

Corso di Laurea in Scienza dei Materiali  
*Laboratorio di Fisica II*

**ESPERIENZA AC2**

***Circuiti in corrente alternata***

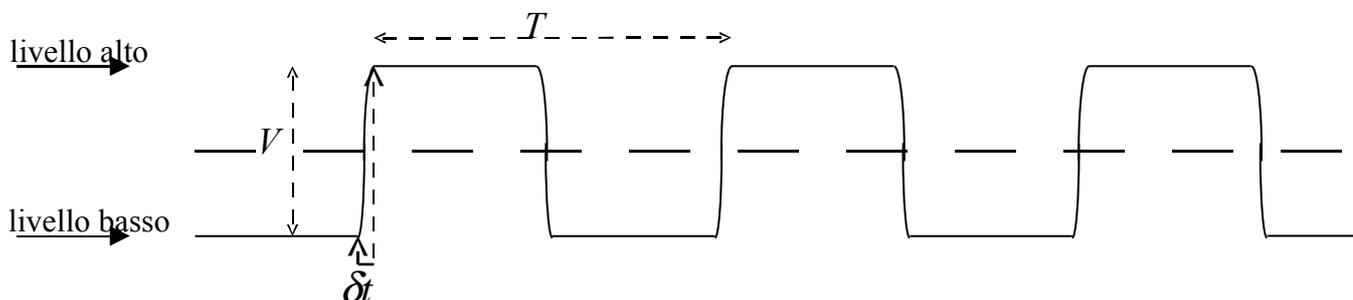
**Scopo dell'esperienza:**

1. Uso di un generatore di funzioni (onda quadra e sinusoidale);
2. caratterizzazione di un'onda quadra;
3. risposta di un circuito RC ad un'onda quadra, circuito derivatore ed integratore;
4. risposta di un circuito RC ad un'onda sinusoidale: filtro passa basso e passa alto;

**Richiami teorici**

Onda quadra

L'onda quadra è caratterizzata dai seguenti parametri (vedi figura):



- $T$  è il periodo, cioè il tempo fra una transizione tra livello basso e livello alto e la transizione successiva (oppure la transizione inversa); se l'onda è effettivamente quadra, il livello di tensione permane al valore basso per  $T/2$  e al valore alto per  $T/2$ ;
- $\delta t$  è il tempo di transizione fra i due livelli di tensione. Questo tempo dipende dalla "qualità" del generatore di funzioni e dell'oscilloscopio: per gli strumenti che avete a disposizione,  $\delta t$  è circa 20 ns. Il suo inverso è una frequenza, pari a circa 50 MHz, che viene chiamata "banda passante" dello strumento;
- $V$  è l'altezza del gradino di potenziale, cioè la differenza fra il livello basso e il livello alto. Da notare che il potenziale nullo generalmente cade a metà fra il livello basso e quello alto: se ciò non succede, si può operare sul cosiddetto "offset" dell'onda (posizione verticale), anche se la posizione del valor medio non è rilevante ai fini delle misure che dovrete fare.

## Circuito RC: risposta ad un'onda quadra

Inviando l'onda quadra in un circuito  $RC$ , la transizione segue una legge esponenziale; la corrente che "attraversa" il resistore ed il condensatore collegati in serie varia nel tempo secondo la legge:

$$I(t) = I_0 e^{(-t/\tau)} \quad (1)$$

dove il tempo caratteristico (costante di tempo del circuito)  $\tau$  vale:

$$\tau = RC \quad (2)$$

e  $I_0 = V/R$ , dove  $V$  e' l'altezza del gradino di potenziale.

La caduta di potenziale ai capi del resistore sara' data, istante per istante, dalla legge di Ohm:

$$V_R(t) = RI(t) .$$

La caduta di potenziale ai capi del condensatore cresce con continuita' dal valore iniziale, nullo come caso particolare, al valore  $V$  dell'altezza del gradino di potenziale:

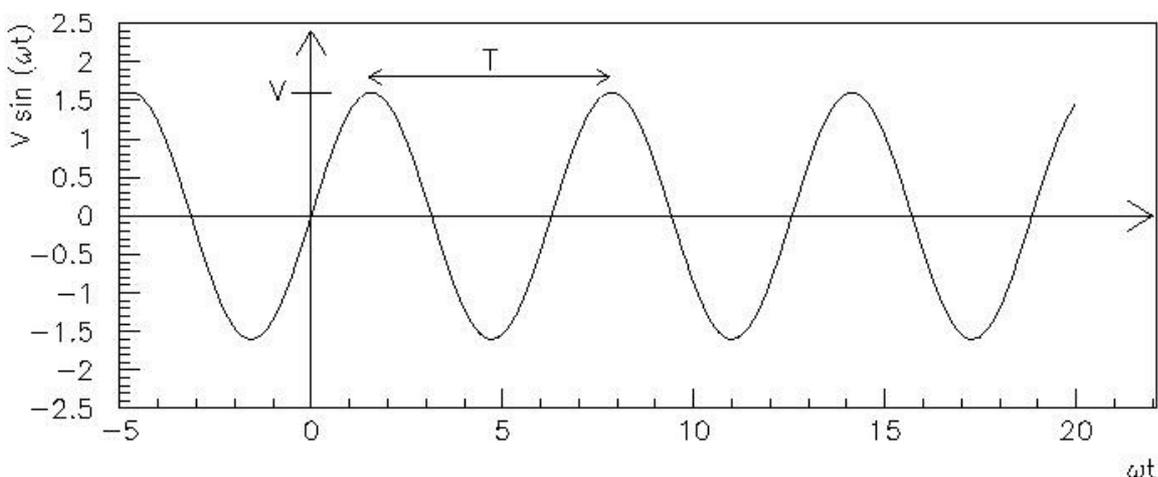
$$V_C(t) = V(1 - e^{(-t/\tau)}) \quad (3)$$

Quando la durata del livello alto (o basso),  $T/2$  e' molto maggiore di  $\tau$ , la tensione ai capi del resistore rappresenta la derivata dell'impulso di ingresso: si parla allora di CIRCUITO DERIVATORE.

Quando la durata del livello alto (o basso),  $T/2$  e' molto minore di  $\tau$ , la tensione ai capi del condensatore rappresenta l'integrale dell'impulso di ingresso: si parla allora di CIRCUITO INTEGRATORE.

## Onda sinusoidale

L'onda sinusoidale e' caratterizzata dai seguenti parametri (vedi figura):



- $T$  è il periodo della sinusoide, cioè il tempo dopo il quale la forma d'onda riassume lo stesso valore e la stessa derivata; esso è legato al valore della frequenza dalla relazione:

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{(2\pi)}{\omega} ;$$

- $V$  è l'ampiezza della sinusoide.

### Circuito RC: risposta ad un'onda sinusoidale (filtri PB e PA)

Inviando un'onda sinusoidale in ingresso ad un circuito RC in serie,  $v_i = V \sin(\omega t) = V$ , dove l'ultimo valore è la rappresentazione complessa della tensione qualora si consideri la sua fase iniziale come fase di riferimento, la tensione in uscita, prelevata ai capi del condensatore risulta avere modulo e fase (rispetto a  $v_i$ ):

$$V_u = \frac{V_i}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \quad \text{e} \quad \text{tg } \phi_u = -\omega \tau \quad (4)$$

Si definisce FUNZIONE DI TRASFERIMENTO del circuito la quantità  $G = \frac{V_u}{V_i}$ ; il modulo di tale quantità è il GUADAGNO del circuito:

$$|G| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \quad (5)$$

Per esso valgono le relazioni:  $\lim_{\omega \rightarrow 0} |G| = 1$  e  $\lim_{\omega \rightarrow \infty} |G| = 0$ . Il circuito si comporta cioè come un FILTRO PASSA BASSO: esso lascia passare le frequenze basse, senza praticamente modificare le ampiezze corrispondenti, e deprime sempre più fortemente le ampiezze delle frequenze al di sopra di un VALORE DI TAGLIO:

$$\omega_t : |G| = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow \omega_t = \frac{1}{\tau} \quad (6)$$

La fase della funzione di trasferimento è:  $\text{tg } \phi_G = -\omega \tau$ .

Prelevando, invece, la tensione di uscita ai capi della resistenza si ha:

$$V_u = \frac{V_i \omega \tau}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \quad \text{e} \quad \text{tg } \phi_u = \frac{1}{\omega \tau} \quad (7)$$

il GUADAGNO del circuito risulta :

$$|G| = \frac{\omega \tau}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \quad (8)$$

Per esso valgono le relazioni:  $\lim_{\omega \rightarrow 0} |G| = 0$  e  $\lim_{\omega \rightarrow \infty} |G| = 1$ . Il circuito si comporta cioè come un FILTRO PASSA ALTO: esso lascia passare le frequenze alte, senza

praticamente modificare le ampiezze corrispondenti, e deprime sempre più fortemente le ampiezze delle frequenze al di sotto di un VALORE DI TAGLIO:

$$\omega_t : |G| = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow \omega_t = \frac{1}{\tau} \quad (9)$$

La fase della funzione di trasferimento è:  $\text{tg } \phi_G = \frac{1}{\omega \tau}$ .

## Attività sperimentale

### E1. Caratteristica dell'onda quadra

Impostate sul generatore di funzioni un'onda quadra, con una frequenza maggiore di 10 kHz, esaminatela all'oscilloscopio e determinate il valore di  $\delta t$ . Se non riuscite ad apprezzarlo, determinate almeno il limite superiore che potete porre a  $\delta t$ .

Ripetete la misura con un diverso valore di frequenza.

### E2. Risposta di un circuito RC ad un'onda quadra

Fate passare il segnale del generatore di funzioni,  $V_{in}$ , attraverso una resistenza e un condensatore in serie, con  $R$  a scelta e  $C \sim 220$  nF.

Prelevate  $V_{out}$  ai capi della resistenza. Impostate sul generatore di funzioni un'onda quadra e variate la frequenza  $\nu$ ; osservate il variare della forma d'onda in uscita al variare della frequenza e fermatevi quando essa mostri chiaramente l'andamento esponenziale previsto dall'eq. (1). Tracciate il grafico della forma d'onda in salita e discesa per tale valore di  $\nu$  e per due altre diverse frequenze, indicando i valori di  $\nu$  e  $R$  e spiegando perché, con tali valori, si ottiene la forma d'onda osservata. Indicate a partire da quale valore di frequenza il circuito si comporta come un DERIVATORE e giustificate il perché.

Prelevate poi  $V_{out}$  ai capi della capacità. Variate la frequenza dell'onda ed osservate il variare della forma d'onda in uscita, fino ad ottenere in uscita un'onda triangolare; tracciate il grafico della forma d'onda in salita e discesa per 3 diversi valori di frequenza, specificando i valori di  $\nu$  e di  $R$  usati; indicate per quali valori si ottiene una forma d'onda triangolare e spiegate il perché.

### E3 Risposta di un circuito RC ad un'onda sinusoidale

Scegliete una combinazione di resistori tali da dare una  $R_{eq} \approx 15-20$  k $\Omega$  ed un condensatore di capacità  $C = 1$  nF.

Misurate i valori di  $R$  con l'ohmetro e di  $C$  servendovi della apposita sezione del multimetro a disposizione.

Disponeteli in serie e chiudete il circuito sul generatore di funzioni, sul quale impostate una forma d'onda sinusoidale, con ampiezza  $V_i \approx 1$  V :

Visualizzate su uno dei due canali dell'oscilloscopio la forma d'onda in ingresso al circuito.

Calcolate la costante di tempo  $\tau$  del circuito RC realizzato e la frequenza di taglio  $\nu_t$  del vostro circuito

Impostate sul generatore di funzioni una frequenza circa pari a  $\nu_t/3$ , che misurerete sull'oscilloscopio, ed inviate sull'altro canale dell'oscilloscopio la tensione ai capi del condensatore,  $V_u$ , dopo averla sdoppiata; per tale frequenza misurate l'ampiezza del segnale di uscita,  $V_u$ , il guadagno  $G=V_u/V_i$  lo sfasamento di questo rispetto al segnale di ingresso,  $\phi_u$  e calcolate la  $\text{tg } \phi_G$ . Ripetete la misura per  $\nu_t/2$ ,  $\nu_t 2/3$ ,  $\nu_t 5/6$ ,  $\nu_t$ ,  $\nu_t 7/6$ ,  $\nu_t 4/3$ ,  $\nu_t 3/2$ ,  $\nu_t 5/3$ ,  $2\nu_t$ ,  $3\nu_t$  e riportate tutti i risultati in una tabella.

Riportate in un grafico su carta millimetrata l'andamento di  $|G|$  (con errore!) in funzione della frequenza e spiegate il comportamento del circuito come FILTRO PASSA BASSO. Sovrapponetevi ai punti sperimentali i punti calcolati con la curva (5) ottenuta sostituendo a  $\tau$  e  $\omega$  i valori misurati da voi e verificate se essi concordano con i valori misurati entro gli errori.

Riportate in un grafico l'andamento di  $\text{tg } \phi_G$  in funzione della frequenza; riportate sui punti sperimentali i punti calcolati tramite la curva teorica espressa nella (4) e verificate qualitativamente l'accordo con i dati sperimentali.

Controllate che la frequenza di taglio che si ricava dai punti sperimentali sia in accordo con il valore calcolato.

Ripetete le misure eseguite considerando ora come segnale di uscita  $V_u$  la tensione ai capi del resistore.

Riportate in un grafico l'andamento di  $|G|$  (con errore!) in funzione della frequenza e spiegate il comportamento del circuito come FILTRO PASSA ALTO. Riportate sui punti sperimentali i punti calcolati con la curva (5) e verificate se essa concorda con i valori misurati entro gli errori.

Riportate in un grafico l'andamento di  $\text{tg } \phi_G$  in funzione della frequenza; riportate sui punti sperimentali i punti calcolati tramite la curva teorica espressa nella (4) e verificate qualitativamente l'accordo con i dati sperimentali.

Controllate che la frequenza di taglio che si ricava dai dati sperimentali sia in accordo con il valore calcolato e verificate che le due frequenze di taglio misurate per i due filtri siano compatibili.