

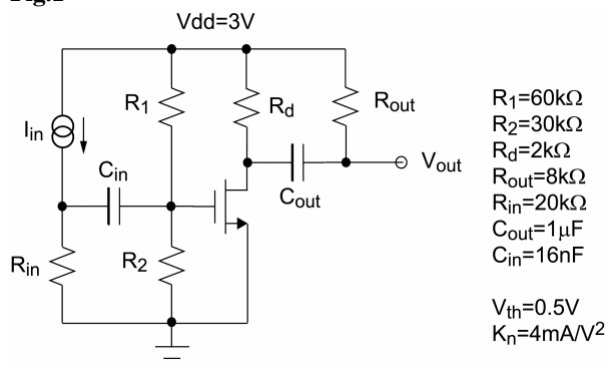
7 Settembre 2005

Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) ...

Esercizio 1. Si consideri l'amplificatore mostrato in Fig.1.

- Determinare le correnti e le tensioni del circuito per $I_{in}=0$;
- determinare la funzione di trasferimento V_{out}/I_{in} e disegnarne i diagrammi di Bode **quotati** del modulo e della fase;
- ricavare e disegnare l'andamento della tensione $v_{out}(t)$ (almeno due periodi, **polarizzazione più segnale**) su un grafico **quotato**, per $I_{in}=I_0 \cos(\omega_0 t)$, dove $I_0=10mA$ e $\omega_0=20krad/sec$.

Fig.1

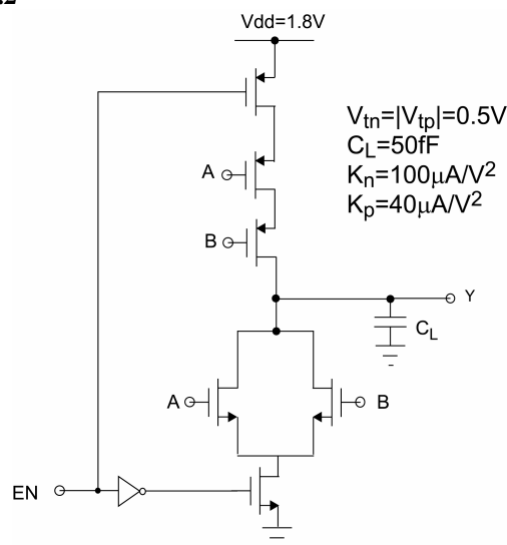


Esercizio 2. Si consideri la porta logica di Fig.2.

Per $EN=0$:

- determinare la funzione logica del circuito;
- determinare quale transizione è più lenta e calcolarne la durata tra il 10% ed il 90% dell'escursione;
- calcolare la potenza dissipata (statica e dinamica) quando $A=0$ e all'ingresso B è applicata un'onda quadra di frequenza 100MHz;
- Dire cosa accade durante la transizione $A=B=EN=0 \rightarrow A=B=EN=1$.

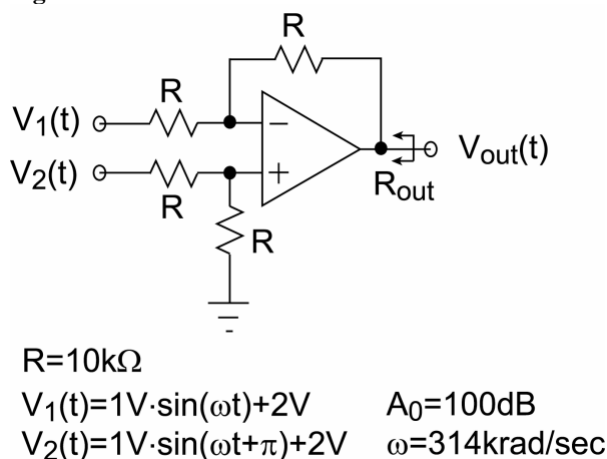
Fig.2



Esercizio 3. Si consideri l'amplificatore di fig.3.

- Assumendo ideale l'amplificatore operazionale, determinare l'espressione di $v_{out}(t)$ e disegnarla su di un grafico quotato.
- Assumendo che l'amplificatore operazionale abbia un $GBWP=1MHz$, trovare la banda passante dell'amplificatore per ciascuno degli ingressi $v_1(t)$ e $v_2(t)$;
- quale valore deve avere il minimo slew rate dell'amplificatore operazionale, affinché l'uscita non sia distorta?
- Supponendo che l'amplificatore operazionale abbia una resistenza d'uscita $r_{out}=100\Omega$, quanto vale la resistenza d'uscita R_{out} dell'amplificatore?
- Qual è il valore medio della tensione di modo comune in ingresso all'amplificatore operazionale? Giustificare la risposta.

Fig.3



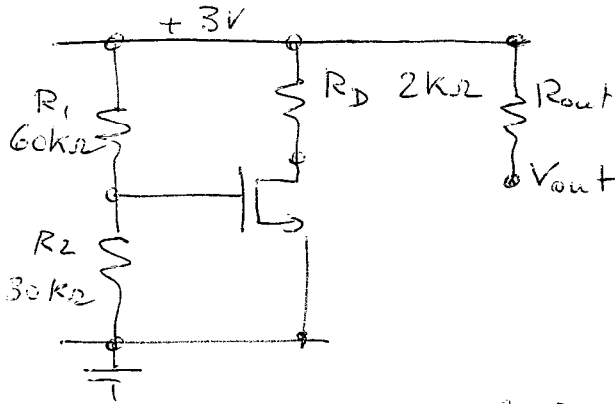
Esercizio 4.

- Disegnare lo schema a blocchi di un convertitore A/D a doppia rampa e descriverne sinteticamente il principio di funzionamento.
- Assumendo di utilizzare un contatore a 10 bit ed una frequenza di clock di 50kHz, stimare la lettura digitale del convertitore in presenza di un segnale d'ingresso sinusoidale di frequenza 50Hz.

Soluzioni Appello FDE 7/9/05

ES. 1

a) Polarizzazione



$$V_G = 3V \times \frac{30k\Omega}{90k\Omega} = +1V$$

$$I_D = k_n (V_{GS} - V_T)^2 = 4 \frac{mA}{V^2} \times (0.5V)^2 = 1mA$$

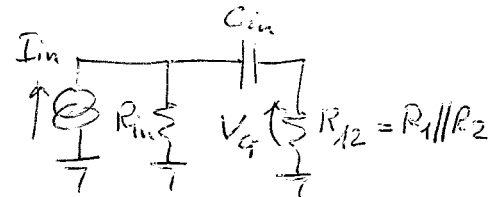
$$V_D = 3V - 2k\Omega \times 1mA = +1V$$

Controllo SAT: $V_{DS} = 1V > (V_{GS} - V_T) = 0.5V$ NoS soluzione

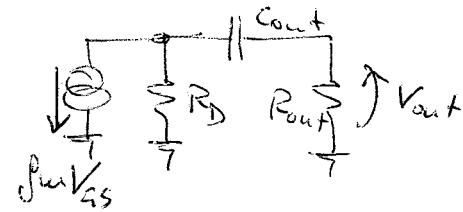
$V_{out} = +3V$

b) V_{out}/I_{in}

$$V_G = V_{GS} = I_{in} (R_{in} // R_{12}) \frac{s C_{in} (R_{in} + R_{12})}{1 + s C_{in} (R_{in} + R_{12})}$$



$$V_{out} = - (g_m V_{GS}) (R_{out} // R_D) \frac{s C_{out} (R_D + R_{out})}{1 + s C_{out} (R_D + R_{out})}$$



$$g_m = \frac{2 I_D}{V_{GS} - V_T} = \frac{2 \times 1mA}{0.5V} = 4 \frac{mA}{V}$$

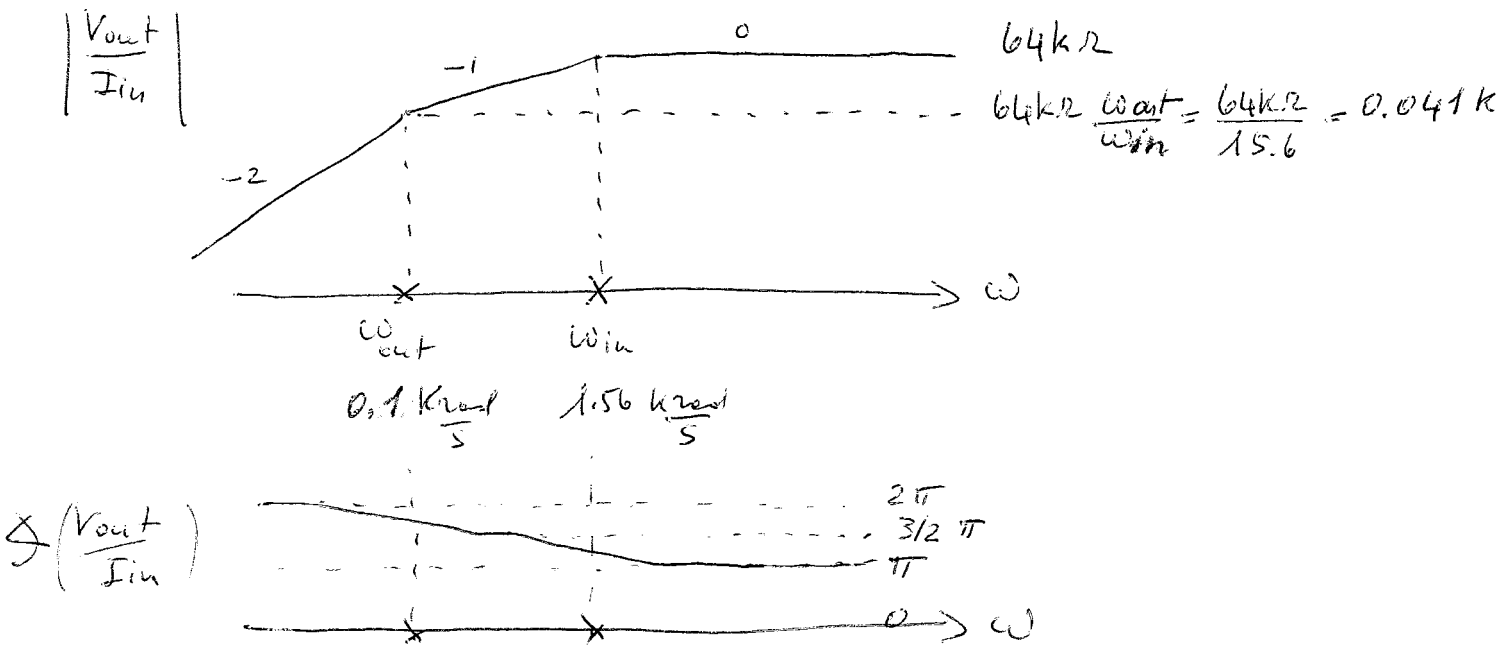
$$\Rightarrow \frac{V_{out}(s)}{I_{in}} = - (R_{in} // R_{12}) \frac{s \tau_{in}}{1 + s \tau_{in}} g_m (R_{out} // R_D) \frac{s \tau_{out}}{1 + s \tau_{out}}$$

polo $\omega_{in} = \frac{1}{\tau_{in}} = \frac{1}{C_{in} (R_{in} + R_{12})} = \frac{1}{640 \mu s} = 1.56 \frac{krad}{s}$

polo $\omega_{out} = \frac{1}{\tau_{out}} = \frac{1}{C_{out} (R_D + R_{out})} = \frac{1}{10 \mu s} = 0.1 \frac{krad}{s}$

$$\left| \frac{V_{out}}{I_{in}} \right|_{j\omega \rightarrow \infty} = (R_{in} // R_{12}) g_m (R_{out} // R_D) = (30k\Omega // 20k\Omega) \times 4 \frac{mA}{V} \times (8k\Omega // 2k\Omega) = 64 k\Omega$$

$$\angle \left(\frac{V_{out}}{I_{in}} \right)_{j\omega \rightarrow \infty} = \pi$$



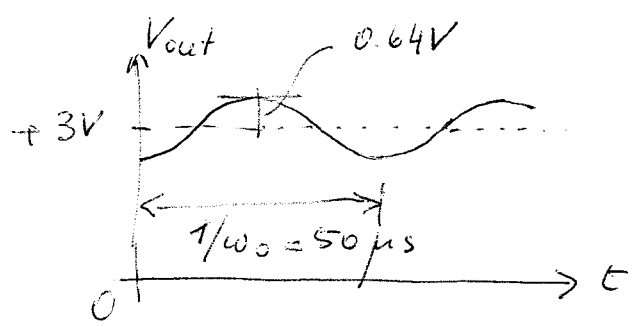
(c) $V_{out}(t) = V_{out} / DC + v_{out}(t)$

$v_{out}(t) = I_0 \left| \frac{V_{out}(j\omega)}{I_{in}} \right| \cos(\omega t + \angle \frac{V_{out}(j\omega)}{I_{in}}) = 10 \mu A \times 64 kR \cos(\omega t + \pi)$

essendo $\omega_0 = 20 \frac{kHz}{s}$
 $\gg \omega_{in}$

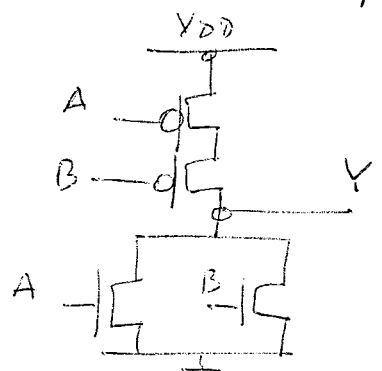
$\left\{ \begin{aligned} \left| \frac{V_{out}(j\omega_0)}{I_{in}} \right| &\approx 64 kR \\ \angle \frac{V_{out}(j\omega_0)}{I_{in}} &\approx \pi \end{aligned} \right.$

$\boxed{-0.64 V \cos(\omega_0 t)}$



Es. 2

(a) Per $EN=0$ la porta logica è la seguente:



Valuta rete di pull-down (ad es.):

$\overline{Y} = A + B$ da cui $Y = \overline{A + B}$

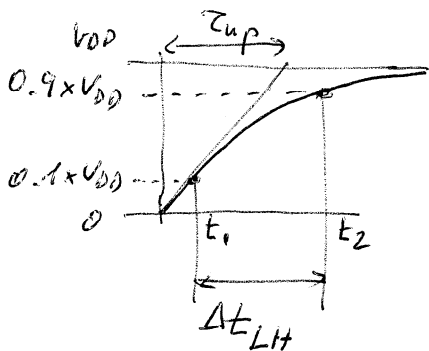
(NOR a due ingressi)

b) La transizione più lenta è quella di pull-up
 (3 transistor in serie sempre e $k_p < k_n$)

Approssimando i pmos in zona ohmica:

$$R_{up} = 3 \times R_p = 3 \times \frac{1}{2 k_p (V_{DD} - |V_{Tp}|)} = 3 \times \frac{1}{2 \times 40 \frac{\mu A}{V^2} \times 1.3V} = 3 \times 9.6 k\Omega = \underline{28.8 k\Omega}$$

$$\tau_{up} = R_{up} \times C_L = 28.8 \times 10^3 \Omega \times 50 \times 10^{-15} F = 1.44 \times 10^{-9} s = \underline{1.44 \mu s}$$

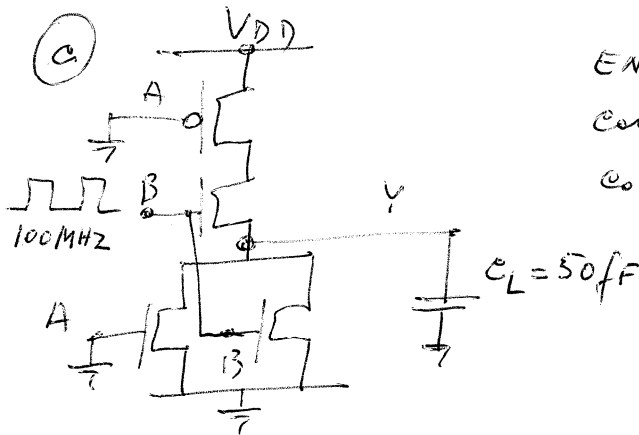


$$y = V_{DD} (1 - e^{-t/\tau_{up}})$$

$$0.9 \times V_{DD} = V_{DD} (1 - e^{-t_2/\tau_{up}}) \rightarrow t_2 = \tau_{up} \ln \frac{1}{0.1}$$

$$0.1 \times V_{DD} = V_{DD} (1 - e^{-t_1/\tau_{up}}) \rightarrow t_1 = \tau_{up} \ln \frac{1}{0.9}$$

$$\Delta t_{LH} = t_2 - t_1 = \tau_{up} \ln 9 = 2.2 \times 1.44 \mu s = \underline{3.2 \mu s}$$

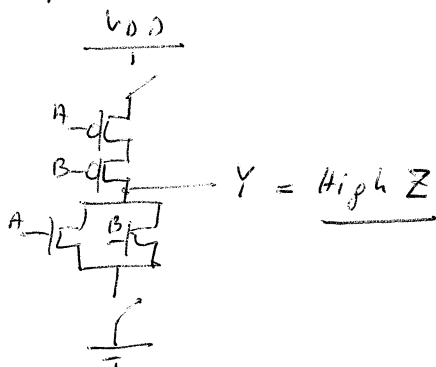


EN = 0
 con A=0 → Y = \overline{B} (anche per un'uscita comune a 100 MHz).

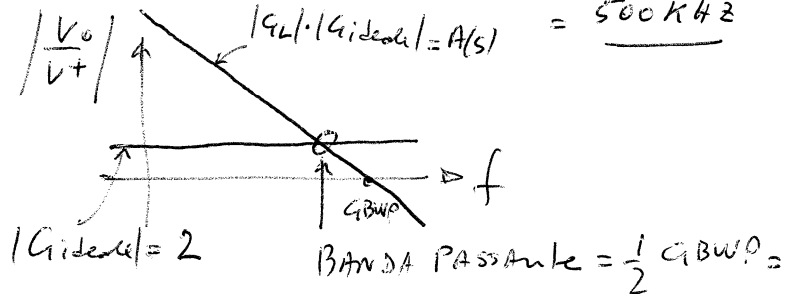
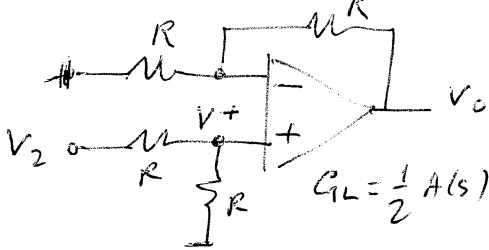
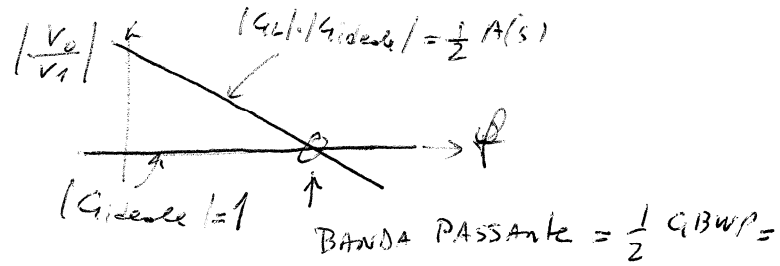
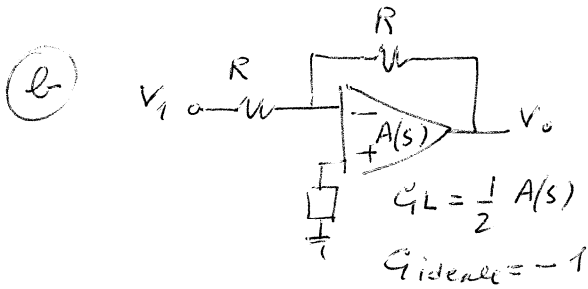
$$P = f C_L V_{DD}^2 = 10^8 Hz \cdot 50 \times 10^{-15} F \cdot (1.8V)^2 = 162 \times 10^{-7} W = \underline{16.2 \mu W}$$

d) Quando A=B=EN=0 si ha Y = $\overline{A+B} = 1$.

Quando A=B=EN=1 si ha Y in alta impedenza (floating):



a) A.O. ideale $v_{out} = v_2 - v_1 = 1V \sin(\omega t + \pi) + 2V - (1V \sin(\omega t) + 2V) = 1V [\sin(\omega t + \pi) - \sin(\omega t)] = -2V \sin(\omega t)$

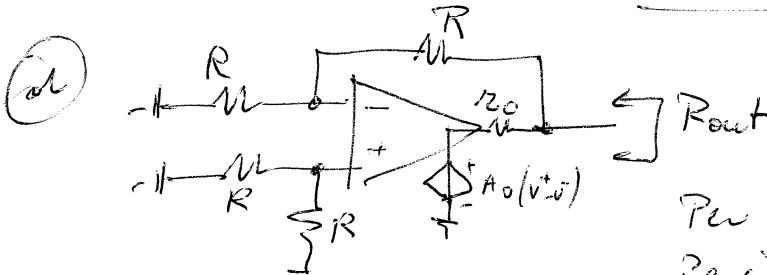


In entrambi i casi la Banda passante è di 500 kHz.

c) Deve essere: $\left| \frac{dv_o}{dt} \right|_{max} < SR$

$\left| \frac{dv_o}{dt} \right|_{max} = \left| \frac{d}{dt} (2V \sin \omega t) \right|_{max} = 2V \times \omega = 2 \times 3.14 \times 10^3 \text{ V/s} = 0.628 \text{ V/}\mu\text{s}$

Da cui $SR_{min} = 0.628 \text{ V/}\mu\text{s}$



Per $A_0 \rightarrow \infty$ si vede che $R_{out} \rightarrow 0$.
Perciò il modo di uscita è stabilizzato in tensione e risulta:

$R_{out} = \frac{R_{o.l.}}{1 - G_L}$

Res. col carico aperto ($R_{o.l.}$) = $R_0 \parallel 2R \approx R_0 = 100 \Omega$

$G_L = -A_0 \frac{R}{R+R+R_0} \approx -\frac{1}{2} A_0 = -0.5 \times 10^5$

$\Rightarrow R_{out} \approx 100 \Omega / 0.5 \times 10^5 = 2 \text{ m}\Omega$

e) Tensione di modo comune dell' A.O.

$$V_{ic} = \frac{V^+ + V^-}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{2} + \frac{V_2}{2} \right) = \frac{1}{2} V_2$$

$$\begin{cases} V^+ = \underbrace{V^+/V_1}_{\cong 0} + \underbrace{V^+/V_2}_{\cong V_2/2} \cong \frac{V_2}{2} \\ V^- = \underbrace{V^-/V_1}_{\cong 0} + \underbrace{V^-/V_2}_{\cong V_2/2} \cong \frac{V_2}{2} \end{cases}$$

Valore medio:

$$\begin{aligned} \overline{V_{ic}} &= \frac{1}{2} \times \overline{V_2} = \frac{1}{2} \times \left[\frac{1}{T} \int_0^T 1V \sin(\omega t + \pi) dt + \frac{1}{T} \int_0^T 2V dt \right] \\ &= \underline{1V} \end{aligned}$$

ES. 4

a) Vedi materiale didattico di riferimento

b)

$n = 10 \text{ bit}$

$f_c = 50 \text{ kHz} \rightarrow T_c = 20 \mu\text{s}$

Nell' ADC a doppia rampa, durante la 1^a fase (integrazione) il segnale di ingresso viene integrato per $2^{10} = 1024$ colpi di clock, pari a $1024 \times 20 \mu\text{s} = 20.48 \mu\text{s}$

Il segnale di ingresso è una sinusoidale con periodo $20 \mu\text{s}$ per cui il risultato dell'integrazione per un tempo di $20.48 \mu\text{s}$ è, in prima approssimazione, pari a 0. \Rightarrow lettere digitali 00...0,
10 bit