

Generatori di funzione e filtri RC

1 Introduzione

La seguente esercitazione di laboratorio riguarda lo studio di un filtro RC (passa basso o passa alto) per mezzo sia di uno stimolo sinusoidale che di una forma d'onda quadra. Inoltre sarà possibile prendere confidenza con i principali comandi di un generatore di funzioni.

2 Gli strumenti da utilizzare

Sul banco sono presenti i seguenti strumenti e cavi coassiali:

- Oscilloscopio analogico (v.fig.1)
- Multimetro digitale da banco (v.fig.2)
- Generatore di funzioni (v.fig.3, 4 e 5)
- 2 cavi coassiali (BNC-BNC) (v.fig.6)
- 1 cavo coassiale (BNC-coccodrillo) (v.fig.7)
- scheda con filtri premontati (v.fig.8)
- 1 transizione T (BNC-BNC-BNC) (v.fig.9)
- carta semilogaritmica per modulo e fase (v.fig.10 e 11)

3 Prima di tutto....

Per effettuare la misurazione della risposta in frequenza di un filtro RC occorre inviare all'ingresso del circuito uno stimolo sinusoidale a frequenza variabile e di ampiezza fissa. A tal fine ogni banco di misura dispone di un generatore di funzioni di tipo commerciale (v.fig.3, 4 e 5) che offre la possibilità di avere un segnale con forma (sinusoidale, quadra, rampa, ...), ampiezza e frequenza definibile dall'utente per mezzo di semplici comandi.



Figura 1: Oscilloscopio analogico.



Figura 2: Multimetro da banco.



Figura 3: Generatore di funzioni modello Hameg hm8130.



Figura 4: Generatore di funzioni modello Tabor 8200/8020.



Figura 5: Generatore di funzioni modello Wavetek FG3B.



Figura 6: Cavo coassiale BNC-BNC.



Figura 7: Cavo coassiale BNC-cocodrillo.

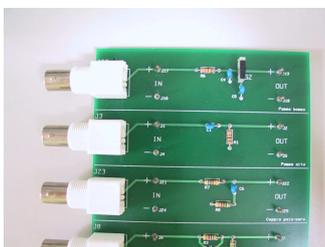


Figura 8: Scheda con banchi premontati di filtri RC.



Figura 9: Transizione T (BNC-BNC-BNC) e carico a $50\ \Omega$ per cavi BNC.

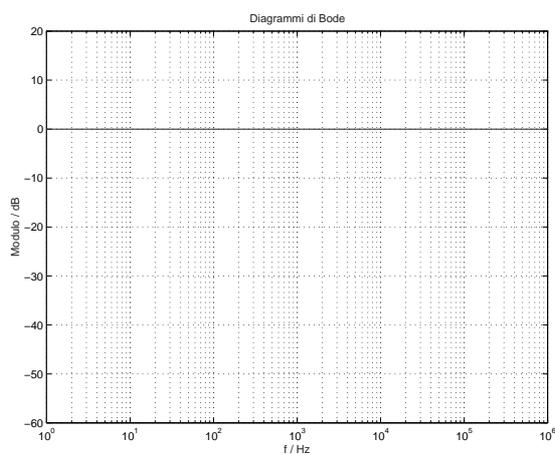


Figura 10: Carta semilogaritmica per il modulo.

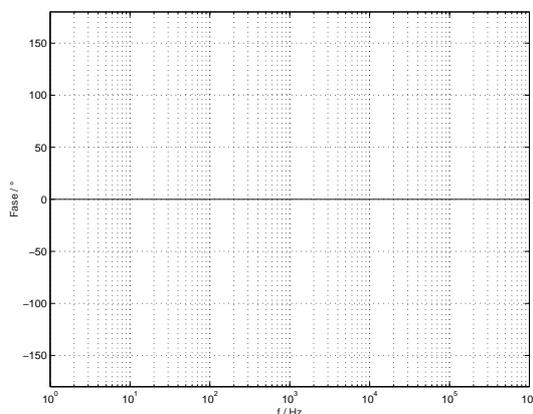


Figura 11: Carta semilogaritmica per la fase.

Il metodo di misurazione utilizza l'oscilloscopio analogico per determinare ampiezza e sfasamento relativo dei segnali presenti ai nodi di ingresso ed uscita del circuito fornito in questa esercitazione (v.fig.8). A seconda della sala di laboratorio sono disponibili differenti generatori di segnali che però presentano *circa* le stesse caratteristiche di base. Al fine di familiarizzare con questi strumenti si accenda l'oscilloscopio analogico e si provi a visualizzare un segnale sinusoidale di ampiezza picco picco $V_{pp} \approx 1\text{ V}$ e frequenza $f \approx 10\text{ kHz}$. Si effettui la misurazione di ampiezza e frequenza utilizzando l'oscilloscopio.

Si osservi che la resistenza di uscita dei generatori di funzione presenta un valore di $50\ \Omega$ mentre la resistenza di ingresso dell'oscilloscopio è di $1\text{ M}\Omega$. In genere il valore letto sul display alfanumerico (se presente) del generatore di funzioni è corretto se il generatore di funzioni è collegato ad un carico, appunto, di $50\ \Omega$. Nel caso in cui il carico sia di $1\text{ M}\Omega$ il segnale visualizzato sull'oscilloscopio ha un'ampiezza di valore doppio. Si verifichi questa affermazione confrontando il valore impostato manualmente con il valore misurato sperimentalmente con l'oscilloscopio. Si colleghi il generatore di segnali al canale CH1 dell'oscilloscopio per mezzo del cavo coassiale BNC-BNC inserendo anche la transizione T e il carico a $50\ \Omega$ (v.fig.9). Il collegamento da effettuare è visibile in fig.12. Si disegni il circuito equivalente del circuito che comprende il generatore di segnali, il carico a $50\ \Omega$ ed il canale d'ingresso dell'oscilloscopio. Trascurando gli effetti capacitivi del cavo e del canale di ingresso dell'oscilloscopio, si determini la funzione di trasferimento tra V_g (tensione del generatore) e V_{in} (tensione presente all'ingresso dell'oscilloscopio). Osservate sull'oscilloscopio cosa accade quando collegate e scollegate il carico a $50\ \Omega$ dalla transizione a T.

Si osservi che ogni generatore di funzioni, sul pannello frontale, ha due



Figura 12: Collegamento del generatore di segnali con l'oscilloscopio in modo da avere il cavo coassiale adattato con un carico di $50\ \Omega$.

connettori BNC: in uno, indicato comunemente con *output*, è presente il segnale predisposto manualmente dall'utente mentre, sull'altro, è presente un segnale ad onda quadra di ampiezza fissa fra 0 V e 5 V la cui frequenza è identica a quella selezionata dall'operatore. Questo segnale è indicato col nome *sync* e serve, per esempio, a sincronizzare la base tempi dell'oscilloscopio. Inviare il segnale precedente al canale *CH1* all'oscilloscopio e il segnale di *sync* al canale *CH2* e si verifichi che i due segnali sono alla stessa frequenza. Si misuri l'ampiezza del segnale di sincronismo.¹

Infine, tra i fogli da utilizzare per la relazione di questa esercitazione, sono disponibili sul banco dei fogli di carta semilogaritmica per disegnare i diagrammi di Bode per il modulo e la fase della funzione di trasferimento dei filtri oggetto di questa esercitazione. Determinate il numero di decadi di frequenza riportate nella carta semilogaritmica.

4 Uso dei generatori di segnali

In questa prima parte dell'esercitazione si richiede allo studente di fare pratica con le numerose modalità d'uso dei generatori di segnali. A tal fine si apra la pagina web del *Ladispe* (<http://ladispe.eln.polito.it/main/home.asp>) e si visualizzi la pagina relativa alle caratteristiche tecniche del generatore di segnali disponibile sul proprio banco. Le pagine sono state estratte dai manuali originali di ciascuno strumento.

¹Nel generatore di funzioni Hameg HM8130 il connettore BNC di sincronismo è nel retro dello strumento.

4.1 Frequenza dei segnali

Si determini, in base ai dati del manuale del generatore di segnali disponibile sul banco di misura, il valore massimo di frequenza che ciascun tipo di segnale (sinusoide, onda quadra, triangolare, etc etc) può raggiungere.

Sempre utilizzando un segnale sinusoidale di ampiezza picco picco $V_{pp} \approx 1$ V e frequenza $f \approx 10$ kHz, si effettui la misurazione della frequenza utilizzando l'oscilloscopio e il multimetro digitale di fig.2 utilizzando quest'ultimo in modalità *misura di frequenza*. Valutate l'incertezza delle due misure utilizzando i dati disponibili nei manuali dell'oscilloscopio e del multimetro. Verificate la compatibilità fra le misure. Ciascun generatore di funzioni dispone di un display alfanumerico sul quale è indicato il valore di frequenza del segnale. Nell'ipotesi che la cifra meno significativa, presente sul display del generatore di segnali, indichi anche l'incertezza assoluta di misura (per esempio se si legge $f = 10.03$ kHz l'incertezza assoluta è di $\delta f = 10$ Hz, si confronti quest'ultima misura con le altre precedentemente effettuate. Verificate nuovamente la compatibilità fra le 3 misure.

4.2 Tipo ed ampiezza dei segnali

Si determini, in base ai dati del manuale del generatore di segnali disponibile sul banco di misura, il valore massimo di ampiezza che ciascun tipo di segnale (sinusoide, onda quadra, triangolare, etc etc) può assumere. Si colleghi il generatore di segnali all'oscilloscopio per mezzo del cavo coassiale (v. fig.6) e si imposti manualmente l'ampiezza del segnale a circa 1 V. Si misuri il valore picco-picco V_{pp} del segnale sinusoidale per frequenze di 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz ed infine in prossimità del valore di frequenza massima disponibile. Riportare queste misure sulla carta semilogaritmica fornita per questa esercitazione utilizzando la scala verticale in modo che ogni divisione corrisponda a 200 mV (anziché in dB). Centrate la scala rispetto all'asse verticale della carta semilogaritmica.

Si ripeta la precedente serie di misure anche per il segnale ad onda quadra.

4.3 Offset

Ciascun generatore di funzioni ha la possibilità di sommare al segnale una componente continua regolabile dall'utente. Si imposti il generatore in modo da avere un segnale sinusoidale di ampiezza $V_p = 1$ V e frequenza $f = 10$ kHz. Si regoli il generatore in modo da ottenere il segnale $w(t)$ come :

$$w(t) = y(t) + V_{dc} \quad (1)$$

con V_{dc} pari a 1 V. Si visualizzi il segnale sull'oscilloscopio e si verifichi cosa accade se il selettore di ingresso dell'oscilloscopio passa dalla modalità DC alla modalità AC. Si ripeta l'esperienza precedente utilizzando $V_{dc} = -0.5$ V.

5 Scheda con filtri passivi RC

La scheda di fig.8 presenta una serie di filtri di vario tipo (passa alto, passa basso, coppia polo-zero, etc etc) utilizzando componenti passivi (resistenze, capacità, induttanze). In questa esercitazione saranno utilizzati i primi due circuiti (passa basso, passa alto).

5.1 Filtro RC passa basso

Il primo filtro è costituito da una resistenza e due capacità. Con l'ausilio delle indicazioni presenti nel sito del *Ladispe* alla voce *Utilities* (si rimanda all'indirizzo web <http://ladispe.eln.polito.it/utilities/utilities.asp>) si valuti il valore di resistenza e capacità presenti nel circuito passa basso. Provate a memorizzare il codice a colori. Si utilizzi il multimetro hp34401a in modalità *misura di resistenza* per verificare i contatti fra i componenti. Verificate se il valore di resistenza, misurato con il multimetro è compatibile con la tolleranza dichiarata dal produttore (5%). Si determini il circuito corrispondente, a seconda della posizione dell'interruttore.

Il circuito è del tipo passa basso: dai valori nominali di R e C, si determini la frequenza di taglio nominale nelle due posizioni dell'interruttore. Per mezzo delle formule di propagazione dell'incertezza, e nell'ipotesi che capacità e resistenza presentino, rispettivamente, una tolleranza del 10% e del 5%, si determini il valore dell'incertezza assoluta e relativa della frequenza di taglio del filtro passa basso.

5.2 Filtro RC passa alto

Come fatto nel punto precedente, si determini il valore nominale di resistenza e capacità presenti nel circuito passa alto. Si utilizzi il multimetro hp34401a (v.fig.2) in modalità *misura di resistenza* per verificare i contatti fra i componenti. Si determini il circuito corrispondente. Il circuito è del tipo passa alto: si determini la frequenza di taglio. Per mezzo delle formule di propagazione dell'incertezze, e nell'ipotesi che capacità e resistenza presentino, in questi circuiti, una incertezza relativa del 10% e del 5%, si determini il valore dell'incertezza assoluta e relativa della frequenza di taglio del filtro passa alto.

6 Risposta nel dominio della frequenza (diagrammi di Bode)

Questa sezione ha come scopo quello di mettere in pratica l'esperienza acquisita con il generatore di funzioni e l'oscilloscopio e misurare la funzione di trasferimento, in modulo e fase, dei filtri visti in 5.1 e 5.2.

6.1 Filtro passa basso

Collegate il canale CH1 dell'oscilloscopio all'ingresso del filtro per mezzo del cavo coassiale BNC-BNC. Si imposti manualmente il generatore di funzioni in modo da avere una sinusoide di ampiezza 0.8 V picco picco alla frequenza di 1 kHz. Collegate l'uscita del filtro al canale CH2 dell'oscilloscopio per mezzo del cavo coassiale BNC-coccodrillo. Impostate il coefficiente di deflessione verticale dell'oscilloscopio, per i due canali di ingresso, sul valore di 200 mV/div. Per quanto riguarda la velocità di scansione orizzontale, impostate il valore più opportuno in modo da visualizzare almeno un periodo del segnale. Con queste impostazioni del generatore di funzioni e dell'oscilloscopio il segnale di ingresso occupa verticalmente le 8 divisioni di cui dispone l'oscilloscopio (sempre che abbiate posizionato il riferimento dello 0 V in centro allo schermo). Posizionate l'interruttore in modo da non collegare il secondo condensatore.

A questo punto occorre variare la frequenza del segnale sinusoidale facendo innanzitutto attenzione che l'ampiezza del segnale di ingresso del filtro, visualizzata sul canale CH1 dell'oscilloscopio, mantenga sempre il valore picco picco di 0.8 V impostato in precedenza. Variate per il momento rapidamente la frequenza della sinusoide da 100 Hz fino a 1 MHz, modificando opportunamente la sensibilità della base tempi in modo da visualizzare pochi cicli di sinusoide: osservate che il segnale di uscita presente sul canale CH2 subisce una attenuazione e, contemporaneamente, uno sfasamento, in ritardo, rispetto al segnale di ingresso. In particolare si noti che l'attenuazione subita dal segnale è molto marcata al di sopra della frequenza di taglio che avete precedentemente stimato.

Misurate ampiezza e fase del segnale di uscita del filtro riportando i risultati delle misurazioni in una tabella in corrispondenza dei valori di frequenza di 100 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 3 kHz, e così via fino ad 1 MHz. La tabella potrebbe essere del tipo:

<i>Frequenza/ kHz</i>	<i>Ampiezza/ mV</i>	<i>Fase/°</i>	$20 \cdot \log \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) / \text{dB}$
0.1			
0.3			
0.5			
1.0			
...			

Infine impostate il valore di frequenza di taglio che avete calcolato per mezzo dei valori nominali dei componenti che compongono il circuito. In corrispondenza di tale frequenza misurate modulo e fase. Per ogni valore di frequenza impostato osservate se l'ampiezza del segnale di ingresso, visualizzato sul canale CH1, non varia al variare della frequenza. In caso contrario, ritoccate manualmente il valore impostato in modo da avere sempre il valore di 0.8 V picco picco.

Una volta trascritti i risultati delle misurazioni di modulo e differenza di fase, riportate (usate il simbolo di asterisco * per i grafici) nella carta semi-logaritmica i valori della tabella. Si ricordi che i risultati delle misurazioni sono affetti da incertezza e dunque non sono dei semplici punti ma delle *croci* che indicano la fascia di incertezza sia dovuta alla misura di ampiezza (bracci verticali della croce) che di frequenza (bracci orizzontali). Inoltre, nella determinazione della funzione di trasferimento, occorre determinare l'incertezza derivante da modulo e fase del segnale di ingresso.

Ripetete tutti i punti affrontati precedentemente cambiando la posizione dell'interruttore. Disegnate sulla carta semilogaritmica i valori misurati con il simbolo di asterisco *. Verificate che la posizione del polo sia congruente con i calcoli effettuati e con la fascia di incertezza stimata.

6.2 Filtro passa alto

Ripetete tutti i punti sviluppati precedentemente (ovviamente senza affrontare il problema della posizione dell'interruttore) disegnando sulla carta semilogaritmica i valori misurati con il simbolo di asterisco *.

7 Risposta nel dominio del tempo (costante di tempo)

Collegate il canale CH1 dell'oscilloscopio all'ingresso del filtro passa basso (interruttore posizionato in modo da avere un solo condensatore) per mezzo del cavo coassiale BNC-BNC. Si imposti manualmente il generatore di funzioni in modo da avere un segnale ad onda quadra di ampiezza 0.8 V picco picco

alla frequenza di 1 kHz. Collegate il canale CH2 dell'oscilloscopio per mezzo del cavo coassiale BNC-coccodrillo. Impostate la sensibilità verticale dell'oscilloscopio, per i due canali di ingresso, al valore di 200 mV/div. Per quanto riguarda la sensibilità della base tempi impostate il valore più opportuno in modo da visualizzare almeno un periodo del segnale.

Con queste regolazioni del generatore di funzioni e dell'oscilloscopio il segnale di ingresso occupa verticalmente le 8 divisioni di cui dispone l'oscilloscopio. Impostate l'oscilloscopio in modo da sganciare la rampa di sincronismo sul fronte positivo ed avere quindi il fronte di salita del segnale di ingresso allineato sulla sinistra dello schermo, in corrispondenza del reticolo inciso su di esso. Si allinei la traccia all'estrema sinistra del reticolo agendo anche sulla manopola \odot *X-POS*. Osservate la risposta del filtro passa basso. Espandete la base tempi in modo da visualizzare *meglio* l'andamento esponenziale e misurate la costante di tempo τ del filtro.

Verificate se $\tau = RC$ e, con le formule di propagazione dell'incertezza, determinate l'incertezza assoluta e relativa. Verificate se la fascia di incertezza, stimata con queste formule, è compatibile con le misurazioni di τ .

Ripetete la misurazione della costante di tempo utilizzando questa volta il filtro passa alto.

8 Copyright

Questa dispensa è di proprietà del Politecnico di Torino e può essere liberamente usata dagli studenti del Politecnico di Torino, ma è vietato qualsiasi uso diverso. Copyright ©2004 - Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi n.24, 10129 - Torino - Italy.

Questa dispensa è stata scritta con L^AT_EX da Giovanni A. Costanzo.