

Corso di Laurea in Scienza dei Materiali
Laboratorio di Fisica II

ESPERIENZA AC2

Circuiti in corrente alternata

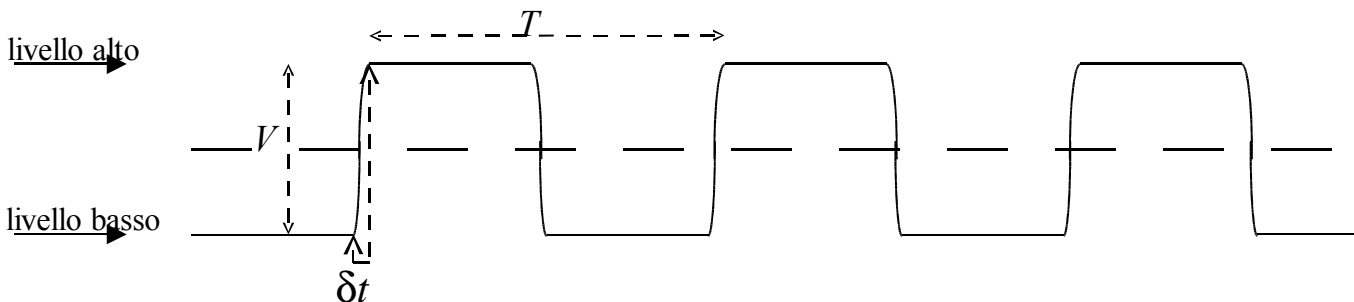
Scopo dell'esperienza:

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;
5. misura della caratteristica I/V di un diodo;
6. risposta di un diodo ad un'onda sinusoidale, circuito raddrizzatore, squadratore e livello di continua

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 $T/2$;
- δt 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, δt 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, 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) τ 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:

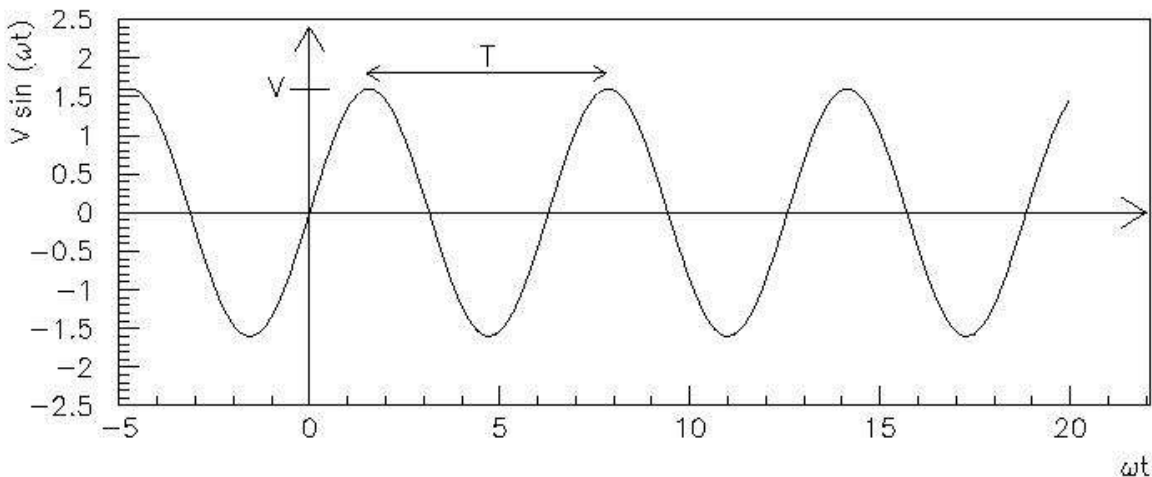
$$V_C(t) = V(1 - e^{(-t/\tau)}) \quad (3)$$

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

Onda sinusoidale

L'onda sinusoidale è 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 e' 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):

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

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:

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

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:

$$\omega_t : |G| = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow \omega_t = \frac{1}{\tau} \quad (3)$$

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:

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

il GUADAGNO del circuito risulta:

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

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:

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

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

Conduttori non ohmici: Diodi

Ricordiamo che la relazione fra tensione e corrente nel caso di una giunzione p-n non è lineare ma esponenziale:

$$I = I_0 (e^{q_e V / \eta k_B T} - 1) \quad (7)$$

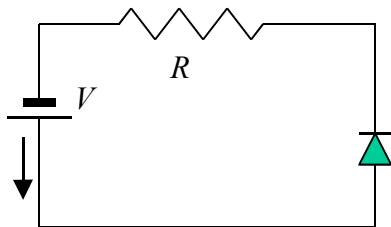
dove η è una costante numerica che dipende dal diodo e vale circa 1.5, k_B è la costante di Boltzmann (pari a $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ ovvero $8.5 \cdot 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$) e q_e è la carica dell'elettrone. Il potenziale V è inteso positivo per polarizzazione diretta. Dato che I_0 è molto piccolo, si inizia ad avere correnti apprezzabili, con i diodi normali, per tensioni applicate superiori a 0.6-0.7 V,

con potenziale del lato p della giunzione maggiore di quello del lato n. Si dice in tal caso che il diodo e' in conduzione ed esso mantiene ai suoi capi una tensione costante pari a 0.7 V qualunque sia il valore della corrente che lo attraversa.

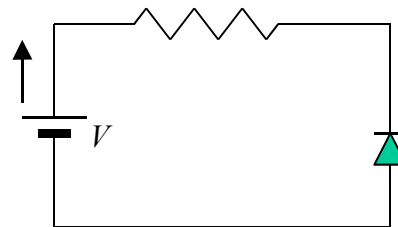
Applicando invece alla giunzione una differenza di potenziale V tale che il lato **p** sia a potenziale più basso del lato **n**, cioè V sia negativo (polarizzazione "inversa"), il passaggio degli elettroni dal lato **n** al lato **p** della giunzione e quello delle buche in senso inverso sono ulteriormente ridotti per cui, come si vede dalla (7), la corrente è negativa ma così piccola da non essere rivelabile con un normale amperometro. Si dice in tal caso che il diodo non conduce: esso si comporta come se la sua resistenza fosse infinita.

Nella figura sono esemplificati due semplici circuiti, in polarizzazione diretta e inversa. Ricordiamo che negli schemi dei circuiti elettrici il diodo viene indicato con un simbolo formato da una barra e un triangolo, con il lato **p** della giunzione associato al triangolo (ossia la corrente circola nella direzione indicata dalla punta del triangolo).

Polarizzazione diretta



Polarizzazione inversa



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 δt . Se non riuscite ad apprezzarlo, determinate almeno il limite superiore che potete porre a δt .

$$\delta t = (\quad \pm \quad) \text{ s}$$

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 $C = 220 \text{ nF}$.

Prelevate V_{out} ai capi della resistenza. Impostate sul generatore di funzioni un'onda quadra e variate la frequenza; osservate il variare della forma d'onda in uscita al variare della frequenza e fermatevi quando essa mostri chiaramente l'andamento esponenziale aspettato dall'eq. (1). Tracciate il grafico della forma d'onda in salita e discesa per tale valore di R e per due altre diverse frequenze, indicando i valori di ω 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 ω 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 capacita' $C = 1 nF$.

Misurate i valori con l'ohmetro e servendovi della apposita sezione del multimetro a disposizione, rispettivamente:

$$R_{eq} = (\quad \pm \quad) k\Omega$$

$$C = (\quad \pm \quad) nF$$

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

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

Calcolate la costante di tempo del circuito RC realizzato:

$$\tau = (\quad \pm \quad) s$$

Calcolate la frequenza di taglio del vostro circuito:

$$f_t = (\quad \pm \quad) Hz$$

Impostate sul generatore di funzioni una frequenza circa pari a $f_t/6$, che verificherete 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 , e lo sfasamento di questo rispetto al segnale di ingresso, ϕ_u . Riempite la seguente tabella.

f_{th}	v_{reale} (Khz)	V_u (mV)	G	$\phi_u = \phi_G$	tg ϕ_G
$f_t/6$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t/3$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t/2$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 2/3$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 5/6$	\pm	\pm	\pm	\pm	
f_t	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 7/6$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 4/3$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 3/2$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 5/3$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 2$	\pm	\pm	\pm	\pm	

Riportate in un grafico l'andamento di $|G|$ (con errore!) in funzione della frequenza e spiegate il comportamento del circuito come FILTRO PASSA BASSO. Riportate sui punti sperimentali la curva (2) 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 la curva teorica espressa nella (1) 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.

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

f_{th}	v_{reale} (Khz)	V_u (mV)	$ G $	$\phi_u = \phi_G$	$\text{tg } \phi_G$
$f_t/3$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t/2$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 2/3$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 5/6$	\pm	\pm	\pm	\pm	
f_t	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 7/6$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 4/3$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 3/2$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 5/3$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 2$	\pm	\pm	\pm	\pm	
$f_t 3$	\pm	\pm	\pm	\pm	

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 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 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.

E4 Caratteristica $I-V_D$ del diodo

Misurate la caratteristica $I-V_D$ del diodo: alimentate il diodo in corrente continua, inserendo per protezione una resistenza in serie di circa $500\ \Omega$. Applicate ai capi del diodo tensioni comprese tra $0.2\ \text{V}$ e $0.8\ \text{V}$, in modo da riempire la tabella seguente.

$V_D\ (V)$	$I\ (mA)$
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±
±	±

Riportate la caratteristica in un grafico e individuate i principali tratti della caratteristica, che corrispondono a diversi ordini di grandezza della resistenza del diodo ($>10\text{k}\Omega$, fra $10\text{k}\Omega$ e $1\ \text{k}\Omega$, fra $1\text{k}\Omega$ e 100Ω , $<100\Omega$).

E5. Circuiti raddrizzatori

In questa e nelle seguenti misure, utilizzate in ingresso un'onda sinusoidale, di ampiezza pari a circa 2V, frequenza intorno a 10 kHz e una resistenza R di 1k.

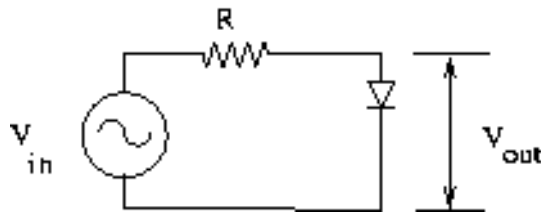
Per ciascun circuito, riportate sul quaderno lo schema elettrico e il grafico della V_{in} e V_{out} in funzione del tempo, da cui si capisca l'andamento.

Scrivete anche esplicitamente i massimi e minimi valori di V_{out} rilevati.

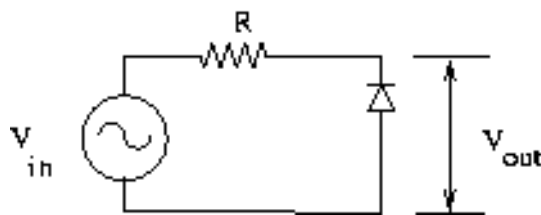
Spiegate a parole il perché dell'andamento osservato, facendo riferimento ai diversi valori che assume la resistenza del diodo al variare di V_D (che avete determinato al punto E4).

Spiegate anche perché il circuito si comporta da "raddrizzatore".

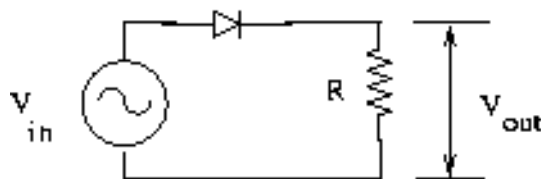
Circuito a)



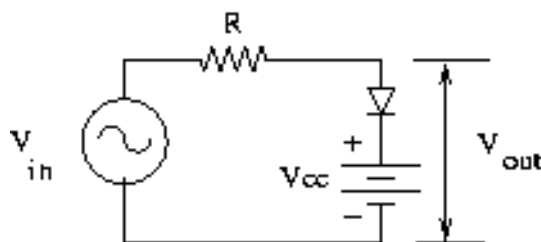
Circuito b)



Circuito c)



Circuito d)



Nel circuito **d)**, V_{cc} rappresenta una tensione continua: aumentate gradatamente a partire dal valore 0 (per il quale dovete ritrovare la situazione del circuito **a)**) fino a circa 1V e descrivete come cambia la V_{out} .

E6. Circuiti squadratori

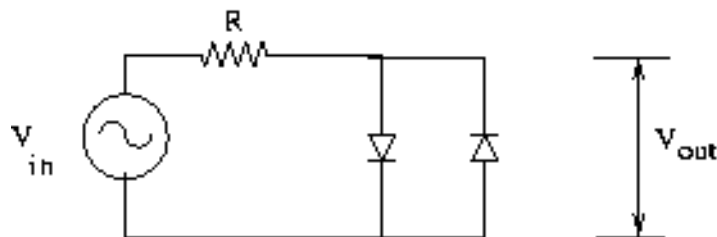
Realizzate i due circuiti qui sotto rappresentati. Nel circuito **f**), V_{cc} rappresenta una tensione continua: aumentate gradatamente a partire dal valore 0 (per il quale dovete ritrovare la situazione del circuito **e**)) fino a circa 1V.

Per ciascun circuito, riportate sul quaderno lo schema elettrico e il grafico della V_{in} e V_{out} in funzione del tempo, da cui si capisca l'andamento.

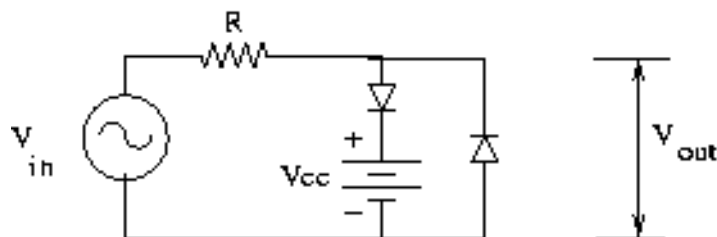
Scrivete anche esplicitamente i massimi e minimi valori di V_{out} rilevati.

Spiegate a parole il perché dell'andamento osservato. Spiegate anche perché il circuito si comporta da "squadratore".

Circuito e)



Circuito f)



E7. Livello di "continua"

Questo circuito è simile al circuito **c**) realizzato prima, funziona cioè da semplice raddrizzatore se il valore di C è piccolo. In realtà ciò che importa non è tanto il valore di C in sé, ma il valore di RC e della frequenza che state inviando nel diodo.

Cercate di scoprirlo variando la frequenza e illustrate sul quaderno come è possibile, con una opportuna frequenza, ottenere un livello di tensione continua.

Oltre a determinare il livello medio di potenziale continuo, determinate anche, per almeno due diversi valori di C , il "ripple", cioè le variazioni in positivo e negativo del potenziale intorno al valor medio.

