

Esperienze in Laboratorio

Introduzione all'esperienza 1

Il circuito schematizzato in figura è chiamato partitore resistivo in quanto fornisce una tensione all'uscita che è ridotta o "partizionata" rispetto alla tensione di ingresso di un fattore che dipende dal valore delle due resistenze.

Abbiamo già visto durante il corso questo tipo di circuito ma vista la sua importanza riprendiamo l'argomento.

Definiamo funzione di trasferimento del partitore il rapporto: $A = \frac{V_{out}}{V_{in}}$, vediamo di esprimerla in funzione dei valori di R_1 e R_2 .

Applicando il 2° principio di Kirchhoff alla maglia $V_{in} - R_1 - R_2$, otterremo:

$V_{in} = (R_1 + R_2) \cdot i$ mentre per la legge di Ohm, la tensione di uscita, che è uguale alla

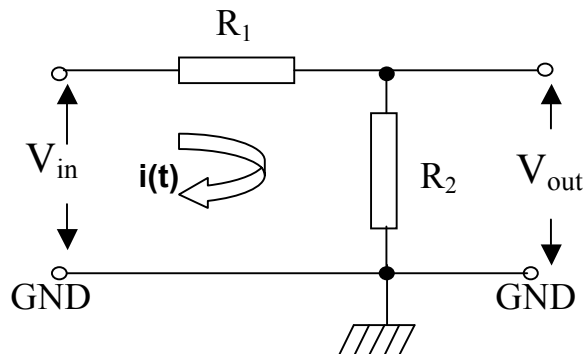
caduta di tensione ai capi della resistenza R_2 , vale: $V_{out} = R_2 \cdot i$ dunque otterremo che:

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2 \cdot i}{(R_1 + R_2) \cdot i} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$$

Questo è dunque il *valore atteso* (cioè quello che ci aspettiamo dalla teoria) della funzione di trasferimento.

Scopo dell'esperienza è misurare in laboratorio il valore di A e confrontarlo con quanto ci aspettiamo dalla teoria.

Esperienza 1

Realizzazione di un *partitore resistivo* e misura della sua funzione di trasferimento

Materiale fornito: 3 resistenze da 1 k Ω , 10 k Ω e 4.7 k Ω rispettivamente

1. Verificare il valore delle resistenze, col codice dei colori
2. misurare i valori delle stesse resistenze tramite multimetro
3. controllare che il valore sia entro la tolleranza specificata
4. calcolare il valore atteso di **A** in base ai valori misurati di R_1 , R_2 , R_3 e scegliere la coppia di resistenza che minimizza il valore di A.
5. per la coppia di resistenze che minimizza A calcolare la potenza dissipata da ognuna (deve essere < 1/8 W altrimenti si bruciano...). Si consideri $V_{in} = 5V$
6. realizzare il circuito di figura con la R_1 e R_2 scelte in modo da ottenere il valore minimo della funzione di trasferimento **A**
7. Misurare sperimentalmente la funzione di trasferimento **A** tramite multimetro con ingresso 5 V DC (presi dalla basetta), con partitore senza carico. Fare la stessa misura con l'oscilloscopio e confrontare i valori ottenuti.
8. Misura della funzione di trasferimento **A** tramite oscilloscopio con in ingresso un segnale sinusoidale di frequenza pari a 1 kHz
9. Determinare qualitativamente per che valori di frequenze si ha uno scostamento dal comportamento teorico
10. Ripetere le misure ai punti 7,8,9 applicando ora come carico la terza resistenza

N.B. Si assuma che ogni misura effettuata (indipendentemente dallo strumento utilizzato) sia affetta da un **errore relativo pari al 5%**.

Commenti alla esperienza 1

Osserviamo anzitutto che questa prima esperienza e' molto semplice (ma importante) perche' serve a familiarizzare con i vari strumenti di laboratorio e ad acquisire un metodo di "*previsione teorica / verifica sperimentale*" che vale, in generale, per ogni tipo di esperienza di laboratorio (e che e' quindi molto importante per un fisico).

Di grande importanza e' poi la valutazione degli errori: una misura non ha alcun significato senza una corretta stima del suo errore. Si invitano quindi gli studenti ad applicare la corretta propagazione degli errori ovunque sia possibile.

- **I primi tre punti:** servono essenzialmente a prendere confidenza con il codice dei colori e con il multimetro. Non e' necessario nessun ulteriore commento.
- **punto 4:** si deve ottenere la potenza dissipata da ogni resistenza calcolando la corrente che circola in ognuna di esse e utilizzando poi la legge di Joule. La tensione fornita e' di 5V.
- **punto 5:** questo punto e' in pratica stato spiegato a lezione. Ora bisogna ottenere il valore vero e proprio della funzione di trasferimento $A_{atteso} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$ sostituendo a R_1 e R_2 i valori misurati. Questo numero (si ricorda che in questo caso la funzione di trasferimento e' costante, dunque un numero) e' quello che andra' confrontato con il valore misurato.
- **punto 7:** qui comincia la misura vera e propria. Occorre misurare sperimentalmente la funzione di trasferimento dalla formula: $A_{misurato} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$. Per fare questo si forniscono 5V continui persi dalla basetta, si misurano V_{out} e V_{in} e si calcola il loro rapporto. Queste tensioni vanno misurate sia con l'oscilloscopio che con il multimetro. I valori ottenuti dovrebbero essere gli stessi.
- **punto 8:** si deve ripetere la misura al punto 7 inviando all'ingresso un segnale sinusoidale anziche' continuo. In questo caso sia V_{in} che V_{out} sono segnali sinusoidali. Si ricorda che la relazione $A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$ vale istante per istante, cio' significa in pratica che, qualunque punto della sinusoide si scelga, la relazione deve essere soddisfatta (ovviamente il punto deve essere lo stesso per V_{in} e V_{out}). Si scelga il punto della sinusoide che si ritiene piu' opportuno.
- **punto 9:** questa misura e' solo qualitativa. Occorre vedere, aumentando la frequenza del segnale di ingresso, quando il partitore inizia a comportarsi in maniera non ideale. Si ricorda di nuovo, a tal fine, che un partitore ideale ha una funzione di trasferimento che e' indipendente dalla frequenza. Nel partitore reale invece, a causa di effetti reattivi parassiti delle resistenze, ad un certo punto A comincera' a variare con la frequenza. Si deve descrivere qualitativamente cosa succede all'aumentare della frequenza.
- **punto 10:** si utilizzi ora la terza resistenza come carico per il partitore e si ripetano le misure descritte sopra.

Introduzione alla esperienza 2

La figura sotto rappresenta un sommatore analogico resistivo, o mixer a 2 ingressi. Questo è un semplice circuito in cui il segnale d'uscita è una opportuna combinazione dei segnali di ingresso.

Per calcolare la funzione di trasferimento teorica dobbiamo applicare il principio di sovrapposizione ai due ingressi V_1 e V_2 , cioè calcolare separatamente il contributo di ciascun ingresso al segnale d'uscita.

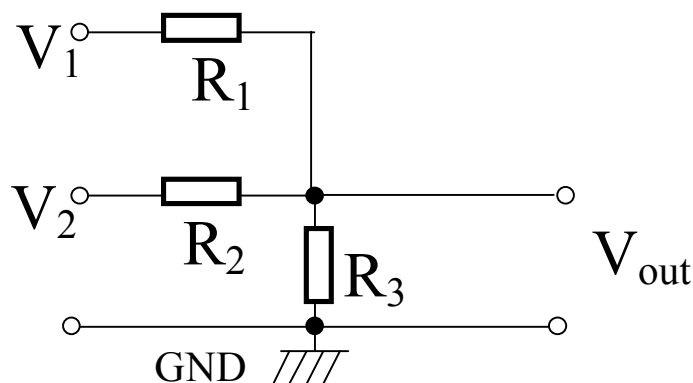
Se chiamiamo $R_{23} = R_2 // R_3$ e $R_{13} = R_1 // R_3$ si può vedere che il legame tra tensione di uscita V_{out} e gli ingressi V_1 e V_2 vale: $V_{out} = V_1 \frac{R_{23}}{R_1 + R_{23}} + V_2 \frac{R_{13}}{R_2 + R_{13}}$ ossia, esplicitando tutte le resistenze:

$$V_{out} = V_1 \left(\frac{R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \right) + V_2 \left(\frac{R_1 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \right)$$

Come preparazione alla esperienza si richiede di ricavare la relazione sopra applicando il principio di sovrapposizione o i metodi per la risoluzione dei circuiti che si ritengono più opportuni.

Esperienza 2

Realizzazione di un sommatore analogico resistivo (mixer) a due ingressi e verifica del principio di sovrapposizione



Materiale fornito: 3 resistenze, 2 da 10 k Ω e 1 da 100 k Ω

Svolgimento:

1. Verificare il valore delle resistenze fornite (con il codice dei colori)
2. Misurare i valori delle resistenze con il multimetro
3. Realizzare il circuito e misurare sperimentalmente la tensione di uscita per i seguenti valori delle resistenze:

$$R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega, \quad R_3 = 100 \text{ k}\Omega$$

Effettuare le misure con i seguenti segnali di ingresso:

- 3.1 $V_1 = 5\text{V}$, $V_2 = 12\text{V}$ entrambi continui (presi dalla basetta)
- 3.2 $V_1 = 5\text{V}$ preso dalla basetta e $V_2 = 5 \text{ V}_{AC}$ (onda sinusoidale, 5V picco-picco, frequenza 1 kHz) preso dalla uscita principale del generatore di funzioni
- 3.3 V_1 preso dalla uscita "sync" o TTL del generatore di funzioni e $V_2 = 5 \text{ V}_{AC}$ (5V picco-picco) dalla uscita principale (main).

Per ognuno dei casi sopra verificate che valga la formula calcolata al punto 3.

- 4 Misurare **quantitativamente** cosa succede alla tensione di uscita se si invia all'ingresso V_1 un segnale $V_1 = 5 \text{ V}$ continui presi dalla basetta e l'altro ingresso viene lasciato:

- 4.1 aperto
- 4.2 neutralizzato

Per ognuno dei due punti sopra confrontare i valori misurati con quelli previsti teoricamente

Commenti alla esperienza 2 :

- **Punto 3.1:** in base alla relazione che lega V_{out} a V_1 e V_2 e misurando al solito V_{out} , V_1 e V_2 , si deve verificare appunto la suddetta relazione con i valori misurati di R_1 , R_2 ed R_3
- **Punto 3.2:** occorre ora fare la stessa cosa considerando che V_2 non e' piu' continuo ma e' un'onda sinusoidale. Si ricorda di nuovo che la relazione vale istante per istante...
- **Punto 3.3:** sempre piu' difficile.... Ora entrambi i segnali variano nel tempo e si ha la sovrapposizione tra un'onda sinusoidale e un'onda quadra. La relazione comunque continua a valere...
- **Punto 4.1:** Questo punto e' importante perche' permette di verificare la corretta applicazione del principio di sovrapposizione. Inviando infatti un solo segnale al circuito si verifica che l'uscita cambia se si neutralizza (ossia si collega a massa l'altro ingresso, che e' il modo corretto) o se invece lo si lascia aperto (che sembra piu' logico ma e' sbagliato!) l'altro ingresso. Si deve verificare **quantitativamente** che la tensione di uscita con V_2 neutralizzato sia quella attesa dalla formula.

Introduzione all'esperienza 3

Un *Convertitore Digitale/Analogico* (DAC) serve a convertire un numero binario ad n bits in un livello di tensione proporzionale al numero stesso. Nel caso del nostro circuito il DAC è a 4 bits. Come si può vedere dalla funzione di trasferimento:

$$V_{out} = A(V_0, V_1, V_2, V_3) = \frac{V_0}{16} + \frac{V_1}{8} + \frac{V_2}{4} + \frac{V_3}{2}$$

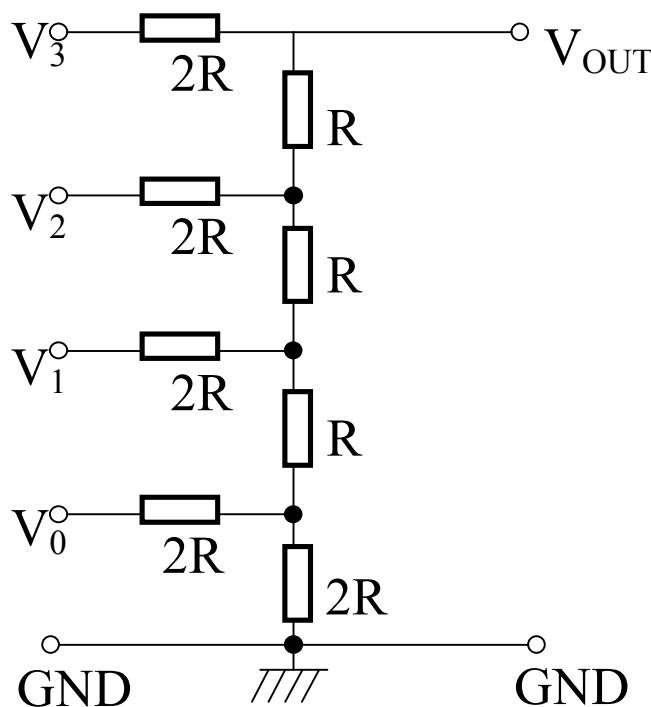
ogni ingresso, se alimentato con la stessa tensione, da un contributo alla tensione d'uscita pari a $\frac{V_{in}}{2^n}$ e perciò, se vediamo i 4 ingressi come le tensioni che corrispondono al livello 1

dei bit di un numero binario ($5 V_{DC}$), la tensione d'uscita sarà proporzionale al numero stesso. Il valore V_0 rappresenterà il bit meno significativo (LSB: Least Significant Bit) mentre il valore V_3 quello più significativo (MSB: Most Significant Bit).

Questi dispositivi sono utilizzati, ad esempio, per convertire il segnale digitale inciso sui CD musicali (o nei DVD) in un segnale analogico (musica per i CD o segnale video per i DVD). Quello che realizziamo noi in laboratorio è a 4 bit (ossia accetta 4 ingressi) mentre nel caso dei CD musicali i convertitori sono a 16 bit, per i DVD sono a 24 bit.

Esperienza 3

Realizzazione di un convertitore D/A (digitale /analogico) a rete a R-2R a 4 bit e verifica della linearità.



Materiale fornito: 11 resistenze uguali

svolgimento della prova

1. Calcolare la tensione di uscita in funzione di quelle di ingresso: $V_{out} = V_{out}(V_0, V_1, V_2, V_3)$ applicando, dove più opportuno, il teorema di Thevenin o i soliti metodi di semplificazione di reti resistive, per almeno un caso (il più semplice è V_A , chi vuole, ovviamente, può anche calcolarli tutti e 4).
2. Realizzare lo schema di figura osservando che si hanno a disposizione 11 resistenze, mentre nello schema ne sono disegnate 8, notiamo però che sono $R - 2R...$
3. Collegare i 4 ingressi 0, 1, 2, 3, ai 4 interruttori corrispondenti posti sulla basetta. Questi 4 interruttori simulano i 4 bit di ingresso fornendo +5V a interruttore chiuso e 0V a interruttore aperto.
4. Attivando un solo bit alla volta (tenendo cioè tutti gli altri a 0) verificare che il contributo alla tensione d'uscita sia, entro gli errori di misura, quello previsto dalla funzione di trasferimento.
5. Fare un grafico della tensione di uscita V_{out} in funzione del numero binario in ingresso (0-15) e verificarne la “**linearità**” ossia che il legame sia di proporzionalità diretta tra numero binario in ingresso e tensione d'uscita.

Commenti alla esperienza 3

- Questa esperienza è semplice come svolgimento, occorre però pensare un po' a come realizzare il circuito con 11 resistenze anziché 8 e BISOGNA realizzare il circuito il più ordinato possibile sulla basetta, per non complicarsi inutilmente la vita.
- Si suggerisce di fare il grafico con excel e calcolare anche il coefficiente di correlazione lineare

Esperienza 4

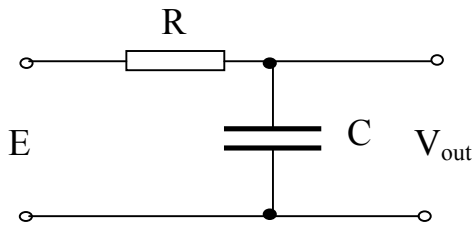
Studio della risposta ai transienti di carica e scarica di circuiti RC e CR

Fig. 1

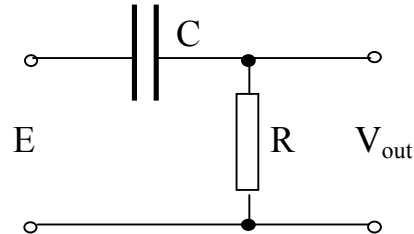


Fig. 2

Materiale fornito: 1 resistenza da 10 k Ω e 1 condensatore da 10 nF

Svolgimento della prova:

1. verificare il valori di R e C con il codice dei colori (per le resistenze) e con il codice numerico (per il condensatore). Misurare poi entrambi con il multimetro
2. calcolare teoricamente il valore della costante di tempo $\tau=RC$ del circuito
3. realizzare il circuito RC di fig. 1
4. Inviare al circuito, tramite l'uscita TTL del generatore di funzioni, un'onda quadra di periodo $T=10\tau$ ed effettuare la misura di τ con il metodo del tempo di salita. Effettuare le misura tramite oscilloscopio, visualizzando contemporaneamente il segnale di ingresso (onda quadra) e quello di uscita (transitorio di carica/scarica del condensatore).
5. diminuire progressivamente il periodo dell'onda quadra fino a $T = \tau$ e a $T = 0.1\tau$, ed descrivere qualitativamente cosa succede alla forma d'onda d'uscita.
6. realizzare il circuito CR di fig. 2 e ripetere le misure ai punti 4. e 5.
7. verificare che il valore della costante di tempo per i due circuiti RC e CR sia lo stesso

Commenti all'esperienza 4

- **punto1:** per misurare la capacita' col multimetro si utilizzi l'apposita presa presente sul multimetro (e' indicato con C o Cap).
- **punto4:** si ricorda che per il metodo del tempo di salita occorre misurare il tempo che impiega il segnale a passare da 1/10 a 9/10 della sua escursione massima. E' opportuno osservare che nel caso il segnale di uscita non raggiunga il valore di quello di ingresso (l'onda quadra) ci si deve riferire alla frazione del segnale di uscita. Per massimizzare la precisione di misura si suggerisce di regolare l'oscilloscopio in modo da visualizzare la rampa di salita in modo piu' esteso possibile in entrambi gli assi.

Esperienza 5

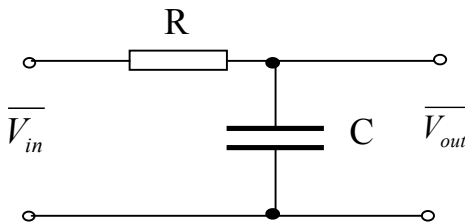
Studio della risposta di circuiti RC e CR in regime sinusoidale (filtri passa basso e passa alto)

Fig. 1

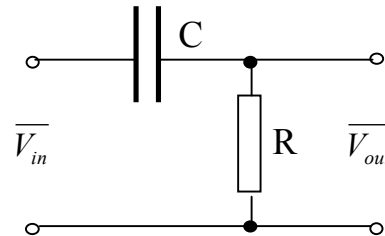


Fig. 2

Materiale fornito: utilizzare gli stessi componenti forniti per l'esperienza 4

Svolgimento della prova:

1. calcolare la frequenza di taglio attesa f_1 del circuito di fig.1 utilizzando i valori misurati per R e C (nei calcoli preliminari della relazione ricavare la formula, sia per il RC che per il CR)
2. realizzare il circuito di fig. 1. Tramite oscilloscopio misurare modulo $|A|$ e fase φ_A della funzione di trasferimento, in funzione della frequenza, attraverso la misura di modulo e fase della tensione di ingresso V_{in} e di quella di uscita V_{out} .
3. riportare le misure del punto 3 in due grafici: $|A|$ vs f e φ_A vs f . Mettere l'asse delle ascisse in scala logaritmica.
4. Calcolare, dal grafico, la frequenza di taglio effettiva f_1 e confrontarla con il valore atteso (calcolato al punto 2).
5. ripetere i punti 2,3,4,5 per il circuito di fig. 2 (filtro passa alto: CR)

Commenti all'esperienza 5

punto 2: per effettuare le misure scegliere i valori di frequenza: 10 Hz, 100 Hz, poi da 1000 a 2000 Hz a intervalli di 100 Hz, 5,000 Hz, 10,000 Hz, 100,000 Hz.

Punto 3: Riportare i grafici in scala logaritmica (asse x).

Punto 4: Verificare dal grafico che la frequenza di taglio sia al valore atteso dai calcoli teorici.

Introduzione all'esperienza 6

In preparazione a questa esperienza occorre calcolare la funzione di trasferimento teorica per il circuito di fig. 1 in funzione della frequenza, in maniera analoga a quanto fatto per i circuiti RC e CR. In questo caso però diventa molto complesso fare i calcoli separati per modulo e fase. Si suggerisce quindi di limitarsi a trovare l'andamento di $A(\omega)$ come numero complesso. Il risultato da ottenere è:

$$\bar{A}(\omega) = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} \left(\frac{1 + j\omega C_2 R_2}{1 + j\omega C_1 R_1} \right)}$$

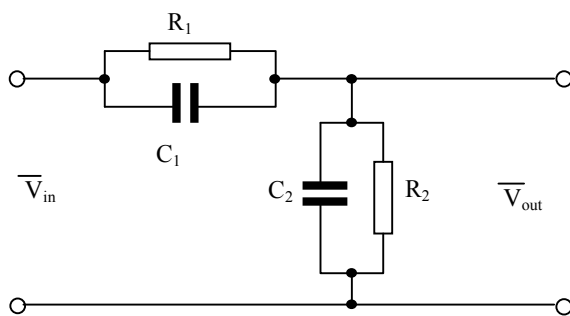
Esperienza 6**Studio della risposta di un partitore compensato e verifica della condizione di compensazione**

Fig. 1

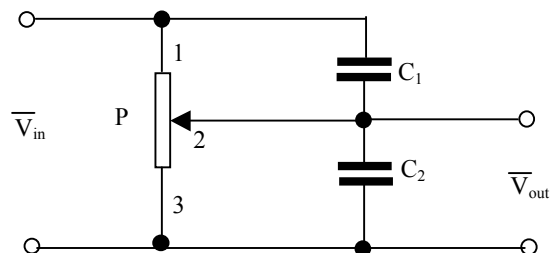


Fig. 2

Materiale fornito: 1 potenziometro da $R_{MAX} = 100 \text{ K}\Omega$ e 2 condensatori da 10 nF e 22 nF rispettivamente

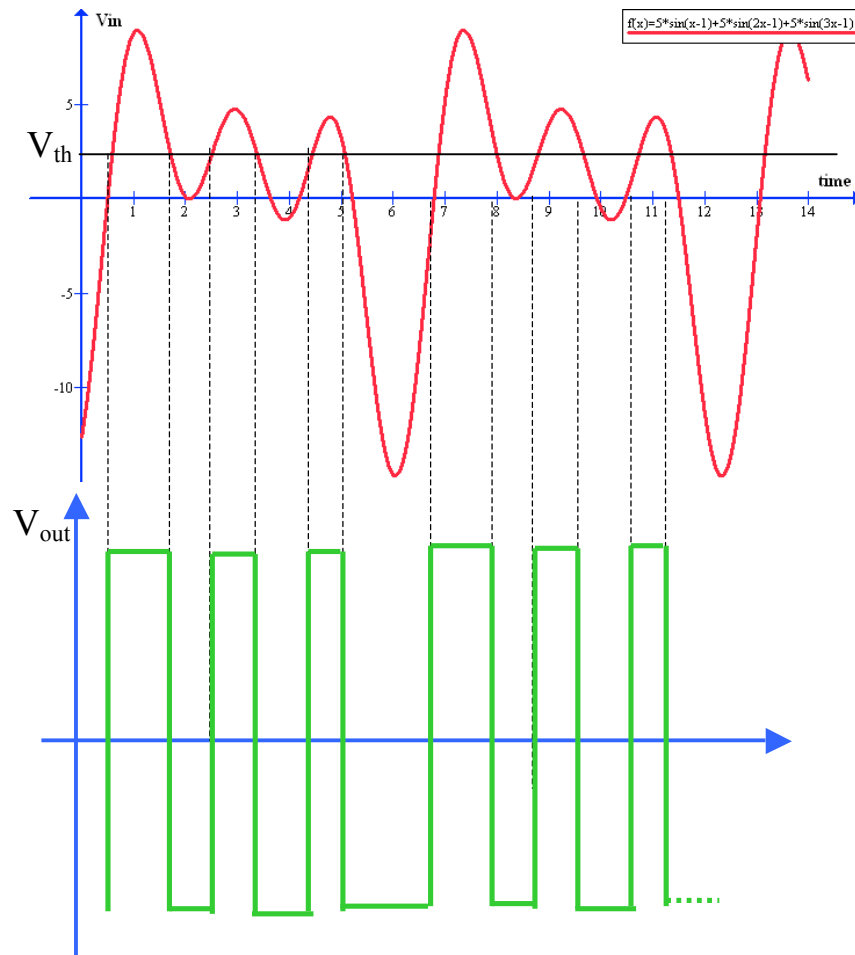
Svolgimento della prova:

1. Misurare tramite multimetro i valori di C_1 , C_2 , R_{MAX}
2. Realizzare il circuito di fig. 2 facendo attenzione a collegare correttamente il potenziometro e di regolarlo circa a metà della sua corsa prima di dare tensione.
3. trovare la condizione di compensazione inviando come ingresso un'onda quadra di frequenza pari ad 1 kHz presa dall'uscita principale. La condizione è verificata quando il segnale di uscita ha la stessa forma del segnale di ingresso
4. Verificare, nella condizione al punto 3, che il partitore sia effettivamente nella condizione di compensazione: che sia cioè soddisfatta la condizione: $R_1 C_1 = R_2 C_2$. Per fare questo misurare le due resistenze parziali del potenziometro tra pin centrale e i due esterni (facendo attenzione, nella misura, a non scambiare R_1 con R_2 e di non spostare il potenziometro dalla condizione di compensazione!).
5. Sempre senza muovere il potenziometro verificare che la risposta del partitore sia indipendente dalla frequenza facendo un grafico della funzione di trasferimento in

funzione della frequenza. Prendere come frequenze (onda sinusoidale): 10,100,1000,10000,100000 Hz e fare il grafico in scala logaritmica.

Introduzione all'esperienza 7

Un comparatore di tensione è un dispositivo che commuta lo stato della sua uscita non appena la tensione del segnale d'ingresso supera un valore di soglia V_{th} prefissato. Questo circuito è di particolare importanza per la "discriminazione" di segnali elettrici rispetto al rumore elettronico di fondo (che è sempre presente).



Nella figura sopra è rappresentato il principio di funzionamento del comparatore di tensione. La funzione di trasferimento vale $V_{out} = A \cdot (V_{in} - V_{th})$ e dunque la tensione di uscita sarà negativa se $V_{in} < V_{th}$ mentre diventerà positiva quando $V_{in} > V_{th}$. Osserviamo che, essendo A molto grande ($\sim 10^4$) basterà una differenza $V_{in} - V_{th}$ molto piccola per fare arrivare V_{out} alla tensione massima raggiungibile: $\pm V_{CC}$. Riassumendo, la tensione di uscita di questo circuito commuta da $-V_{CC}$ a $+V_{CC}$ ogni volta che la tensione di ingresso supera il valore della tensione di soglia V_{th} .

Esperienza 7

**Applicazione ad anello aperto dell'A.O. : impiego come comparatore di tensione.
Misura dello slew rate**

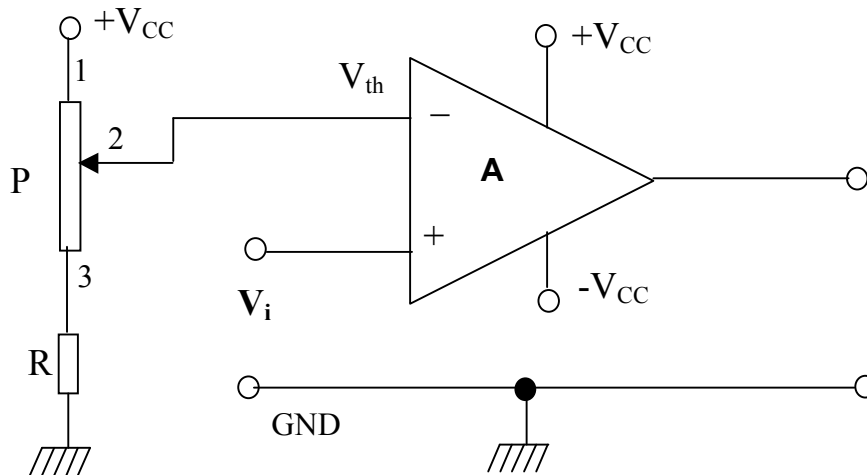


Fig. 1

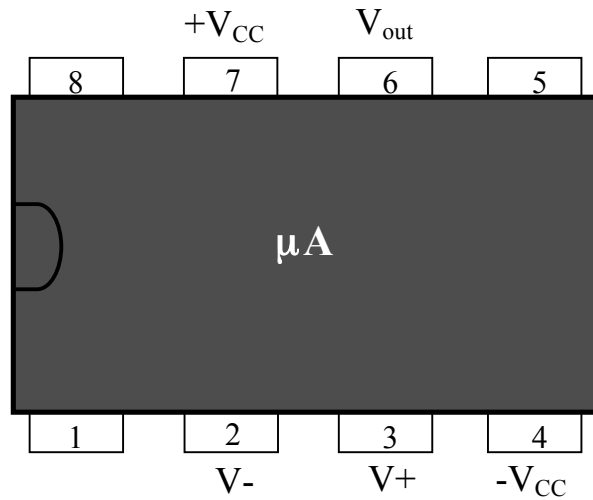
Materiale fornito: 1 amplificatore operazionale integrato $\mu A741$, 1 potenziometro da 100 k Ω , 1 resistenza $R=10$ k Ω

Svolgimento della prova:

1. Realizzare il circuito di fig. 1, alimentando l'A.O. con una tensione $V_{CC} = \pm 12V$, presa dalla bassetta.
2. Fissare, tramite il potenziometro, la tensione di soglia V_{th} a 5V . Per misurare il valore di V_{th} utilizzare il multimetro.
3. Inviare all'ingresso non invertente un segnale sinusoidale o triangolare di ampiezza sufficiente a fare commutare l'uscita dell'amplificatore ($V_{in} \geq V_{th}$). Controllare che il segnale inviato sia alternato, ossia non abbia componenti continue (che falserebbero la misura).
4. Misurare, come prima cosa, lo **slew rate**: $\left(\frac{\Delta V}{\Delta t}\right)$ del segnale di uscita
5. Verificare poi che il comparatore appena realizzato funzioni correttamente, cioè che la sua uscita commuti effettivamente da $-V_{CC}$ a $+V_{CC}$ quando $V_{in} > V_{th}$ e viceversa se $V_{in} < V_{th}$.

Commenti all'esperienza 7:

In questa esperienza veniamo a contatto per la prima volta con dei *circuiti integrati*. Questi sono dei dispositivi a semiconduttore realizzati su un "chip" di silicio e contenuti in un dispositivo come quello di figura.

Amplificatore Operazionale tipo $\mu A741$ 

Esperienza 8

Applicazione ad anello chiuso dell'A.O. : Realizzazione di un amplificatore invertente e non invertente. Misura delle loro caratteristiche principali.

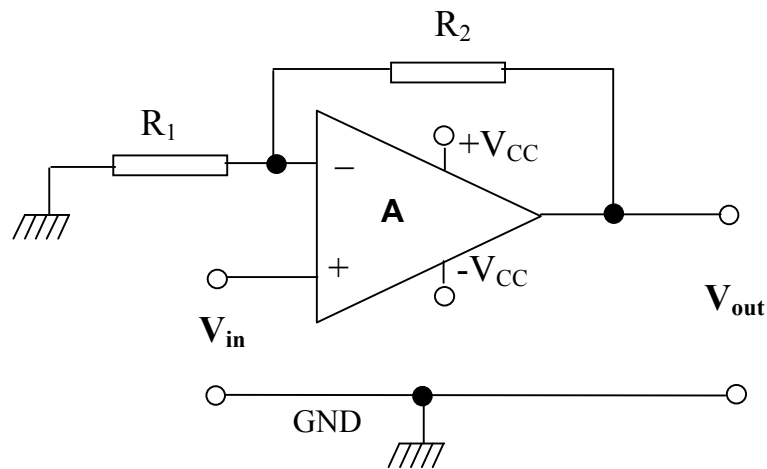


Fig. 1 Amplificatore non invertente

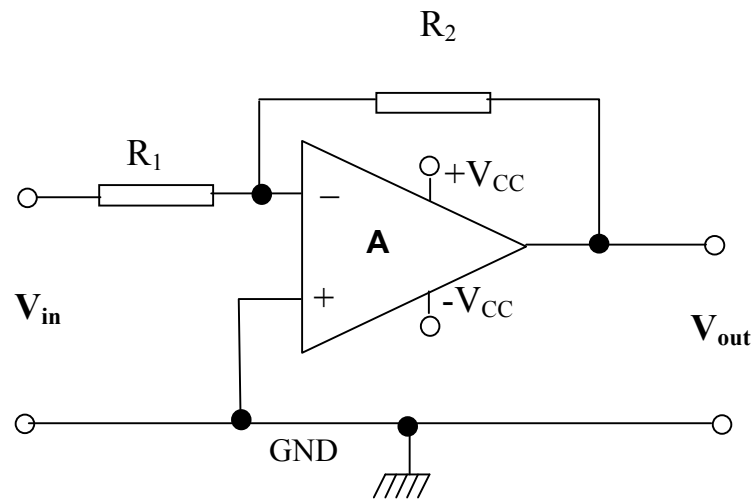


Fig. 2 Amplificatore invertente

Materiale fornito: 1 amplificatore operazionale integrato $\mu A741$, 2 resistenze: $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ e $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$

Svolgimento della prova:

1. Calcolare il valore atteso del guadagno per i vari circuiti: invertente e non invertente in base ai valori misurati di R_1 e R_2
2. Realizzare il circuito di fig. 1 : **amplificatore non invertente**

3. Visualizzando contemporaneamente all'oscilloscopio i segnali di ingresso e uscita effettuare le misure di:
 - a. **Guadagno nominale dell'amplificatore:** Inviare un segnale di ingresso sinusoidale di frequenza 1 kHz. Confrontare il valore misurato con quello atteso (calcolato al punto 1).
 - b. **Zona di guadagno lineare:** misurare la zona lineare dell'amplificatore, ossia l'intervallo di valori della tensione di ingresso affinché l'uscita sia non saturata. Effettuare la misura utilizzando l'oscilloscopio in modalità x-y inviando un segnale sinusoidale di frequenza 1 kHz
 - c. **Banda passante:** misurare le frequenze di taglio inferiore f_1 e superiore f_2 per via grafica procedendo in maniera analoga alla esperienza 5. Fate attenzione che ora le frequenze di taglio corrispondono ad un valore della funzione di trasferimento pari a $A_{nominale} / \sqrt{2}$. Fare il grafico esprimendo il guadagno A in dB e per valori di frequenza pari a: 10Hz, 100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz, 1MHz . Utilizzare per l'asse delle ascisse la scala logaritmica.
4. realizzare il circuito di fig. 2: **amplificatore invertente** e ripetere le misure effettuate al punto 3

Esperienza 9

Realizzazione di un inseguitore di tensione e suo utilizzo come adattatore di impedenza

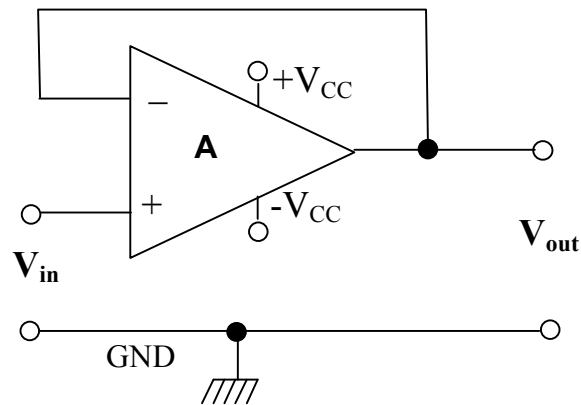
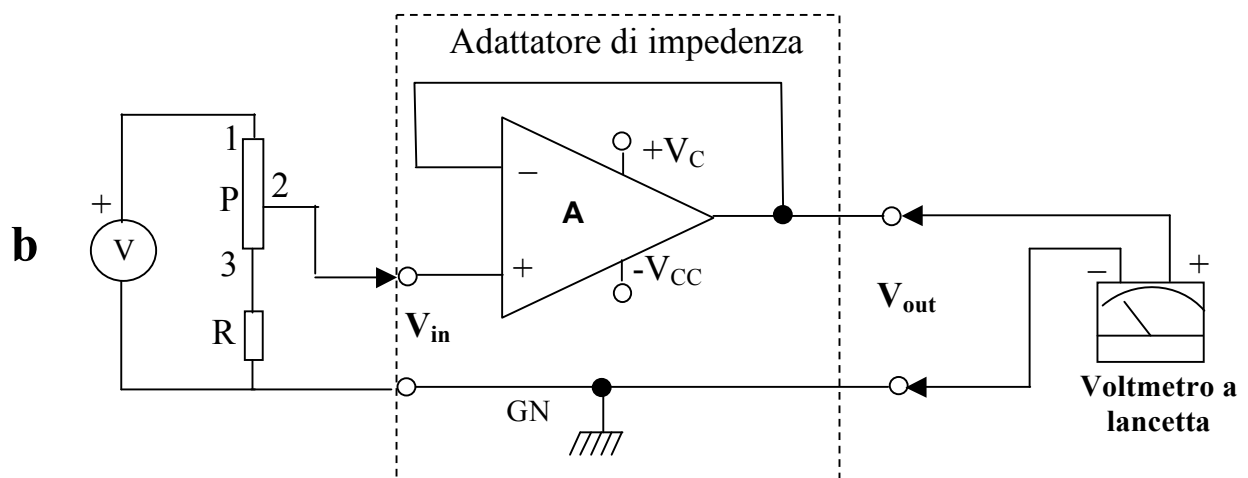
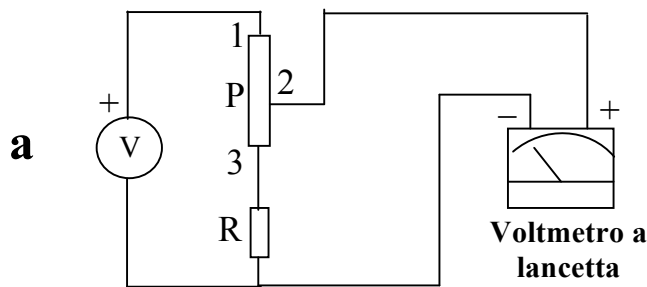


Fig.1 Inseguitore di tensione



Materiale fornito: 1 amplificatore operazionale integrato $\mu A741$, 1 voltmetro analogico a lancetta, 1 potenziometro da 100 k Ω , 1 resistenza R=10 k Ω

1. Realizzare il circuito di fig. 1a utilizzando i 5V della bassetta e regolare il potenziometro in modo da avere 4.0V in uscita (utilizzare il multimetro per la misura, il voltmetro a lancetta indicherà un valore diverso).
2. Misurare i 4.0 V con il voltmetro analogico (a lancetta) a disposizione e confrontare la misura con quella del multimetro.
3. Interporre ora il circuito inseguitore di tensione come in fig. 1b e misurare nuovamente la tensione di uscita con multimetro e con il voltmetro a lancetta.
4. Cercare di giustificare anche quantitativamente il comportamento osservato (occorre vedere quanto vale la resistenza interna del voltmetro a lancetta).

Per entrambe le misure utilizzare il multimetro come riferimento e assumere il valore di tensione da esso indicato come valore "vero".