CIRCUITI 3

Laboratorio di Fisica II - CdL in Fisica dell'Università di Milano-Bicocca

Obiettivi generali

L'obiettivo generale di questa esperienza è quello di comprendere il comportamento in frequenza di semplici circuiti RC, RL (Sezione 1)), ed RLC (Sezione 2)), caratterizzandone la risposta in frequenza di ampiezza e fase. Verrà utilizzato un generatore di segnale per stimolare il circuito con una sinusoide di ampiezza nota (V_A), e un oscilloscopio per osservare ampiezza e fase della sinusoide in uscita dal circuito (V_B). Si può osservare che a seconda dei componenti utilizzati e di dove si legge il segnale, il circuito si comporta come un filtro passa basso, passa alto o passabanda.

1 Studio di circuiti RC e RL in corrente alternata

1.1 Prima di arrivare in laboratorio

In relazione alla figura si calcolino le funzioni di trasferimento $\mathbf{V_{A\text{-}B}/V_A}$ e $\mathbf{V_B/V_A}$ per Z=C e Z=L.

1.2 Procedimento

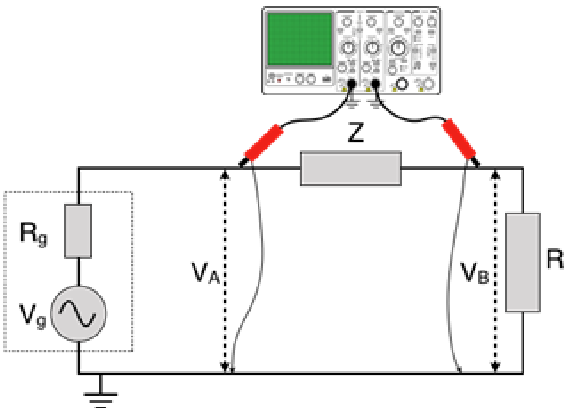


Figura 1: Schema del circuito RC o RL. Il carico Z può essere una capacità C o un'induttanza L.

Si realizzi il circuito come in Figura 1. Al posto di Z mettere un condensatore (poi fare lo stesso con un induttore). Tramite l'Oscilloscopio si misuri:

- L'ampiezza $\mathbf{V_A}$ del segnale $\mathbf{V_A(t)}$
- L'ampiezza $\mathbf{V_B}$ del segnale $\mathbf{V_B(t)}$

- L'ampiezza $\mathbf{V_{B\text{-}A}}$ del segnale differenza $\mathbf{V_A(t)}$ **-** $\mathbf{V_B(t)}$) mediante la funzione "MATH" dello strumento
- La differenza di fase $\Delta\varphi$' tra il segnale di tensione ai capi di Z, cioè $\mathbf{V_A(t)}$ **-** $\mathbf{V_B(t)}$, e $\mathbf{V_A(t)}$
- La differenza di fase $\Delta\varphi$" tra $\mathbf{V_A(t)}$ e $\mathbf{V_B(t)}$

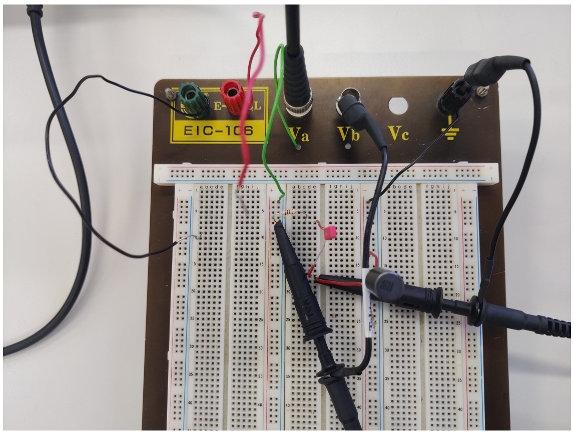


Figura 2: Esempio di come realizzare e collegare un circuito da caratterizzare.

Si raccolgano dati in una tabella al variare della frequenza facendo attenzione a riportare (o convertire opportunamente) grandezze confrontabili tra loro (tensione RMS, picco-picco o ampiezza) e valutando per ciascun dato l'errore associato.

Funzione di trasferimento: si valutino le seguenti funzioni di trasferimento del circuito:

$\mathbf{H}(\omega)$: $\mathrm{V_A} \rightarrow \mathrm{V_{A\text{-}B}}$

- $|\mathrm{H}(\omega)| = |\mathrm{V_{A\text{-}B}}\ /\ {}_{\mathrm{A}}|$
- $\arg\,[\mathrm{H}(\omega)] = \Delta\varphi$'

$\mathbf{H}(\omega)$: $\mathrm{V_A} \rightarrow \mathrm{V_B}$

- $|\mathrm{H}(\omega)| = |\mathrm{V_B}\ /\ \mathrm{V_A}|$
- $\arg\,[\mathrm{H}(\omega)] = \Delta\varphi$"

Si riportino gli andamenti in un grafico (sia su scala lineare che su scala bi-logaritmica per $|\mathrm{H}(\omega)|$. Estrarre il valore di C (L) da un fit alla funzione di trasferimento.

Quale circuito si comporta come un passa-basso e quale come un passa-alto? La frequenza di taglio trovata è coerente con quanto ci si aspetta dai valori di R, L e C dei componenti utilizzati?

1.3 Note

- Verificare che l'ampiezza del segnale misurato dall'oscilloscopio sia coerente con l'ampiezza selezionata nel generatore di segnale.

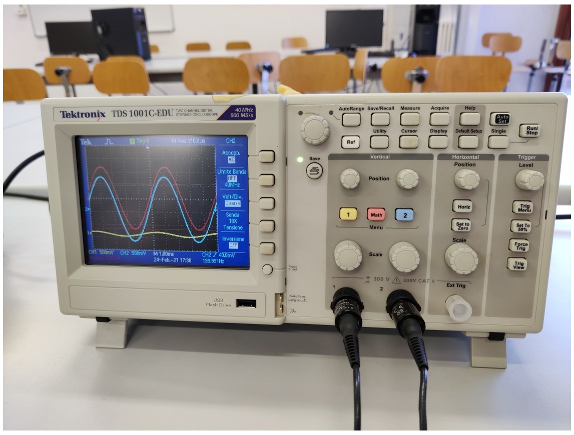


Figura 3: Schermata dell'oscilloscopio con scala dei tempi e delle tensioni correttamente regolate. La sinusoide blu corrisponde a Vin, la sinusoide gialla corrisponde a Vout, la sinusoide rossa corrisponde all'operazione matematica, MATH, Vout - Vin. MATH è'utile per calcolare la caduta di tensione sui componenti che si trovano TRA le due sonde.

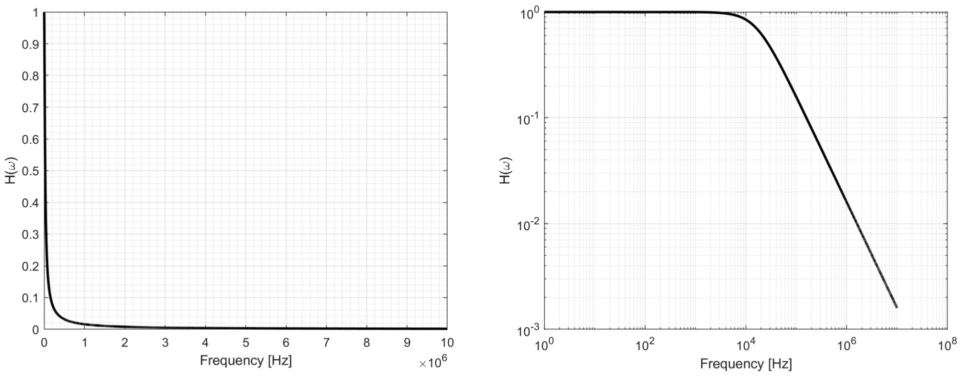


Figura 4: Rappresentazione in scala lineare (sinistra) e logaritmica (destra) della funzione di trasferimento dello stesso circuito RC. Notare come la rappresentazione logaritmica permetta di mostrarne più chiaramente l'andamento.

- Si scelga la resistenza R in modo che sia molto più piccola della resistenza interna dell'Oscilloscopio (che è ∼1 MΩ) ma maggiore della resistenza di uscita del generatore di segnale (50 ω) e una capacità C di valore molto maggiore della capacità d'ingresso dell'Oscilloscopio (che è ∼20 pF).

- L'intervallo di frequenze deve essere tale da mostrare l'andamento atteso della funzione di trasferimento (indicativamente da qualche centinaia di Hz, a circa 150 kHz)

- Si valuti l'influenza della resistenza interna del generatore di funzioni sulle misure effettuate

- Scegliere se riportare nel grafico la pulsazione o la frequenza (soprattutto indicare sempre sul grafico quale delle due grandezze si è rappresentata)

Nel caso in cui la misura di fase non segua l'andamento previsto:

1. Controllare bene i collegamenti

2. Fare attenzione a non aver invertito l'ordine delle due sinusoidi nel computo dei Δt

3. La resistenza non deve essere né troppo piccola (qualche Ohm), né troppo grande (centinaia di migliaia di Ohm)

4. Considerare un range di frequenze "nell'intorno" della frequenza di taglio ($1/(2\pi RC)$ oppure $R/2\pi L$ per i circuiti RC e RL, oppure intorno alla frequenza di risonanza nel caso del circuito RLC, $1/(2\pi\sqrt{LC})$

5. Computare l'andamento previsto tenendo conto della resistenza interna dell'induttanza (da misurare con un multimetro)

1.4 Domande e considerazioni guida per la relazione sull'esperienza di laboratorio

1. Provate a misurare la fase mediante differenze tra massimi e mediante differenze tra passaggi per lo zero. Quale dei due metodi fornisce una misura più precisa? Quale è la relazione tra ampiezza della banda di rumore in tensione (σ_{N}) e risoluzione temporale (σ_{T})?

2. Che relazione c'è tra la forma d'onda $\mathbf{V_A}$ e la forma d'onda del generatore ideale ($\mathbf{V_g}$), ovvero quella impostata sul generatore di funzione?

3. Cosa succede se si scambiano di posizione R e C (oppure R e L)?

4. L'induttanza L ha anche una sua propria resistenza, va considerata? Quanto è importante nelle misure?

La funzione di trasferimento ha lo scopo di caratterizzare completamente il comportamento di un circuito in funzione della frequenza. In altre parole risponde all'esigenza di sapere, in funzione della frequenza, quale è la tensione (o corrente) e la fase in uscita (i.e. su un certo nodo del circuito), quando viene applicata un certa tensione (o corrente) di ingresso. Quindi la funzione di trasferimento dipende da come si scelgono i nodi di ingresso e di uscita (e naturalmente dal riferimento di tensione) 6. Un'onda quadra è costituita da un transiente veloce (la "rampa" di salita o discesa) e da una parte costante nel tempo. In termini di componenti in frequenza il transiente veloce corrisponde a una frequenza molto alta (se si vuole ottenerlo con un tratto di sinusoide servirebbe una sinusoide ad altissima frequenza) mentre la parte costante nel tempo corrisponde a frequenza nulla. Alla luce di queste considerazioni interpretare l'andamento della d.d.p. ai capi di R e C (o R e L) nell'esperienza *Circuiti 2*, pensando a quali frequenze vengono tagliate e quali vengono fatte passare. Mettere in relazione queste considerazioni con il grafico della funzione di trasferimento $\mathbf{V_{A\text{-}B}/V_A}$

2 Funzioni di trasferimento nei circuiti RLC

2.1 Prima di arrivare in laboratorio

In relazione alla figura si calcolino le tre funzioni di trasferimento VR/L/C/VA, dove VR/L/C sono rispettivamente la tensione su R, L, e C

2.2 Procedimento

Si realizzi il circuito come in Figura 5. Si usi un generatore di funzioni per produrre un segnale sinusoidale di frequenza f. Si utilizzi un Oscilloscopio per misurare il segnale

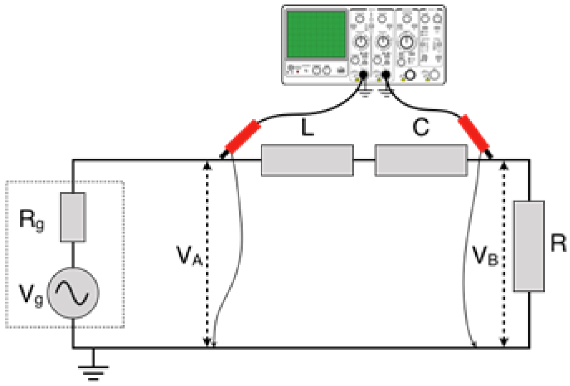


Figura 5: Schema del circuito RLC.

di tensione ai capi delle tre impedenze in modo da costruire la funzione di trasferimento (modulo e fase) caratteristica del circuito nel caso di lettura del segnale su R, su L o su C) Si esegua un fit dei dati ottenuti utilizzando la forma funzionale delle funzioni di trasferimento attese (modulo e fase), ricavando cosi le migliori stime per L e C (R va impostata al valore noto perché il modello può essere sempre scritto con solo tre parametri indipendenti). Si confronti poi il risultato ottenuto con i valori attesi per L e C (p.es. prendendo quelli valutati nelle esperienze precedenti)

2.3 Domande e considerazioni guida per la relazione sull'esperienza di laboratorio

1. La risposta in frequenza misurata su R ha la forma di una risonanza, i.e. ha la forma di una "campana", cosa ne determina la larghezza e l'altezza?

2. Il comportamento in frequenza e nel dominio del tempo di un circuito sono due facce della stessa medaglia. Come si comporta la risposta in frequenza del circuito misurata su R per valori di R che determinano un sistema sottosmorzato, sovrasmorzato o allo smorzamento critico?

2.4 Tips and Tricks

1. La risposta in frequenza misurata su R ha la forma di una risonanza, i.e. ha la forma di una "campana", cosa ne determina la larghezza e l'altezza?

2. Il comportamento in frequenza e nel dominio del tempo di un circuito sono due facce della stessa medaglia. Come si comporta la risposta in frequenza del circuito misurata su R per valori di R che determinano un sistema sottosmorzato, sovrasmorzato o allo smorzamento critico?

3. Come fare per capire in modo intuitivo la risposta in frequenza di un circuito? E' possibile ragionare considerando il comportamento dei vari componenti quando la frequenza tende a zero o tende all'infinito, ovvero quando la frequenza è molto più bassa o molto più alta della frequenza di taglio del circuito. La Figura 6 riporta l'impedenza di resistore, condensatore e induttore al variare della frequenza. Mentre l'impedenza del resistore non dipende dalla frequenza e vale sempre R, un induttore in corrente continua ($f \to 0$) si comporta come un semplice filo, ovvero un corto circuito con impedenza tendente a zero. Al contrario, ad alta frequenza la sua impedenza tenderà all'infinito. Allo stesso modo, un condensatore in corrente continua

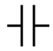
	Impedenza	Comportamento a bassa frequenza	Comportamento ad alta frequenza
	Z = R		
	Z = jωL	Corto Z = 0	Aperto Z = ∞
	Z = 1/(jωC)	Aperto Z = ∞	Corto Z = 0

Figura 6: Impedenza e comportamento asintotico di R, L e C.

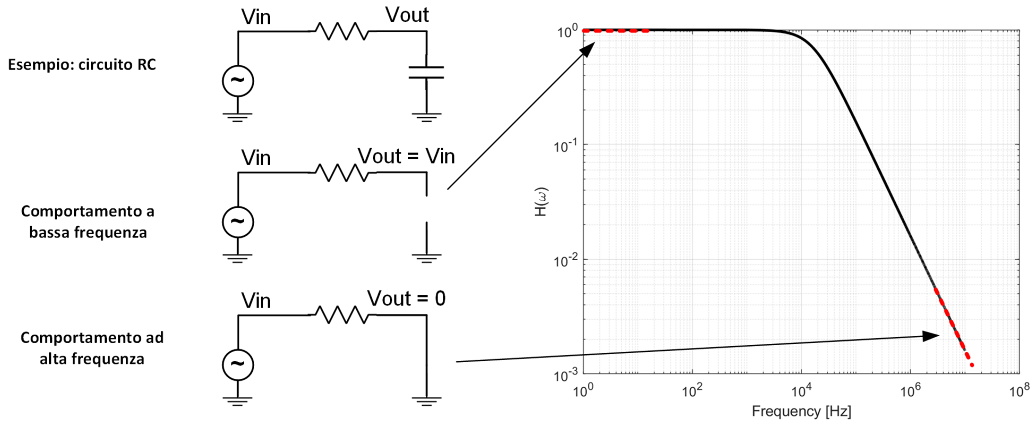


Figura 7: Esempio: comportamento asintotico del circuito RC.

(f $\rightarrow$ 0) è di fatto un conduttore (armature) interrotto da un isolante, e non permette passaggio di corrente (Z tende all'infinito). Al contrario ad alta frequenza si comporterà come un corto circuito (Z $\rightarrow$ 0). La Figura 7 mostra come applicare questo approccio asintotico per ricavare la risposta in frequenza di una rete RC. A bassa frequenza il condensatore si comporta come un aperto, non può quindi passare corrente e la caduta di potenziale su R dev'essere pari a zero, da cui si ottiene che Vout=Vin e $|H(\omega)| = 1$. Per frequenze che tendono all'infinito invece il condensatore si comporta come un corto circuito, Vout è quindi collegata a massa e tende a zero qualsiasi sia il valore di Vin. $|H(\omega)|$ tende quindi a zero. Individuando il comportamento ad alta e bassa frequenza si può capire la natura passa-alto o passa-basso di una qualsiasi rete contenente R-L-C.

Riferimenti bibliografici

[1] Dispense sulle lezioni introduttive disponibili sul sito e-learning.

[2] Dispensa sulle sonde compensate disponibile sul sito e-learning

[3] Mazzoldi, Nigro, Voci. *Fisica. Volume II.* Capitolo 11.

[4] Purcell, Morin. *Electricity and Magnetism.* Capitolo 8.