



**Autore: Francesco Marino**  
<http://www.francescomarino.net>  
[info@francescomarino.net](mailto:info@francescomarino.net)

Esercitazione n. 3

## Misura al variare della frequenza dello sfasamento introdotto da un filtro RC passa-basso

Classe:

Gruppo:

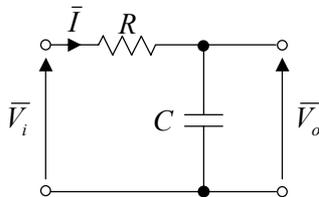
Data	Alunni assenti

### Schema dell'esercitazione

1. Progetto di un filtro RC passa-basso avendo specificato la frequenza di taglio
2. Realizzazione dei collegamenti e disegno dello schema circuitale
3. Calcolo dei valori teorici dello sfasamento introdotto dal filtro al variare della frequenza
4. Misura dello sfasamento introdotto dal filtro al variare della frequenza (regime sinusoidale)
5. Determinazione sperimentale della frequenza di taglio
6. Misura dei componenti
7. Grafici
8. Commenti

Teoria: Vol. 1, par. 8.3.1

### Circuito



### Formule

$$\psi = \varphi_o - \varphi_i = \arctg \frac{f_0}{f} - \frac{\pi}{2} \quad (\psi \text{ in rad.})$$

$\psi$ : sfasamento

$\varphi_o$ : fase iniziale della tensione di uscita

$$\psi = \varphi_o - \varphi_i = \arctg \frac{f_0}{f} - 90^\circ \quad (\psi \text{ in gradi deg.})$$

$\varphi_i$ : fase iniziale della tensione di ingresso

$f$ : frequenza

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$f_0$ : frequenza di taglio

### Dotazione necessaria

1. Generatore di funzioni (g.d.f.)
2. Oscilloscopio a doppia traccia
3. Tre cavi BNC-coccodrillo (oppure due cavi BNC-coccodrillo, un cavo BNC-BNC e una «T» BNC)
4. Tester

## Introduzione alle tecniche di misura dello sfasamento

### A) Metodo del ritardo temporale

I due segnali sinusoidali da esaminare si applicano ai due canali CH1 e CH2 dell'oscilloscopio e si visualizzano contemporaneamente. Noto il periodo  $T$  delle sinusoidi, dalla misura del tempo  $t_r$  che intercorre tra il passaggio attraverso lo zero dei due segnali (fig. 1) è possibile ricavare il valore assoluto dello sfasamento  $\psi$  presente tra i due segnali. Esprimendo quest'ultimo in gradi, vale la proporzione

$$[1] \quad 360^\circ : T = |\psi| : t_r$$

da cui

$$[2] \quad |\psi| = \frac{360^\circ \cdot t_r}{T}$$

Per ottenere il valore dello sfasamento in radianti è sufficiente sostituire  $360^\circ$  con  $2\pi$ .

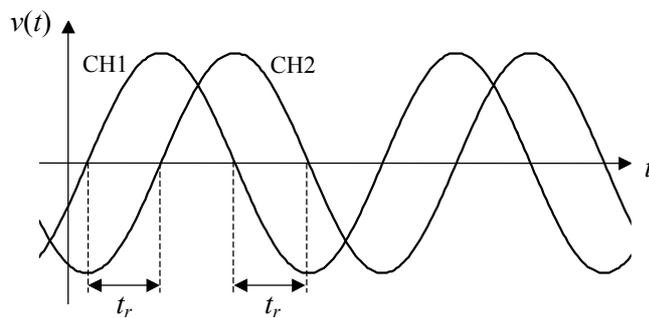


Fig. 1

Al fine di determinare il segno dello sfasamento è necessario stabilire quale dei due segnali si trovi in anticipo di fase rispetto all'altro. Per esempio, se lo sfasamento è stato definito come  $\psi = \varphi_{CH2} - \varphi_{CH1}$  e si rileva che il segnale CH1 si trova in anticipo di fase rispetto al segnale CH2 (come in fig. 1), si dovrà concludere che lo sfasamento  $\psi$  è negativo, mentre sarà positivo in caso contrario. Durante le misurazioni è necessario osservare le seguenti regole:

- Evitare di porre il selettore di sorgente trigger (solitamente contraddistinto dalle posizioni NORM/CH1/CH2) in NORM (caso in cui il segnale di comando trigger è quello applicato alle placche di deflessione). In questo caso infatti possono verificarsi due eventualità: se il selettore d'ingresso è posto in posizione ALT (modalità ALTERNATE per il funzionamento in doppia traccia) si perde la corretta posizione reciproca dei due segnali in quanto la partenza della rampa per lo spostamento orizzontale dello spot è comandata alternativamente dal CH1 e dal CH2; se invece lo stesso selettore è in CHOP (modalità CHOPPED per il funzionamento in doppia traccia) il segnale fornito al trigger risulta troppo complesso con conseguenti difficoltà di visualizzazione.
- Nel caso il periodo  $T$  dei segnali venga misurato mediante oscilloscopio, espandere la scala orizzontale al massimo.
- Prima di misurare il ritardo  $t_r$ , centrare entrambe le tracce rispetto al riferimento orizzontale presente sullo schermo dell'oscilloscopio.
- Misurare il ritardo  $t_r$ , cercando di espandere la scala orizzontale nei limiti del possibile, eventualmente agendo sul comando LEVEL/SLOPE per spostare nell'area visibile la zona utile per la misura.

### B) Metodo delle figure di Lissajous

I due segnali sinusoidali da esaminare si applicano ai due canali CH1 e CH2 dell'oscilloscopio e si porta quest'ultimo in modalità X-Y (canale CH1 sull'asse X e canale CH2 sull'asse Y) agendo sugli opportuni selettori. In questo caso, dopo aver selezionato le scale appropriate per la visualizzazione orizzontale e verticale, si formano sullo schermo delle figura di forma ellittica (o in casi particolari segmenti o cerchi)

dette figure di Lissajous, mediante le quali è possibile misurare lo sfasamento presente tra i due segnali in esame. Con riferimento alla fig. 2, dalla misura di  $A$  e  $B$ , ottenuta dopo aver centrato l'immagine rispetto all'asse verticale, è possibile risalire al valore assoluto dello sfasamento  $\psi$  mediante la seguente relazione:

$$[3] \quad |\psi| = \arcsen(B/A)$$

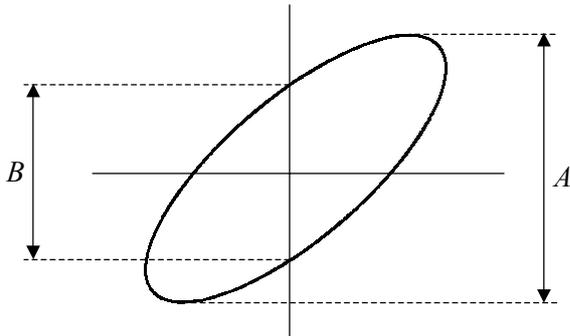


Fig. 2

E' necessario osservare che il metodo descritto non consente la determinazione del segno di  $\psi$ . Oltre a ciò il calcolo di  $|\psi|$  fornisce sempre valori compresi tra  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , anche quando in effetti lo sfasamento ha un modulo compreso tra  $90^\circ$  e  $180^\circ$ . Dal tipo di figura visualizzata è possibile però determinare se sia necessario o meno aggiungere  $90^\circ$  al valore calcolato. Con riferimento alla fig. 3 si hanno i seguenti casi:

- $\psi = 0^\circ$  (segnali in fase)
- $0^\circ < |\psi| < 90^\circ$
- $|\psi| = 90^\circ$  (segnali in quadratura di fase)
- $90^\circ < |\psi| < 180^\circ$
- $\psi = 180^\circ$  (segnali in controfase)

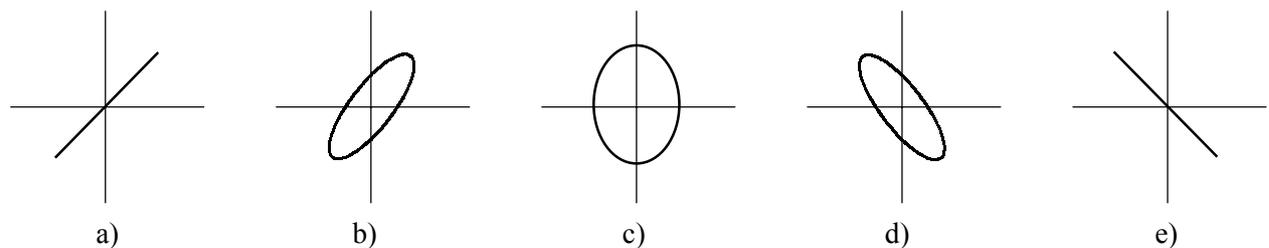


Fig. 3

Per quanto riguarda gli aspetti pratici delle misure si può osservare che:

- Dato che è possibile fissare il valore di  $A$  arbitrariamente è opportuno, per avere la massima precisione nella misura, fissare  $A$  al massimo valore, pari a 8 divisioni.
- E' sufficiente misurare  $A$  e  $B$  in divisioni in quanto tali quantità vanno a costituire un rapporto e ciò rende superflua la moltiplicazione di entrambe le grandezze per lo stesso fattore di scala.
- Al fine di fissare  $A$  è sufficiente porre il selettore d'ingresso del CH1 su GND e portare il segmento verticale che viene visualizzato sull'asse centrale.
- Al fine della misura di  $B$  può essere utile espandere la scala del CH1 in modo tale da poter meglio valutare le intersezioni dell'ellisse con l'asse verticale.

## Svolgimento

Nota: i valori teorici sono contraddistinti dal pedice  $T$ , mentre i valori sperimentali sono contraddistinti dal pedice  $S$

1) Scegliere i valori di  $R_T$  e  $C_T$  in modo da ottenere una frequenza di taglio  $f_{0T}$  compresa tra 1 e 10 kHz (suggerimento: dato che di norma i valori disponibili di capacità sono pochi scegliere prima  $C_T$  e poi  $R_T$ ).

Calcoli per la determinazione di  $R_T$  e  $C_T$

$R_T =$

$C_T =$

$f_{0T} =$

2) Montare su breadboard il filtro e realizzare i collegamenti con il g.d.f. e l'oscilloscopio. Collegare il g.d.f. all'ingresso del filtro e i canali 1 e 2 dell'oscilloscopio rispettivamente all'ingresso e all'uscita del filtro. Per quanto riguarda la disposizione delle masse si rimanda all'esercitazione n. 2. Disegnare lo schema completo di g.d.f. e oscilloscopio (rappresentare i cavi mediante una linea bipolare); per quanto riguarda la rappresentazione di g.d.f. e oscilloscopio si rimanda all'esercitazione n. 2.

Schema circuitale

3) Calcolare (approssimando a tre cifre significative) e riportare in tabella i valori teorici dello sfasamento  $\psi_T$  in gradi degni introdotto dal filtro in funzione della frequenza.

$f$ (kHz)	$\psi_T$
1	
2	
5	
10	
20	
50	
100	
200	
500	
1.000	
2.000	

4a) Misurare con il metodo del ritardo temporale i valori dello sfasamento in funzione della frequenza e riportare i valori in tabella. Per quanto riguarda la determinazione di  $T$  può considerato sufficientemente preciso il valore di frequenza indicato dal g.d.f, il cui inverso è pari al periodo dei segnali; se si vuole una precisione maggiore il valore del periodo deve essere verificato all'oscilloscopio, variando in maniera fine la frequenza per ottenere il valore di  $T$  desiderato. Si ricorda l'opportunità di estendere al massimo la scala orizzontale dell'oscilloscopio in modo tale da ottenere la migliore precisione della misura. Nelle colonne " $T$ ", "scala" e " $t_r$ " devono essere riportate, per ciascuna misura, le unità di misura. Attendere l'insegnante per il controllo delle prime misure effettuate.

$f$ (kHz)	$T$	$n$ (div)	scala	$t_r$	$\psi_{S1}$
1					
2					
5					
10					
20					
50					
100					
200					
500					
1.000					
2.000					

} misura di  $t_r$

4b) Misurare con il metodo delle figure di Lissajous i valori dello sfasamento in funzione della frequenza e riportare i valori in tabella. Si ricorda l'opportunità di fissare  $A$  a 8 divisioni per tutte le misure.

$f$ (kHz)	$A$ (div)	$B$ (div)	$\psi_{S2}$
1			
2			
5			
10			
20			
50			
100			
200			
500			
1.000			
2.000			

5a) Misurare con il metodo del ritardo temporale la frequenza di taglio del filtro. Partendo dal valore teorico, variare la frequenza finché non si abbia  $\psi = -45^\circ$ , il che si verifica se  $t_r = (1/8)T$ :

$$|\psi_0| = \frac{360^\circ \cdot (1/8)T}{T} = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ$$

Misurare quindi il periodo  $T_{0S1}$  e calcolare  $f_{0S1}$ . Si ricorda l'opportunità di estendere al massimo la scala orizzontale in modo tale da ottenere la migliore precisione nella misura del periodo.

$$t_r = \quad T_{0S1} = \quad f_{0S1} =$$

5b) Misurare con il metodo delle figure di Lissajous la frequenza di taglio del filtro. Partendo dal valore teorico, variare la frequenza finché non si abbia  $\psi_S = -45^\circ$ , il che si verifica se  $A = 8$  div e  $B = 5,6$  div:

$$|\psi| = \arcsen(5,6/8) = \arcsen(0,7) = 45^\circ$$

Misurare quindi il periodo  $T_{0,52}$  e calcolare  $f_{0,52}$ . Si ricorda l'opportunità di estendere al massimo la scala orizzontale in modo tale da ottenere la migliore precisione nella misura del periodo.

$$T_{0,52} = \quad \quad \quad f_{0,52} =$$

6) Misurare con un tester il valore della resistenza. Determinare quindi, sulla base della resistenza misurata e della frequenza di taglio sperimentale  $f_{0S}$  (uno dei due valori misurati), il valore della capacità. Calcolare il valore degli scarti in percentuale rispetto ai valori nominali verificando se tali scarti rientrano nelle tolleranze previste.

$$R_S = \quad \quad \quad \text{scarto percentuale} =$$

$$C_S = \quad \quad \quad \text{scarto percentuale} =$$

7) Riportare su carta semilogaritmica con due colori distinti l'andamento di  $\psi_T$  e di  $\psi_S$  (da una delle due tabelle costruite con i due metodi) al variare della frequenza.

8) Commentare i risultati ottenuti, ipotizzando in particolare le cause delle discordanze tra la curva teorica e quella sperimentale e tra i risultati sperimentali ottenuti con i due metodi.

Commenti