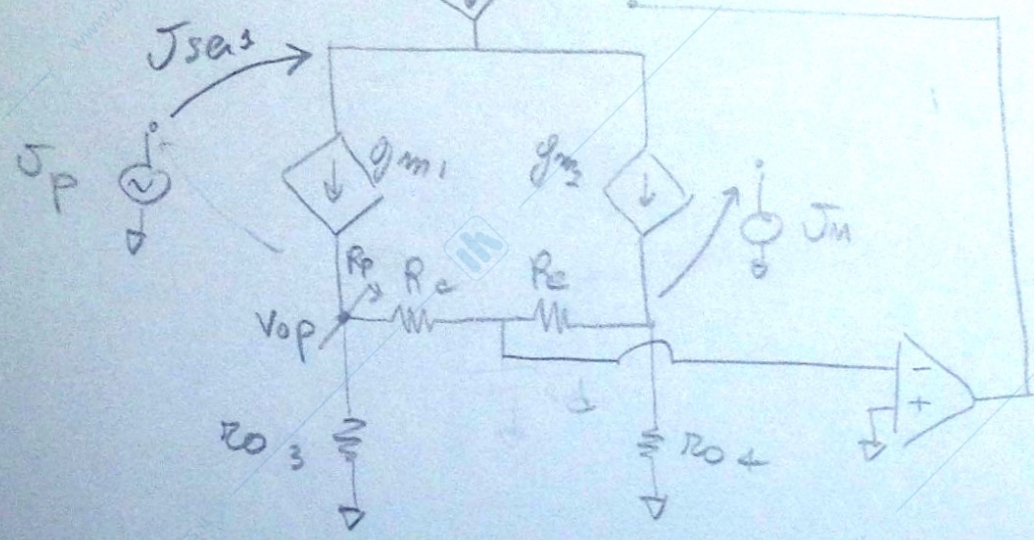
$$\Rightarrow \text{CMIR} = V_{pmax} - V_{pmin} = 2,19 - 0,7 = 2,12 \text{ V}$$

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

2) Re l.c.

$$\frac{V_{od}}{(V_p - V_m)} \text{ si è MAX}$$



caso di offset

solo Jp)

$$V_{op} = g_{m1} \cdot J_{gs1} \cdot R_p$$

$$\text{Lut: } J_p - J_{gs1} - J_{ap} = 0 ; J_{gs1} = J_p - J_{ap}$$

$$\Rightarrow J_{ap} = (J_p - J_{gs1}) \cdot g_{m1} \cdot R_p$$

$$J_{ap} (1 + g_{m1} R_p) = J_p \cdot g_{m1} R_p$$

$$\frac{J_{ap}}{J_p} = \frac{g_{m1} R_p}{1 + g_{m1} R_p}$$

$$\text{con } R_p = r_{o3} \parallel \left[R_e + \frac{R_B}{1 + sC_B} \parallel (R_e + r_{o4}) \right]$$

$$Y_A = sC + \frac{1}{R_B} = \frac{1 + sC R_B}{R_B} = \frac{1 + sC (r_{o4} + R_e)}{r_{o4} + R_e}$$

$$\Rightarrow R_p = r_{o3} \parallel \left[R_e + \frac{r_{o4} + R_e}{1 + sC (r_{o4} + R_e)} \right] =$$

$$R_p = r_{03} \cdot \left(\frac{R_c + s e R_c (r_{04} + R_c)}{1 + s e (R_c + r_{04})} \right)$$

$$\frac{r_{03} + R_c + s e R_c (r_{04} + R_c)}{1 + s e (R_c + r_{04})}$$

$$= \frac{r_{03} R_c (1 + s e (r_{04} + R_c))}{r_{03} (1 + s e (R_c + r_{04})) + R_c (1 + s e (r_{04} + R_c))}$$

$$= \frac{r_{03} R_c}{r_{03} + R_c} \Rightarrow \frac{J_{op}}{J_p} = \frac{g_{m1}}{\frac{1}{R_p} + g_{m1}} \text{ e' MAX pu } R_p \rightarrow \infty$$

ovviamente

$$\frac{J_{om}}{J_m} = \frac{g_{m2}}{\frac{1}{R_m} + g_{m2}}$$

$$\text{con } R_m = \frac{r_{04} R_c}{r_{04} + R_c}$$

Quindi

$$R_p = \frac{r_{03}}{\frac{r_{03}}{R_c} + 1} \text{ e' MAX pu } R_c \rightarrow \infty$$

$$R_p \xrightarrow{R_c \rightarrow \infty} r_{03} \text{ e } \frac{J_{op}}{J_p} \xrightarrow{R_c \rightarrow \infty} \frac{1}{\frac{1}{r_{03}} + g_{m1}}$$

ovviamente

$$\frac{J_{op}}{J_m} \xrightarrow{R_c \rightarrow \infty} \frac{1}{\frac{1}{r_{04}} + g_{m2}}$$

Quindi

$$J_{od} = J_{op} - J_{om} \frac{J_p}{J_m} = A_p \frac{J_p}{J_p} - A_m \frac{J_m}{J_m} = A_p - A_m$$

dato che $g_{m1} = g_{m2}$ e $r_{03} = r_{04}$ si ha che $A_p = A_m = A$

$$\Rightarrow J_{od} = A (J_p - J_m) \Rightarrow A_{dill} = A = \frac{1}{\frac{1}{r_{03}} + g_{m1}} \text{ e' MAX pu } R_c \rightarrow 0$$

il polo $\tilde{c} = \frac{1}{\omega_{p1}} = C_d (2 R_c + (r_{o3} \parallel r_{o1} + r_{o0}))$

ed essendo unico il sistema è sempre stabile

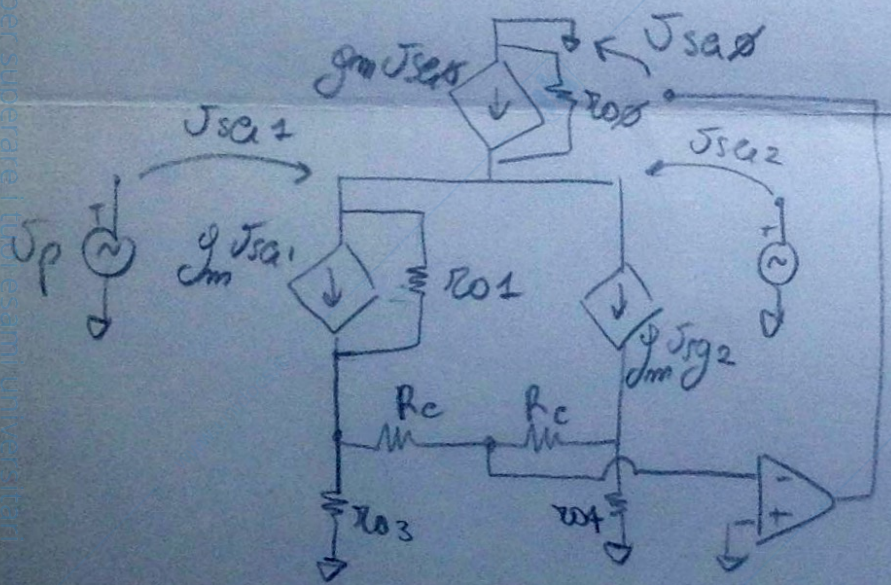
3) DMOR

Quando i_B passa tutta in una sola R_c

$$V_{od\ max} = V_{op\ max} - 0 = V_{op\ max} = i_B \cdot R_c + V_{ref}$$

2) scelto alternativo R_c t.c $\frac{V_{ob}}{(V_p - V_m)}$ i.e max

scelto il guadagno in bassa frequenza $\rightarrow C_d$ è un aperto



Ipotesi: il guadagno è massimo quando la R_{out} è massima

Esame 4 sett 2015

pta 5

3) Rimozione uscite di modo bilenziale
DMOR

tutta la corrente di $M0$ passa in $M1$

$$\Rightarrow i_{D1} = 2 \cdot i_{i3}$$

$$\Rightarrow J_{op\ MAX} = 2 \cdot i_{i3} \cdot R_{out}$$

con R_{out} da calcolo del piccolo segnale

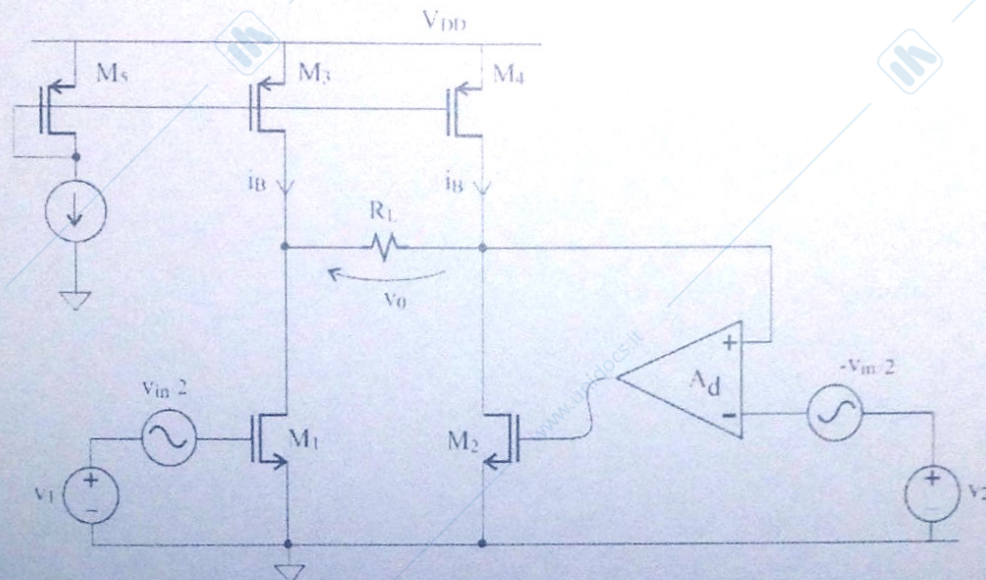
$$\Rightarrow DMOR = 2 \cdot J_{op\ MAX} = 4 i_{i3} R_{out}$$

Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica

Corso di Elettronica Analogica e di Potenza (01NNN)

Prova scritta del 28 Giugno 2016

Tempo: 1h



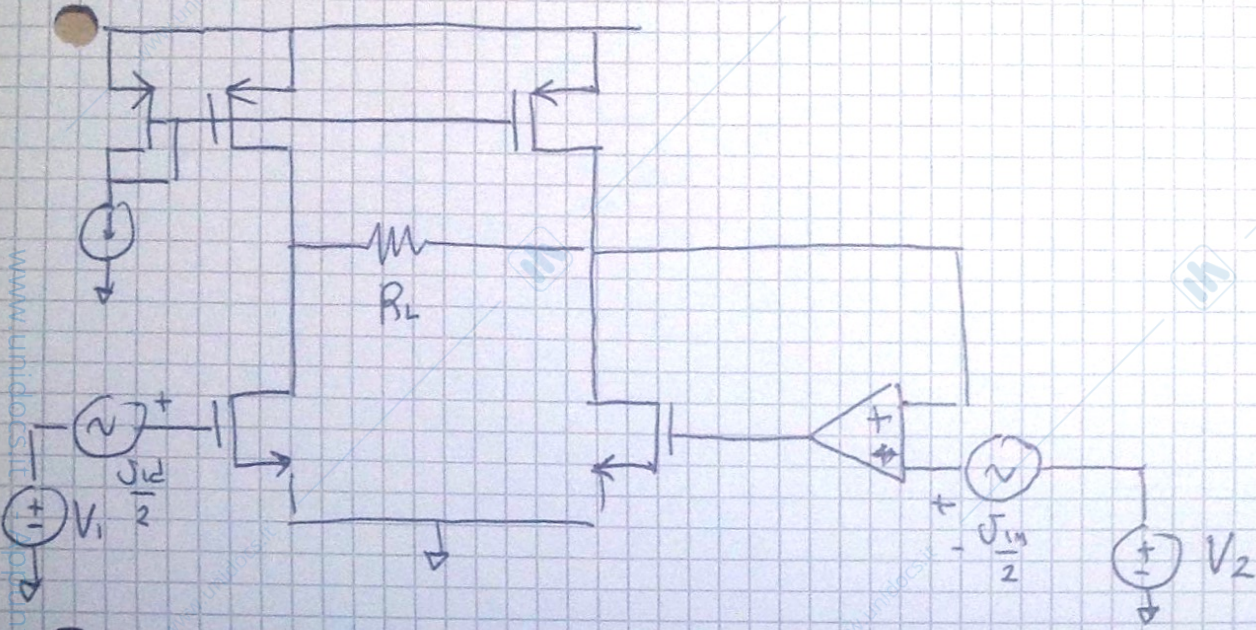
Dati:

- pMOS: $V_{THp} = 0.6V$, $\beta_p = 20 \mu A/V^2$, $\frac{W}{L} = 10$;
- nMOS: $V_{THn} = 0.5V$, $\beta_n = 50 \mu A/V^2$, $\frac{W}{L} = 5$
- $V_{DD} = 3V$
- $i_B = 10\mu A$
- $R_L = 1M\Omega$
- $A_d = 10^5$, $GBW = 10MHz$

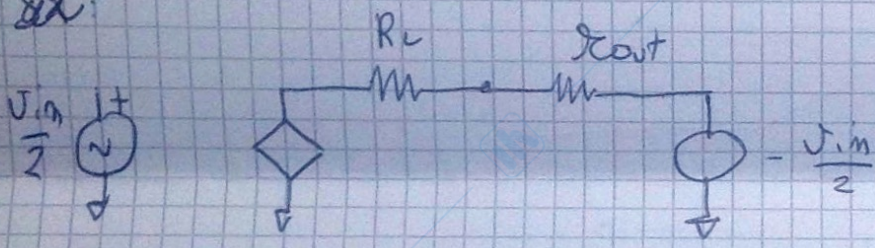
Sapendo che V_1 e V_2 sono tali che $v_0 = 0V$ e i transistori del circuito sono polarizzati in saturazione,

- 1) Calcolare il guadagno di bassa frequenza $\frac{v_0}{v_{in}}$,
- 2) Qual è la risposta in frequenza del circuito se si collega un condensatore $C=10pF$ in parallelo al carico? Tracciare i diagrammi di Bode.
- 3) Calcolare lo swing di uscita

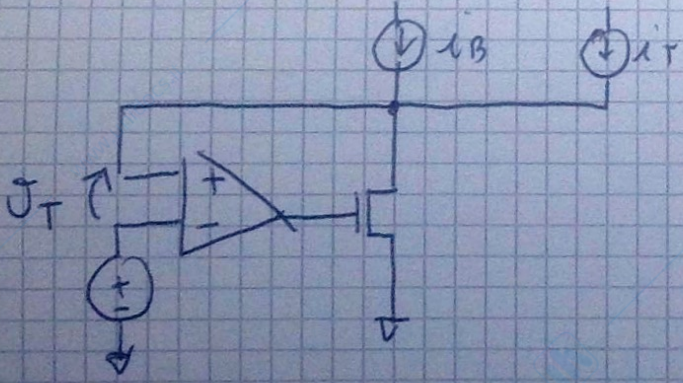
Appello 28 giu



Qualcosa
Ex:



calcolo rout



$$i_T = g_{m2} A_d J_T$$

$$r_{out} = \frac{J_T}{i_T} = \frac{1}{g_{m2} A_d}$$

con $g_{m1} = g_{m2} = 100 \mu S$

$$\Rightarrow r_{out} = 0,1 \Omega$$

$J_{op1} \approx J_{op2} \approx 200 mV$

$$\Rightarrow J_o = -g_{m1} \frac{J_{im}}{2} R_L + \frac{J_{im}}{2}$$

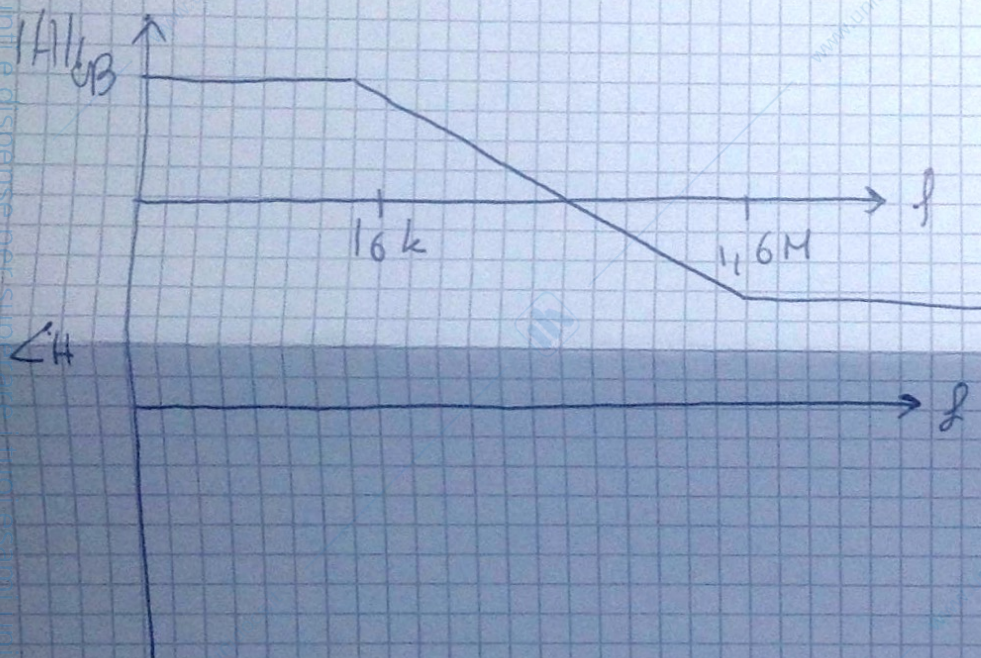
$$\frac{J_o}{J_{im}} = \frac{1}{2} (1 - g_m R_L) \approx -50$$

$$H(s) = \frac{1}{2} \left(1 - g_{m1} \left(R_L \parallel \frac{1}{sC} \right) \right) =$$

$$= \frac{1}{2} (1 - g_{m1} R_L) \left[\frac{1 - \frac{s}{s_z}}{1 - \frac{s}{s_p}} \right]$$

$$s_p = -\frac{1}{R_L C} \rightarrow f_p \approx 16 \text{ kHz}$$

$$s_z = \frac{g_{m1} R_L - 1}{R_L C} \approx \frac{g_{m1}}{C} \rightarrow f_z = 1,6 \text{ MHz}$$

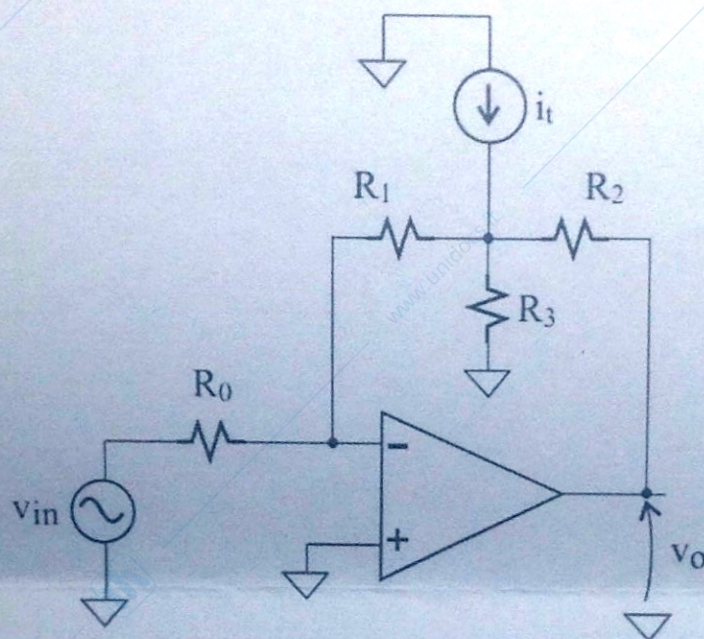


Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica

Corso di Elettronica Analogica e di Potenza (01NNN)

Prova scritta del 19 Settembre 2016

Tempo: 1h



Dati:

GBW = 1MHz, Ad0 = 100dB

Con riferimento al circuito indicato in figura

- 1) Ricavare le relazioni ingresso-uscita $\frac{v_o}{v_{in}}$ e $\frac{v_o}{i_t}$.
- 2) Ricavare il valore di R_3 che permette di ottenere $\left| \frac{v_o}{v_{in}} \right| = 10$, sapendo che $R_0 = R_1 = R_2 = 16 \text{ k}\Omega$.
- 3) Calcolare la banda dell'amplificatore retroazionato (i_t spento).