

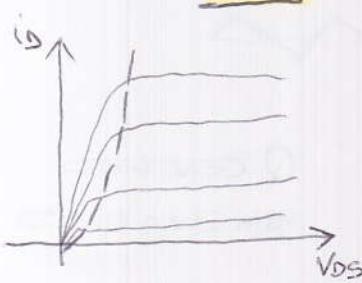
$$\text{TRIODO} \quad I_D = K [2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2]$$

$$K = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$$

$$\text{SAT} \quad I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$$\text{MOD CAN} \quad I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

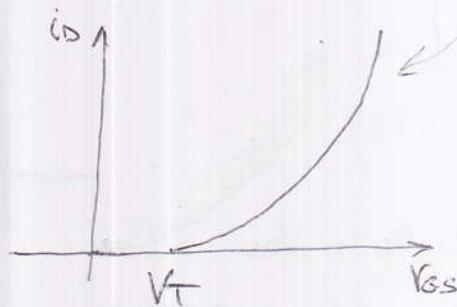
NMOS



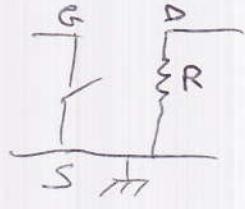
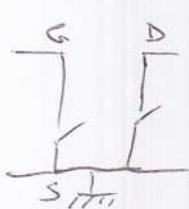
$$\text{SAT} \quad \begin{cases} V_{GS} > V_T \\ V_{DS} \geq V_{GS} - V_T \end{cases}$$

$$\text{TRIODO} \quad \begin{cases} V_{GS} > V_T \\ V_{DS} < V_{GS} - V_T \end{cases}$$

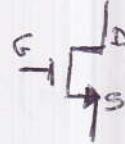
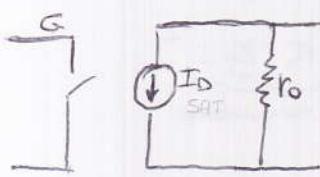
$$\text{INTER.} \quad \{ V_{GS} < V_T \}$$



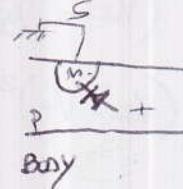
$$R_o = \left[\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right]^{-1} = [\lambda I_D]^{-1} = \frac{V_A}{I_D} \quad V_A = \frac{1}{\lambda}$$



$$R = \frac{V_{GS}}{I_D} = \frac{V_{GS}}{K [2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2]} = \frac{1}{2K(V_{GS} - V_T)}$$



EFFETTO BODY



SI VERIFICA QUANDO $V_S = V_B$
DI SOLITO QUANDO UNO PIÙ
TRANZISTORE SUA STESMA BASE
IN TAL CASO IL BODY HA UNA
TENSIONE NEGATIVA CHE EVITA LA
CONDUZIONE SENZA GIUSTAMENTE MA ALLARMA
IL CANALE FAGLIANDO SOGLIA DI APERTURA

PMOS

$$\text{TRIODO} \quad V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$$

$$I_D = K [2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2]$$

$$\text{SAT} \quad V_{DS} < V_{GS} - V_T$$

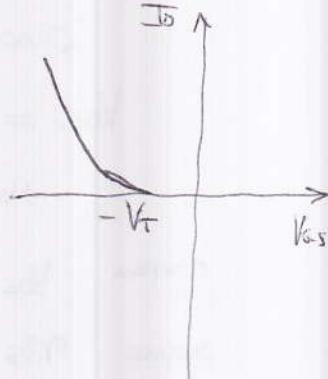
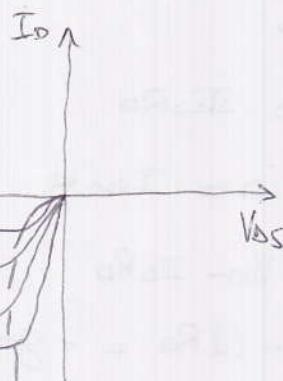
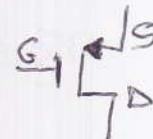
$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$$\mu_n = 3 \mu_p \quad \Rightarrow$$

$$3 \left(\frac{W}{L} \right)_P = \left(\frac{W}{L} \right)_n$$

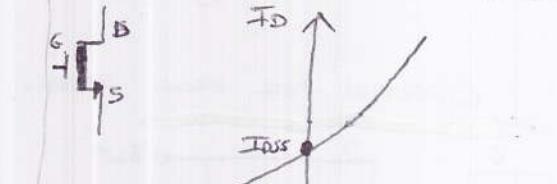
PER ALCHE
LO STESSO K

HO SEMPRE
 $V_T, V_{GS}, V_{DS} < 0$

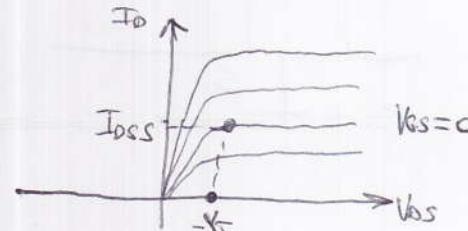


NMOS A SVIOLAMENTO

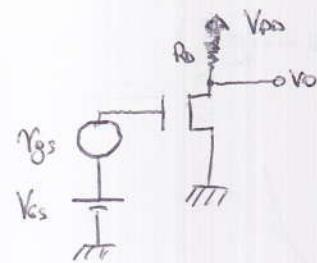
CANALE
GIÀ ESISTENTE



COME
NMOS
MA CON
 $V_T < 0$



FET COME AMPLIFICATORE

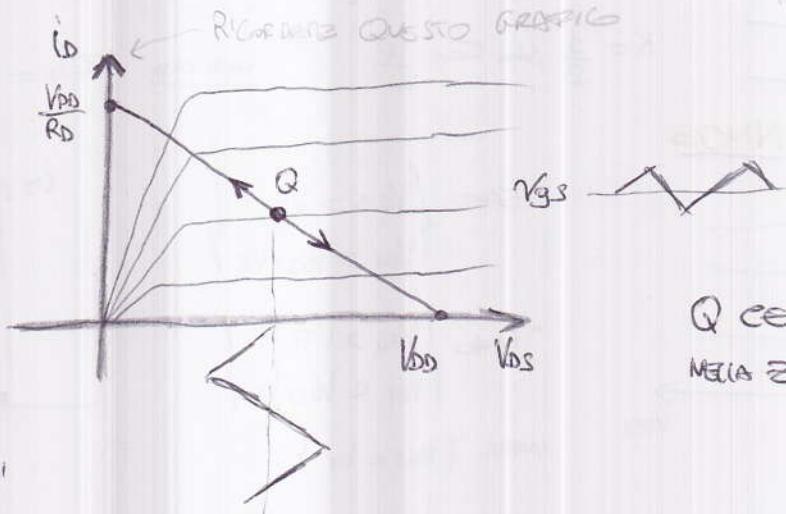


$$V_{DD} = I_D R_D + V_{DS}$$

ERALDO MAGUA

$$I_D = \frac{V_{DD}}{R_D} - \frac{V_{DS}}{R_D}$$

RESTA DI CIRCUITO



Q CENTRATO
NELLA ZONA DI SAT.

$V_{GS}=0$

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{DD} = I_D R_D + V_{DS}$$

$V_{GS} \neq 0$

$$V_{GS} = V_{GS} + \gamma_{GS}$$

$$i_D = K(V_{GS} + \gamma_{GS} - V_T)$$

$$= K(V_{GS} - V_T)^2 + 2K(V_{GS} - V_T)\gamma_{GS} + \underbrace{K\gamma_{GS}^2}_{\text{non curiosa}}$$

Vogliamo che

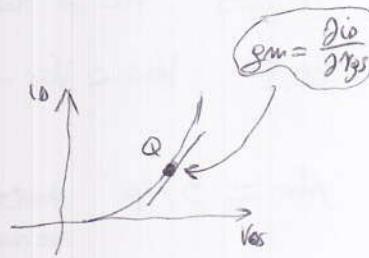
$$2K(V_{GS} - V_T)\gamma_{GS} \gg K\gamma_{GS}^2$$

$$\gamma_{GS} \ll 2(V_{GS} - V_T) \quad \begin{matrix} \text{COND DI PICCOLO} \\ \text{SEGNALE} \end{matrix}$$

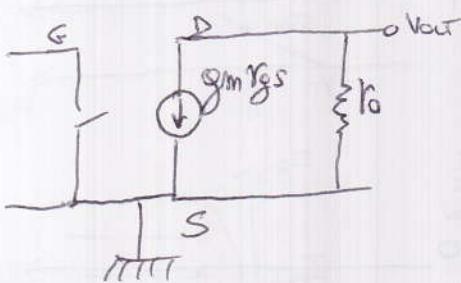
$$i_D = I_0 + i_d$$

$$i_d = 2K(V_{GS} - V_T)\gamma_{GS}$$

$$g_m = \frac{i_d}{\gamma_{GS}} = 2K(V_{GS} - V_T) \quad \text{OPPURE}$$



CIRCUITO PER PICCOLI SEGNALI



GLADAGNO

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

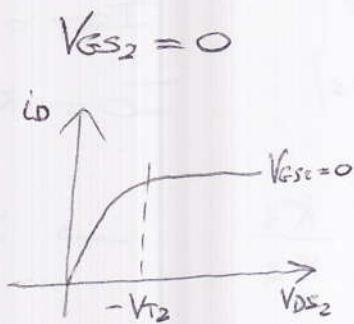
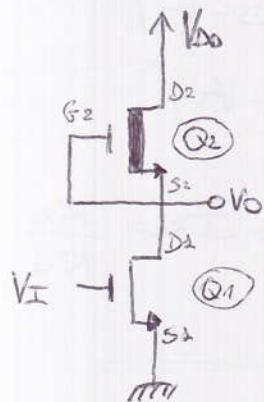
$$\text{MA } i_D = I_0 + i_d$$

$$\text{CONTINUA } V_{DS} = V_{DD} - I_0 R_D$$

$$\text{SEGUENTE } V_{DS} = -i_d R_D = -g_m \gamma_{GS} R_D$$

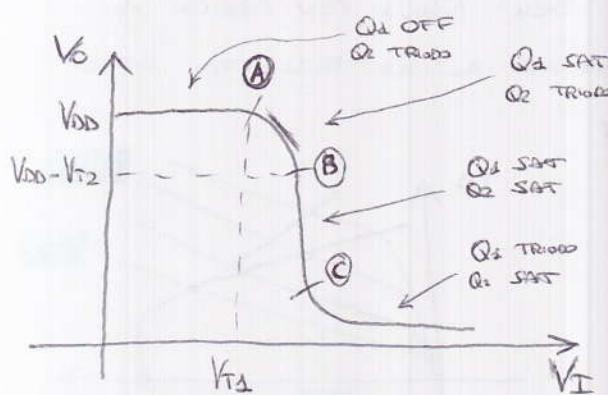
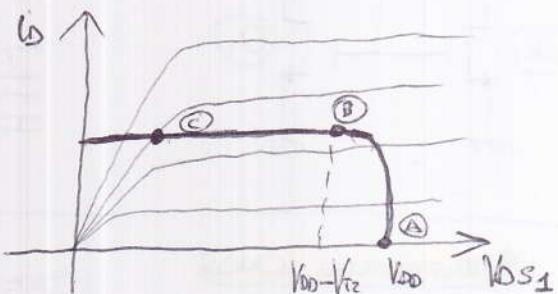
$$\Delta v = \frac{V_{DS}}{\gamma_{GS}} = -g_m R_D$$

NNOS CON CARICO A SVIOLANERZO

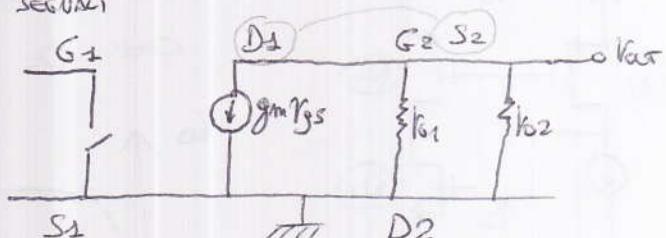


$$V_{DD} = V_{DS1} + V_{DS2}$$

$$\hookrightarrow V_{DS1} = V_{DD} - V_{DS2}$$



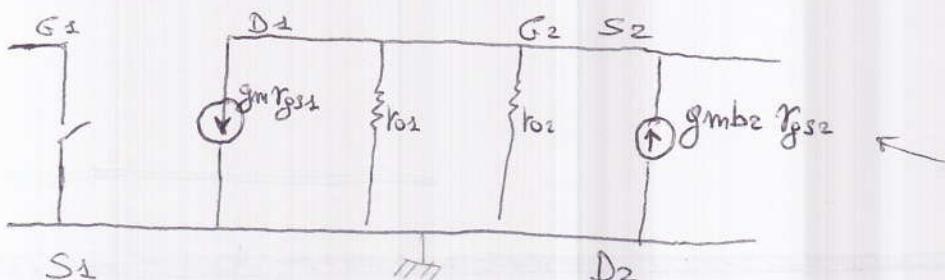
CIRCUITO ED. PICCOLI SEGNALE



$$r_o = -g_m r_{os} s \cdot [r_{o1} // r_{o2}]$$

$$A_v = -g_m [r_{o2} // r_{o1}]$$

INCLUSIONE EFFETTO BODY



può essere sostituito con

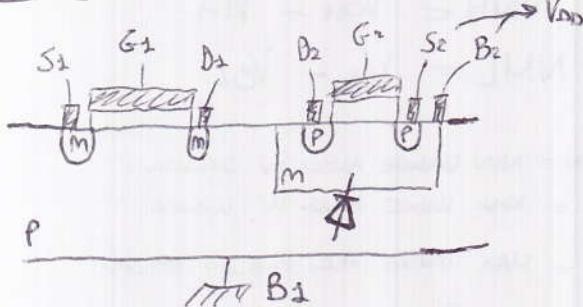
$$R = \frac{V}{I} = \frac{r_{os2}}{g_m r_{os1} g_m r_{os2}} = \frac{1}{g_m b_2}$$

$$r_o = -g_m r_{os1} \left[\frac{1}{g_m b_2} // r_{o1} // r_{o2} \right]$$

$$\text{MA } \frac{1}{g_m b_2} \ll r_{o1} = r_{o2} \longrightarrow r_o = -\frac{g_m r_{os1}}{g_m b_2}$$

$$A_v = -\frac{g_m 1}{g_m b_2} = -\frac{g_m 1}{g_m 2} \cdot \frac{1}{\gamma}$$

NNOS



[2]

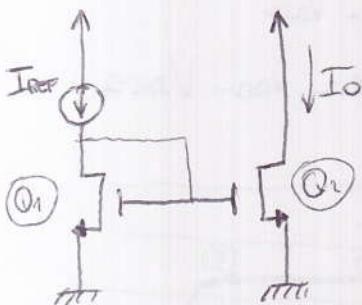
NO EFFETTO BODY PERCHÉ:

S2 e B2 allo stesso potenz. = V_D

S1 e B1 allo stesso potenz. = 0

B2 > B1 \Rightarrow Diodo non conduce
perché interratto

SPECCHIO DI CORRENTE



$$\begin{cases} V_{T1} = V_{T2} = V_T \\ V_{GS1} = V_{GS2} = V_{GS} \end{cases}$$

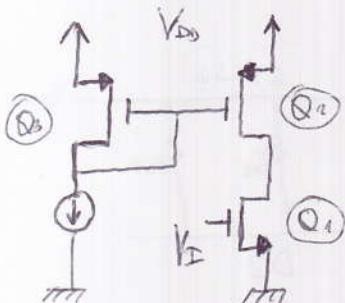
$$\frac{I_{REF}}{I_O} = \frac{K_1}{K_2}$$

$$I_{REF} = K_1 (V_{GS} - V_T)^2$$

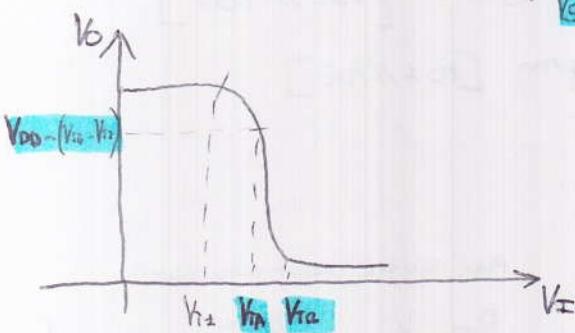
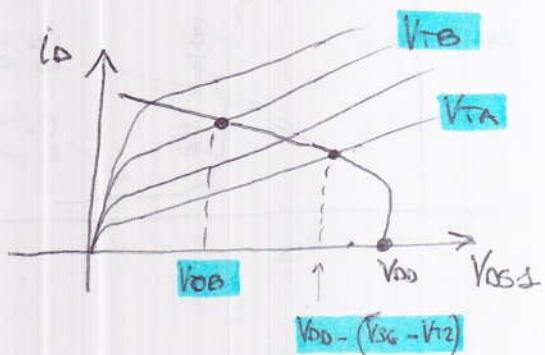
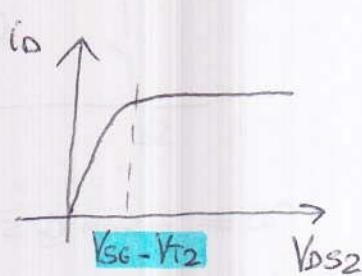
$$I_O = K_2 (V_{GS} - V_T)^2$$

$$\rightarrow I_O = I_{REF} \frac{K_2}{K_1}$$

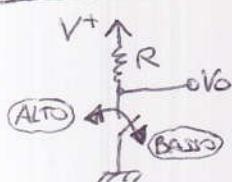
AMPLIFICATORE CMOS



STESO RAGIONAMENTO DEI NMOS CON CARICO A SVUOTAMENTO MA CAMBIANO ALCUNI PARAMETRI DATO CHE ORA È UN PMOS



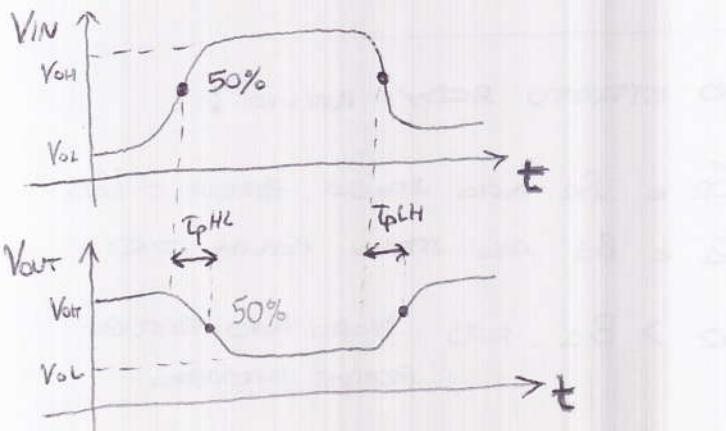
INVERTER (IN GENERALE)



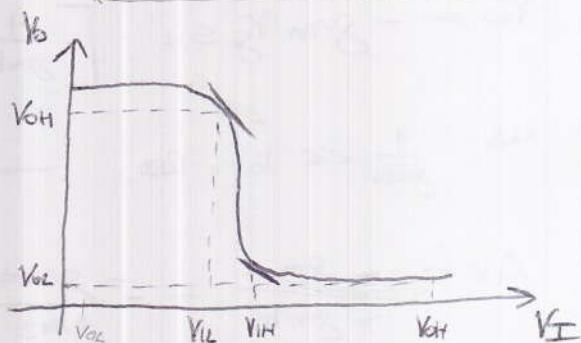
$$V^+ = 0 \rightarrow V_O = V^+$$

$$V^+ = 1 \rightarrow V_O = 0$$

TENPI DI PROPAGAZIONE



MARGINI DI RUNORE



$$NHH = VOH - VH$$

$$NML = VIL - VOL$$

VOH = MIN VALORE ALTO IN USCITA

VOL = MAX VALORE BAUSO IN USCITA

VIL = MAX VALORE PER INCREMENTO BAUSO

VH = MIN VALORE PER INCREMENTO ALTO

TIENZA DISSIPATA

$$P_{\text{DISS}} = P_{\text{STAT}} + P_{\text{DINAMICA}}$$

P_{DINAM}

$$V_{\text{out}} = 0 \rightarrow V_{\text{out}} = 1$$

$$\text{NB! } P = V \cdot I$$

P_{STAT}

$$V_{\text{out}} = 1$$

$$V_{\text{IN}} = 0$$

APERTO

$$I = 0 \rightarrow P_{\text{diis}}^{(1)} = 0$$

$$V_{\text{out}} = 0$$

$$\begin{array}{l} V_{\text{IN}} = 1 \\ \text{CHIUSO} \end{array}$$

$$I = \frac{V}{R} \rightarrow P_{\text{diis}}^{(2)} = \frac{V^2}{R}$$

$$E_{\text{Supply}} = \int V_{\text{cc}} \cdot i \, dt = V_{\text{cc}} \int i \, dt = V_{\text{cc}} \cdot Q \stackrel{Q=VC}{=} V_{\text{cc}}^2 C$$

$$E_{\text{diis R}} = \frac{1}{2} V_{\text{cc}} C$$

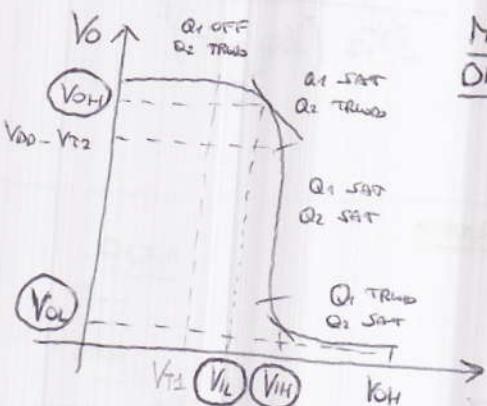
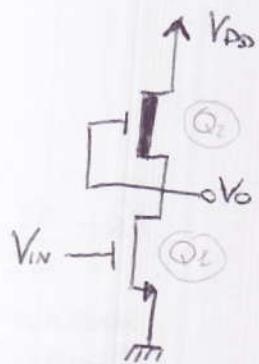
$$E_{\text{con caro}} = \frac{1}{2} V_{\text{cc}} C$$

$$V_{\text{out}} = 1 \rightarrow V_{\text{out}} = 0$$

$$E_{\text{diis Rov}} = \frac{1}{2} V_{\text{cc}} C$$

$$P_{\text{diis}} = f V_{\text{cc}}^2 C$$

INVERTER NMOS CON CARICO A SVILAMENTO



MARGINI
DI RUVORE

$$V_{\text{OH}} = V_{\text{DD}}$$

$$\boxed{|V_{\text{OL}}| \quad Q_1 \text{ TRIP} \quad Q_2 \text{ SAT}} \quad i_{\text{D1}} = i_{\text{D2}}$$

$$K_1 [2(V_{\text{DS1}} - V_{\text{T2}}) V_{\text{DS2}} - V_{\text{DS2}}^2] = K_2 (V_{\text{DS2}} - V_{\text{T1}})$$

$$* K_1 [2(V_{\text{IN}} - V_{\text{T1}}) V_{\text{DS1}} - V_{\text{DS1}}^2] = K_2 + |V_{\text{T2}}|^2$$

$$\text{Se } V_{\text{IN}} = V_{\text{OH}} = V_{\text{DD}} \Rightarrow V_{\text{out}} = V_{\text{OL}}$$

$$\boxed{V_{\text{OL}} = \frac{|V_{\text{T2}}|^2}{K_2 2(V_{\text{DD}} - V_{\text{T1}})}}$$

OBTENGO

$$\boxed{V_{\text{IH}} = V_{\text{T2}} + \frac{2|V_{\text{T2}}|^2}{\sqrt{3} K_2}}$$

$$\boxed{|V_{\text{IL}}| \quad Q_1 \text{ SAT} \quad Q_2 \text{ TRIP}}$$

$$K_2 (V_{\text{DS1}} - V_{\text{T2}})^2 = K_2 [2(V_{\text{DS2}} - V_{\text{T1}}) V_{\text{DS2}} - V_{\text{DS2}}^2]$$

$$K_1 (V_{\text{IN}} - V_{\text{T1}})^2 = K_2 [2(-V_{\text{T1}}) V_{\text{DS2}} - V_{\text{DS2}}^2]$$

$$\frac{\partial V_{\text{O}}}{\partial V_{\text{I}}} \in \text{SI} \text{ wrong} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial V_{\text{O}}}{\partial V_{\text{I}}} = -1 \\ V_{\text{IN}} = V_{\text{IL}} \end{array} \right.$$

$$\boxed{V_{\text{IL}} = V_{\text{T1}} + \frac{V_{\text{T2}}}{K_2}}$$

[3]

POTENZA DISSIPATA

STATICA

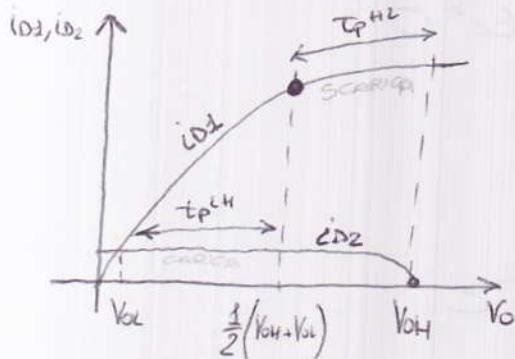
$$P_{diss}^{(s)} = 0$$

DINAMICA

$$P_{diss} = V_{DD}^2 f C$$

$$P_{diss}^{(d)} = V_{DD} \cdot I_2 = V_{DD} \cdot K_2 (V_{GS2} - V_{T2}) = V_{DD} \cdot K_2 / V_{T2}$$

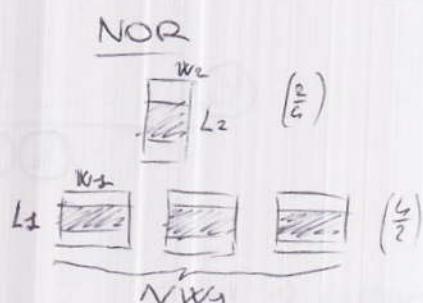
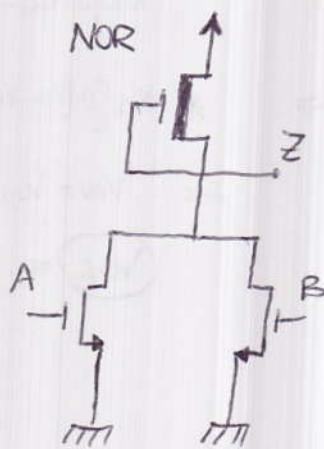
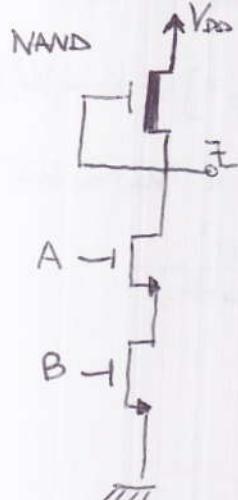
TEMPI DI PROPAGAZIONE



$$\begin{aligned} t_p^{HL} &= \frac{C [V_{DD} - \frac{1}{2}(V_{OL} + V_{DD})]}{I_2} = \\ &= \frac{C (V_{DD} - V_{OL})}{2 K_2 (V_{GS2} - V_{T2})^2} \end{aligned}$$

$$t_p^{LH} = \frac{C [\frac{1}{2}(V_{OL} + V_{DD}) - V_{OL}]}{I_2} = \frac{C (V_{DD} - V_{OL})}{2 K_2 (V_{GS2} - V_{T2})^2} = \frac{C (V_{DD} - V_{OL})}{2 K_2 V_{T2}^2}$$

PORTE LOGICHE NMOS E DIMENSIONAMENTO



$$KR = \frac{K_1}{K_2}$$

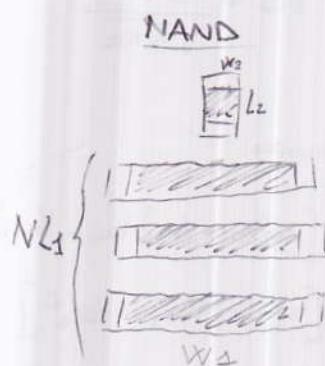
MAGGIORE POSSIBILE

$$\text{caso peggiore } KR = \frac{W_1}{L_1} \cdot \frac{L_2}{W_2} = 4$$

$$\text{generale } KR = \frac{NW_1}{L_1} \cdot \frac{L_2}{W_2}$$

A	B	Z
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

A	B	Z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

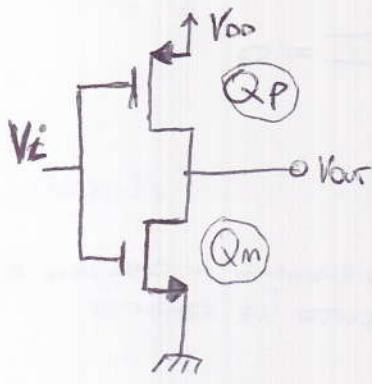


per ogni K_R riguale
- quello della NOR

$$\frac{W_2 \text{ NAND}}{W_1 \text{ NAND}} \cdot \frac{L_2}{L_1} = \frac{W_1 \text{ NOR}}{W_2} \cdot \frac{L_2}{L_1}$$

$$W_1 \text{ NAND} = NW_1 \text{ NOR}$$

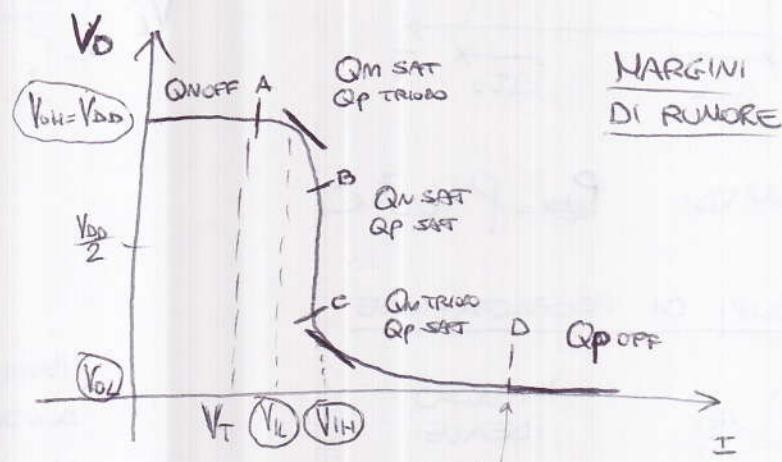
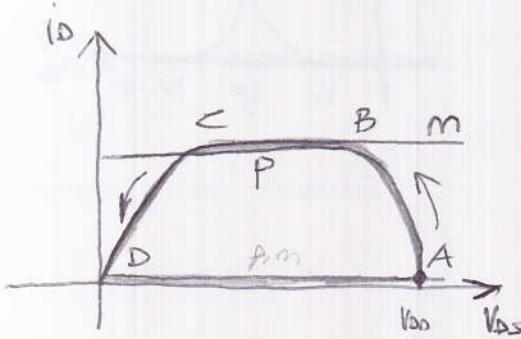
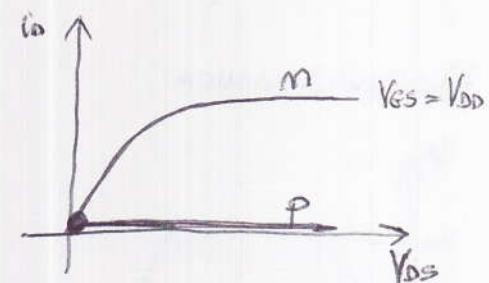
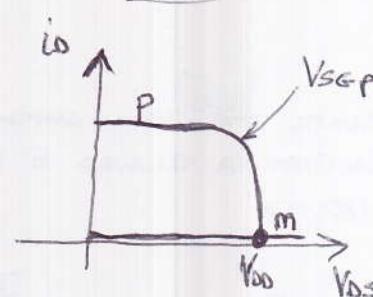
INVERTER CMOS



$$V_{GSm} = V_i$$

$$V_{GSp} = V_i - V_{DD}$$

$$\boxed{V_i = V_{DD}}$$



$$BC \text{ IN } \frac{V_{DD}}{2} \Leftrightarrow K_p = K_m$$

$$\boxed{V_{OH}} = V_{DD}$$

$$\boxed{V_{OL}} = 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{Dm} = i_{Dp} \\ K_m = K_p = K \\ V_{Im} = V_{Ip} = V_T \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GSm} = V_i \quad V_{GSm} = V_{out} \\ -V_{GSp} = V_{DD} - V_i \quad -V_{GSp} = V_{DD} - V_{out} \end{array} \right.$$

$\boxed{V_{IL}}$ Qm SATURATO Qp TRIODE

$$K(V_{GSm} - V_T)^2 = K[2(V_{GSp} - V_T)V_{Dp} - V_{Dp}^2]$$

$$(V_i - V_T)^2 = 2(V_{DD} - V_i - V_T)(V_{DD} - V_{Im}) - (V_{DD} - V_{Im})^2$$

$$\frac{\partial V_O}{\partial V_i} = \text{pongo} \quad \frac{\partial V_O}{\partial V_i} = -1 \quad V_i = V_{IL}$$

$$\text{OTTENGO} \quad \boxed{V_{IL}} = \frac{3V_{DD} + 2V_T}{8}$$

$$NML = V_{IL} - V_{OL} = \frac{3V_{DD} + 2V_T}{8}$$

$\boxed{V_{IH}}$ Qm TRIODE
Qp SATURATO

PER SIMMETRIA
POSSO DIRE CHE
 $NML = NMH$

OPPURE

$$K[2(V_{GSm} - V_T)V_{Dsm} - V_{Dsm}^2]$$

$$K(V_{GSp} - V_T)^2$$

STESO PROCEDIMENTO DI PRIMA
CON $V_i = V_{IH}$ TROVO

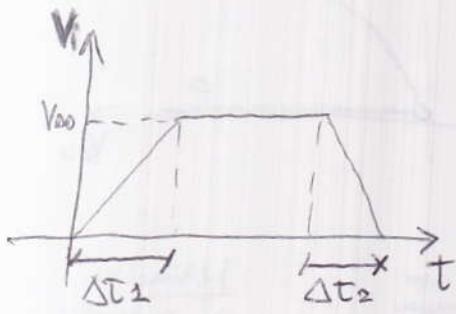
$$\boxed{V_{IH}} = \frac{5V_{DD} - 2V_T}{8} \quad NMH = V_{OH} - V_{IH}$$

$$\text{STATICA} \quad P_{\text{loss}}^{(a)} = P_{\text{loss}}^{(s)} = 0$$

PERCHÉ COME ABBIANO VUOLO NEL GRAFICI PRECEDENTI $I_o - V_{DS}$, $I = 0$

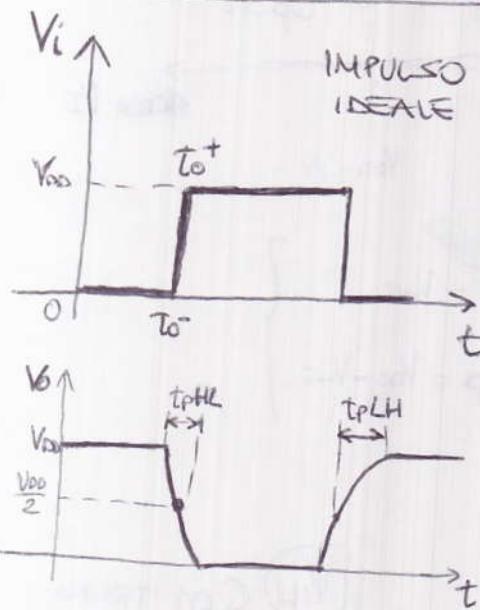
$$\text{DUNQUE } P = V \cdot I = 0$$

DINAMICA



$$\text{QUINDI } P_{\text{diss}} = \int V_{DD}^2 C$$

TEMPI DI PROPAGAZIONE



- SCARICA DA V_{DD} A $V_{DD} - V_T$

QN SAT QP OFF

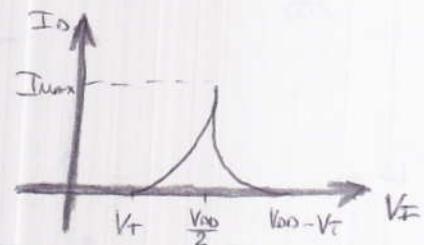
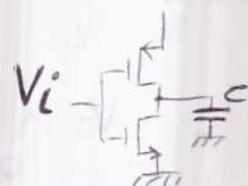
$$I_{DN} = K_m (V_{DD} - V_T)^2$$

$$T_{PHL1} = \frac{C [V_{DD} - (V_{DD} - V_T)]}{K_m (V_{DD} - V_T)^2}$$

$$= \frac{C V_T}{K_m (V_{DD} - V_T)^2}$$

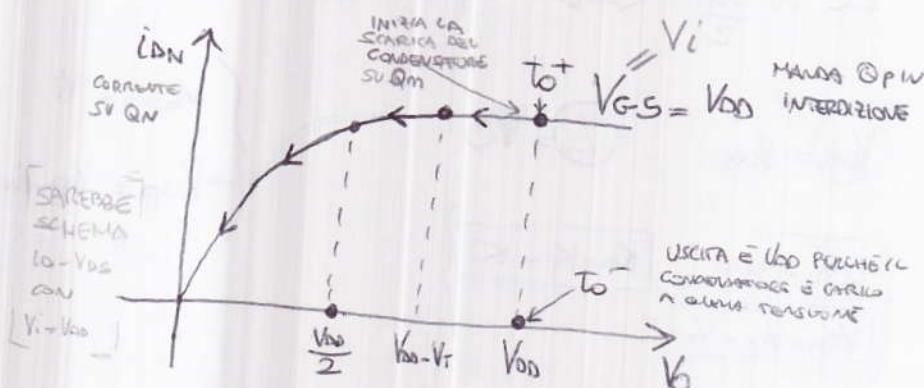
POTENZA DISSIPATA

CURRENTI CHE CIRCOLANO QUANDO SONO ENTROBI IN CONDUZIONE È SIGNIFICATIVA QUANDO È PRESENTE LA CAPACITÀ IN USCITA



RICORDARE QUESTO GRAPICO

IPOTIZZANDO CIRCUITO SIMMETRICO $T_p^{HL} = T_p^{LH}$
DUNQUE CONSIDERO SOLO IL TRAFO
 $H \rightarrow L$ DI VO



- SCARICA DA $V_{DD} - V_T$ A $\frac{V_{DD}}{2}$

QN TRIODO QP OFF PERCHÉ VIN RIMANE VDD.

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{DN} = -C \frac{dV}{dt} \\ I_{DN} = K_m [2(V_{DD} - V_T)V_0 - V_0^2] \end{array} \right.$$

UGUAGLIANDO E RIDUCENDO L'EQ. DIFF. OTENGO

$$T_{PHL2} = \frac{C}{2K_m(V_{DD} - V_T)} \ln \left(\frac{3V_{DD} - 4V_T}{V_{DD}} \right)$$

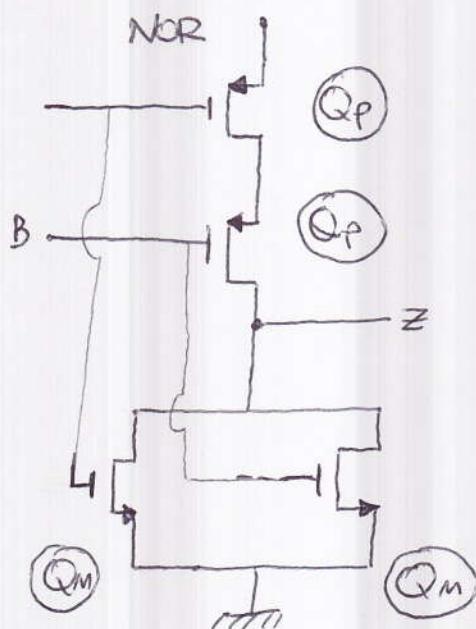
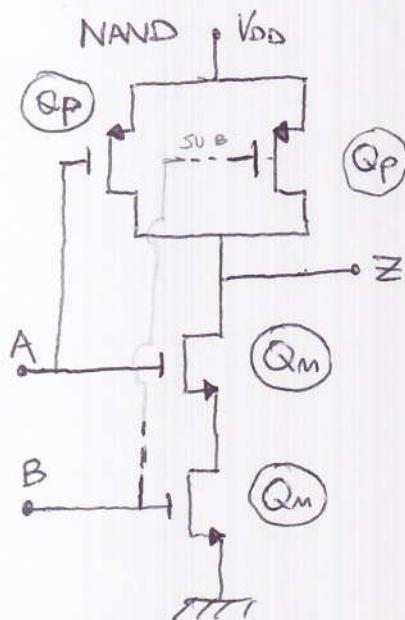
$$T_{PHL} = T_{PHL1} + T_{PHL2}$$

se $K \approx 0,2 \cdot V_{DD}$ $\Rightarrow T_{PHL} \approx \frac{0,8C}{Km V_{DD}}$

CARICA DI C

PER SIMMETRIA HIO ERE $T_{PLH} = \frac{0,8C}{Kp V_{DD}}$

PORTE LOGICHE CMOS E DIMENSIONAMENTO



RICORDARE CHE
PNOS FUNZIONA
AL CONTRARIO
 $1 \rightarrow$ APERTO
 $2 \rightarrow$ CHIUSO

QUINDI DATO CHE OGNI
COPPIA QP-QM HA LO STESSO
INGRESSO, SE È ACCESO
NMOS È SPENTO E PMOS
È VICEVERSA

CASO PEGGIOR QUANDO HO
1 SOLO INGRESSO BASSO E
QUINDI LA CAPACITÀ D'
USCITA SI CARICA DA
UN SOLO PNOS ON

VALE

$$K_p eq = K_p$$

$$K_n eq = \frac{K_n}{N}$$

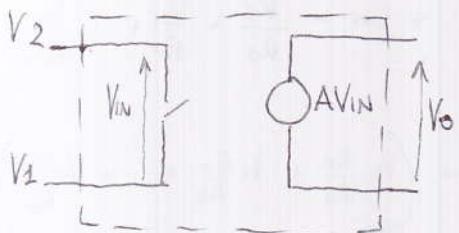
CASO PEGGIOR QUANDO HO
1 SOLO INGRESSO ALTO E
QUINDI LA CAPACITÀ D'USCITA
SI SCARICA SU UN SOLO
NMOS ON

VALE

$$K_p eq = \frac{K_p}{N}$$

$$K_n eq = K_n$$

AMPLIFICATORI OPERAZIONALI IDEALI



$$V_o = A(V_2 - V_1) \quad A = \infty \quad \text{Bomba infinita}$$

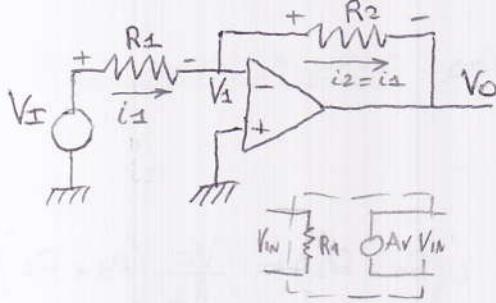
$$R_{in} = \infty \quad R_o = 0 \quad \text{Reie. modo comune}$$

(no corrente in ingresso)

(se $V_2 = V_1 \rightarrow V_o = 0$)

SEMPRE SATURO DAPO CHE $A = \infty \Rightarrow$ INTRODUZIONE CONTROAZIONE

CONF. INVERTENTE



$$V_o = A(V_2 - V_1)$$

$$V_2 = V_1 = 0$$

C.C.V.
NON VALE IN
SATURAZIONE

ED ALLA
MACHA $V_o + V_{R2} + V_I = 0$

$$V_o = -V_{R2} = \underline{\underline{\text{CADUTA DI POTENZIALE SU } R_2}}$$

$$i_1 = \frac{V_I}{R_1} = i_2 \rightarrow$$

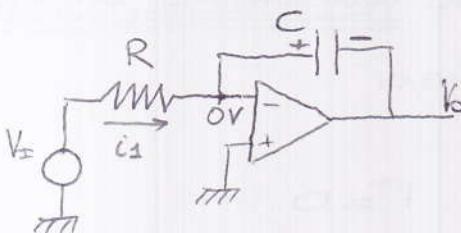
$$V_o = -i_2 R_2 = -V_I \frac{R_2}{R_1}$$

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$(R_{in} = R_1)$$

$$(R_o = 0)$$

INTEGRATORE (PASSEGASSO CON $\omega_H = 0$)



$$A_v = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{1}{j\omega C} = -\frac{1}{j\omega RC}$$

$$i_1 = \frac{V_I}{R}$$

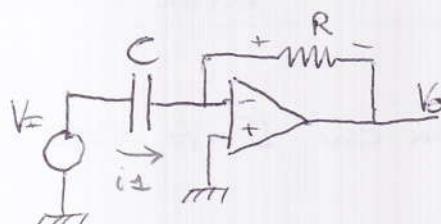
$$\textcircled{(1)} V_o = -V_c = -\frac{Q}{C} = V_{oc} - \frac{1}{C} \int i dt = V_{oc} - \frac{1}{RC} \int V_{in} = V_{oc} - \frac{V_{in}}{RC} t$$

[NB]

PER $\omega_H = 0$, $A = \infty$ (cioè in continua funzione come ad avvolo aperto FD)

INSERIRE UNA RESISTENZA
IN PARALLELO AL CONDENSATORE

DERIVATORE (PASSEGASSO CON $\omega_L = \infty$)



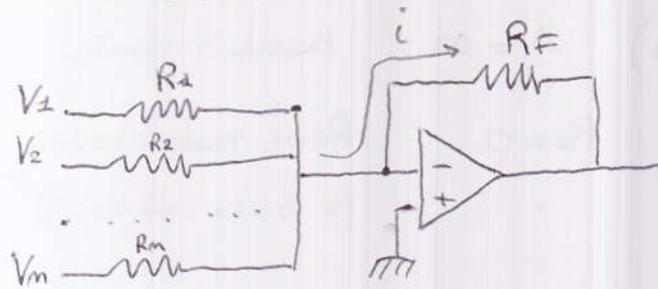
$$A_v = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{R}{j\omega C} = -j\omega RC$$

$$i_1 = C \frac{dV_I}{dt}$$

$$\textcircled{(2)} V_o = -i_1 R = -RC \frac{dV_I}{dt}$$

[NB] PER EVITARE CHE FUNZIONI COME UN
AMPLIFICATORE DI RUMORE INSERIRE UNA
RESISTENZA IN SERIE SOPR AL CONDENSATORE

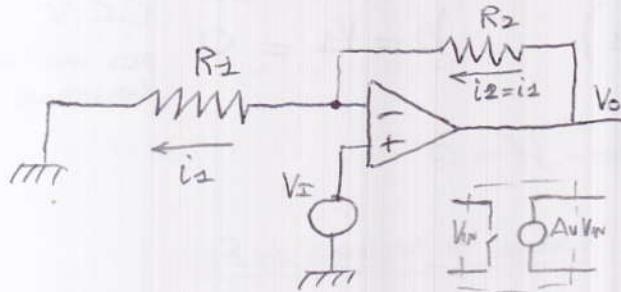
SOMMATORI



$$i = i_1 + i_2 + \dots + i_m = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_m}{R_m}$$

$$\textcircled{V}_0 = -i R_F = -\left(V_1 \frac{R_F}{R_1} + V_2 \frac{R_F}{R_2} + \dots + V_m \frac{R_F}{R_m}\right)$$

CONF. NON INVERTENTE

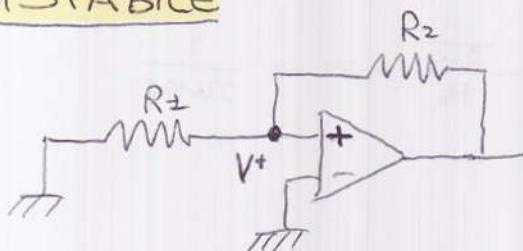


$$i_1 = \frac{V_I}{R_1} = i_2 = i \rightarrow$$

$$\textcircled{V}_0 = i R_1 + i R_2 = i (R_1 + R_2) = \frac{V_I}{R_1} (R_1 + R_2)$$

$$\textcircled{A_V} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \textcircled{R_{IN}} = \infty \quad \textcircled{R_O} = 0$$

BISTABILE



È UN AMPLIF. OPERAZ. CONTROAZIONATO POSITIVAMENTE

HA DUE STATI STABILI

IN $T=0$ IPOTIZZO $V^+ = 0$

SE INCREMENTO POSITIVAMENTE V^+ $\rightarrow V_0$ AUMENTA E UNA FRAZIONE $\beta = \frac{R_1}{R_1+R_2}$

È RIPORTATA SU V^+ \rightarrow PROCESSO SI RIPETE FINO A QUANDO L'OPERAZ.

VA IN SATURAZIONE

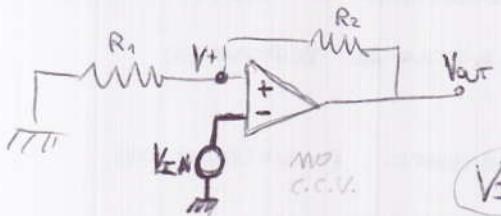
$$\boxed{L^+ = V_0}$$

\rightarrow

$$\boxed{V^+ = \beta L^+ = L^+ \frac{R_1}{R_1+R_2}}$$

SE INCREMENTO NEGATIVAMENTE V^+ HO LA STESSA COSA MA CON $L^- = V_0$ $V^+ = \beta L^-$

BISTABILE INVERTENTE



SE AVEVO INCREMENTATO POSITIVAMENTE

$$V_0 = L^+$$

$$V^+ = BL^+$$

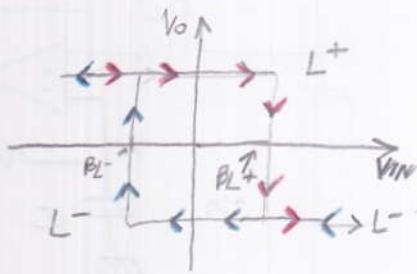
(V_{IN} AUMENTA)

QUANDO $V_{IN} < V^+$ NON SUCCIDE NULLA

QUANDO $V_{IN} \geq V^+$ OVVERO $V_{IN} \geq BL^+$ ALLORA IN INGRESSO ALL'OPERAZ.

HO UNA TENSIONE NEGATIVA CHE VIENE AMPLIFICATA E RIPORTATA IN

INGRESSO FINO A QUANDO L'OPERAZIONE VA IN SATURAZIONE $L^- = V_0$



SE AVEVO INCREMENTATO NEGATIVAMENTE O APRIRO DAL PROCESSO PRECEDENTE

$$V_0 = L^- \quad V^+ = BL^-$$

(V_{IN} DIMINUISCE)

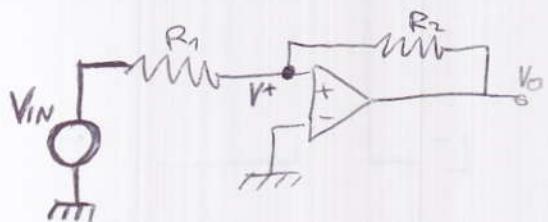
QUANDO $V_{IN} > V^+$ NON SUCCIDE NULLA

QUANDO $V_{IN} \leq V^+$ OVVERO $V_{IN} \leq BL^-$ ALLORA IN INGRESSO ALL'OPERAZ.

HO UNA TENSIONE POSITIVA CHE VIENE AMPLIFICATA E RIPORTATA IN

INGRESSO FINO A QUANDO L'OPERAZIONE VA IN SATURAZIONE $L^+ = V_0$

BISTABILE NON INVERTENTE



SE AVEVO INCREMENTATO POSITIVAMENTE

$$V_0 = L^+$$

$$V^+ = V_{IN} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



QUANDO $V_{IN} > V_{TL}$ NON SUCCIDE NULLA PERCHÉ V^+ RIMANE POSITIVA

QUANDO $V_{IN} \leq V_{TL}$ V^+ DIVENTA NEGATIVA QUANDO PER IL SOURO RETROACCESO HO IL CASO DI STABILITÀ

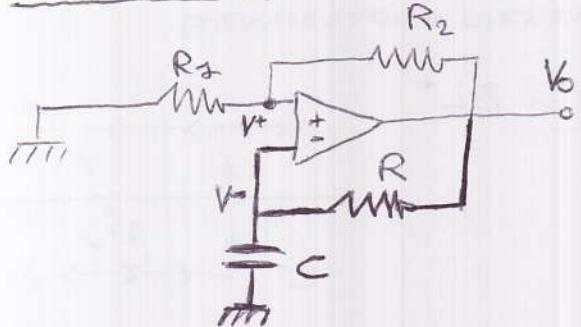
$$V_{TL} = -L^+ \frac{R_1}{R_2}$$

N.B. TRATTATO SOSTITUENDO

$$V_0 = L^+ \quad V^+ = 0$$

nell'EE sopra

ASTABILE



OTTENUTO COLLEGANDO UN CIRCUITO RC

IN CONTROAZIONE AL BISTABILE

SE AUSO INCREMENTATO POSITIVAMENTE

$$V_0 = L^+ \quad V^+ = \beta L^+$$

IL CONDENSATORE SI CARICA VERSO L^+

ATTRaverso la resistenza R quindi la

Tensione su V^- (che è quella del condensatore)

CRESCE ESPONENTIALMENTE CON COSTANTE

DI TEMPO $\tau = RC$

QUANDO $V^- = \beta L^+$ IL BISTABILE COMMUTA

E QUNDI AVEREMO

$$V_0 = L^- \rightarrow V^+ = \beta L^- \quad V^- = \beta L^+$$

A QUESTO PUNTO IL CONDENSATORE INIZIA

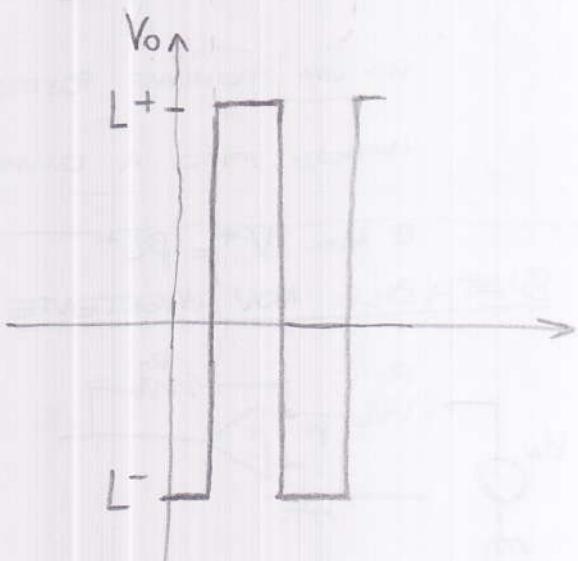
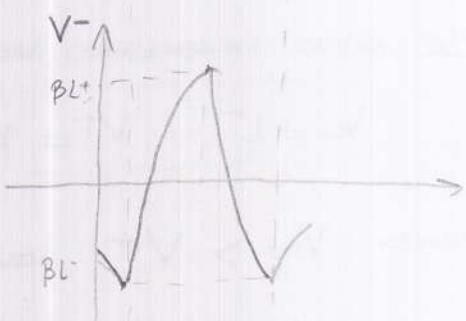
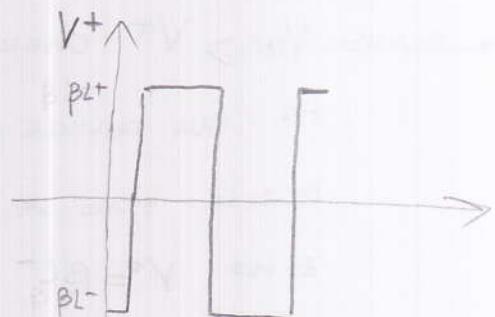
A SCARICARSI VERSO L^- E LA TENSIONE

SU V^- DECRESCHE ESPONENTIALMENTE CON

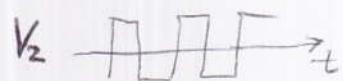
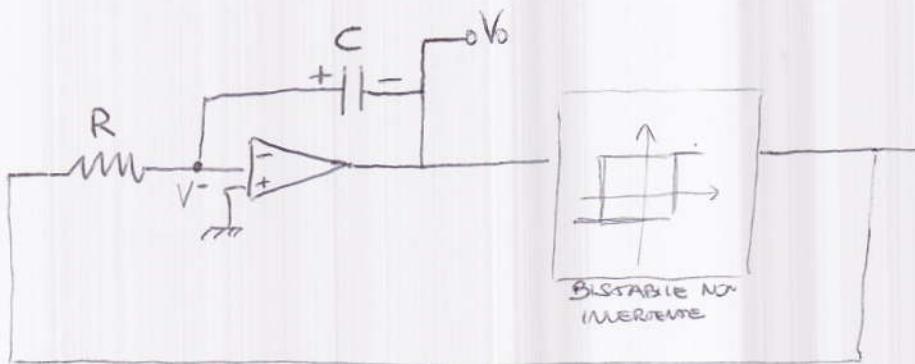
COSTANTE DI TEMPO $\tau = RC$

QUANDO $V^- = \beta L^-$ IL BISTABILE COMMUTA

DI NUOVO E RIARRIVA ALLA SITUAZIONE DI PRIMA



ASTABILE PER GENERAZIONE Onde TRIANGOLARI



OBTENUTO COLLEGANDO UN INTEGRATORE IN CONNESSIONE AD UN BISTABILE NON INVERTENTE

N.B. IN PRATICA IL BISTABILE DA IN USCITA UN'ONDA QUADRATA (CHE HA COME VALORI L^+ E L^-) CHE VIENE RIPORTATA COME INGRESSO INVERTENTE ALL'INTEGRATORE CHE DARA' IN USCITA V_o UN'ONDA TRIANGOLARE

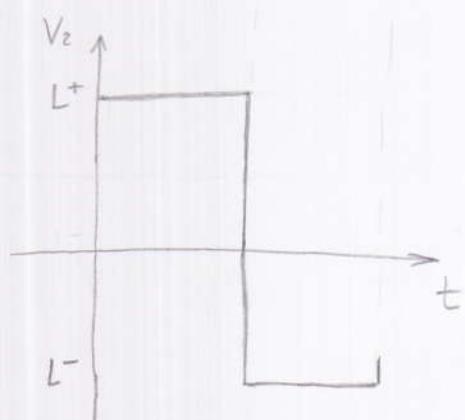
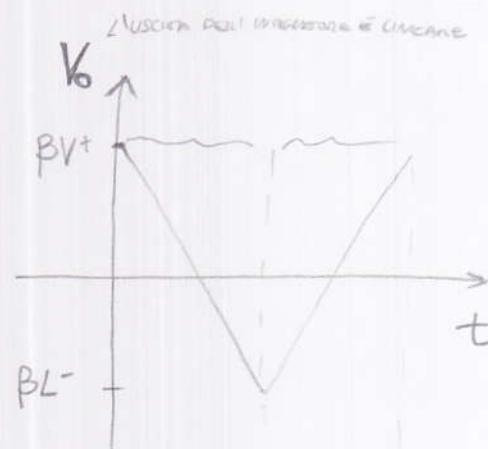
SE AVERO INCREMENTATO POSITIVAMENTE

$$V_2 = L^+$$

IL CONDENSATORE SI CARICA VERSO L^+
ATTRAVERSO LA RESISTENZA R QUINDI
LA TENSIONE DI USCITA DECRESCHE
LINEARMENTE

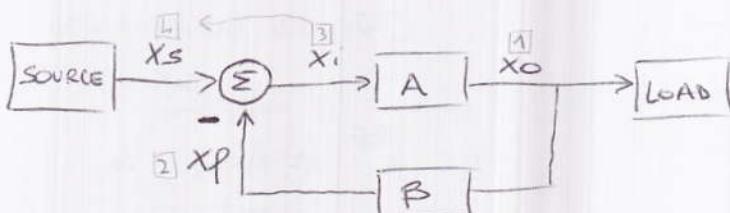
QUANDO $V_o = BL^-$ IL BISTABILE
COMMUTA E QUINDI AVEREMO

$$V_2 = L^-$$



PRODOTTO BANDA - GUADAGNO COSTANTE (AMPL. CONTROAR.)

SCHEMA E GUADAGNO CONTROAR. NEUTRALE



$$AF = \frac{x_0}{x_s} = \frac{A x_i}{x_i (1 + A\beta)} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

AUMENTO DELLA GARANZIA DI BANDA

$$\text{GUADAGNO AD APERTO} \quad A(s) = \frac{A_m}{1 + \frac{s}{\omega_{WH}}}$$

GUADAGNO NOMINALE

GUADAGNO IN CONTROAR.

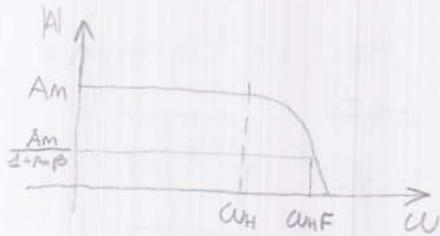
$$AF(s) = \frac{A(s)}{1 + A(s)\beta} = \frac{\overbrace{A_m / 1 + A_m \beta}^{\text{DIMINUTO RISPETTO A } A(s)}}{1 + s / \omega_{WH} (1 + A_m \beta)}$$

PASSA BASSO CON TACCO ω_{WH}

ω_{WH} AUMENTATO
RISPETTO A ω_H

PRODOTTO
BANDA - GUADAGNO
COSTANTE

$$AF \cdot \omega_{WH} = \frac{A_m}{1 + A_m \beta} \cdot \omega_{WH} (1 + A_m \beta) = A_m \omega_{WH}$$



CONFIGURAZIONI DI BASE

INGRESSO SE DEVO AMPLIFICARE UNA:

- TENSIONE, MI INSERISCO IN SERIE
- CORRENTE, MI INSERISCO IN PARALLELO

USCITA SE DEVO OTTENERE UNA:

- TENSIONE, MI INSERISCO IN PARALLELO
- CORRENTE, MI INSERISCO IN SERIE

AMPL. TENSIONE = SERIE-PARALLELO

AMPL. CORRENTE = PARALLELO-SERIE

AMPL. TRASCONDUTTANZA = SERIE-SERIE $\left(\frac{\text{CORRENTE}}{\text{TENSIONE}} \right)$

AMPL. TRANSRESISTENZA = PARALLELO-PARALLELO

MODIFICA INPEDENZE

PARALLELO \rightarrow RIDUCE

SERIE \rightarrow AUMENTA

$$x_0 = A x_i \quad x_f = \beta x_0$$

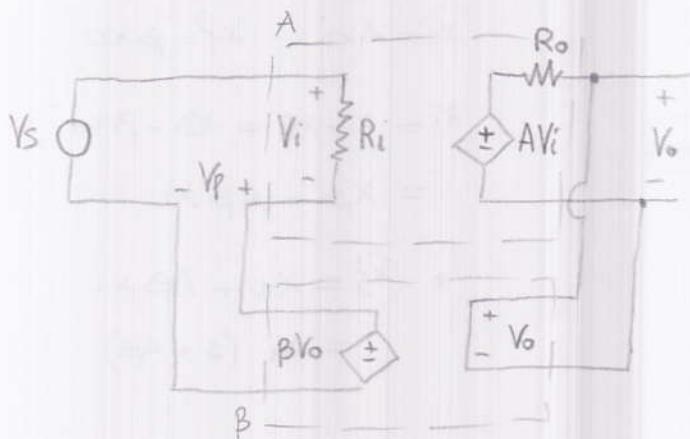
$$x_i = x_s - x_f = x_s - \beta x_0$$

$$x_i = x_s - A \beta x_i$$

$$\hookrightarrow x_s = x_i + A \beta x_i$$

$$= x_i (1 + A \beta)$$

AMPLIFICATORE DI TENSIONE



CIRCUITO EQUIVALENTE



$$A_F = \frac{V_0}{V_S} = \frac{A}{1 + AB}$$

$$\bullet V_S = V_I, B V_O = V_I + A B V_I = V_I (1 + A B)$$

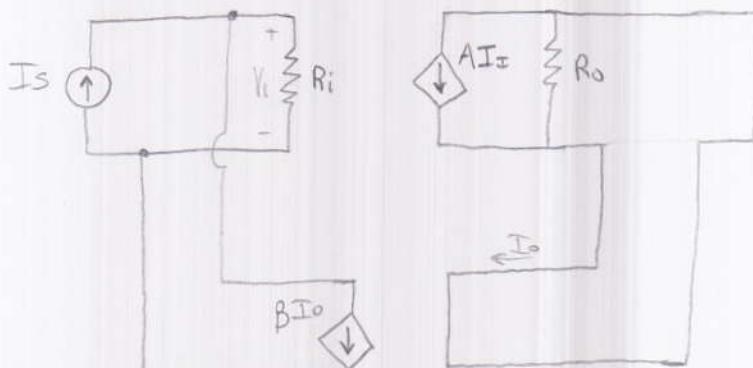
$$\bullet \begin{cases} V_S = 0 \\ V_O = V_X \end{cases} \quad V_I = -B V_X \quad V_X = I_x R_o - A B V_X$$

$$V_X (1 + A B) = I_x R_o \quad I_x = \frac{V_X (1 + A B)}{R_o} \rightarrow$$

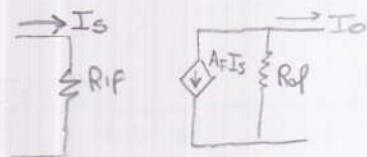
$$R_{IF} = \frac{V_S}{I_x} = \frac{V_S}{\frac{V_E}{R_i}} = R_i \frac{V_S}{V_E} = R_i (1 + A B)$$

$$R_{OF} = \frac{V_X}{I_x} = \frac{R_o}{1 + A B}$$

AMPLIFICATORE DI CORRENTE



CIRCUITO EQUIVALENTE



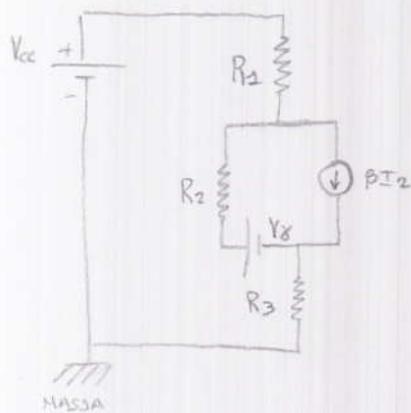
$$A_F = \frac{I_O}{I_S} = \frac{A}{1 + A B}$$

$$R_{IF} = \frac{R_i}{1 + A B}$$

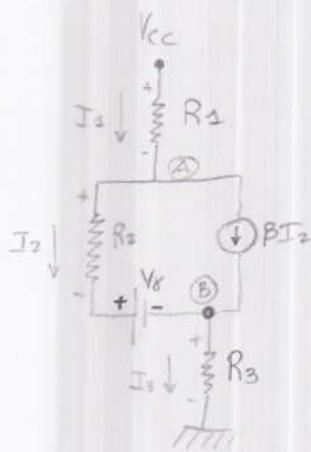
$$R_{OF} = R_o (1 + A B)$$

ESERCIZI
SVOLTI
IN AULA

ESERCIZIO 1.7 RICHIAMI SUI CIRCUITI LINEARI



=



TROVARE LE VARIE CORRENTI / DIFF. DI POTENZIALE

[NB] PICCOLI SUGGERIMENTI: NEGLI EQ. DELLA MAGNA, SE POSSIBILE SVILUPPO IL GENERATORE DI CORRENTE

$$V_{cc} = I_1 R_1 + I_2 R_2 + V_8 + I_3 R_3$$

A QUESTO PUNTO HANNO 2 EQ. E 3 INCONTRATE

GRAZIE A KIRKHOFF POSSO INTRODURRE ALTRE 2 EQ.

(Nodo) $I_1 - I_2 - \beta I_2 = 0$

LA RISCRIVO

POSITIVE ENTRANT
NEGATIVE USCITA

A) $I_1 = I_2 + \beta I_2 = I_2 (\beta + 1)$

B) $I_2 (\beta + 1) = I_3$

Una volta trovate le correnti posso calcolare anche

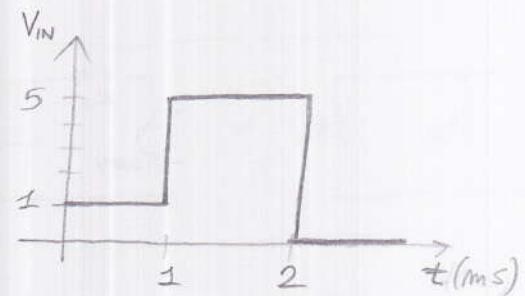
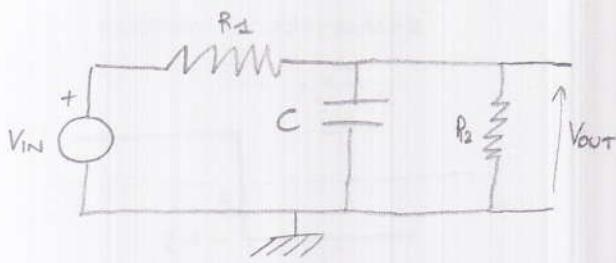
$$V_B = I_3 R_3$$

$$V_A = I_2 R_1$$

[NB] CON V_8 HO UNA CADUTA DI POTENZIALE PERCHÉ È MESSO AL CONTRARIO DIRETTO DA VERSO V_{cc}

✓ ESERCIZIO

METODO ASINTOTICO CONDENSATORE



$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 1 \text{ k}\Omega \quad C = 10 \text{ mF}$$

TROVARE V_{OUT}

DATO CHE C E R₂ STANNO IN PARALLELO, LA TENSIONE AI CAPI DI R₂ (V_{OUT}) È LA STESSA CHE STA AI CAPI DI C

RISOLVO CON IL METODO ASINTOTICO

$$V_c(t) = V(\infty) - [V(\infty) - V(t_0)] e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}$$

$$\cdot V_c(t_0^+) = V_{IN} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ V}$$

PARTITURE
DI TENSIONE

TERMINATO IL TRANSITORIO
DOPO IL PRIMO GRADINO



$$\cdot V(\infty) = V_{IN} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ V}$$

$$\cdot \tau = C \cdot R_{eq}$$

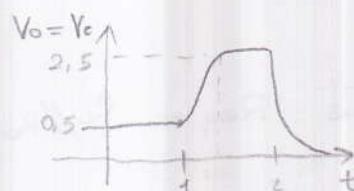
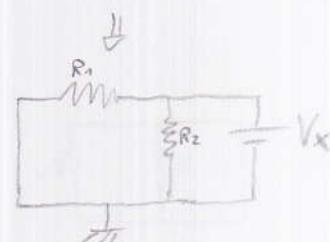
$$= C \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) =$$

$$= 10 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} =$$

$$= 10 \cdot 10^{-9} \cdot 0,5 \cdot 10^3 = 5 \mu\text{s}$$

Reg. IL CALCOLO SOSTITUENDO A C UN GENERATORE
DI TENSIONE V_x E STACCIANDO (CONTACINTO)

I GENERATORI INDIPENDENTI



$$V_c(t) = 2,5 - 2e^{-\frac{t-10^{-3}}{5 \cdot 10^{-9}}}$$

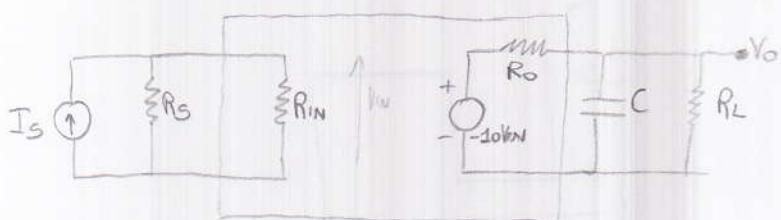
$$R_{eq} = R_1 // R_2$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

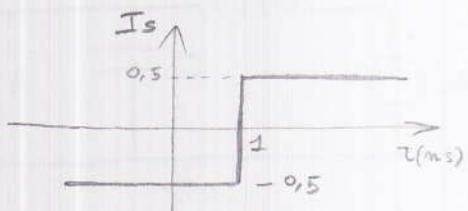
$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

1

✓ Esercizio RETE A 2 PORTE



GENERATORE DI CORRENTE



$$R_s = 3 \text{ k}\Omega \quad R_{IN} = 2 \text{ k}\Omega \quad R_o = 5 \text{ k}\Omega \quad R_L = 10 \text{ k}\Omega \quad C = 3 \mu\text{F}$$

Trovare V_o nel Tempo

$$V_c(t) = V(\infty) - [V(\infty) - V(t_0^-)] e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}$$

[NB] IN STATICHE C È UN CIRCUITO APERTO PERCHÉ È CARICO/SERVOLO E NON PASSA CORRENTE

$V_c(t_0^-)$ = c'è la stessa tensione che era su R_L (punto in parallelo)

$$= -10 V_{IN} \frac{R_L}{R_o + R_L} =$$

$$= -10 \left(I_s \cdot \frac{R_s R_{IN}}{R_s + R_{IN}} \right) \cdot \frac{R_L}{R_o + R_L} =$$

PARTITORE DI CORRENTE

$$I_{IN} = \frac{R_s}{R_s + R_{IN}}$$

DA UNA CORRENTE!

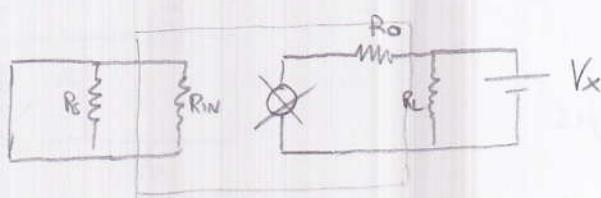
(quindi deve moltiplicare per R_{IN})

$$= +4 \text{ V}$$

$$V_c(\infty) = -4 \text{ V} \quad (\text{OTTENUTO COME PRIMA MA CON } I_s = 0,5 \text{ E NON } -0,5)$$

$$\gamma = C R_{eq}$$

Dove R_{eq} è il calcolo sostituendo al condensatore una generatrice di tensione V_x e annullando gli effetti dei generatori indipendenti



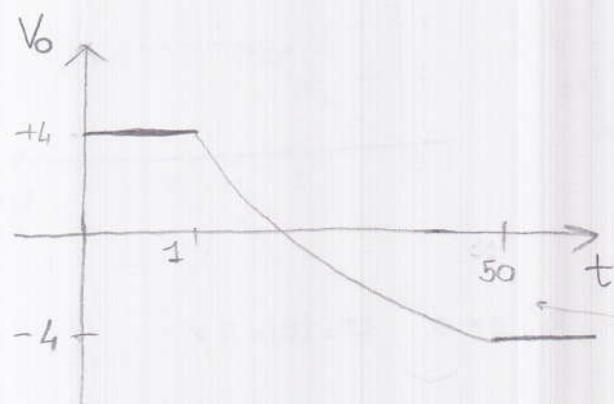
HO ELIMINATO ANCHE IL GEN

CONTROLLATO PERCHÉ $V_{IN} = 0$

$$\text{È FACILE VEDERE CHE } R_{eq} = R_L // R_o$$

QUINDI

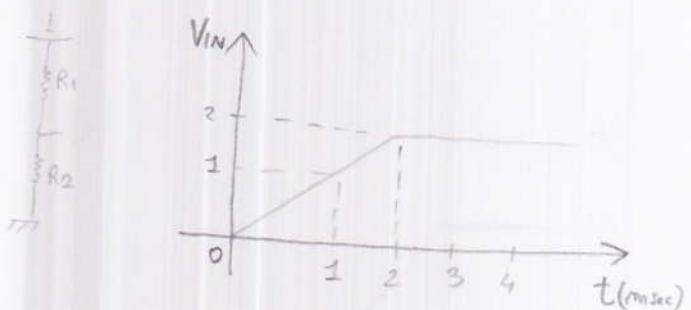
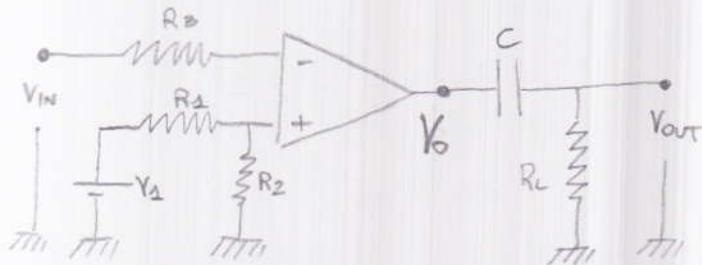
$$\tau = C \frac{R_L R_0}{R_L + R_0} = 3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{50}{15} \cdot 10^3 = 10 \text{ ms}$$



IN BIS TEMPO PER CARICA/SCARICA
DEL CONDENSATORE = 5τ

ESERCIZIO AMPL. OPERAZ. IDEALE

Per il seguente circuito in presenza di V_{IN} , graficare l'andamento nel tempo delle tensione d'uscita V_{OUT}



$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 2 \text{ k}\Omega \quad R_3 = 2 \text{ k}\Omega \quad V_1 = 2 \text{ V} \quad C = 0,1 \mu\text{F} \quad R_L = 1 \text{ k}\Omega \quad L^+ = |L^-| = 5 \text{ V}$$

divido l'esercizio in due parti : da V_{IN} a V_O e da V_O a V_{OUT}

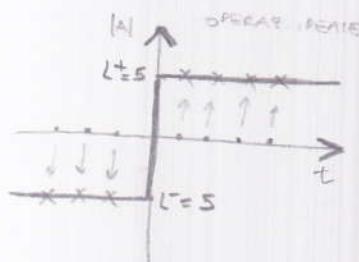
PRIMA PARTE

$$V^+ = V_1 \frac{R_2}{R_2 + R_1} = 2 \cdot \frac{1}{2} = 1 \text{ V}$$

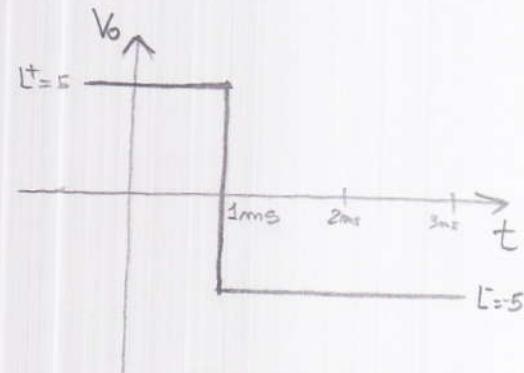
PARITORE
di TENDENZA

$V^- = V_{IN} - V_{R_3}$ ^{perché nell'ampl. operaz. ideale non entra corrente quindi non ha calore di potenziale su R_3}

DATO CHE HO UN AMPLIFICATORE OPERAZIONALE IDEALE
CHE HA GUADAGNO INFINTO, IN USCITA AVRO' SEMPRE
 L^+ OPPURE L^- IN BASE AL SEGNO DELLA DIFFERENZA
TRA V^+ E V^-



$$\begin{aligned} t=0 &\rightarrow V^+ - V^- = 1 \text{ V} \rightarrow L^+ \\ t=1 &\rightarrow V^+ - V^- = 0 \text{ V} \rightarrow 0 \\ t>2 &\rightarrow V^+ - V^- < 0 \text{ V} \rightarrow L^- \end{aligned}$$



SECONDA PARTE

GUARDANDO LO SCHEMA DEL CIRCUITO TRA V_O E V_{OUT} MI RICORDA UN CIRCUITO PASSA-ALTO. PER ESSERE SICURO VEDO COME SI CONVOLTA L'USCITA AL VARIARE DELLA FREQUENZA UN OVA

$$Z = \frac{1}{j\omega C}$$

$$\begin{aligned} \omega = 0 &\rightarrow Z = \infty \quad \text{quindi } C = \text{---} \\ \omega = \infty &\rightarrow Z = 0 \quad \text{quindi } C = \text{---} \end{aligned}$$

COME HO APPENA VERIFICATO, PASSANO SOLO LE ALTE FREQUENZE E NEL MIO CASO PASSA SOLO L'INVERSIONE DI TENSIONE (in $t = 1 \text{ ms}$)

$$V_{out} = V_0 - V_c$$

EQ ALA
NAGUA

NB CONSIDERO IL CONDENSATORE GIÀ CARICO
VISTO CHE È RIMASTO SOTTO UNA DIFF. DI POTENZIALE
DI 5V IN TEMPO INFINTO

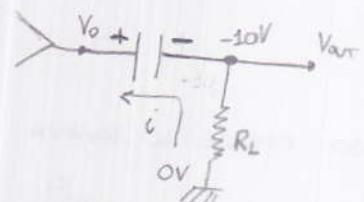
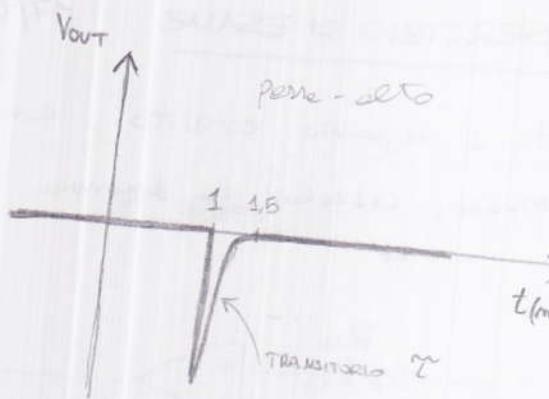
$$t \leq 1 \rightarrow V_{out} = 5 - 5 = 0V$$

$$t = 1+ \rightarrow V_{out} = -5 - 5 = -10V$$

appena c'è
stato e' immobile

$$t > 1+$$

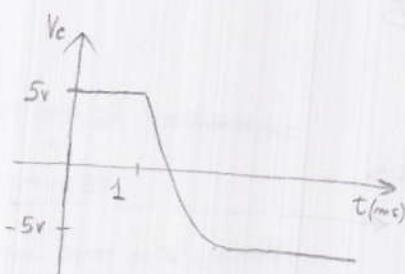
A QUESTO PUNTO SUA RESISTENZA R_L c'è UNA DIFF. DI POTENZIALE \rightarrow DO SCORRE UNA CORRENTE DA V_{0+} A V_{0-} . IL CONDENSATORE VIENE SCARICATO OVEVA LA SUA TENSIONE VARIA IN MODO ESPONENZIALE



$$V_c = V(\infty) - [V(\infty) - V(t_0^-)] e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}$$

$$V(\infty) = V_0 - V_{out} = -5 - 0 = -5V$$

$$V(t_0^-) = \dots = 5 - 0 = 5V$$



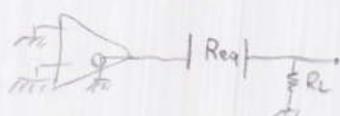
All'ARRIVO DEL GRADINO, V_c SI COMINCIA A SCARICARE E PASSA DA $+5V$ A $-5V$ QUINDI V_{out} PASSA DA -10 A 0 .

NB SE FACCO LA STIMA PUNTO PER PUNTO TRA I GRATICCI DI V_0 e V_c OTTERGO QUELLO DI V_{out}

QUANTO DURA IL TRANZITORIO?

$$\tau = R_{eq} \cdot C$$

SOLITO PROCEDIMENTO PER IL CALCOLO DI R_{eq}



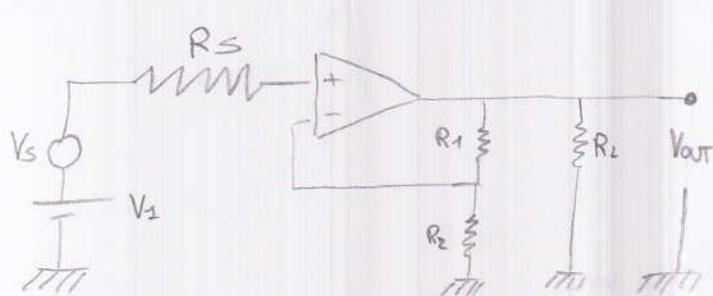
UNICA RESISTENZA È R_L

$$\tau = R_{eq} \cdot C$$

$$= 1 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}$$

$$= 0,1 \text{ ms}$$

Per il seguente circuito, con V_s un segnale sinusoidale e V_1 dc medio molto, calcolare la dinamica di ingresso dell'amplificatore operazionale ideale



$$R_s = 100 \Omega$$

$$V_1 = 1V$$

$$R_1 = 4k\Omega$$

OPERAZ IDEALE

$$R_o = 0$$

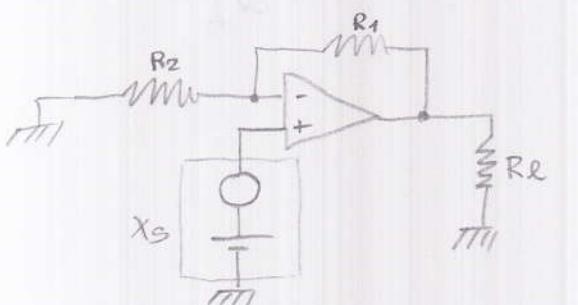
$$A = \infty$$

$$R_{IN} = \infty$$

$$L^+ = L^- = 10V$$

$$R_{LOAD} = \infty$$

POSSO RIPARARE LO SCHEMA NEL SEGUENTE MODO



NON
È UNA CONFIGURAZIONE INVERTENTE

ATTENZIONE

NON HO RIPORTATO R_s PERCHÉ NON HA NESSUN

EFFETTO: IN + HO $R = \infty$, QUINDI NON PASSA

CORRENTE ATTRAVERSO R_s

$$Av = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_1 + V_s} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{4}{1} = 5$$

$$V_o = V_{IN} \cdot Av = (V_1 + V_s) \cdot Av = V_{O1} + V_{OS}$$

SAREBBERO V_1 AMPLIFICATO
e
 V_s AMPLIFICATO

- Conoscendo V_1 e Av posso calcolare

$$V_{O1} = V_1 \cdot Av = 1 \cdot 5 = 5V$$

[NB] V_{O1} È LA COMP. CONTINUA DI V_o
 V_s È LA COMPONENTE ALTERNANTE DI V_o

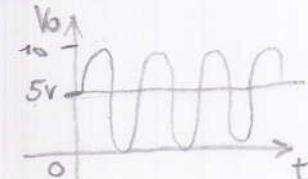
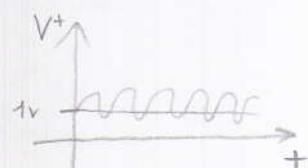
- non conosco V_s ma so che

$$L^+ \Rightarrow V_o = 10V$$

$$\rightarrow V_{OS} = \frac{V_o - V_{O1}}{V_1} = \frac{10 - 5}{5} = 1V$$

- conoscendo V_{OS} e Av posso calcolare

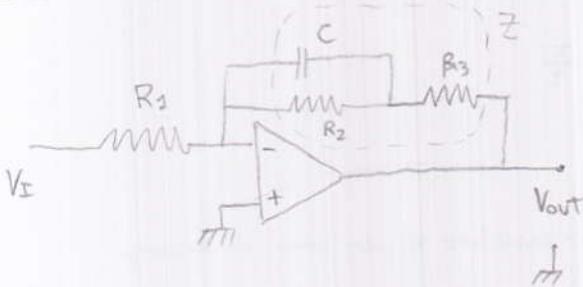
$$V_s = \frac{V_{OS}}{Av} = \frac{1}{5} = 0.2V$$



ESERCIZIO

AMPLIF. OPERATR.

11/11/2014



$$R_1 = 100 \text{ k}\Omega$$

AMP OP IDEALE

$$R_2 = 200 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$C = 10 \mu\text{F}$$

$$\frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C}$$

Trovare la funzione di Trasferimento

$$T(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{Z}{R_1} \quad \text{dove } Z = Z_{in} + R_3 = R_2 // C + R_3$$

$$= \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C} + R_3$$

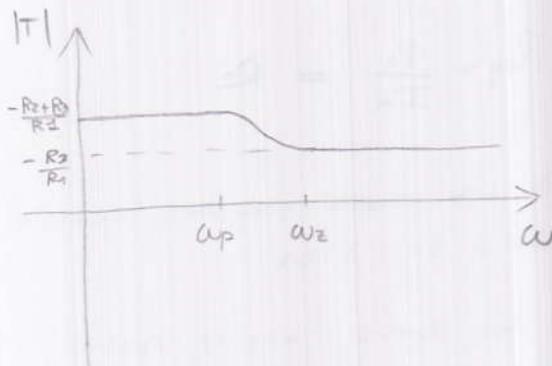
$$= \frac{R_3 + j\omega R_2 R_3 C + R_2}{1 + j\omega R_2 C}$$

$$= \frac{(R_2 + R_3) \cdot (1 + j\omega \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \cdot C)}{1 + j\omega R_2 C}$$

QUINDI

$$T(j\omega) = - \frac{(R_2 + R_3)}{R_1} \cdot \frac{\left(1 + j\omega \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \cdot C\right)}{1 + j\omega R_2 C}$$

$$\omega_p = \frac{1}{R_2 C} \quad \omega_z = \frac{1}{R_2 // R_3} \cdot C$$

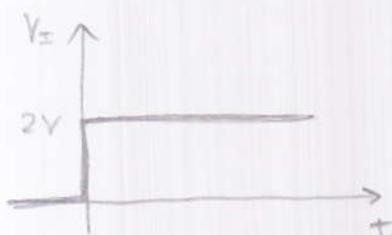


$-\frac{R_2}{R_1}$ PERCHÉ CON $\omega = \infty$ IL CONDENSATORE

È UN CORSO CIRCUITO QUINDI $T(j\omega) = -\frac{R_2}{R_1}$

[NB] non c'è R_1 perché lo corrente passa nel conto circuito dello stesso condensatore

Supponendo la V_I seguente determinare la V_O



$$t < 0 \rightarrow V_I = 0 \Rightarrow V_{out} = 0$$

$t > 0$

APPRENDERE IL METODO ASINTOTICO

$$V_{out}(t) = V_{out}(\infty) - [V_{out}(\infty) - V_{out}(0)] e^{-\frac{t}{\tau}}$$

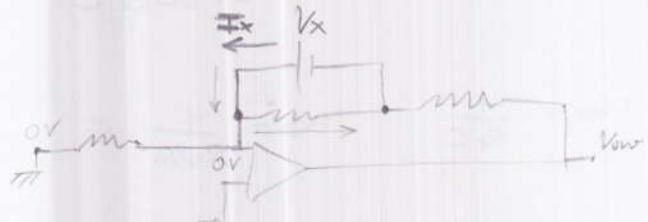
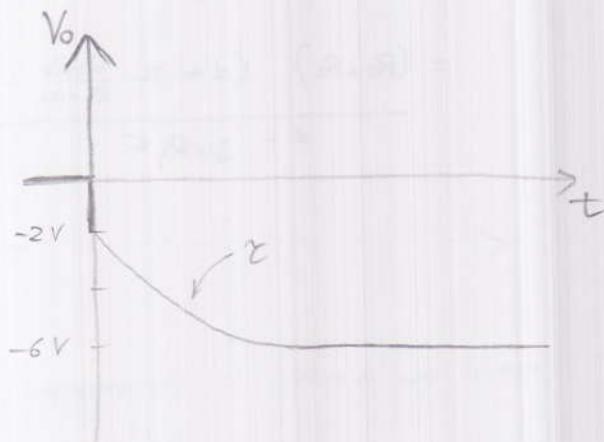
$V_{out}(\infty)$ = PASSATO IL TRANSITO IL CONDENSATORE È UN CIRCUITO APERTO

$$V_{out}(\infty) = - \frac{R_2 + R_3}{R_2} V_I = -3 \cdot 2 = -6 V$$

$$t=0^- \rightarrow V_C(0^-) = 0 = V_C(0^+)$$

$$t=0^+ \rightarrow V_{R_3}(0^+) = I R_3 = \frac{V_I(0^+)}{R_1} \cdot R_3$$

$$V_{out}(0^+) = - V_C(0^+) - V_{R_3}(0^+) = - \frac{V_I(0^+)}{R_1} \cdot R_3 = - \frac{100}{100} \cdot 2 = -2 V$$



$$R_{eq} = \frac{V_x}{I_x} = R_2$$

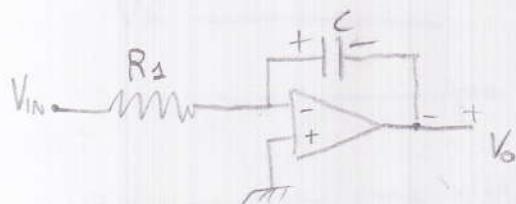
[NB] SU R_1 NON scorre corrente perché ha OV a sx e a dx

[NB] SU R_3 NON scorre corrente perché ha I_x che entra in V_x

$$\tau = R_2 C$$

✓ Esercizio

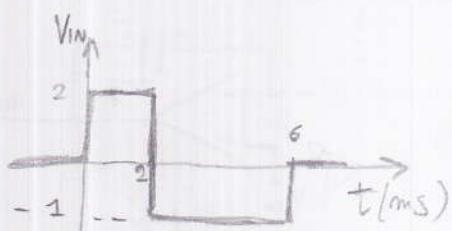
INTEGRATORE (INVERT.)



$$R_2 = 1\text{ k}\Omega$$

$$C = 1\text{ }\mu\text{F}$$

$$L^+ = L^- = 10\text{ V}$$



INTEGRATORI IDEALE

C SCARICA ALL'INIZIO

DISEGNARE ANDAMENTO DI V_o

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_{in} dt$$

$$V_{in} = \text{cost.}$$

NB: IL CIRCUITO VIDE UNA TENSIONE COSTANTE PERCHÉ LA TENSIONE NON È VARIATA DALL'ISTANTE PRECEDENTE

$$V_o = -\frac{V_{in}}{RC} \cdot t \quad (V_o \text{ integratore - comp. invertitore})$$

$$t > 0 \rightarrow V_o = -\frac{2}{1 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}} t = -2 \text{ V/ms} = -2 \text{ mV/s}$$

$$t > 2 \rightarrow V_o = V_{c_{2ms}} - \frac{V_{in}}{RC} t = -4 - \left(-\frac{1}{10^3}\right) t = -4 + 1 \text{ V/ms}$$

NB

$$I_1 = \frac{2\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 2\text{ mA}$$

$$T_1 = 2\text{ ms} (2-0)$$

$$\text{CARICA} = 4$$

$$I_2 = \frac{-1\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = -1\text{ mA}$$

$$T_2 = 4\text{ ms} (6-2)$$

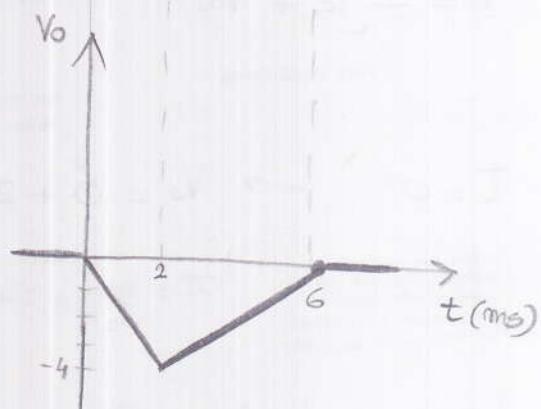
$$\text{SCARICA} = -4$$

NB

SE V_{in} NON ANDAVA A 0, LA CARICA FORNITA AL CONDENSATORE ERA LINEARE

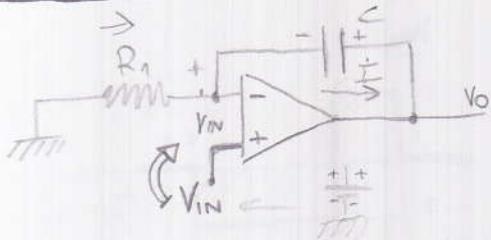
NEL TEMPO QUINDI PRIMA A POCI ANDAVA IN SALTATO

infatti nel nostro caso $t > 6$ $V_o = 0$ perché $V_{in} = 0$



ESERCIZIO

INTEGRATORI (NON INVERTITI)



$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C = 1 \mu\text{F}$$

$$L^+ = L^- = 10 \text{ V}$$

DISSEGNARE L' ANDAMENTO DI V_o

$$V_o = +V_c + V_{in} \quad (V_o \text{ comp. non invertente})$$

↑ NON INVERTENTE

HA BISOGNO DI
TEMPO PER CARICA/RITRAZIONE

$$t=0^+ \rightarrow V_o = 0 + 2$$

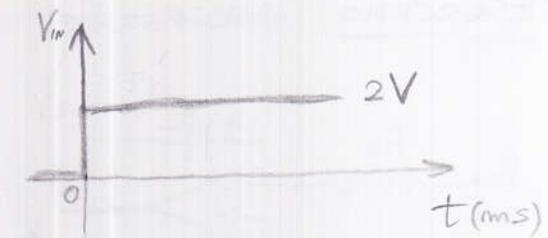
AL TEMPO 0
C'E' $V_{in} = V_{R1}$

SUBITO DOPO IL CIRCUITO
INIZIA A DECREDERE UNA
CORRENTE CHE CARICA IL
CONDENSATORE E FA VARIARE
LA TENSIONE AI SUOI CAPI

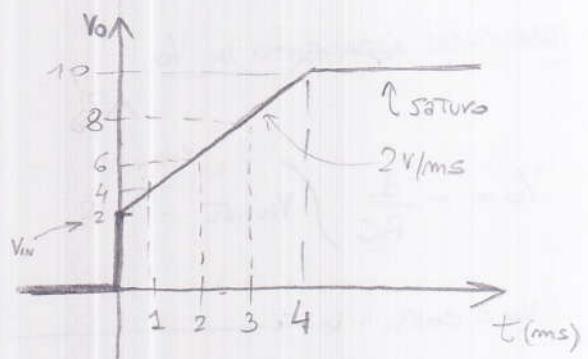
$$I = \frac{V_{in}}{R_1} = 2 \text{ mA}$$

$$t > 0 \rightarrow V_c = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \cdot \frac{V_{in}}{R_1} t = \frac{2}{10^{-3}} \cdot t = 2 \text{ V/ms} \rightarrow V_o(t) = 2 \text{ V/ms} + V_{in}$$

$\circlearrowleft Q = \int I dt$



[NB] IN QUESTO CASO V_{in} NON VA A 0

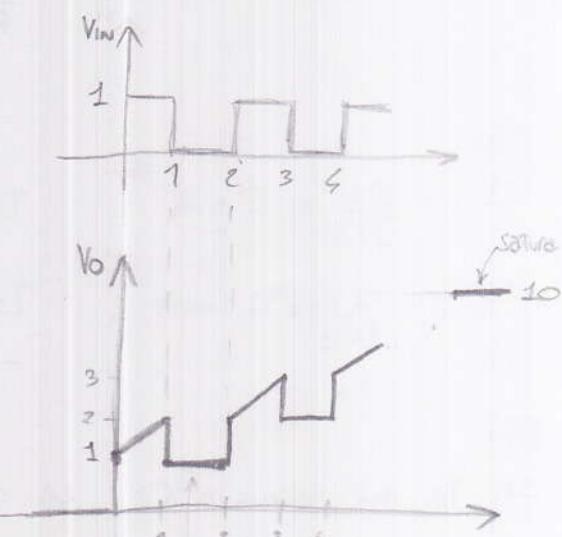


ESERCIZIO

OSSERVA SCHEMA DELL' ESERCIZIO PRECEDENTE

$$V_o = V_c + V_{in}$$

$$V_c|_{t=0} = 1 \text{ V/ms}$$

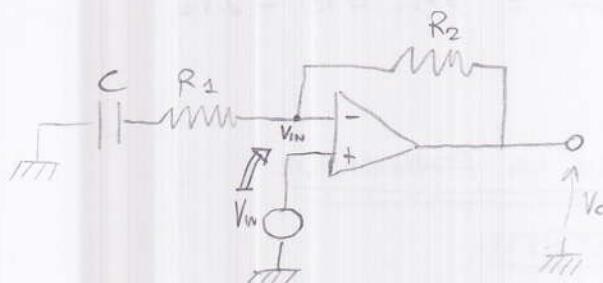
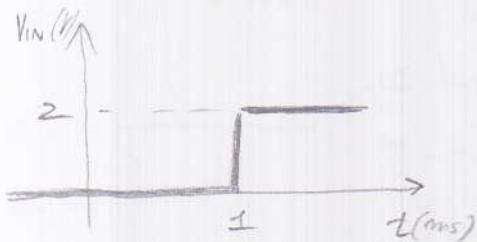


per la massima la sua scacca

✓ Esercizio

DERIVATORE

Dato il circuito in figura in cui V_{IN} è un generatore di tensione a gradino riportato nel grafico. Determinare e graficare la tensione di uscita nel tempo. Considerare l'amplificatore operazionale ideale con $L^+ = L^- = 12 \text{ V}$



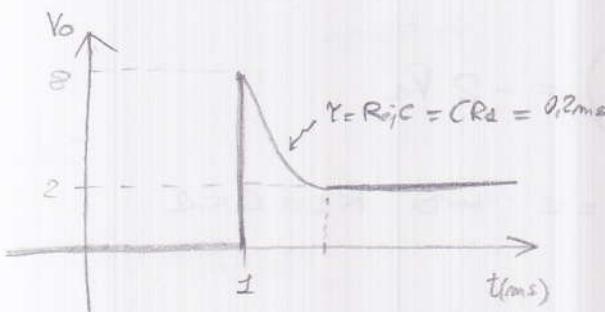
$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 6 \text{ k}\Omega \quad C = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$$

(Vo derivazione - conf. non invertente)

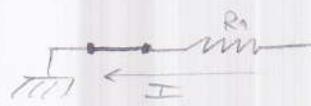
$$V_o = V_{R_2} + V_{IN}$$

• per tensioni continue

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{\infty} = 1$$



• nel gradino il condensatore ha un impedenza nulla ($\omega = 0$)



area mai piena
grande nel
condensatore e
su R_1

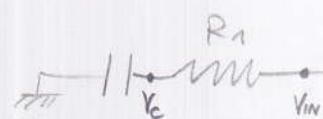
$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 4$$

quindi da sub la R_2
è scesa comunque di R_1
verso lo stesso che
corre il condensatore

$$t = 1^+ \rightarrow I = \frac{2}{R_1} = 1 \text{ mA} \rightarrow V_o = V_{R_2} + V_{IN} = R_2 I + V_{IN} = 6 + 2 = 8 \text{ V}$$

SUBITO DOPO IL GRADINO
INIZIA A CORRERE UNA
CORRENTE CHE CARICA
IL CONDENSATORE
E CHE SCORRE FINO A
QUANDO $V_C < V_{IN}$

$$I = \frac{V_{IN} - V_C}{R_1}$$



$$t > 1^+ \rightarrow V_o = R_2 \cdot \frac{V_{IN} - V_C}{R_1} + V_{IN}$$

$$V(\infty) = 2 \Rightarrow V_o = 6 \cdot 0 + 2 = 2 \text{ V}$$

$$V(0^-) = 0 \Rightarrow V_o = 6 \cdot \frac{2}{2} + 2 = 8 \text{ V}$$

ESERCIZIO

SOMMATORI

Dal seguente circuito, con l'operatore ideale, determinare R_1 , R_2 e R_3 affinché la tensione di uscita dell'amplificatore valga:

$$V_{out} = 3V_3 - 4V_2 - 2V_1$$

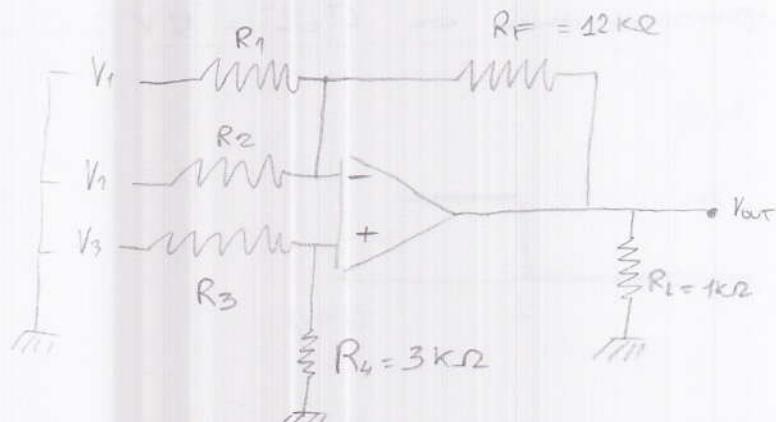
UTILIZZO LA SOVRAPPOSIZ.

DEGLI EFFETTI

INIZIATE TUTTO DALLO DIRE CHE

$$V^+ = V_3 \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

PARTITORE DI
TENSIONE



considero



$$V_{01} = V_1 \left(-\frac{R_2}{R_1} \right) = -2V_1$$

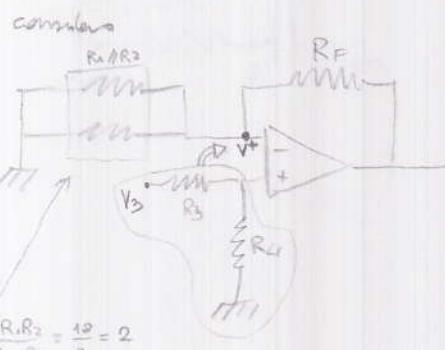
DA SPECIFICA

$$\text{quindi } \frac{R_F}{R_1} = 2 \quad \Rightarrow \quad R_1 = 6k\Omega$$

considero stessa da prima con R_2

$$V_{02} = V_2 \left(-\frac{R_F}{R_2} \right) = -4V_2$$

$$\frac{R_F}{R_2} = 4 \quad \Rightarrow \quad R_2 = 3k\Omega$$



$$R_1/R_2 = R_2/R_3 = \frac{12}{3} = 2$$

$$V_{03} = V^+ \left(1 + \frac{R_F}{R_1/R_2} \right) = V_3 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \left(1 + \frac{R_F}{R_1/R_2} \right) =$$

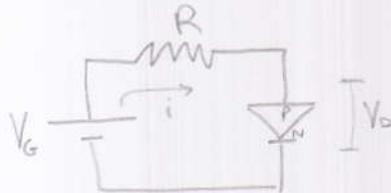
$$V_{03} = V_3 \cdot \frac{3}{R_3 + 3} \cdot \left(1 + \frac{12}{2} \right) = \rightarrow R_3 = 4k\Omega$$

ALTRÒ MODO DI PROCEDERE

$$V_{in \text{ config. manente}} = V^+ + I_{RF} = \frac{V_1}{R_1/R_2 + R_F} (R_1/R_2 + R_F) = \frac{V_3 R_4}{R_3 + R_4} \cdot 7$$

$$3V_3 = V_3 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot 7 \quad 3(R_3 + R_4) = 7R_4 \quad R_3 = 4k\Omega$$

DIODI (METODI SOL. ESERCIZI)



$$\text{EQ. ALLA MAGNA} \quad V_G = IR + V_D$$

legge delle giunzione
mi dice che la corrente che
scorre nel diodo varia

$$\text{quindi} \quad V_G = R(I e^{\frac{V_D}{n}}) + V_D$$

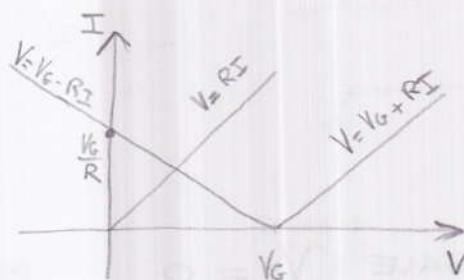
①

OBTIUTO UN METODO GRAFICO per risolvere il circuito (altrimenti non c'è facile calcolare V_D)

$$V_G - RI = V_D$$

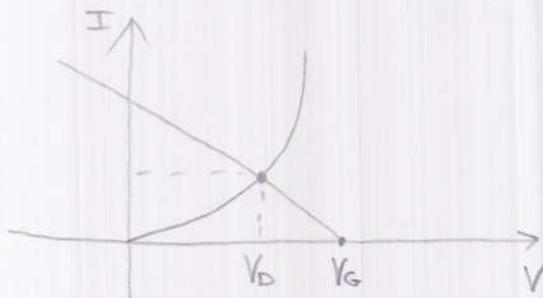
$$f(I) = g(I) \quad \text{cioè ho}$$

le trovo



SOLUZIONE

SOPRAPPONGO I DUE GRAFICI E
TROVO I PUNTI IN COMUNE

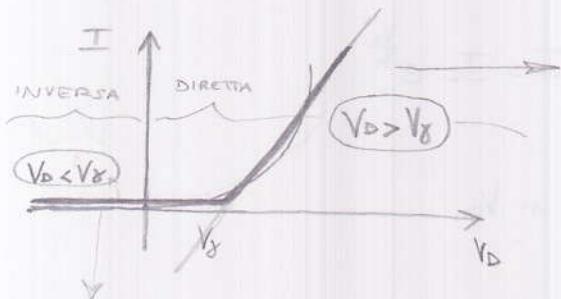


ESISTE UN ALTRO METODO

(2)

UTILIZZO IL METODO DEGLI STATI

divido le curve Tensione - corrente del diodo in due parti lineari

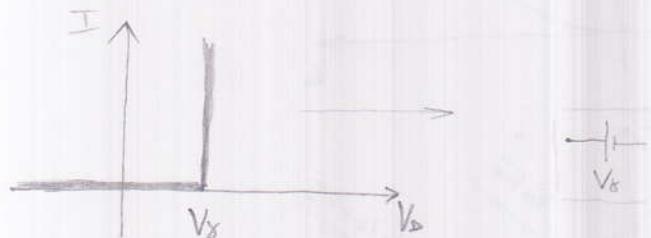


QUESTA RETTA DAL PUNTO DI VISTA CIRCOLARE È



QUESTA RETTA DAL PUNTO DI VISTA CIRCOLARE È

SPESSO SI PUÒ CONSIDERARE $R_{ON} = 0$ OTTENENDO



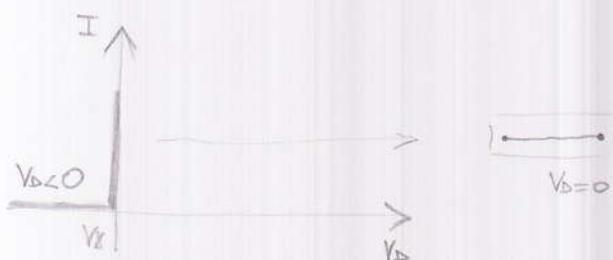
NB IPDI SPESO S'INTESA QUANDO $R_0 \ll$ RESISTENZA IN CHIAVE

$$\Omega \ll K \cdot \Omega$$

NEL CASO IDEALE $\checkmark V_Z = 0$

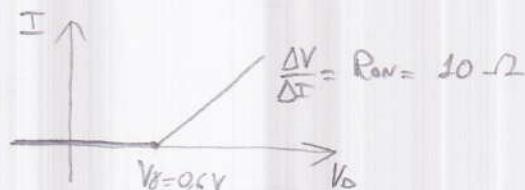
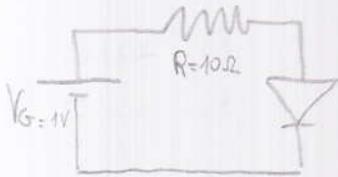
NB STESSO DISCRESO DI R_0

SE $V_G \gg V_Z$ LO POSSO TRAScurare
 $20V \gg 0.6V$

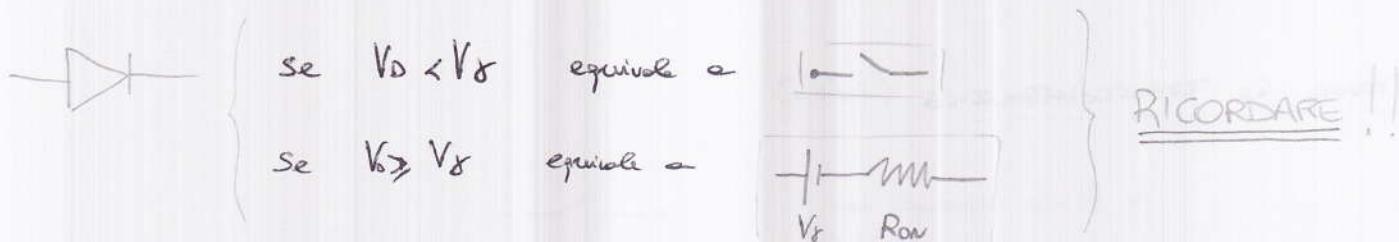


ESERCIZIO

DIODI

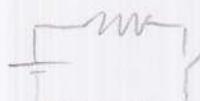


calcolare la corrente che scorre nel circuito



PROVO AD USARNE UNO E vedo se funziona

• SCELGO IL PRIMO

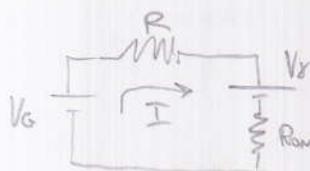


HO $I=0$ dato che ho un circuito aperto

Devo VERIFICARE SE $Vd < Vf$

$$Vg R = 0 \quad \Rightarrow \quad Vg = \cancel{RI} + Vd \quad \text{QUINDI} \quad Vd \cancel{>} Vf$$

• SCELGO IL SECONDO



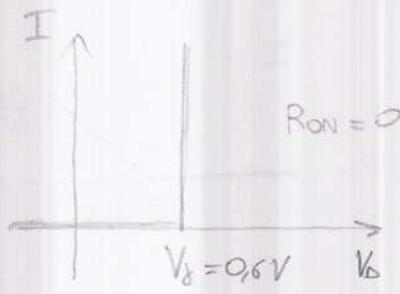
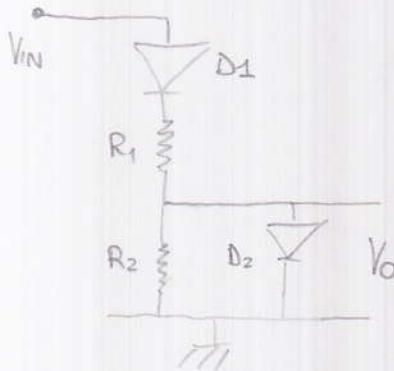
$$\text{HO } I = \frac{Vg - Vf}{R + Ron} = \frac{0,4}{100} = 4 \text{ mA}$$

TRONCA DAW EQ. AUA

$$\text{NAGUA } Vg = IR + Vf + I Ron$$

ESERCIZIO DIODI

CARATI I-V NEI 2 DIODI



$$R_s = 100 \Omega$$

$$R_2 = 50 \Omega$$

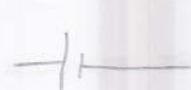
Trovare la transcaratteristica (V_0/V_{in})



se $V_0 < V_d$ equivale a



se $V_0 > V_d$ equivale a



AVERE 2 DIODI HO 4 COMBINAZIONI POSSIBILI

Ora non provo a caso ma cerco di ragionare

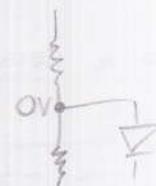
- Se $V_{in} = -$ il diodo 1 è POLARITÀ IN INVERSA IN INTERDIZIONE ovvero non conduce
molto negativa

QUINDI È



NON SCORRE CORRENTE IN R_2 e in D_2

$$V_0 = 0V$$



QUINDI $V_D = 0$

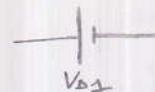
OVVERO ANCHE IL DIODO 2 È UN

EQ. ALLA MAGNA
(vale sempre)

$$V_{in} = V_{D1} + I_1 R_1 + I_2 R_2$$

$$V_{in} = V_{D1} \quad \text{FINCHE } V_{in} = V_d = 0.6V \quad (\text{vedi sopra})$$

• Se $V_{IN} = +0.6 \text{ V}$ il diodo 1 DIVENTA



$I_1 = I_2$ perché
il diodo 2 è un
circuito aperto

IN QUESTA CONDIZIONE (è scattato solo il primo diodo)

$$V_{IN} = V_D + I_1 R_1 + I_2 R_2 \Rightarrow I_1 = \frac{V_{IN} - V_D}{R_1 + R_2} = \frac{V_{IN} - 0.6}{150}$$

$$V_0 = I_2 R_2 = \frac{V_{IN} - 0.6}{150} \cdot 50 = \frac{V_{IN} - 0.6}{3}$$

[NB] per graficare mi basta trovare 2 punti

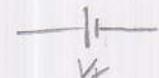
$$V_{IN} = V_D \rightarrow V_0 = 0 \text{ V}$$

$$V_{IN} = 3.6 \rightarrow V_0 = 1 \text{ V}$$

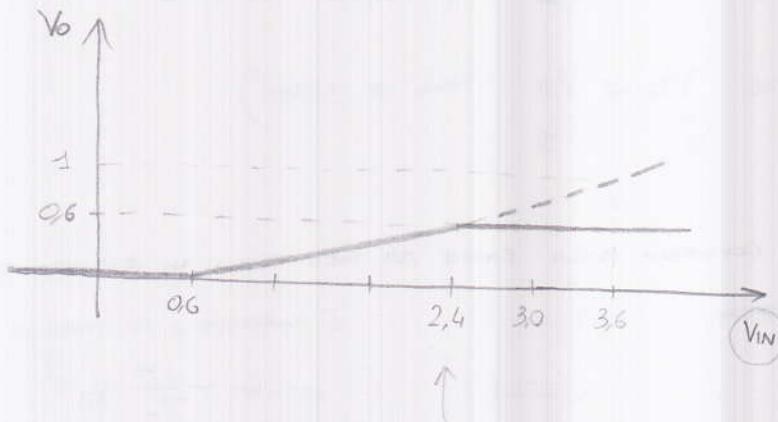
ATTENZIONE

QUANDO V_0 ARRIVA A 0.6 V il diodo 2 NON È PIÙ IL CIRCUITO APERTO

(perché non è più valida $V_D < V_D = 0.6$) E DIVENTA



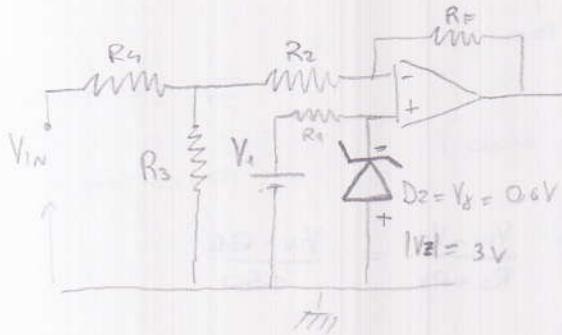
$V_0 = V_D$ QUINDI RIMANE SEMPRE A 0.6 V



$$V_0 = \frac{V_{IN} - 0.6}{3} \rightarrow V_{IN} = 3V_0 + 0.6 \\ = 3 \cdot 0.6 + 0.6 \\ = 2.4$$

ESERCIZIO

DIODI ZENER



$$V_1 = 5V$$

$$R_1 = 1k\Omega$$

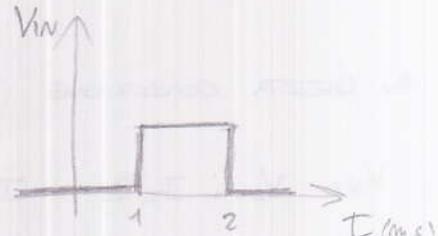
$$R_2 = 2k\Omega$$

$$R_3 = 2k\Omega$$

$$R_4 = 2k\Omega$$

$$R_F = 3k\Omega$$

$$L^+ = |L^-| = 10V$$



NB SI CONSIGNA DI UTILIZZARE
IL PRINCIPIO DI SOVRAPP. OCCORRE VERIFICARE

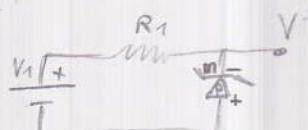
TROVARE V_0 NEL TEMPO

PRINCIPIO SOVRAPP. EFFETTI

\Rightarrow orsillo è l'effetto di un generatore di Tensione e vede come re V_0 orsillo e l'altro è visto come re V_0 , somma le V_0 ottenute

• CONSIDERO $V_{IN} = 0$

CONSIDERO
QUESTA PARTE
DI CIRCUITO



IL DIODO ZENER
PUÒ ESSERE:



$$\text{se } V_0 \leq -V_z \quad \frac{1}{T} - V_z$$

$$\text{se } -V_z < V_0 < V_z$$

$$\text{se } V_0 \geq V_z \quad \frac{1}{T} + V_z$$

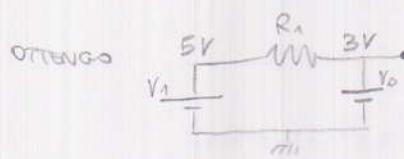
PROVO A METTERE IN CIRCUITO APERTO

$$V_D = 0 \quad \Rightarrow \quad V_{R1} = 0 \quad \Rightarrow \quad V^+ = V_1 \quad \text{E ANCHE} \quad V_D = 5V$$

MA DOVEVO AVERE CHE $V_D < V_Z$ (perché in inverso)

RAGIONANDO vedo che il + di V_1 è connesso alla parte M del diodo ZENER quindi

È POLARIZZATO IN INVERSA O巨RO



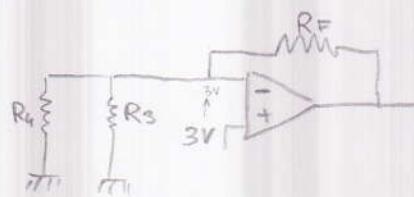
$$\text{POTENZIA} \quad \frac{1}{T} + V_Z$$

A PRESSIONE DATA CORRENTE SO CHE $V_0 = V_Z = 3V = V^+$

$$NB I_R = \frac{5-3}{R_1} = 2mA$$

IL CIRCUITO RISULTANTE

È IL SEGUENTE



NB MOLTO SIMILE
AD UNA CONFIG. NON
INVERTENTE IN CVI

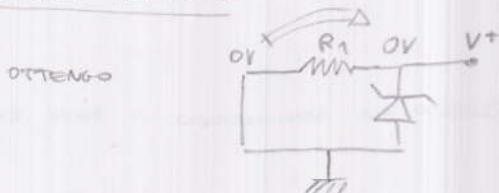
$$A_V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

IL GUADAGNO DEL MIO CIRCUITO SARÀ

$$A_v = 1 + \frac{R_F}{R_2 + R_3/R_4} = 1 + \frac{3}{2+1} = +2$$

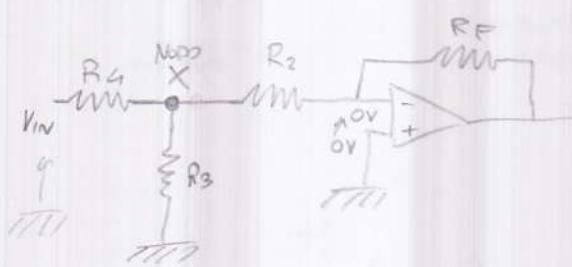
QUINDI $V_o^{(1)} = 6V$

• CONSIDERO $V_1 = 0$



OPERO $V^+ = 0V$ (è a massa)

IL CIRCUITO
RISULTANTE È
IL SEGUENTE

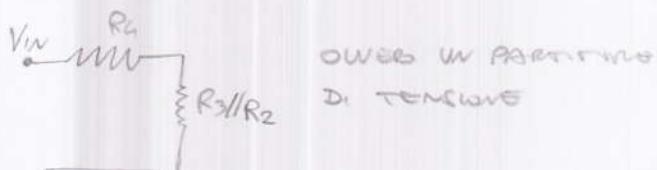
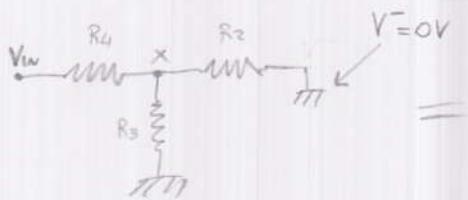


INNB | MOLTO SIMILE AD
UNA CONFIG. INVERTER
IN CUI $A_v = -\frac{R_2}{R_F}$

TENSIONE SULLA
RESISTENZA
D'INGLESIO

$$V_o^{(1)} = V_x \left(-\frac{R_F}{R_2} \right)$$

QUINDI DEVO TROVARE COME EVOLVE V_x

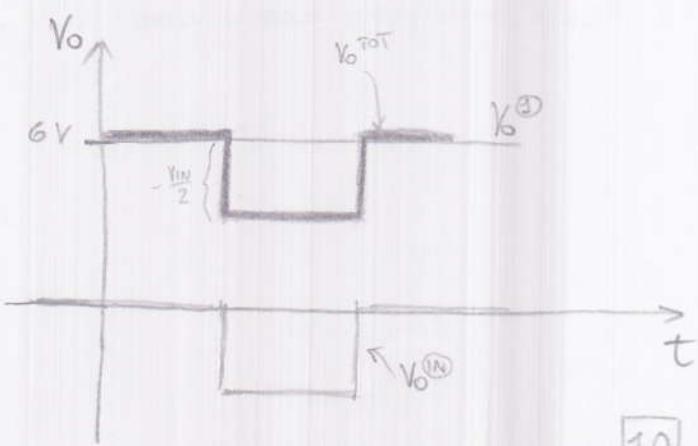


$$V_x = V_{in} \cdot \frac{R_3//R_2}{R_3//R_2 + R_4}$$

FD

$$V_o^{(1)} = -V_{in} \cdot \frac{R_3//R_2}{R_3//R_2 + R_4} \cdot \frac{R_F}{R_2} = -V_{in} \cdot \frac{1}{1+2} \cdot \frac{3}{2}$$

$$V_o^{(1)} = -\frac{V_{in}}{2}$$



ATTENZIONE

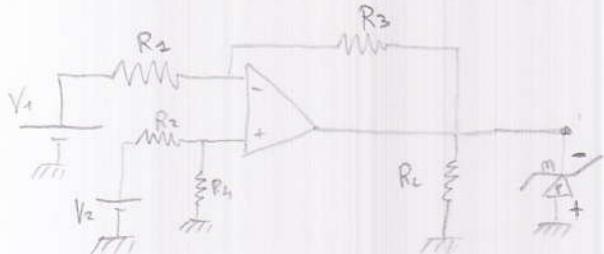
TUTTE LE CONSIDERAZIONI

TATTE FINO AD ORA

VALGONO SE L'AMPLIFICATORE
NON È IN SATURAZIONE E QUINDI
Vale il conto orario mettendo

ESERCIZIO

Diodo ZENER



$$R_1 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 200 \text{ k}\Omega = R_4$$

$$R_3 = 300 \text{ k}\Omega$$

$$\textcircled{a} \quad V_1 = 2V \quad V_2 = 0V$$

$$\textcircled{b} \quad V_1 = 0V \quad V_2 = 4V$$

$$V_Z = 3V$$

$$V_0 = 0,6V$$

Trovare la V_{out} nel tempo

INVERT

$$\textcircled{a} \quad V_{out} = -\frac{R_3}{R_1} \cdot V_1 = -3 \cdot 2 = -6V \quad \text{QUESTO NON CONSIDERANDO IL DIODO ZENER}$$

IL DIODO È POLARIZZATO DIRETTAMENTE
(Tensione negativa su m) $\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \cdot V_Z \\ \cdot \text{STESO ORIENTAMENTO} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{1-}{1+} V_Z$

$$\text{QUINDI } V_{out} = -0,6V$$

NON INVERT

\textcircled{b}

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_3}{R_1}\right) V^+ = (1+3) \cdot 2 = 8V \quad \text{QUESTO NON CONSIDERANDO IL DIODO ZENER}$$

IL DIODO È POLARIZZATO INVERSALEMENTE
(Tensione positiva su m) $\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \cdot V_Z \\ \cdot \text{ORIENTAMENTO INVERSO} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{1+}{1-} V_Z$

$$\text{QUINDI } V_{out} = V_Z = 3V$$

NOTE

SE AVESSE AVUTO IL DIODO

IN QUESTA POSIZIONE



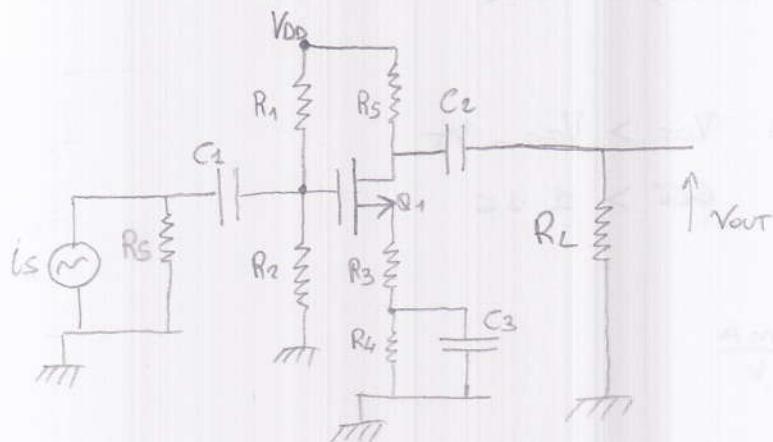
$$\textcircled{a} - 6$$

IL DIODO È POLARIZZATO INVERSALEMENTE $\rightarrow \frac{1-}{1+} V_Z$

$$\textcircled{b} + 8$$

IL DIODO È POLARIZZATO DIRETTAMENTE $\rightarrow \frac{1+}{1-} V_Z$

ESERCIZIO TRANSISTOR



$$R_1 = 40 \text{ k}\Omega$$

$$V_{DD} = 10 \text{ V}$$

$$R_2 = 20 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 0,5$$

$$R_4 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_5 = 80 \text{ k}\Omega$$

$$R_L = 15 \text{ k}\Omega$$

$$Q_2 = \begin{cases} K = 0,3 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} \\ V_T = 1 \text{ V} \\ \lambda = 0 \end{cases}$$

$$C \rightarrow \infty$$

SEGNALI PICCOLI

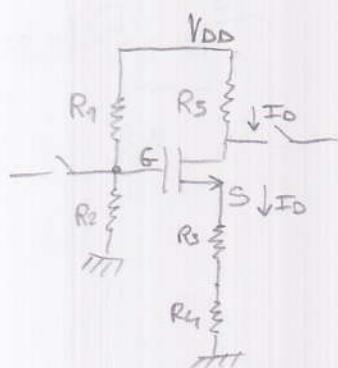
CALCOLARE IL GUADAGNO DI TRANSTORSISTORE

$$R_M = \frac{V_{OUT}}{I_S}$$

\rightarrow TRANSISTOR LINEARE

- ANALIZZO IL CIRCUITO DAL PUNTO DI VISTA DELLA POLARIZZAZIONE

TUTTI I CONDENSATORI SONO CIRCUITI APERTI, OTTENGO



$$\text{CONTINUA} \\ V_{GS} = V_G - V_S = V_{DD} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} - I_D (R_3 + R_4)$$

MI SERVE UN'ALTRA EQUAZIONE

$$\text{SE STA IN SATURAZIONE} \\ I_D = K (V_{GS} - V_T)^2$$

QUINDI

$$V_{GS} = 10 \cdot \frac{20}{60} - I_D (2,5) = 3,33 - (I_D \cdot 2,5)$$

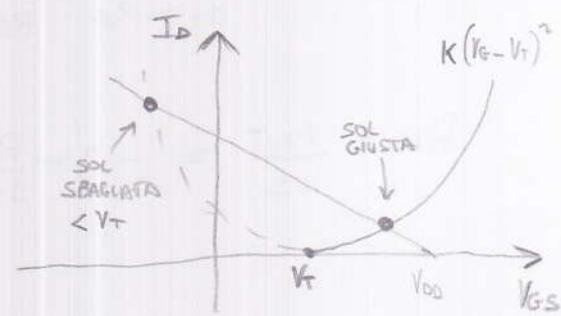
$$I_D = 0,3 (V_G - 1)^2$$

$$\text{DALLA PRIMA} \quad \frac{3,33 - V_{GS}}{2,5} = 0,3 (V_G - 1)^2 \quad \rightarrow \quad V_{GS}^2 - 0,66 V_{GS} - 3,4 = 0$$

$$V_{GS} = \frac{0,66 \pm \sqrt{0,44 + 11,56}}{2} = \begin{cases} 2,16 \text{ V} \\ -1,4 \text{ V} \end{cases}$$

$$V_{GS}^* = 2,16 \text{ V}$$

$$I_D^* = K (V_{GS} - V_T)^2 = 0,3 (2,16 - 1)^2 = 0,44 \text{ mA}$$



ERA ALLA
MAGNA

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_2 + R_4 + R_5) = 6,66 \text{ V}$$

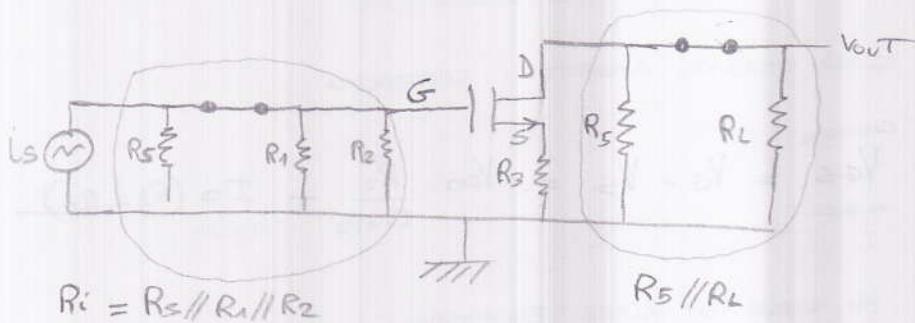
È IN ZONA DI SATURAZIONE PERCHÉ $V_{DS} > V_{GS} - V_T$
 $6,66 > 1,16$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 0,69 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

ANALIZZO IL CIRCUITO DAL PUNTO DI VISTA DEI SEGNALI

TUTTI I CONDENSATORI SONO COROCIRCUITO

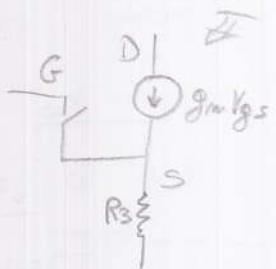
ANNULLA I GENERATORI INDEPENDENTI. OTTENGO
(tranne il segnale di tensione)



NB ANNULLARE

- GEN DI TENSIONE = COROCIRCUITO
- GEN DI CORRENTE = CIRCUITO APERTO

PICCOLI SEGNALI



$$V_{DT} = -g_m V_{GS} \cdot R_5 // R_L$$

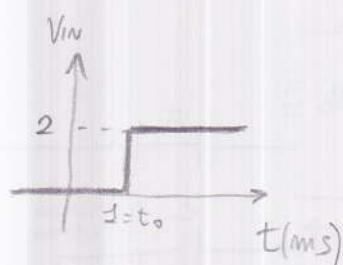
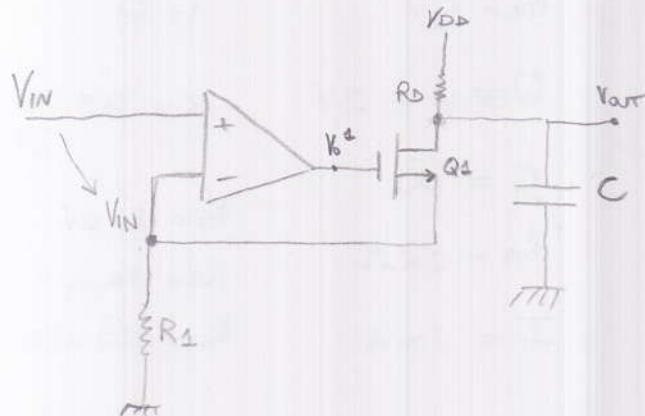
$$\gamma_{GS} = \gamma_g - \gamma_s = i_s \cdot R_i - g_m \gamma_{GS} \cdot R_3 =$$

$$= \frac{R_i i_s}{1 + g_m R_3} \quad (= \frac{A}{1 + g_m \beta})$$

$$V_{DT} = -g_m \frac{R_i i_s}{1 + g_m R_3} \cdot \frac{R_5 R_L}{R_5 + R_L}$$

$$R_M = \frac{V_{DT}}{i_s} = -g_m \frac{R_i}{1 + g_m R_3} \cdot \frac{R_5 R_L}{R_3 + R_L}$$

ESERCIZIO D'ESAME



$$R_D = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C = 100 \mu\text{F}$$

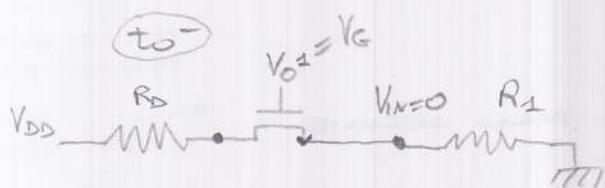
$$K = 0.5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$$

$$L^+ = |L^-| = 10 \text{ V}$$

$$Q_1 \equiv V_T = 1 \text{ V}$$

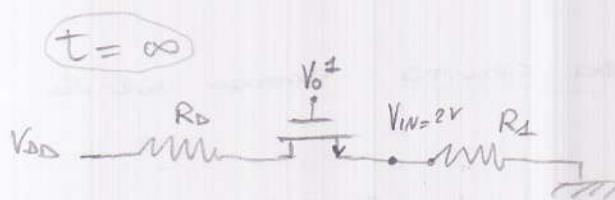
$$V_{DD} = 10 \text{ V}$$

CALCOLARE V_{OUT}



IL TRANSISTOR È INTERDOTTATO PERCHÉ $V_G = 0$
DATO CHE $V_{IN} = 0$

$$V_D = V_{DD} = 10 \text{ V}$$



$$I_{R_1} = I_D = \frac{V_S}{R_1} = \frac{V_{IN}}{R_1} = 2 \text{ mA}$$

IPOTIZZANDO IL TRANSISTOR SATURATO

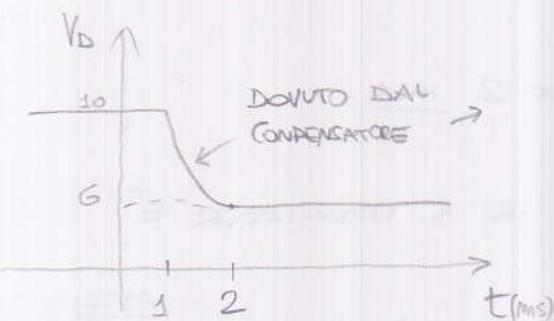
$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = 2 \text{ mA}$$

QUINDI POSSO CALCOLARE V_{GS}

$$0.5 (V_{GS} - 1)^2 = 32 \Rightarrow V_{GS} = 3 \text{ V}$$

$$\text{DATO CHE } V_{IN} = 2 \text{ V} \Rightarrow V_G = 3 + 2 = 5 \text{ V}$$

$$\text{POSSO CALCOLARE } V_D = V_{DD} - I_D R_D = 10 - 4 = 6 \text{ V}$$



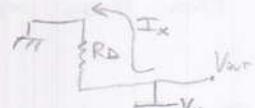
$$\gamma = C \cdot R_{\text{req}}$$

MANDO A ZERO
CORTO CIRCUITO GENERATORI DI

TENSIONE INDIP.

$$\frac{T}{V}$$

$$\gamma = C \cdot R_D$$

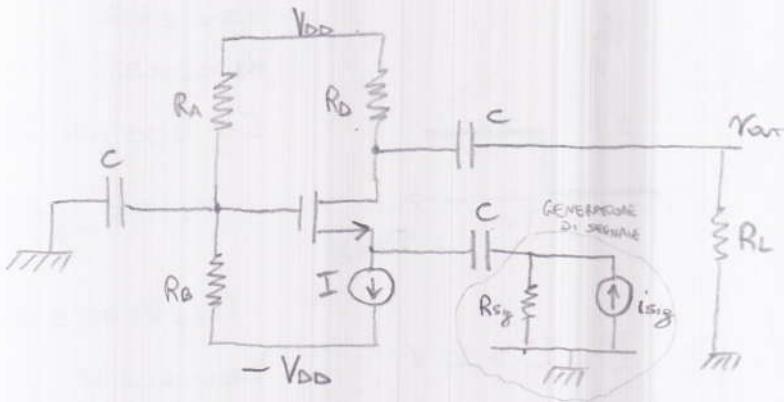


$$= 100 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3 = 0.2 \text{ ms}$$

TRANSISTORE TERMINA DOPO 5%

NB IL CONDENSATORE A T_0
È SOTTO V_{DD} !
È UN CIRCUITO APERTO

ESERCIZIO D'ESAME



$$V_{DD} = 5 \text{ V}$$

$$\lambda = 0$$

$$Q \equiv V_T = 2 \text{ V}$$

$$K = 0,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$$

$$C = \infty$$

$$R_A = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_D = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 8 \text{ k}\Omega$$

$$I = 2 \text{ mA}$$

$$R_S = 10 \text{ k}\Omega$$

CALCOLARE IL GUADAGNO DI TRASFERIMENTO

$$\frac{V_{OUT}}{I_{sig}}$$

CIRCUITO EQUIVALENTE
TRIANO PER PICCOLI SEGNALE

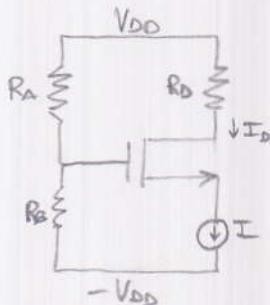
DO PER SCONTATO CHE SONO IN CONDIZIONE DI PICCOLO SEGNALE

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T)$$

ANDIAMO A VEDERE LO STATO DI POLARIZZAZIONE DEL CIRCUITO: COME SIETE SOLO LE
POTETE IN STATO (continua)

$$\boxed{\text{INDI}} Z_C = \frac{1}{j\omega C} \quad \text{se } \omega = 0 \quad Z_C = \infty \rightarrow \text{CIRCUITO APERTO}$$

IL CIRCUITO DIVENTA



MI SERVE CALCOLARE LA V_{DS} per trovare g_m

IPOTIZZO CHE IL TRANSISTOR SIA SATURATO

$$\boxed{\text{D}} \quad I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = \overline{2 \text{ mA}}$$

$$\text{ALLORA} \quad 0,5(V_{GS} - 2)^2 = 2 \rightarrow V_{GS} = 4 \text{ V}$$

$$\text{ORA POSSO CALCOLARE} \quad g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

PRIMA DI ANDARE AVANTI DEVO VERIFICARE SE IL TRANSISTOR È
EFFETTIVAMENTE IN SATURAZIONE

$$V_{DS} = V_D - V_S = \cancel{V_{DD}} - I_{D,0} R_D - V_S = 3 - V_S$$

ATTENZIONE

V_S NUOVE - V_{DD}

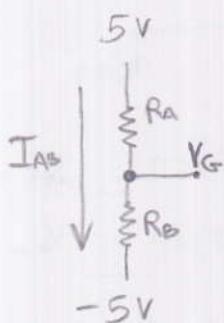
PERCHÉ per esempio

IN QUESTO CIRCUITO LA TENSIONE DI I DRADE DA R_L

$$V_S = V_G - V_{GS}$$

ATTENZIONE

LA CORRENTE NEI DUE RAMI È DIVERSA E SCORRELLATA
QUINDI DEVO CALCOLARE V_G SU RAMO SX INDIPENDENTEMENTE DAL DX



$$I_{AB} = \frac{V_{DD} - (-V_{DD})}{R_A + R_B} = \frac{10}{10} = 1 \text{ mA}$$

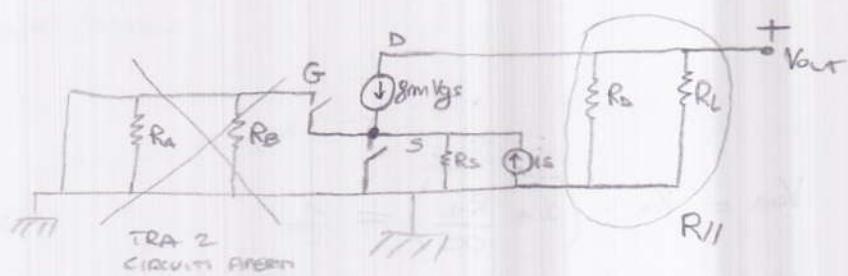
$$\rightarrow V_G = V_{DD} - I_{AB} R_A = 5 - 2 = 3 \text{ V}$$

QUINDI LA CADUTA DI POTENZIALE SUL GENERATORE DI CORRENTE

$$V_S = 3 - 4 = -1 \text{ V}$$

STO IN SATURAZIONE PERCHÉ $V_{DS} = 4 \stackrel{V_D - V_S}{=} 3 - (-1) > V_{GS} - V_T = 2 \text{ V}$

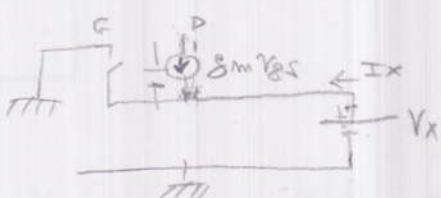
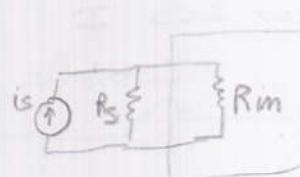
• ANALIZZO IL CIRCUITO DAL PUNTO DI VISTA DEI SEGNALI



CIRCUITO PER PICCOLI
SEGNALI

$$V_{out} = -g_m V_{gs} R_{II} = +g_m R_{II} \left(-i_s \frac{1}{g_m} \right)$$

$$r_{gS} = r_g - r_s = 0 - i_s \cdot \frac{1}{g_m}$$



$$I_x = -g_m V_{gs} = g_m V_x \\ V_x = -V_{gs}$$

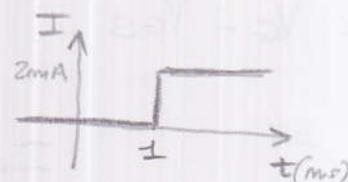
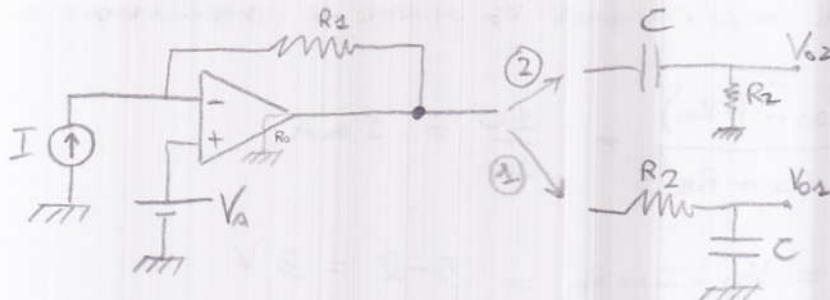
$$R_{in} = \frac{V_x}{I_x} = \frac{1}{g_m}$$

COME CALCOLA
 r_{gS} ?

$$\frac{V_{out}}{i_s} = \frac{g_m R_{II} \left(-i_s \frac{1}{g_m} \right)}{i_s} = R_{II} = 750 \Omega$$

ESERCIZIO D'ESAME

5 GIUGNO 2013



$$R_1 = 3 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 5 \text{ k}\Omega$$

$$C = 0,1 \mu\text{F} \quad V_A = 2V$$

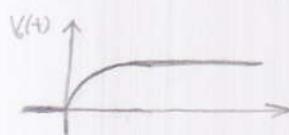
TROVARE L'ANDAMENTO NEL TEMPO DI V_o NELL'ESEGUENTE SISTEMA.

AMPL. OPERAT. IDEALE

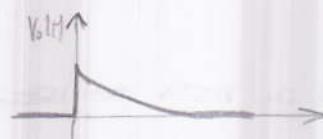
$$(AP) R_0 = 0$$

① È UN PASSA BASSO

DI CUI SO CHE LA
RISPOSTA AL GRADINO È

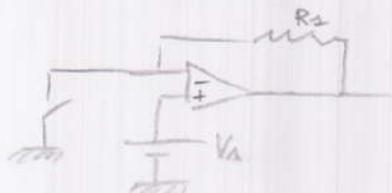


② È UN PASSA ALTO



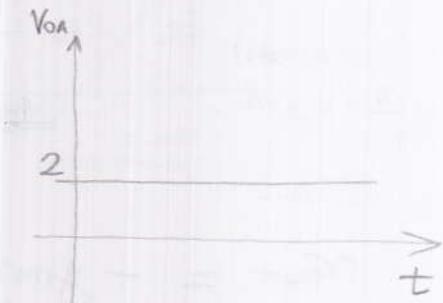
UTILIZZO IL PRINCIPIO DI
SOVRAPP. DEGLI EFFETTI

CONSIDERO SOLO V_A

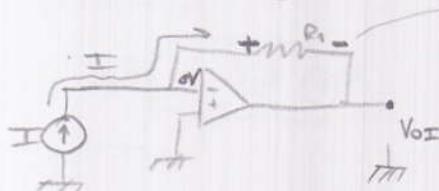


$$V_{oA} = V_A \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

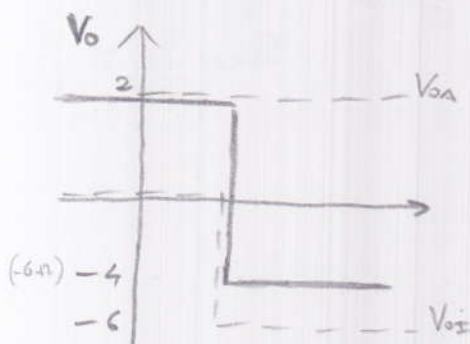
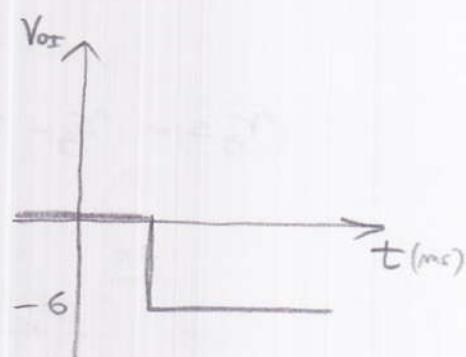
$$V_{oA} = V_A \quad \text{componente costante}$$



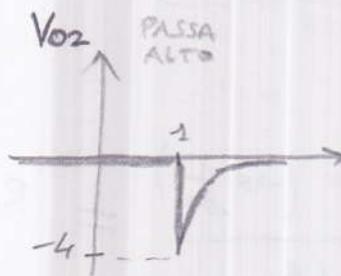
CONSIDERO SOLO I



$$V_{oI} = -I R_1$$



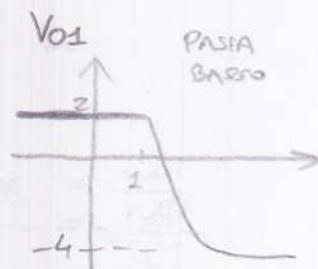
OTTENUTO SOVRAPPONENDO
 V_{oA} E V_{oI}



$$\tau = C R_2$$

$$= 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^3$$

$$= 0,5 \text{ ms}$$

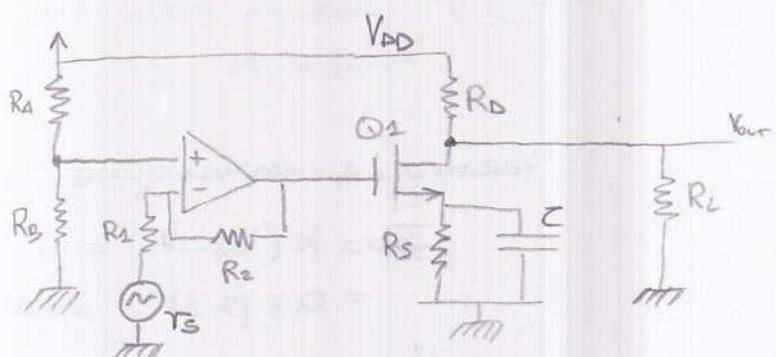


$$\tau = C R_{eq}$$

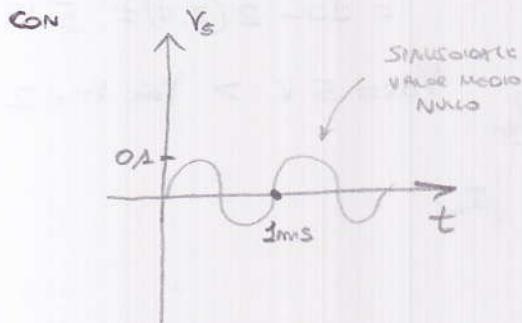
$$= C \cdot (R_2 + R_{out})$$

$$= CR_2$$

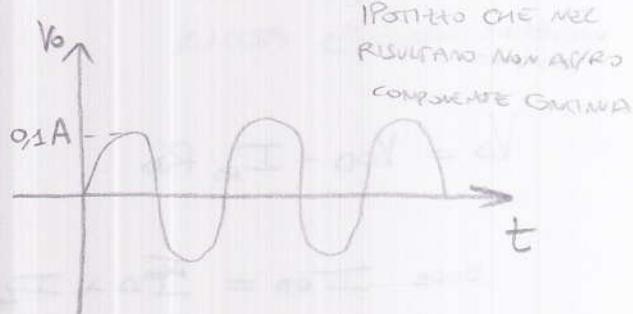
ESERCIZIO D' ESAME



$$\begin{array}{ll}
 R_A = 0.5 \text{ k}\Omega & R_D = 2 \text{ k}\Omega \\
 R_B = 9 \text{ k}\Omega & V_{DD} = 10 \text{ V} \\
 R_S = 1 \text{ k}\Omega & L^+ = |L^-| = 10 \text{ V} \\
 R_L = 10 \text{ k}\Omega & Q_1 = V_T = 1 \\
 R_1 = 2 \text{ k}\Omega & K = 0.5 \\
 R_2 = 6 \text{ k}\Omega &
 \end{array}$$



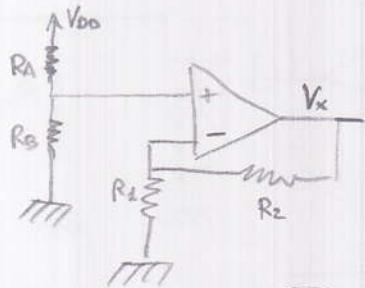
$$\begin{array}{l}
 f = 1 \text{ kHz} \\
 T = 1 \text{ ms}
 \end{array}$$



DETERMINARE E GRAFICARE V_o

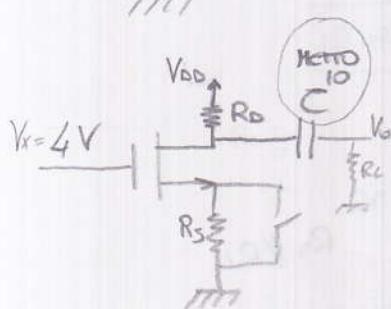
Ovvero devo calcolare il GUADAGNO DI TENSIONE DEL CIRCUITO

• ANALIZZO LA POLARIZZAZIONE (solo componenti continue come ammolla il segnale)



$$V^+ = V_{DD} \cdot \frac{R_B}{R_A + R_B} = 10 \cdot \frac{1}{10} = 1 \text{ V}$$

$$V_x = V^+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 1 \left(1 + 3 \right) = 4 \text{ V}$$



I PUNTI IN ZONA DI SATURAZIONE

$$\begin{cases}
 I_D = k (V_{GS} - V_T)^2 \\
 V_{GS} = V_G - V_S = V_G - I_D R_S \rightarrow I_D = \frac{V_G - V_S}{R_S}
 \end{cases}$$

$$\frac{V_G - V_{GS}}{R_S} = k (V_{GS} - V_T)^2 \rightarrow \frac{4 - V_{GS}}{0.5} = 0.5 (V_{GS} - 1)^2$$

$$(8 - 2V_{GS})2 = (V_{GS} - 1)^2 \rightarrow V_{GS}^2 - 2V_{GS} + 1 - 16 + 4V_G = 0$$

$$V_{GS}^2 + 2V_{GS} - 15 = 0$$

$$V_{GS} = \frac{-2 \pm \sqrt{4+60}}{2} = \frac{-2 \pm 8}{2} = \begin{cases} +3V \\ -5V \end{cases}$$

SBAGLIATA PERCHÉ NON DA
 $V_{GS} < V_T$

QUINDI $V_{GS} = 3V$

VERIFICO LA SATURAZIONE

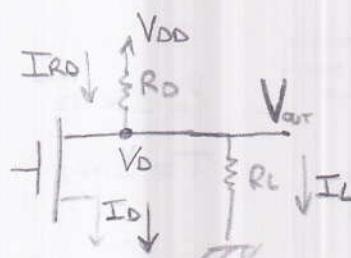
$$g_m = 2k(V_{GS} - V_T) = 2 \text{ mA}$$

$$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2 = \\ = 0,5(3-2)^2 = 2 \text{ mA}$$

TOGLIENDO LA CAPACITÀ CHE
HO INSERITO PRIMA

$$V_{DS} = V_D - I_D(R_D + R_S) = \\ = 10 - 2(2,5) = 5V$$

$$V_D = V_{DD} - I_{RD} R_D$$



$$V_{DS} = 5V > V_{GS} - V_T = 2V$$

$$\text{DOVE } I_{RD} = I_D + I_L$$

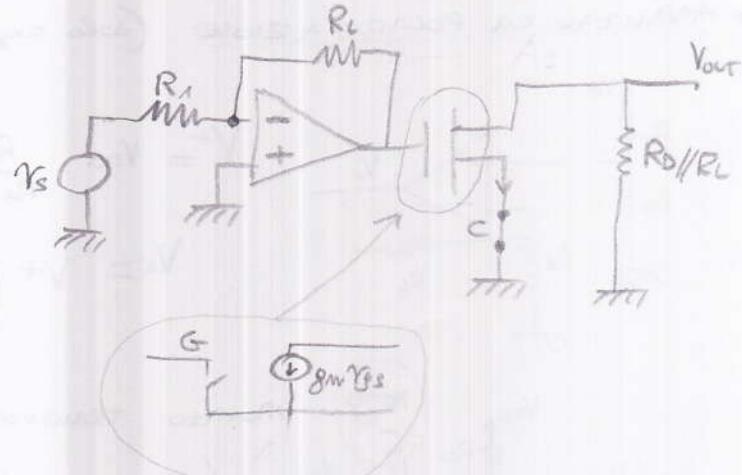
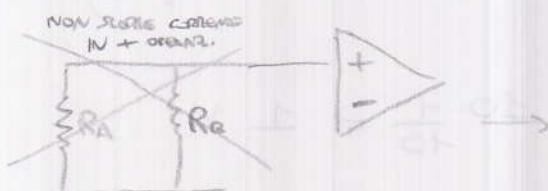
$$\frac{V_{D}-I_D}{R_D} = \frac{V_D}{R_L} + 2$$

TROVO V_D

$$V_D = 5V = V_{out}$$

COMPONENTE
CONTINUA
DELL'USCITA

• ANALIZZO LA COMPONENTE DI SEGUALE



$$A_1 = -\frac{R_2}{R_1} = -3$$

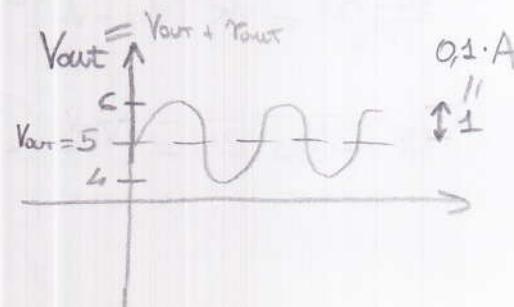
$$\frac{V_{out}}{V_x} = \frac{V_{out}}{V_x} \cdot \frac{r_x}{r_{s,g}}$$

||

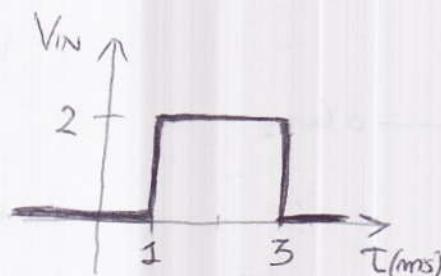
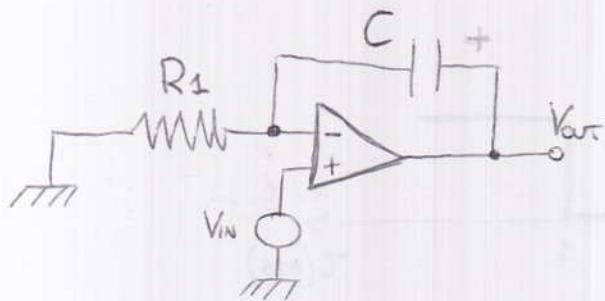
$$A = A_1 \cdot A_2 = -3 \left(2 \cdot \frac{5}{3} \right) = 10$$

$$V_{out} = -g_m V_{GS} \frac{r_x}{R_D / R_L}$$

$$A_2 = \frac{V_{out}}{V_x} = -g_m R_D / R_L = -2 \cdot \frac{5}{3}$$



10 NOVEMBRE 2012



$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$C = 0,5 \mu\text{F}$$

φ. ideale

$$L^+ = |L^-| = 12$$

TROVARE V_o NEL TEMPO

$$V_{out} = V_c + V_R$$

EQ ALLA
MAGIA

\uparrow

SOMMA DEL PROSEGUO DI CARICA DEL CONDENSATORE
E DI UNA TENSIONE COSTANTE R_i

$|t > 1|$ NON INVERTENTE

IL CIRCUITO VIRTUALE CREA UNA DIFFERENZA DI POTENZIALE SU R_2 , QUINDI
INIZIA A SCORRERE UNA CORRENTE CHE COMINCIA A CARICARE IL CONDENSATORE

$$i = \frac{V_{in}}{R} = 1 \text{ mA} \rightarrow V_R = 1 \text{ mA} \cdot 2 \text{ k}\Omega = 2 \text{ V}$$

INTEGRATORE

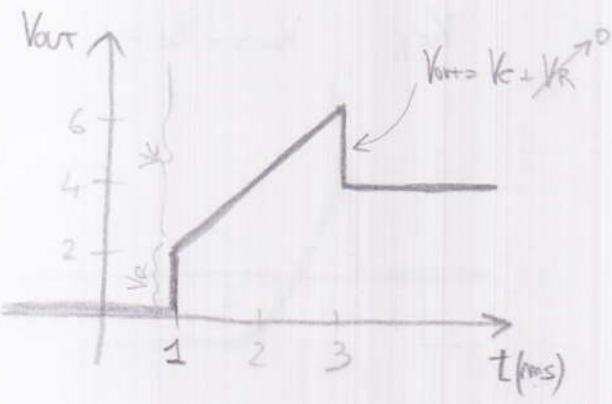
NON INVERTENTE

$\hookrightarrow V_c = \frac{Q}{C} = \frac{\int i dt}{C} = \frac{1 \text{ mA} \cdot t}{0,5 \mu\text{F}} = \frac{2 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot 10^{-3} \text{ s}}{0,5 \cdot 10^{-6}} = 2 \text{ V/m s} = \frac{V_{in} t}{RC}$ FORMULA DIRIGITA

$|t > 3|$

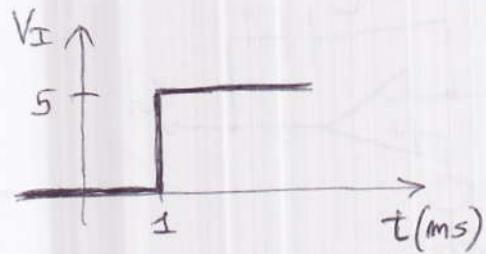
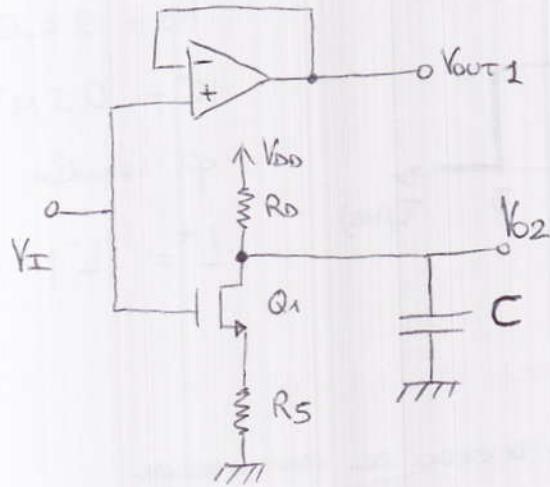
$$V_{in} \text{ TORNA A } 0 \Rightarrow i = 0 \rightarrow V_R = 0$$

A QUESTO PUNTO PERÒ IL CONDENSATORE NON SI SCARICA PERCHE' PER IL C.C.V. SU $V = 0 \text{ V}$ QUINDI NON C'È NESSUNA RESISTENZA SU CUI SCARICARSI



1

20 SETTEMBRE 2012 ✓



Cp. ideale

$$L^+ = |L^-| = 10 \text{ V}$$

$$V_T = 1 \text{ V}$$

$$K = 95 \text{ mA/V}^2$$

$$R_D = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_S = 1 \text{ k}\Omega$$

$$V_{DD} = 10 \text{ V}$$

$$C = 91 \mu\text{F}$$

$$\lambda = 0 \quad x = 0$$

Trovare la $V_{out} = V_{out1} - V_{out2}$ in funzione del tempo

TNB SUL RAMO SUPERIORE HО UN INSEGUITORE DI TENSIONE ($V_N = V_{out1}$)

C SCARICO È UN CIRCUITO

$t < 1$ $V_G = 0 \rightarrow$ transistor interdetto (off) $\rightarrow V_{out2} = 0$

$$V_N = 0 \leftarrow V_{out1} = 0$$

$$t > 1 = \infty$$

$$V_G = 5 \text{ V} \quad V_S = R_S \cdot I_D$$

SE TRANS
IN SAT

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = 0,5(4 - I_D)^2$$

$$I_D^2 - 10I_D + 16 = 0$$

$$I_D = 8 \text{ mA}$$

$$I_D = 2 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = 5 - (1 \cdot 8) < 0 \quad \boxed{\text{NO}}$$

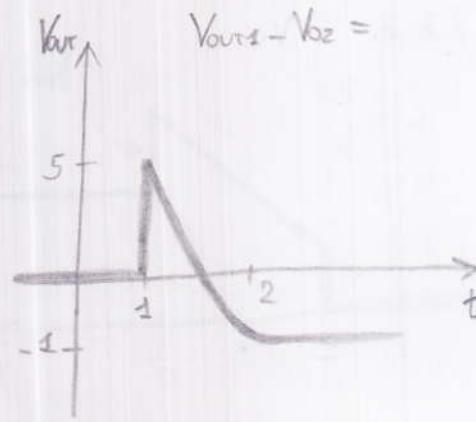
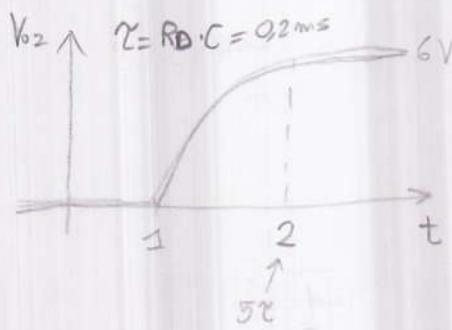
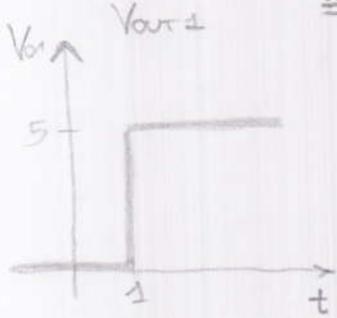
$$V_{GS} = 5 - (1 \cdot 2) = 3 \quad \boxed{\text{SI}}$$

VERIFICO SAT.

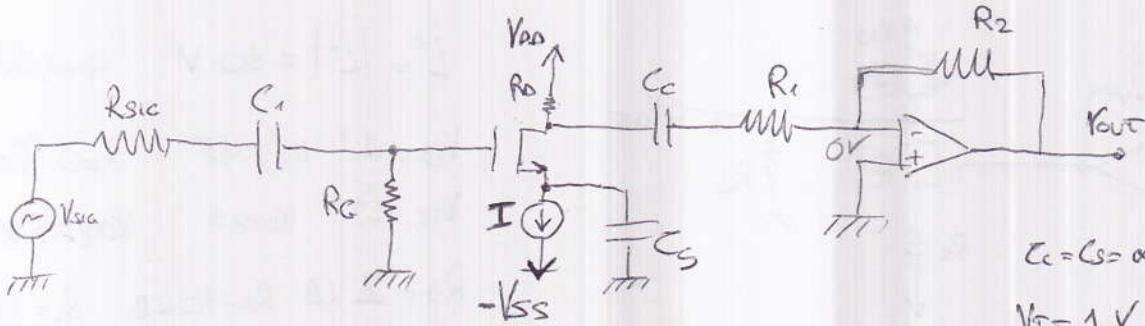
$$V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D - V_S = 4 > V_{GS} - V_T = 2$$

C CARICO È UN CIRCUITO APERTO

$$V_{out2} = V_D = V_{DD} - I_D R_D = 6 \text{ V}$$



5 NOVEMBRE 2011 ✓



$$V_{DD} = V_{SS} = 40V$$

$$R_D = 3k\Omega$$

$$R_G = 5M\Omega$$

$$R_1 = 6k\Omega$$

$$R_2 = 60k\Omega$$

$$R_{sig} = 1k\Omega$$

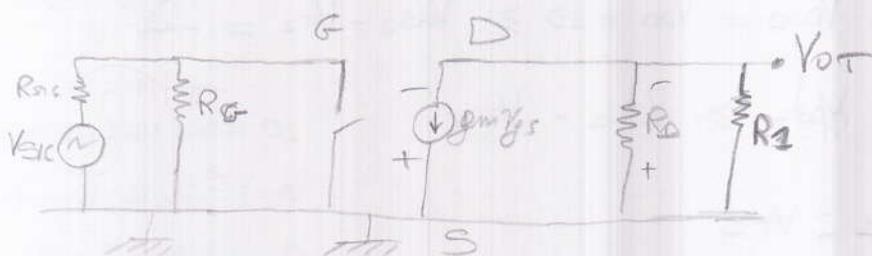
$$C_C = C_S = \infty$$

$$V_T = 1V$$

$$K=2 \quad I=I^+ - I^- = 10V$$

$$\text{Calcolare } I \text{ per avere } A_V = \frac{V_{out}}{V_{sig}} = 80$$

SEGNALE



$$\gamma_g = \gamma_{sig} \cdot \frac{R_G}{R_S + R_G} = \gamma_{sig} \cdot \frac{5M\Omega}{1k\Omega + 5M\Omega} \approx \gamma_{sig} = \gamma_{gs}$$

$$V_{out,T} = -\overline{gm} \gamma_{gs} \cdot \frac{R_D \cdot R_S}{R_S + R_D} = -\overline{gm} \gamma_{gs} \cdot 2 = -2\overline{gm} \gamma_{sig}$$

$$V_{out,op} = A_V \cdot V_{out,T} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{out,T} = 20 \overline{gm} \gamma_{sig}$$

$$A_{TOT} = \frac{V_{out,op}}{\gamma_{sig}} = 20 \overline{gm} = 80 \quad \Leftrightarrow \quad \overline{gm} = 4 \text{ } \Omega^{-1}$$

$$\overline{gm} = 2K(V_{GS} - V_T) = 4 \rightarrow V_{GS} = 2$$

CONTINUA

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = 2 \text{ mA}$$

//

I

VERIFICO SAT

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D - V_S \geq V_{GS} - V_T \\ 10 - 6 + 2 \geq 1$$

[2]

$$[NB] V_S = V_G - V_{GS} = -2$$

oppure

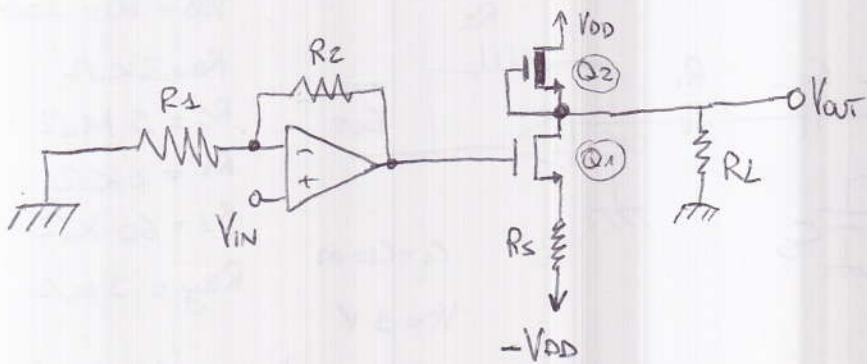
$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$$2 = 2(V_S - V_T)^2$$

$$1 = V_S^2 + 2V_S + 1$$

$$V_S(V_S + 2) = 0 \rightarrow V_S = -2$$

24 GIUGNO 2011 ✓



$$L^+ = |L^-| = 10 \text{ V} \quad \text{Oper. biab}$$

$$V_{T1} = 1 \text{ V} \quad k_1 = 0,5 \quad \lambda = 0 \quad X = 0$$

$$V_{T2} = -2 \text{ V} \quad k_2 = 0,5 \quad V_{DD} = 5 \text{ V}$$

$$R_s = 2 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 10 \text{ k}\Omega \quad R_L = 15 \text{ k}\Omega$$

CONTINUA

CON $V_{IN}=0$ trovare R_s tale che $V_{OUT}=0 \text{ V}$

• Q_2 È IN SAT. DATO CHE

$$V_{GS2} = V_{DD} = 10 \geq V_{GS2} - V_{T2} = 2$$

• Q_1 È IN SAT. PERCHÉ

$$V_{GS1} \geq V_{GS1} - V_{T1}$$

$$V_{D1} - V_{GS1} \geq V_{GS1} - V_{T1}$$

$$-V_{GS1} \geq -V_{GS1} - V_{T1}$$

$$0 \geq -V_{T1} = -1$$

LO POTESCI ANCHE VERIFICARE DMO

$$V_D - V_S \geq V_G - V_S - V_T$$

$$0 - (-3) \geq -3 - 1$$

$$3 \geq -4$$

I DUE TRANSISTOR SONO IN SERIE E IN SAT.

$$i_{D1} = i_{D2}$$

$$K_1 (V_{GS1} - V_{T1})^2 = K_2 V_{T2}^2$$

$$K_1 (K_{S1} - V_{T1})^2 = 0$$

$$(V_{GS1} - V_{T1})^2 = \frac{2}{0,5} \rightarrow (V_{GS1} - 1)^2 = 4 \xrightarrow{-1 \text{ NO}} V_{GS1} = 3 \text{ V SI}$$

DRA

$$V_{GS2} = V_G - V_S = 0 - \left(\frac{R_s I_D - V_{DD}}{V_S} \right)$$

ATTENZIONE

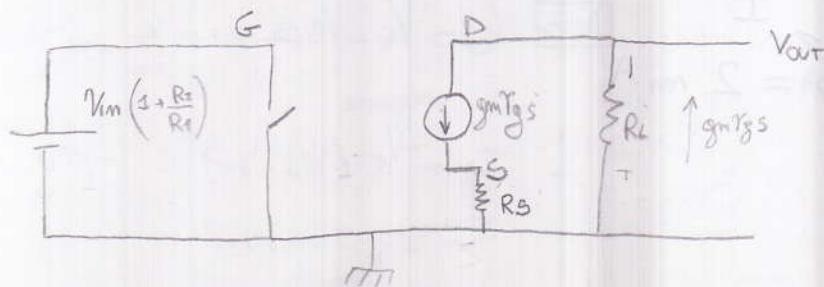
$$\rightarrow 3 = -R_s I_D + V_{DD} \quad R_s = 1 \text{ k}\Omega$$

NB $V_S = V_G - V_{GS}$ oppure $V_S = R_s I_D - V_{DD}$

oppure $I_D = k(V_G - V_S - V_T)^2$

new dato che
no la resistenza
RS è mai più
beni come

CON R_s CALCOLATO, TROVARE GUADAGNO PER PICCOLI SEGNALI $A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$



$$g_m = 2K(K_{S1} - V_{T1}) = 2 \text{ mA/V}$$

$$\gamma_g = \gamma_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 6 \gamma_{in} \quad \gamma_S = idRs = gm \gamma_{gs} Rs$$

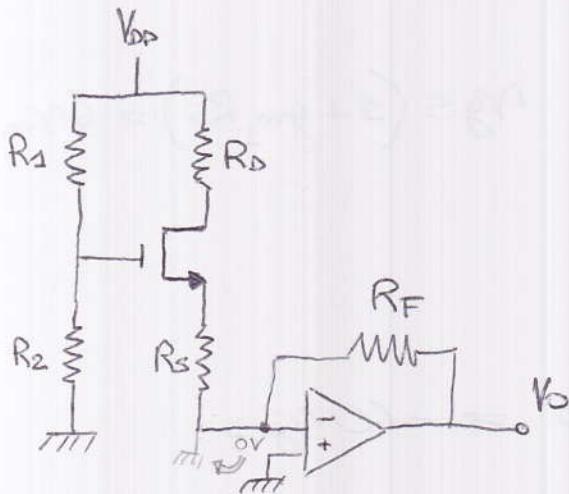
$$\gamma_{gs} = 6 \gamma_{in} - gm \gamma_{gs} Rs \quad \rightarrow \quad \gamma_{gs} \left(1 + gm_1 Rs \right) = 6 \gamma_{in}$$

$$\gamma_{gs} = \frac{6 \gamma_{in}}{3} = 2 \gamma_{in}$$

$$\gamma_{out} = -gm \gamma_{gs} R_L = -4 \gamma_{in} \cdot 15 = -60 \gamma_{gs}$$

$$A = \frac{\gamma_{out}}{\gamma_{in}} = -60$$

3 MARZO 2011



$$V_{DD} = 5 \text{ V}$$

$$R_F = 3 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 2 \text{ M}\Omega$$

$$V_T = 1 \text{ V}$$

$$R_2 = 8 \text{ M}\Omega$$

$$K = 0,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$$

$$R_D = 750 \Omega$$

$$R_S = 500 \Omega$$

Ampl. operaz. ideale

$$L^+ = |L^-| = 15 \text{ V}$$

CALCOLARE V_O

per il C.C.V.

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{DD} = 4 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = 4 - \underline{I_D R_S}$$

IPOTIZZO Q
SATURATO

$$I_D = K (V_{GS} - V_T)^2$$

QUINDI

$$I_D = 0,5 \cdot (V_{GS} - 1)^2$$

$$I_D = 0,5 (V_{GS}^2 - 2V_{GS} + 1)$$

SOST. NELLA PRIMA

$$V_{GS} = 4 - 0,5 (V_{GS}^2 - 2V_{GS} + 1) \cdot 0,5 = 500 \Omega$$

$$V_{GS} = 4 - \frac{(V_{GS}^2 - 2V_{GS} + 1)}{4}$$

$$4V_{GS} - 16 = V_{GS}^2 - 2V_{GS} + 1$$

$$V_{GS}^2 + 2V_{GS} - 15 = 0$$

$$\frac{-2 \pm \sqrt{4+60}}{2}$$

SI $3 \geq V_T$

NO

$$I_D = 2 \text{ mA}$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 1 \text{ V}$$

$$\text{oppure } I_D = K (V_G - V_S)^2$$

$$\text{oppure } V_S = I_D R_S$$

VERIFICO SATURAZIONE

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

$$V_D - V_S \geq V_{GS} - V_T$$

$$(V_{DD} - I_D R_D) - V_S \geq V_{GS} - V_T$$

AMPL.
OPERAZ.
INVERT.

$$V_O = -\frac{V_D - V_S}{R_S} R_F = -6$$

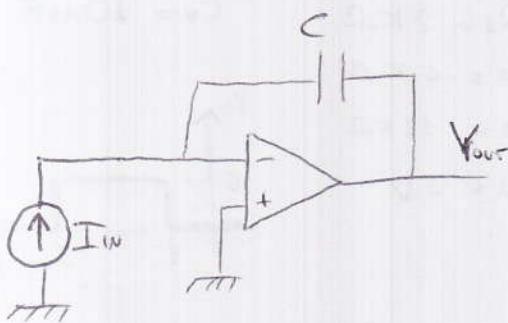
$$V_O = -I_D R_F = -6$$

$$V_O = -\frac{R_F}{R_S} \cdot V_S = -\frac{3}{0,15} = -6 \text{ V}$$

CADUTA DI POT. SU R_F

PREFERITA

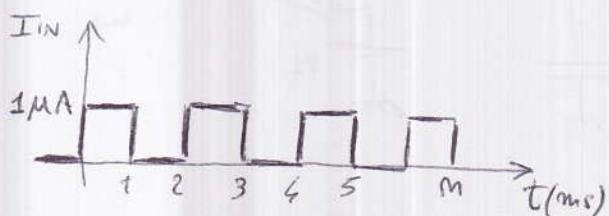
10 FEBBRAIO 2011



$$\text{operaz. ideale} \quad L^+ = |L^-| = 5V$$

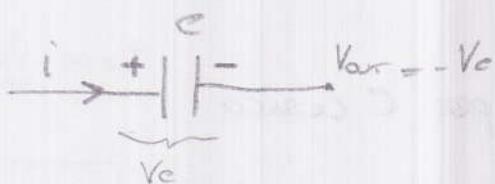
CONDENSATORE SCARICO per $T < 0$

$$C = 1 \text{ MF}$$



DETERMINARE V_{out} NEL TEMPO E DISSEGNARE IL SUO GRAFICO

[NB]

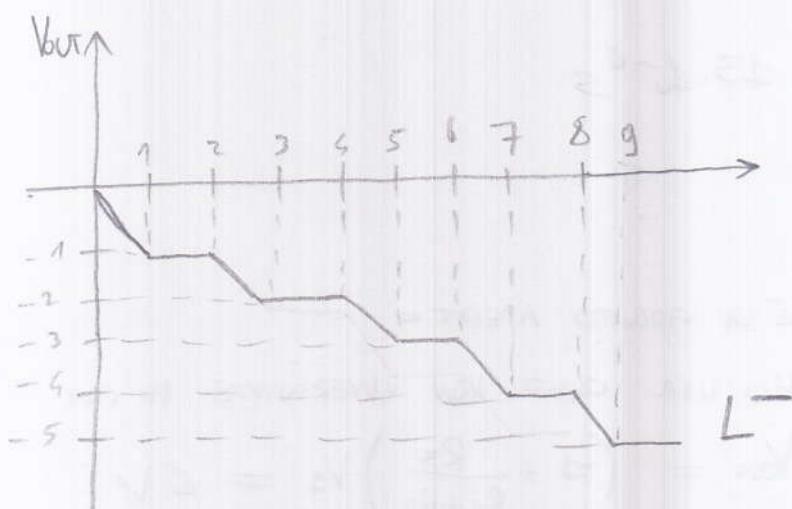


IL CIRCUITO È EQUIVALENTE
AD UN INTEGRATORE (INVERZ.)

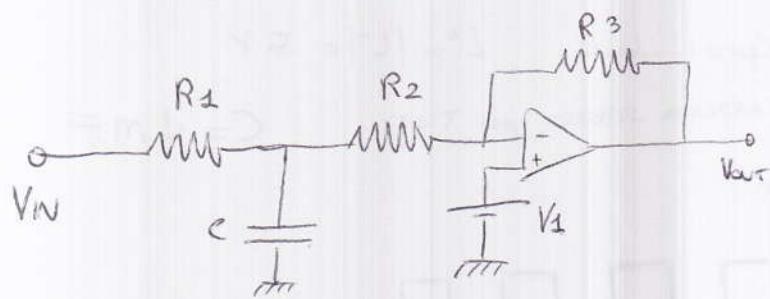
$$V_{out} = -V_c = -\frac{1}{C} \int_0^t I dt = -\frac{I}{C} t = -\frac{10^{-6}}{10^{-9}} \cdot 10^3 t =$$

$$= -1 \text{ V}_{\text{ms}}$$

QUANDO $I_N \neq 0$



10 NOVEMBRE 2010 ✓



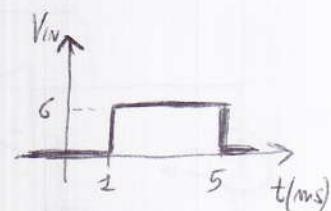
$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 4 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 12 \text{ k}\Omega$$

$$V_1 = 2 \text{ V}$$

$$C = 10 \text{ mF}$$

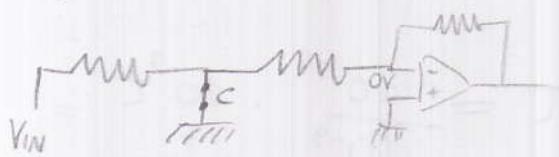


DETERMINARE V_{out} NEL TEMPO

DEVO UTILIZZARE LA SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI!

$V_1 = 0$ | CONSIDERO SOLO V_{IN}

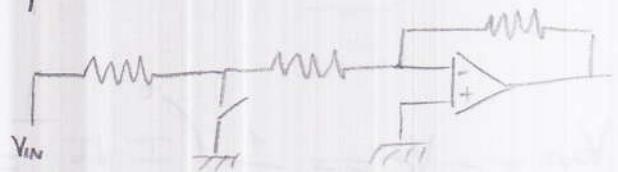
per C scarico ho



CORRENTE TUTTA VERSO MASSA

$$\text{QUINDI } V_{out} = 0$$

per C carico



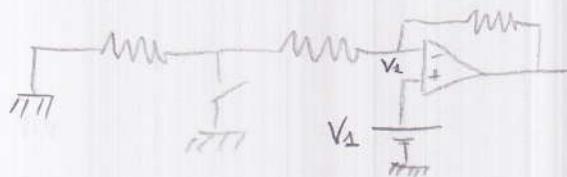
HO UNA CONF. INVERTENTE IN

$$\text{cui } V_{out} = -\frac{R_3}{R_1+R_2} \cdot V_{in} = -12 \text{ V}$$

$$\gamma = C \cdot R_{req} = C \cdot (R_1 // R_2) = 13 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

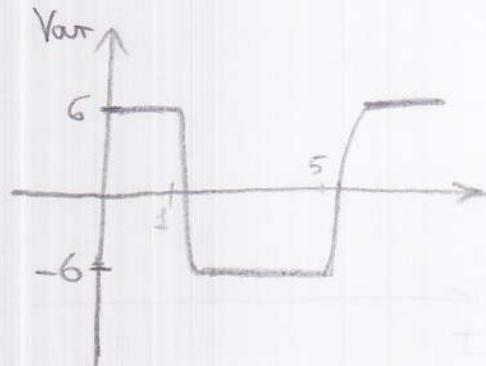
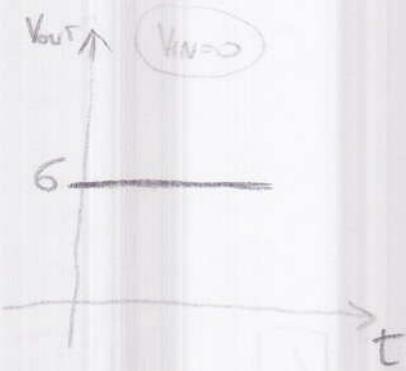
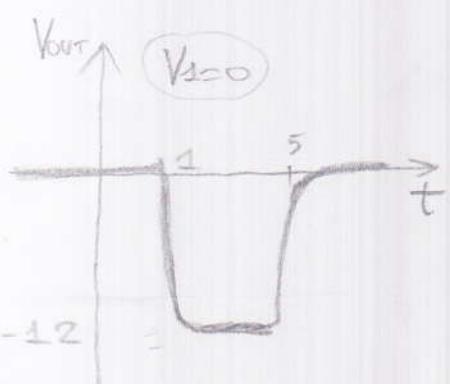
$V_{IN} = 0$ | CONSIDERO SOLO V_1

V_1 È CONTINUA QUINDI IL COLLEGAMENTO È UN CIRCUITO APERTO

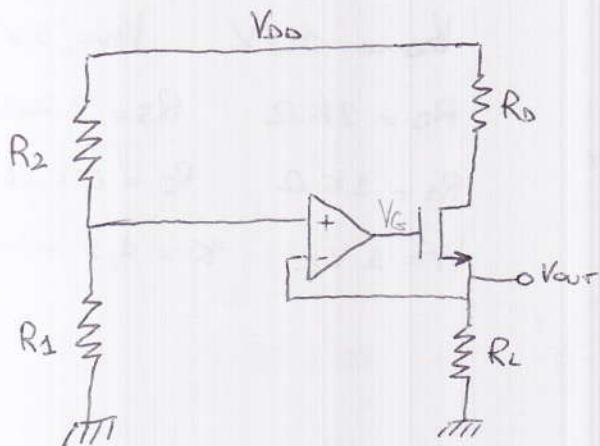


HO UNA CONF. NON INVERTENTE IN CUI

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_3}{R_1+R_2}\right) V_1 = 6 \text{ V}$$



3 FEBBRAIO 2010 ✓



$$V_{DD} = 10 \text{ V} \quad R_1 = 3 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 7 \text{ k}\Omega$$

$$R_D = R_L = 6 \text{ k}\Omega \quad K = 0,125 \quad V_t = 1 \text{ V}$$

$$\text{Operon. ideal: } L^+ - |L^-| = 10 \text{ V}$$

Determinare il punto di lavoro del transistore MOS (I_D , V_{GS} , V_{DS})

- $V^+ = V_{DD} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 3 \text{ V}$ per il c.c.v. su V^- c'è 3 V

$$V^+ - R_2 I_D = 0 \rightarrow I_D = 0,5 \text{ mA}$$

CERCHIANO V_G

- $I_D = K(V_{GS} - V_t)^2 \quad 0,5 = \frac{1}{8} (V_G - V_S - V_t)^2 \quad 4 = (V_G - 4)^2$

$$V_G^2 - 8V_G + 12 = 0 \quad V_G = 4 \pm 2 \quad \begin{cases} 6 \\ 2 \end{cases} \quad \begin{array}{c} \boxed{51} \\ \boxed{No} \end{array} \quad V_{GS} = V_G - V_S = 3 \text{ V}$$

- $V_{DD} - I_D R_D = 7 \text{ V} = V_D$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 7 - 3 = 4 \text{ V}$$

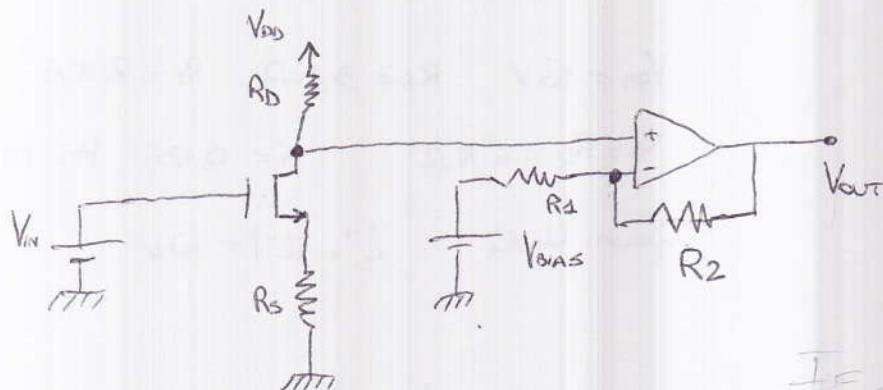
VERIFICO SAT

$$V_{DS} = 4 \geq V_{GS} - V_t = 2$$

8 GENNAIO 2010

[NO]

FINE
DE CESARE



$$V_{dd} = 10 \text{ V} \quad V_{in} = 5 \text{ V}$$

$$R_d = 2 \text{ k}\Omega \quad R_s = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 6 \text{ k}\Omega$$

$$V_t = 1 \text{ V} \quad K = 1,5 \text{ mA/V}$$

$$I = \frac{V^t}{R_2}$$

$$V_{bias} = I \cdot R_1$$

DETERMINARE V_{bias} TALE CHE $V_{out} = 0$

$$\text{IPOTIZZ. TRANS IN SFF} \quad I_D = K(V_{GS} - V_t)^2 \quad V_{GS} = V_G - V_S = V_{in} - I D R_S$$

$$\text{SOSTITUIRE } I_D \text{ nello } 2^{\text{a}} \quad V_{GS} = V_{in} - R_S K (V_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{GS} = 5 - 6(V_{GS}^2 - 2V_{GS} + 1) \rightarrow V_{GS} = 5 - 6V_{GS}^2 + 12V_{GS} - 6$$

$$6V_{GS}^2 - 11V_{GS} + 1 = 0$$

$$\frac{5 \pm \sqrt{25 - 24}}{6} = \begin{cases} 1 \\ \frac{4}{3} \end{cases}$$

FA CONI CON DATI STRAMMI E TROVA $I_D = 1,5 \text{ mA}$, $V_{GS} = 2 \text{ V}$

POLI

MIA SOLUZIONE

$$V_D = V_{dd} - I_D R_D = 10 - 1,5 \cdot 2 = 7 \text{ V}$$

$$I = \frac{V^t}{R_2} = \frac{7}{4}$$

$$V_{RS} = I \cdot R_S = \frac{7}{4} \text{ V}$$

$$\text{EQ. MAGNA} \quad V_{BIAS} - \frac{7}{4} - V_t = 0$$

$$V_{BIAS} = \frac{7}{4} + 7 = \frac{35}{4} \text{ V}$$

LUI USA LA SOVRAPP. DEGLI EFFETTI

$$(V_{BIAS} = 0)$$

$$V_{out}^{(1)} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V^t = 5 \cdot 7 = 35 \text{ V}$$

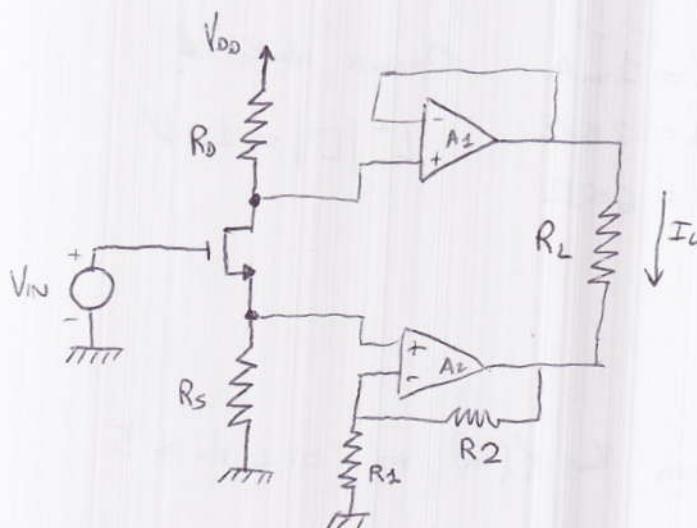
$$(V_{in} = 0)$$

$$V_{out}^{(2)} = -\frac{R_2}{R_1} V_{BIAS} = -4 V_{BIAS}$$

$$V_{out} = V_{out}^{(1)} + V_{out}^{(2)} = 35 - 4 V_{BIAS}$$

$$0 = 35 - 4 V_{BIAS} \quad V_{BIAS} = \frac{35}{4} \text{ V}$$

3 GIUGNO 2014



$$V_T = 2 \text{ V} \quad K = 0,5$$

$$\lambda = 0 \quad X = 0 \quad \text{Oper. ideale}$$

$$U^+ = |U^-| = 12 \text{ V} \quad V_{DD} = 10 \text{ V}$$

$$R_L = 2 \text{ k}\Omega \quad R_D = 2 \text{ k}\Omega \quad R_S = 0,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 2 \text{ k}\Omega \quad R_C = 10 \text{ k}\Omega$$



Determinare e graficare la I_L nel tempo

$t < 0$

$$V_I^+ = V_{DD} \quad I_L = \frac{V_{DD}}{R_L} = \frac{10}{2} = 5 \text{ mA}$$

$t > 0$

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \quad V_{GS} = V_G - V_S = V_IN - (I_D R_S)$$

$$V_{GS} = V_IN - R_S K (V_{GS} - V_T)^2 \rightarrow V_{GS} = 5 - \frac{1}{4} (V_{GS}^2 - 4V_{GS} + 4)$$

$$V_{GS} = 5 - \frac{V_{GS}^2}{4} + V_{GS} - 1 \rightarrow \frac{V_{GS}^2}{4} - 4 = 0$$

$$V_{GS} = 4 \text{ V} \quad I_D = 2 \text{ mA}$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 5 - 4 = 1 \text{ V}$$

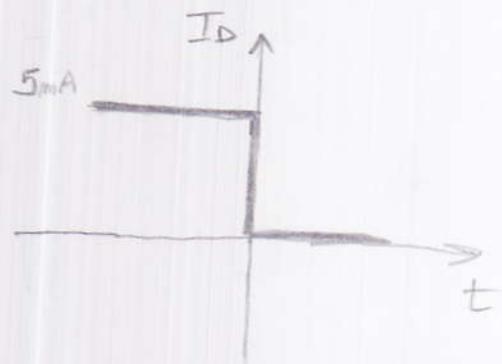
$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 10 - 4 = 6 \text{ V}$$

VERIFICA SAT $V_{GS} = 5 \geq V_{GS} - V_T = 2$

$$V_{D2} = I_D (R_1 + R_2) = \frac{V_I}{R_2} (R_1 + R_2) = 6 \text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} \text{temper. libe} \\ \text{serie} \end{array} \right\}$$

$$V_{OUT2} = V_{R1} + V_{R2} = V_{R1} + \frac{V_I}{R_1} \cdot R_2 = 6 \text{ V} \quad \left. \begin{array}{l} \text{eq. cella} \\ \text{maglie} \end{array} \right\}$$

$$V_{OUT2} = \text{Av. } V_{IN} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_S = 6 \text{ V}$$



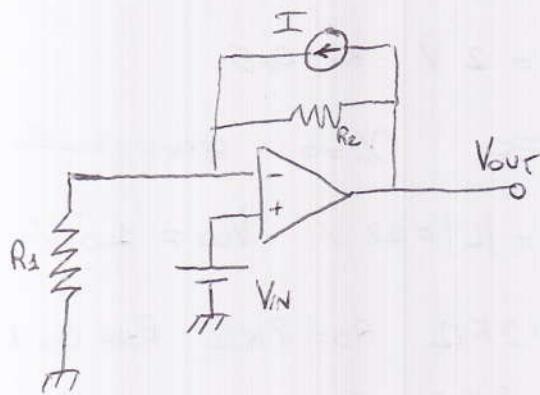
$$V_{OUT1} = 6 \text{ V} \quad I_L = \frac{0}{R_L} = 0$$

6

ATTENZIONE

NEL NON INVERTENTE V_{OUT} NON È LA CADUTA DI POTENZIALE SU R_2

17 GENNAIO 2013 ✓



$$I = 1 \text{ mA} \quad \text{Operaz. ideale}$$

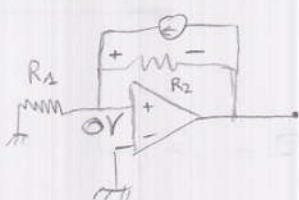
$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega \quad L^+ | L^- = 10 \text{ V}$$

$$R_2 = 6 \text{ k}\Omega$$

CALCOLARE E CRIFICARE LA TRANSCARATTERISTICA $V_{out} = f(V_{in})$ PER $0 \leq V_{in} \leq 5$

UTILIZZO SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI

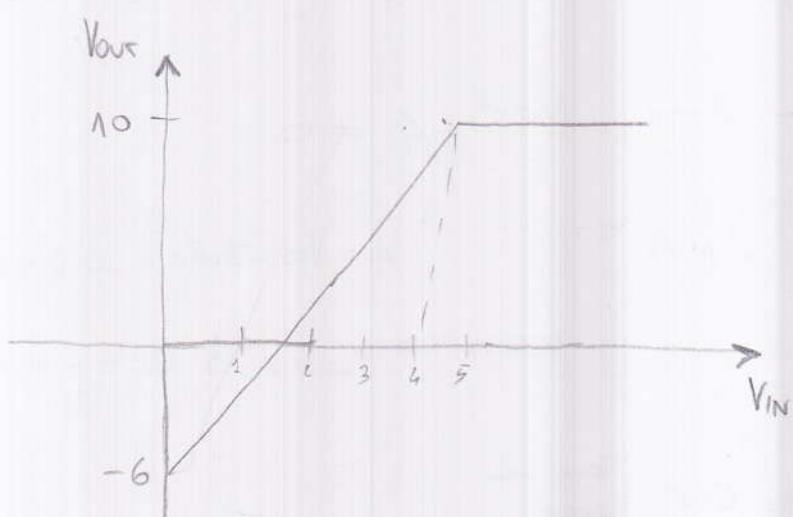
$V_{in}=0$



PER IL CCV SU $V_T = 0 \text{ V}$ QUINDI I
PUÒ SCORRERE SUL R_2 (VEDI PAG 1)

$$\left\{ \begin{array}{ll} V_{in}=0 & V_{out}=-6 \\ V_{in}=1 & V_{out}=-2 \\ V_{in}=2 & V_{out}=2 \\ V_{in}=3 & V_{out}=6 \\ V_{in}=4 & V_{out}=10 \\ V_{in}=5 & V_{out}=14 \end{array} \right. \begin{array}{l} +4 \text{ Vout} \\ \text{per ogni} \\ V_{in} \end{array}$$

$$= 10 \text{ (sia)}$$



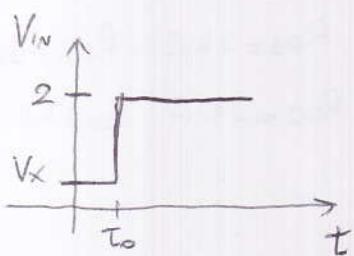
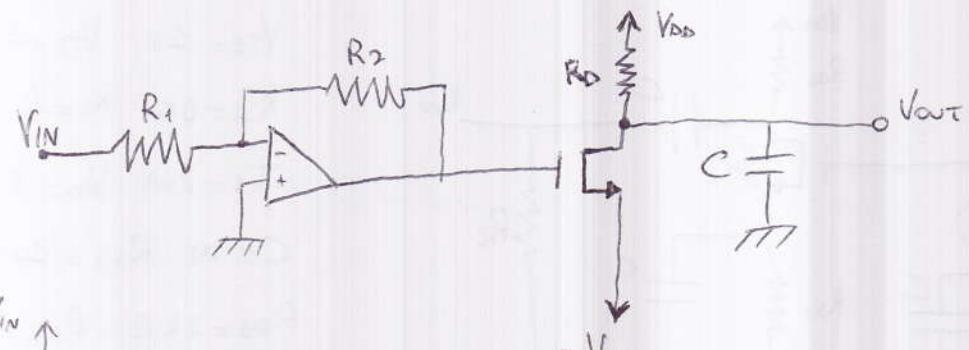
$I=0$

$$V_{out2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in}$$

$$= 4 V_{in}$$

$$V_{out} = V_{o1} + V_{o2} = 4 V_{in} - 6$$

19 APRILE 2012



CALCOLARE V_X PER $t < t_0$ CHE DA $V_{OUT} = 0 \text{ V}$

Oper. classe

$$L^+ = |L^-| = 5 \text{ V}$$

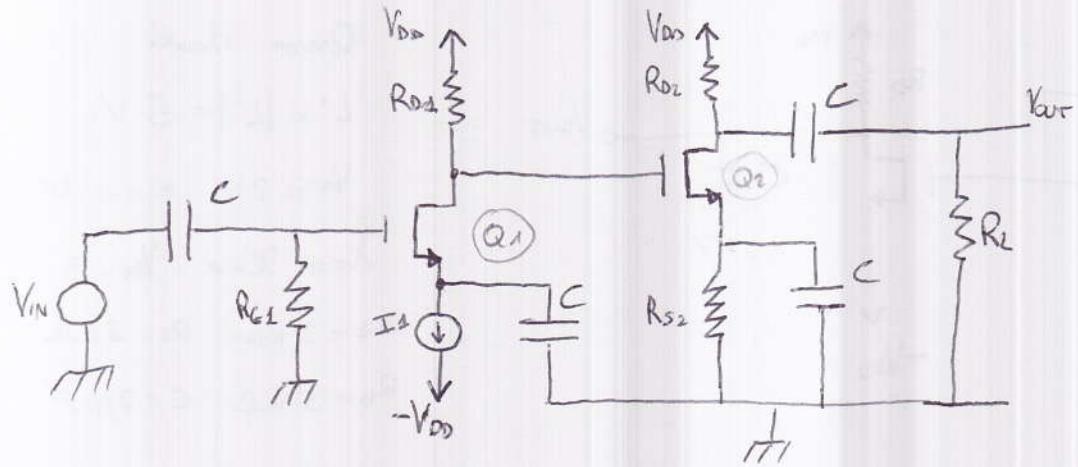
$$V_T = 2 \text{ V} \quad K = 0,25$$

$$\lambda = 0 \quad X = 0 \quad V_D = 5$$

$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 8 \text{ k}\Omega$$

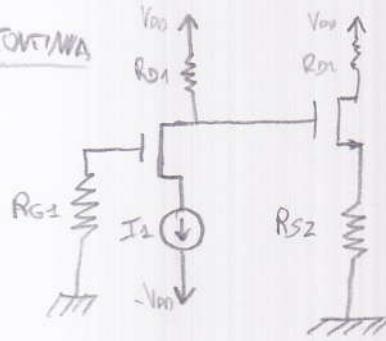
$$R_D = 5 \text{ k}\Omega \quad C = 2 \mu\text{F}$$

23 FEBBRAIO 2012 ✓



$$\begin{aligned}
 V_{T1} &= 2V & V_{T2} &= 1V \\
 K_1 &= 0.5 & K_2 &= 1 \\
 I_1 &= 2mA & V_D &= 5V \\
 C &= \infty & R_{G1} &= 10k\Omega \\
 R_{D1} &= 1k\Omega & R_{S2} &= 1k\Omega \\
 R_{D2} &= 2k\Omega & R_L &= 2k\Omega
 \end{aligned}$$

CALCOLARE V_{GS} , I_{D1} e V_{GS} DI Q_1 e Q_2 e $A_V = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$



$$V_{GS1} = V_G - V_S$$

$$\begin{aligned}
 I_{D1} &= K_1(-V_S - V_{T1})^2 \\
 &= 0.5(V_S^2 + 2V_S + 1)
 \end{aligned}$$

$$V_S^2 + 2V_S - 3 = 0 \quad \frac{-2 \pm \sqrt{4 + 12}}{2} = \begin{cases} -3 \\ 1 \end{cases} \quad \boxed{\text{SI}}$$

$$\text{QUINDI } V_{GS1} = 3V$$

$$V_{DS1} = V_D - V_S = V_D - I_{D1}R_{D1} - V_S = 5 - 2 + 3 = 6V$$

$$V_{D1} = 3V$$

$$V_{G2} = V_{D1} = 3V \quad I_{D2} = K_2 (V_{GS2} - V_{T2})^2 \quad V_S = I_{D2}R_{S2}$$

$$\text{SOTTOUSO} \quad V_{S2} = K_2 R_{S2} (V_G - V_{GS2} - V_{T2})^2 \quad V_{S2} = (K_2 + 2)^2$$

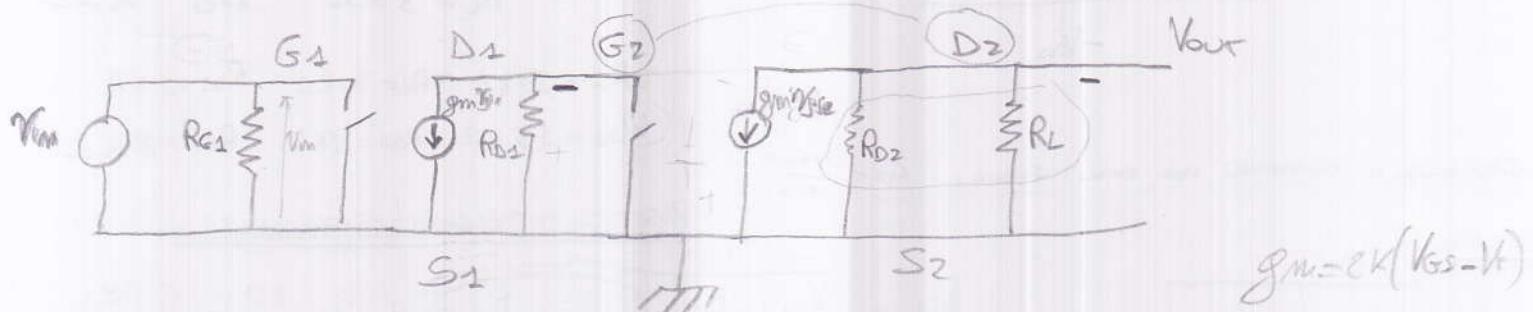
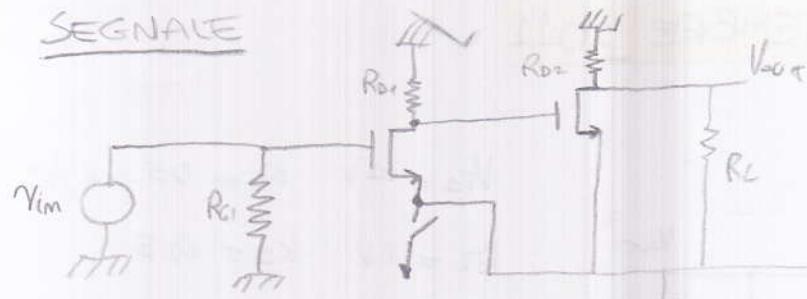
$$V_{S2}^2 - 4V_{S2} + 4 = V_{S2} \rightarrow V_{S2}^2 - 5V_{S2} + 4 = 0$$

$$\frac{5 \pm \sqrt{25 - 16}}{2} = \frac{5 \pm 3}{2} = \begin{cases} 4 \\ 1 \end{cases} \quad \boxed{\text{SI}} \quad V_{S2} = 1 \quad V_{GS2} = 2$$

$$I_{D2} = 1(2 - 1)^2 = 1mA$$

$$V_{DS2} = V_D - I_{D2}R_{D2} - V_{S2} = 5 - 2 \cdot 1 = 2V$$

SEGNALI



$$g_{m1} = 2k_1(V_{GS1} - V_{T1}) = 2 \cdot 0.5 (3 - 1) = 2 \text{ A}^{-1}$$

$$i_{D1} = 2 V_{in}$$

$$V_{GS2} = -R_{D1} \cdot i_{D1} = -1 \cdot 2 V_{in} = -2 V_{in}$$

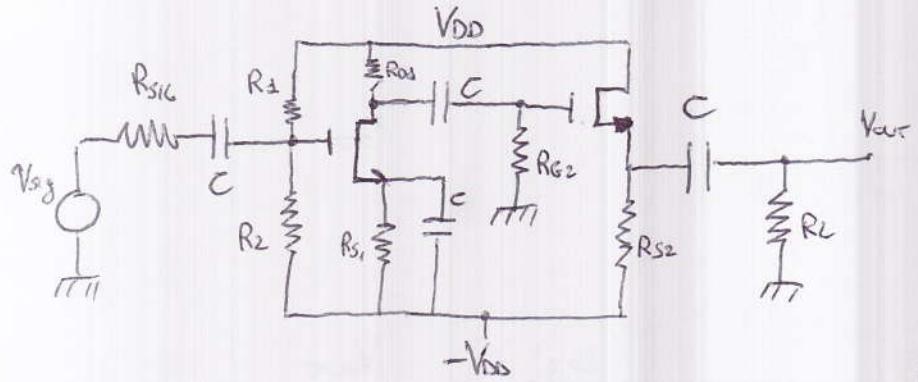
$$g_{m2} = 2k_2(V_{GS2} - V_{T2}) = 2 \text{ A}^{-1}$$

$$i_{D2} = 2 V_{GS2} = -4 R_{D1} V_{in} = -4 V_{in}$$

$$V_{out} = -i_{D2} \cdot \frac{R_L R_{D2}}{R_L + R_{D2}} = +4 V_{in} \frac{4}{4} = +4 V_{in}$$

$$Av = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 4$$

16 SETTEMBRE 2011 ✓



$$V_{T1} = 1V \quad K_1 = 0.5 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{T2} = 1V \quad K_2 = 0.5$$

$$C = \infty \quad V_{DD} = 5V \quad R_{S1} = 50\Omega$$

$$R_L = 3K\Omega \quad d = 0 \quad X = 0$$

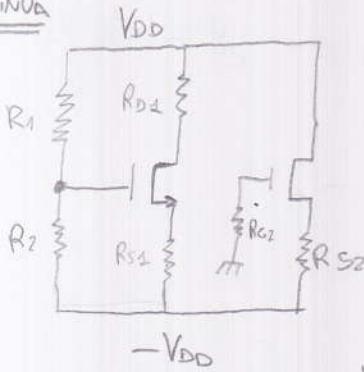
$$R_1 = 20K\Omega \quad R_2 = 30K\Omega \quad R_{D1} = 2K\Omega$$

$$R_{S2} = 1.5K\Omega \quad R_{S1} = 6K\Omega \quad R_{G2} = 8K\Omega$$

CALCOLARE IL GUADAGNO PER PRIMI SEGNALI $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$

PARTITORE DI TENSIONE SENZA MASSA

CONTINUA



$$V_{G1} = \frac{V_{DD} \cdot R_2}{R_1 + R_2} - \frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 5 \cdot \frac{30}{50} - 5 \cdot \frac{20}{50} = 3 - 2 = 1V$$

$$I_{D1} = K_1 (V_{GS1} - V_{T1})^2 \quad V_{GS1} = V_{G1} - (I_{D1} R_{S2} - V_{DD})$$

$$V_{GS1} = 1 - 0.75(V_{GS1} - 1)^2 + 5$$

$$V_{GS1} = 1 - 0.75V_{GS1}^2 + 1.5V_{GS1} - 0.75 + 5$$

$$0.75V_{GS1}^2 - 0.5V_{GS1} - 5.25 = 0$$

$$\frac{0.5 \pm \sqrt{0.25 + 15.75}}{1.5} = \begin{cases} 3 \\ -2.3 \end{cases}$$

$$I_{D1} = 0.5(3-1)^2 = 2 \text{ mA}$$

VERIFICA SOTTO

$V_{GS1} = V_{T1}$

$$V_{GS1} = V_{DD} - I_{D1} R_{D1} - V_{S1} = 5 - 2 + 2 = 5 \geq 2$$

$$V_{S1} = V_{G1} - V_{GS1} = 1 - 3 = -2V$$

$$V_{G2} = 0$$

$$I_{D2} = K_2 (V_{GS2} - V_{T2})^2 \quad V_{GS2} = V_{G2} - V_{S2} = -I_{D1} R_{S2} - (-V_{DD}) =$$

$$V_{GS2} = -3(V_{GS2} - 1)^2 + 5$$

$$V_{GS2} = -3V_{GS2}^2 + 6V_{GS2} - 3 + 5$$

$$3V_{GS2}^2 - 5V_{GS2} - 2 = 0$$

$$\frac{5 \pm \sqrt{25+24}}{6} = \frac{5 \pm 7}{6} = \begin{cases} 2 \\ -\frac{1}{3} \end{cases}$$

$$I_{D2} = 0.5(2-1)^2 = 0.5 \text{ mA}$$

VERIFICA SOTTO

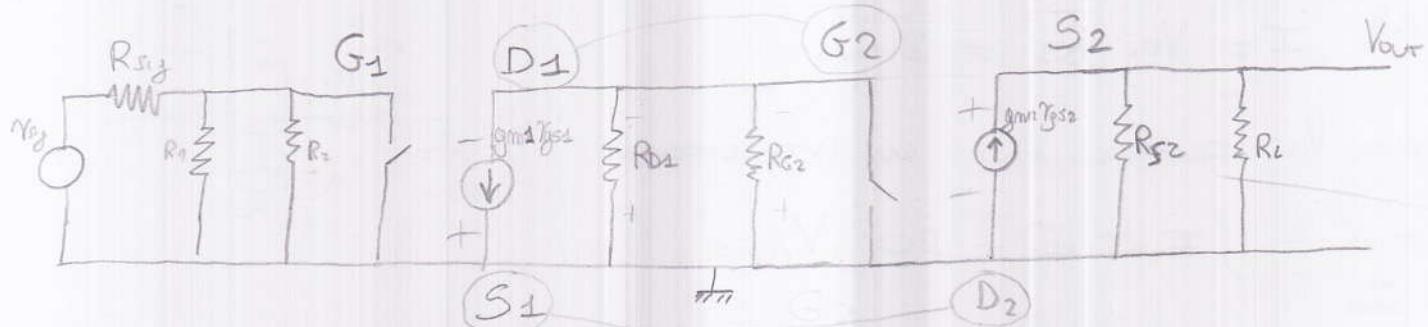
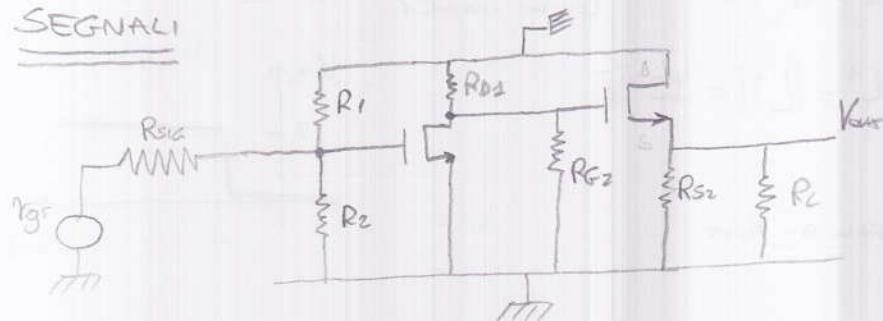
$$V_{S2} = V_{G2} - V_{GS2} = -2V$$

$$V_{GS2} = V_{DD} - V_{S2} = 5 + 2 = 7V \geq V_{GS2} - V_{T2} = 1$$

$$g_{m1} = 2k_1 (V_{GS1} - V_{T1}) = 2 (3-1) = 2 \text{ A/V}$$

$$g_{m2} = 2k_2 (V_{GS2} - V_{T2}) = 1 \text{ A/V}$$

SEGNALI



ATTENZIONE PARITORE DEL PARALLELO

$$\gamma_{GS1} = \gamma_{sig} \cdot \frac{R_1/R_2}{R_{sig} + R_1/R_2} = \gamma_{sig} \cdot \frac{12}{12+0.5} \approx \gamma_{sig}$$

$$i_{D1} = g_{m1} \gamma_{GS1} = -2 \gamma_{sig}$$

$$\gamma_{G2} = -i_{D1} \cdot \frac{R_{D1} R_{G2}}{R_{D1} + R_{G2}} = -2 \gamma_{sig} \cdot \frac{16}{10} = -\frac{16}{5} \gamma_{sig}$$

$$\gamma_{GS2} = \gamma_{G2} - \gamma_{S2} \quad \text{ATTENZIONE} \quad \gamma_{S2} \neq 0 \text{ QUANDO LO DEVO CALCOLARE}$$

$$i_{D2} = g_{m2} \gamma_{GS2} = \gamma_{GS2}$$

$$\gamma_{S2} = i_{D2} \cdot \frac{R_{S2} R_L}{R_{S2} + R_L} = \gamma_{GS2} \cdot \frac{18}{9} = 2 \gamma_{GS2}$$

$$\gamma_{GS2} = -\frac{16}{5} \gamma_{sig} - 2 \gamma_{GS2} \rightarrow \gamma_{GS2} = -\frac{16}{15} \gamma_{sig} = -1,06 \gamma_{sig}$$

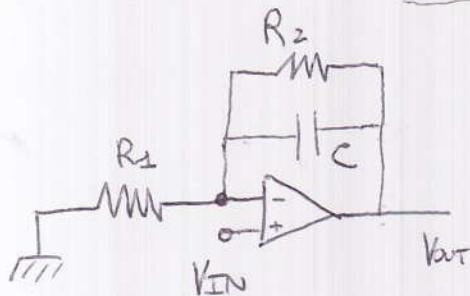
ORA POSSO CALCOLARE

$$\gamma_{S2} = -2,13 \gamma_{sig}$$

$$AV = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\gamma_{S2}}{\gamma_{sig}} = -2,13$$

7 MAGGIO 2011

[NO]

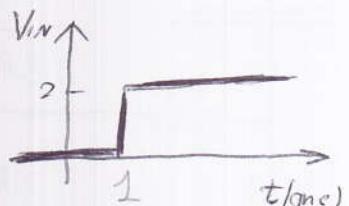


$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 4 \text{ k}\Omega$$

$$C = 0,1 \text{ nF}$$

$$L^+ = |L^-| = 12 \text{ V}$$



CALCOLARE E GRAFICARE L'ANDAMENTO TEMPORELLE DI V_{out}

$t < 1$ $V_{out} = 0$

$t > 1$ $I = V_{in} \cdot R_1 = 2 \text{ mA}$

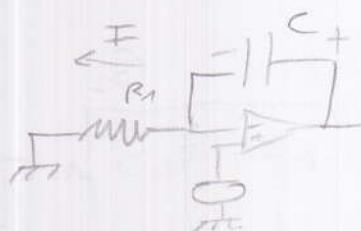
APPENA V_{in} SCARTA +10 IN INTEGRATORE

$$V_C = \frac{1}{C} \int I dt = +20 \text{ V/ms}$$

NON
INVERT.

$$\tau = C \cdot R_{eq} = C \cdot R_2 = 0,6 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{TEMPO CARICA} = 5\tau = 2 \text{ ms}$$



$$\tau = C \cdot R_{eq} = C \cdot R_1 = 0,1 \text{ ms}$$

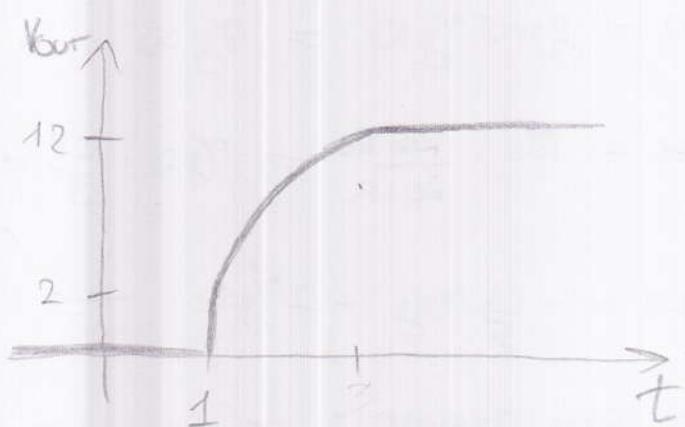
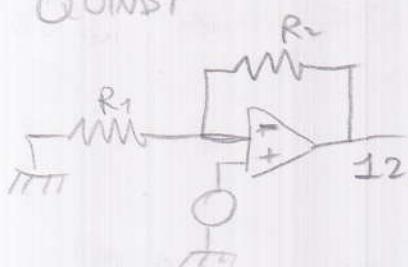
$$\text{TEMPO DISS.} 5\tau = 0,5 \text{ ms}$$

$t >$

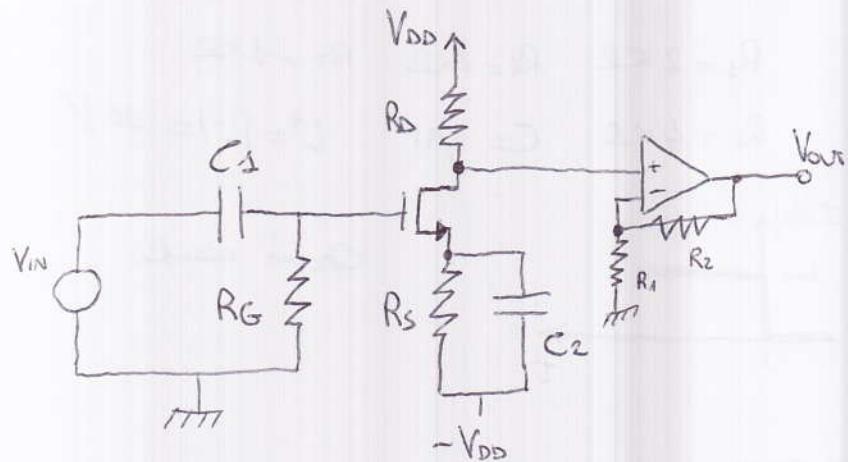
OP. VA IN SAT \rightarrow NON VALE PIÙ IL C.C.V.

INOLTRE IL CONDENSATORE DIVENTA UN CIRCUITO APERTO (CARICO)

QUINDI



20 SETTEMBRE 2010 ✓



$$R_G = 10 \text{ k}\Omega \quad R_D = 2,5 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 4 \text{ k}\Omega \quad V_{DD} = 5V \quad V_T = 1V$$

$$K = 0,5 \quad \lambda = 0 \quad \text{Operaz. ideal}$$

$$L^+ = |L^-| \approx 5V$$

DETERMINARE R_S TALE CHE $V_{out} = 0$

CONTINUA

$$V_{out} = 0 \Rightarrow V_o = 0$$

$$V_{DD} - I_D R_D = 0$$

$$I_D = \frac{V_{DD}}{R_D} = \frac{5}{2,5} = 2mA$$

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \rightarrow I_D = K \left(\underbrace{V_S}_{-I_D R_S - V_{DD}} - V_T \right)^2 \quad 2 = 0,5 \left(-2R_S + 4 \right)^2$$

$$4 = 4R_S^2 - 16R_S + 16$$

$$R_S^2 - 4R_S + 3 = 0$$

$$V_{GS} > V_T$$

$$4R_S^2 - 16R_S + 12 = 0$$

$$\frac{4 \pm \sqrt{16-12}}{2} = \begin{cases} 3 \\ 1 \end{cases}$$

$$-V_S > V_T$$

$$\text{QUINDI } R_S = 1$$

VERIFICA SAT

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

$$-V_S > -V_S - V_T$$

$$0 > -1 \quad \text{OK!}$$

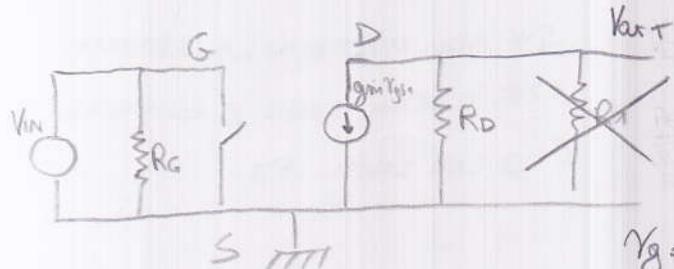
$$-I_D R_S + V_{DD} > V_T$$

$$-2R_S + 5 > 1$$

$$2R_S < 4$$

$$R_S < 2$$

DETERMINARE IL GUADAGNO DI TENSIONE PER PICCOLI SEGNAI



NON VA INSERITO
 R_1 PERCHE' H0VN
OPERAZ. NON INVERT.
con $R_{in} = \infty$

$$\gamma_g = \gamma_m \quad i_D = g_m \gamma_g = 2 \gamma_m$$

$$Y_{out} = -R_D \cdot i_D = -2,5 \cdot 2 \gamma_m = -5 \gamma_m$$

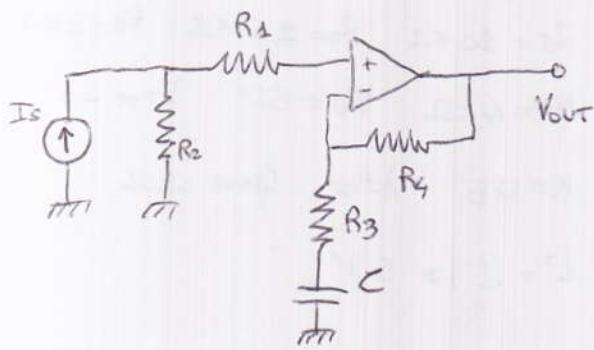
$$V_{GS} = -V_S = -(I_D R_S - V_{DD}) \\ = -(2 \cdot 1 - 5) = 3V$$

$$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 2(3 - 1) = 2$$

$$Y_{out} = -5 \gamma_m \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = -25 \gamma_m$$

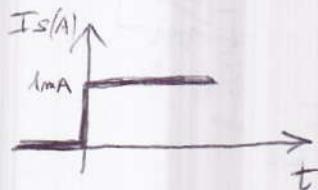
$$A_V = -25$$

12 LUGLIO 2010 ✓



$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 2 \text{ k}\Omega \quad R_3 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 4 \text{ k}\Omega \quad C = 1 \mu\text{F} \quad U^+ = |U^-| = 10 \text{ V}$$



Operaz. ideale

DETERMINARE V_{OUT} NEL TEMPO E DISEGNARE IL GRADICO

$$t < 0 \quad V_{\text{out}} = 0$$

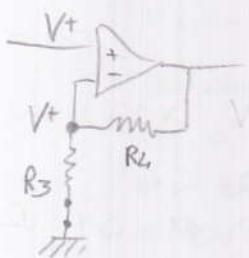
$$t > 0 \quad \gamma = C \cdot (R_3 + R_4) = 5 \text{ ms}$$

$$V^+ = I \cdot R_2 = 2 \text{ V}$$

Corrente VA ANTEGGI R₃
SU R₃ NON C'È CORRENTE
DI POTENZIALE

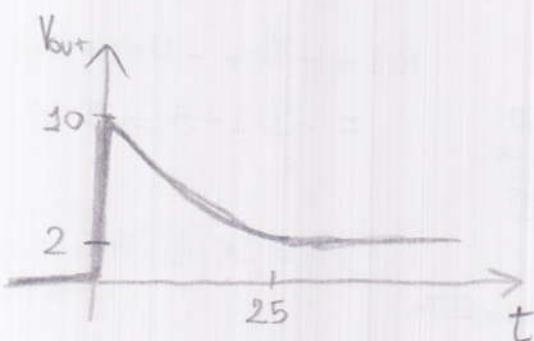
NON ENTRA CORRENTE NELL'
OPERAZIONALE

PER C SCARICO

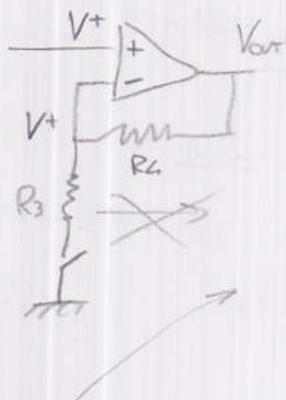


È UN OPERAZ. CONF.
NON INVERTENTE

$$V_{\text{out}} = V^+ \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) = 10 \text{ V}$$



PER C CARICO



NON HA CAPACITÀ
DI POTENZIALE SU
R₄ PERCHÉ NON

HO MASSA
Questi non sono
correnti

[NB] O MEGLIO:

SUL NON INVERTENTE LA CORRENTE
CHE SCORRE SULLE 2 RESISTENZE
E QUESTA DATA R₃