

Fondamenti di Elettronica - Ingegneria Elettronica – a.a. 2023/24

Seconda prova in itinere – 18 giugno 2024

1. Riportare sulla prima pagina del foglio protocollo nome, cognome, numero di matricola, cod. persona, data, “seconda prova in itinere”, numero totale di fogli consegnati.
2. Numerare tutti i fogli e riportare su ciascuno almeno nome, cognome, numero di matricola, cod. persona.
3. Scrivere con grafia leggibile e con la penna
4. Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a)...
5. Risolvere per primi i punti in grassetto, perché ritenuti più facili. La durata della prova è 2.5 ore.
6. Non sono ammessi libri o appunti o altro materiale, eccetto la calcolatrice.

Esercizio 1

Si consideri il circuito riportato nella Fig. 1a. L'amplificatore operazionale satura alle tensioni di alimentazione. V_{in} sia un generatore di tensione di segnale.

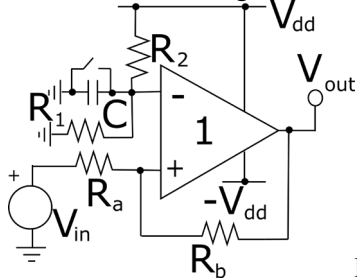
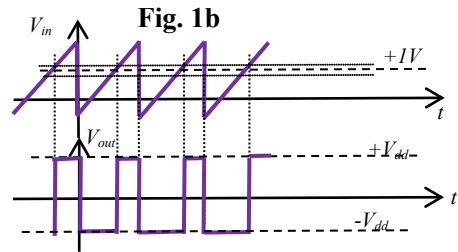


Fig. 1a

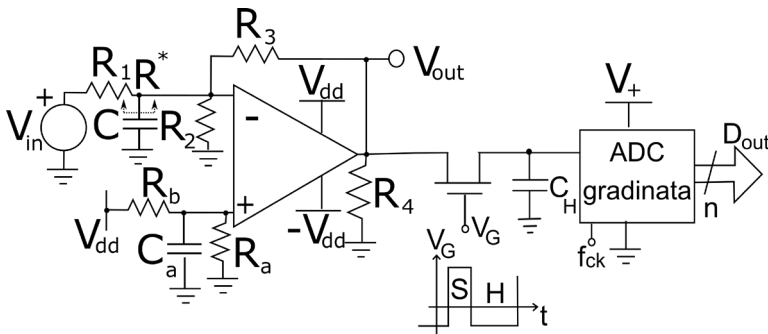
$$\begin{aligned}
 R_2 &= 90 \text{ k}\Omega \\
 R_a &= 1 \text{ k}\Omega \\
 R_b &= 60 \text{ k}\Omega \\
 C &= 22 \text{ nF} \\
 V_{dd} &= 6 \text{ V}
 \end{aligned}$$



- a) **Determinare il valor medio delle soglie di commutazione del trigger di Schmitt e l'ampiezza del suo ciclo di isteresi, assumendo l'interruttore chiuso (equivalente a un cortocircuito).**
- b) **Sempre assumendo l'interruttore chiuso, determinare la massima variazione delle soglie di commutazione per effetto di una tensione di offset dell'amplificatore operazionale pari a $V_{os} = \pm 0.6 \text{ mV}$ e di correnti di bias entranti nell'amplificatore operazionale con valor medio pari a $I_B = 250 \text{ nA}$.**
- c) Si supponga ora l'interruttore un circuito aperto, determinare il valore di R_1 necessario perché i grafici di Fig. 1b corrispondano alla risposta del circuito di Fig. 1a. Quale sarebbe il valore rms massimo ammissibile per il rumore sovrapposto al segnale? *Si facciano le opportune assunzioni.*

Esercizio 2

Si consideri la catena di acquisizione mostrata in Fig. 2. L'ADC sia del tipo a gradinata con $n = 12 \text{ bits}$. V_{in} sia un generatore di segnale sinusoidale di ampiezza compresa nell'intervallo $50 \text{ mV} - 250 \text{ mV}$. L'amplificatore operazionale satura a $(-V_{dd} + 1 \text{ V})$ e a $(+V_{dd} - 1 \text{ V})$



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 2 \text{ k}\Omega & V_{Tn} &= 1.5 \text{ V} \\
 R_2 &= 100 \text{ k}\Omega & k_n &= 8 \text{ mA/V}^2 \\
 R_3 &= 32 \text{ k}\Omega & V_{dd} &= 16 \text{ V} \\
 R_4 &= 2 \text{ k}\Omega & V_+ &= 10 \text{ V} \\
 C &= 1 \text{ pF} & f_{ck} &= 5 \text{ MHz} \\
 R_b &= 250 \text{ k}\Omega & n &= 12 \text{ bits} \\
 C_a &= 100 \text{ nF} & C_{HOLD} &= 6 \text{ nF}
 \end{aligned}$$

Fig. 2

- a) **Determinare il valore minimo ed il valore massimo della resistenza R_a possibili per sfruttare correttamente la dinamica dell'ADC.**
- b) **Assumendo R_a pari a 0Ω , disegnare in due diagrammi temporali, quotandone tutti i punti significativi, il segnale in ingresso, V_{in} , ed il segnale in uscita, V_{out} , nel caso delle due ampiezze estreme.**
- c) **Determinare le tensioni di comando del gate del nMOS che garantiscano una resistenza $R_{ds,on}$ minore di 15Ω in fase di Sample ed il transistor nMOS spento con 2.5 V di margine in fase di Hold, assumendo R_a pari a 0Ω .**
- d) Nelle ipotesi di segnali di massima dinamica per il convertitore, determinare il minimo valore della resistenza di off del transistor nMOS, compatibile con il corretto funzionamento della catena di acquisizione, nelle ipotesi di resistenza di ingresso dell'ADC infinita.
- e) Assumendo che l'amplificatore operazionale sia caratterizzato da un guadagno ad anello aperto $A_0 = 95 \text{ dB}$, determinare il polo ad anello chiuso introdotto dalla capacità C . *Suggerimento: calcolare la resistenza R^* , indicata in Fig.2.*
- f) Determinare il massimo valore ammesso per il GBWP dell'amplificatore operazionale perché il margine di fase sia almeno pari a 45° (A_0 non è noto separatamente).
- g) Determinare la minima differenza di tensione DC applicata in ingresso che causi una commutazione della parola digitale in uscita, se l'ADC fosse caratterizzato da 11.0 ENOB .

Fondamenti di Elettronica - Ingegneria Elettronica – a.a. 2023/24

Appello straordinario – 18 giugno 2024

1. Riportare sulla prima pagina del foglio protocollo nome, cognome, numero di matricola, cod. persona, data, “Appello Straordinario”, numero totale di fogli consegnati.
2. Numerare tutti i fogli e riportare su ciascuno almeno nome, cognome, numero di matricola, cod. persona.
3. Scrivere con grafia leggibile e con la penna
4. Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a)...
5. Risolvere per primi i punti in grassetto, perché ritenuti più facili. La durata della prova è 2.5 ore.
6. Non sono ammessi libri o appunti o altro materiale, eccetto la calcolatrice.

Esercizio 1

Si consideri il circuito riportato nella Fig. 1a. L'amplificatore operazionale satura alle tensioni di alimentazione. V_{in} sia un generatore di tensione di segnale.

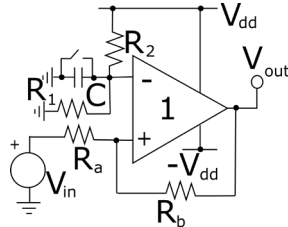


Fig. 1a

$$\begin{aligned}
 R_2 &= 90 \text{ k}\Omega \\
 R_a &= 1 \text{ k}\Omega \\
 R_b &= 60 \text{ k}\Omega \\
 C &= 22 \text{ nF} \\
 V_{dd} &= 6 \text{ V} \quad V_{Tn} = |V_{Tp}| = 1 \text{ V} \\
 \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} &= 100 \mu\text{A/V}^2 \\
 \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} &= 40 \mu\text{A/V}^2
 \end{aligned}$$

- a) **Determinare il valor medio delle soglie di commutazione del trigger di Schmitt e l'ampiezza del suo ciclo di isteresi, assumendo l'interruttore chiuso (equivalente a un cortocircuito).**
- b) Sempre assumendo l'interruttore chiuso, determinare la massima variazione delle soglie di commutazione per effetto di una tensione di offset dell'amplificatore operazionale pari a $V_{os} = \pm 0.6 \text{ mV}$ e di correnti di bias entranti nell'amplificatore operazionale con valor medio pari a $I_B = 250 \text{ nA}$.
- c) Assumendo di connettere un inverter CMOS, alimentato tra $-V_{dd}$ e V_{dd} , in cascata all'uscita V_{out} , determinare il minimo di fattore di forma, assunto l'inverter simmetrico, perché il fronte di commutazione 10%-90% sia inferiore a 3 ns , con un carico capacitivo da 2 pF .

Esercizio 2

Si consideri la catena di acquisizione mostrata in Fig. 2. L'ADC sia del tipo a gradinata con $n = 12 \text{ bits}$. V_{in} sia un generatore di segnale sinusoidale di ampiezza compresa nell'intervallo $50 \text{ mV} - 250 \text{ mV}$. L'amplificatore operazionale satura a $(-V_{dd} + 1 \text{ V})$ e a $(+V_{dd} - 1 \text{ V})$

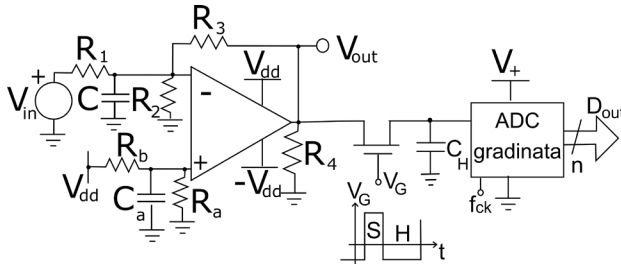


Fig. 2

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 2 \text{ k}\Omega & V_{Tn} &= 1.5 \text{ V} \\
 R_2 &= 100 \text{ k}\Omega & k_n &= 8 \text{ mA/V}^2 \\
 R_3 &= 32 \text{ k}\Omega & V_{dd} &= 16 \text{ V} \\
 R_4 &= 2 \text{ k}\Omega & V_+ &= 10 \text{ V} \\
 C &= 1 \text{ pF} & f_{ck} &= 5 \text{ MHz} \\
 R_b &= 250 \text{ k}\Omega & n &= 12 \text{ bits} \\
 C_a &= 100 \text{ nF} & C_{HOLD} &= 6 \text{ nF}
 \end{aligned}$$

- a) **Determinare il valore minimo ed il valore massimo della resistenza R_a possibili per sfruttare correttamente la dinamica dell'ADC.**
- b) **Nelle ipotesi di segnali di massima dinamica per il convertitore, determinare il minimo valore della resistenza di off del transistore nMOS, compatibile con il corretto funzionamento della catena di acquisizione, nelle ipotesi di resistenza di ingresso dell'ADC infinita.**
- c) Determinare il massimo valore ammesso per il GBWP dell'amplificatore operazionale perché il margine di fase sia almeno pari a 45° (A_0 non è noto separatamente).

Esercizio 3

Si consideri il circuito a MOSFET riportato nella Fig. 3, in cui v_{in} è un generatore di tensione di piccolo segnale e I_0 è un generatore di corrente DC.

- a) **Determinare la polarizzazione del circuito (tensioni a tutti i nodi e correnti in tutti i rami), sapendo che la tensione di uscita in DC è pari a 0 V .**
- b) **Determinare l'espressione ed il valore del guadagno di piccolo segnale v_{out}/v_{in} a bassa frequenza.**
- c) Tracciare il diagramma di Bode del modulo del trasferimento di piccolo segnale v_{out}/v_{in} , quotandone tutti i punti significativi.
- d) Nelle ipotesi di sostituire ad I_0 una resistenza R_0 di valore opportuno per non alterare la polarizzazione, determinare come cambia il guadagno di piccolo segnale v_{out}/v_{in} a bassa frequenza ed il numero di quadri necessario per tale resistenza, potendo disporre di diffusioni di Boro con una dose di $D = 1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$.

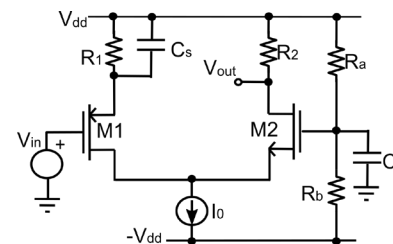


Fig. 3

$$\begin{aligned}
 V_{Tn} &= -V_{Tp} = 1 \text{ V} & V_{dd} &= 5 \text{ V} \\
 k_n &= 0.5 \text{ mA/V}^2 & |k_p| &= 0.5 \text{ mA/V}^2 \\
 R_a &= 600 \text{ k}\Omega & R_b &= 400 \text{ k}\Omega \\
 C_s &= 470 \text{ nF} & C &= 47 \mu\text{F} \\
 R_1 &= 1 \text{ k}\Omega & R_2 &= 10 \text{ k}\Omega \\
 I_0 &= 2.5 \text{ mA} \\
 \mu_n &= 1200 \text{ cm}^2/(\text{Vs}) & \mu_p &= 450 \text{ cm}^2/(\text{Vs})
 \end{aligned}$$