

Esperimento 4:
**Verifica di carica e scarica del condensatore
e costruzione della caratteristica tensione-corrente
di un conduttore non ohmico**

Esperienza 1: Verifica di carica e scarica del condensatore

Lo scopo dell'esperimento è verificare la carica e la scarica del condensatore.

Strumenti e materiali

- Oscilloscopio;
- Condensatore;
- Breadboard;
- Resistenza;
- Multimetro (utilizzato come ohmetro);
- Sonde;
- Cavi.

Premessa teorica

Bisogna considerare un conduttore carico, sferico e isolato: il suo potenziale è costante in tutti i punti. Accanto a questo, bisogna porre un altro conduttore scarico, sferico e isolato. Il secondo conduttore si carica negativamente nella parte vicina all'altra sfera e positivamente in quella più lontana, grazie al fenomeno dell'induzione elettrostatica.

Il potenziale al centro della sfera è:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{Q}{R}$$

Visto che sono presenti cariche negative sul secondo conduttore, la carica complessiva e il potenziale diminuiscono.

Le cariche positive, invece, si trovano più lontane dalla sfera: i contributi di queste, perciò, sono minori rispetto a quelli delle negative.

Ciò significa che un conduttore neutro porta una diminuzione del potenziale a quello carico.

La carica, però, non è cambiata e, di conseguenza, quella depositata sul corpo per unità di potenziale – il rapporto Q/V – è aumentata: il conduttore carico, quindi, possiede una carica maggiore per unità di superficie quando è posto accanto a un conduttore neutro rispetto a quando è isolato.

Per aumentare maggiormente il rapporto Q/V bisogna collegare la parte più lontana del conduttore a terra perché in questo modo si elimina totalmente il contributo positivo.

Il rapporto Q/V prende nome di capacità elettrica di un corpo e indica quanta carica deve essere inserita per ottenere un determinato potenziale.

$$C [F] = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon_0 R$$

L'unità di misura della capacità elettrica è il Farad. Trattandosi di un'unità molto grande, generalmente si utilizzano i microfarad [μF], i nanofarad [nF] e i picofarad [pF].

Accostando due lastre metalliche, una carica e una scarica, si ottiene un condensatore a facce piane e parallele. La sua capacità dipende dalla geometria delle due armature, ossia le lastre, e dall'isolante posto in mezzo.

Per aumentare la capacità, bisogna ampliare le superfici, diminuire la distanza fra le armature e utilizzare un materiale con una costante dielettrica relativa alta.

Il flusso nelle armature equivale a zero, visto che il conduttore non presenta cariche interne.

$$\Phi = ES$$

Applicando le varie sostituzioni:

$$\frac{Q}{\epsilon_0} = ES$$

$$\frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{\Delta V}{d} S$$

$$\frac{Q}{\Delta V} = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

Dovrebbe essere presente anche $\cos A$, ma, essendo paralleli, $\cos 0 = 1$ e, perciò, viene omissso.

Se c'è un isolante fra le due armature, la formula diventa:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_R S}{d}$$

Un'altra formula per calcolare la capacità elettrica è:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_R \times \frac{Q}{R}} = 4\pi\epsilon_0\epsilon_R R$$

Di conseguenza:

$$R = \frac{C}{4\pi\epsilon_0\epsilon_R}$$

Considerando condensatori in serie, si sviluppano cariche uguali in modulo per induzione.

$$Q_{tot} = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$\Delta V_{tot} = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3$$

$$\frac{\Delta V_{tot}}{Q_{tot}} = \frac{\Delta V_1}{Q_1} + \frac{\Delta V_2}{Q_2} + \frac{\Delta V_3}{Q_3}$$

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Per $C_1 = C_2 = C_3$:

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{3}{C}$$

In generale:

$$C_{tot} = \frac{C}{n}$$

Con n che indica il numero dei condensatori coinvolti.

Si considerano ora condensatori in parallelo:

$$\Delta V_{tot} = \Delta V = \Delta V_2 = \Delta V$$

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$\frac{Q_{tot}}{\Delta V_{tot}} = \frac{Q_1}{\Delta V_1} + \frac{Q_2}{\Delta V_2} + \frac{Q_3}{\Delta V_3}$$

$$C_{tot} = C_1 + C_2 + C_3$$

Per $C_1 = C_2 = C_3$:

$$C_{tot} = nC$$

Con n che indica il numero dei condensatori coinvolti.

Si definisce lavoro di carica la quantità di lavoro che deve essere compiuta per caricare il condensatore.

$$L = q\Delta V$$

Il primo caso è: $q = cost.$

Per trovare il lavoro, bisogna calcolare il prodotto fra la carica e la differenza di potenziale, essendo il grafico un rettangolo.

Il secondo caso è: $C = cost.$ Il grafico trovato raffigura un triangolo rettangolo, la cui area sottesa rappresenta il lavoro. La formula, perciò, è:

$$L = \frac{\Delta V q}{2} = \frac{1}{2} C (\Delta V)^2 = \frac{1}{2} Q \Delta V = \frac{1}{2} \times \frac{Q^2}{C}$$

Il terzo caso, infine, è costituito da uno scaloide. Bisogna, quindi, sommare le varie aree dei piccoli rettangoli in cui la figura può essere divisa. Perciò:

$$L = A_{tot} = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

Oppure:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} q dV$$

Il condensatore immagazzina più energia quando vi è inserito un panetto dielettrico.

Con un dielettrico interposto, la formula è:

$$L = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_R \frac{S}{d} \Delta V^2$$

Con il vuoto:

$$L = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \frac{S}{d} \Delta V^2$$

Un'altra grandezza è la densità di energia del campo elettrico, ossia l'energia per unità di volume.

$$W_E = \frac{L}{V} = \frac{\frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_R \frac{S}{d} \Delta V^2}{Sd} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_R \left(\frac{\Delta V}{d} \right)^2 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_R E^2$$

In questo caso, non vi è il vuoto.

Se, invece, si considera questa condizione, la formula diventa:

$$W_E = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2$$

Un circuito prende il nome di "RC" quando presenta una resistenza e un condensatore.

Chiudendo l'interruttore all'istante 0, si ottiene la carica del condensatore.

Il grafico – con il periodo di tempo in ascisse e la carica elettrica in ordinate – segna il valore 0 nel semipiano negativo delle ascisse, mentre, in quello positivo, la curva rappresenta un esponenziale negativo.

La tangente incontra la curva in corrispondenza di T .

La formula risulta essere:

$$q(t) = Q(1 - e^{-t/T})$$

Riaprendo l'interruttore all'istante 0, si ottiene la scarica del condensatore.

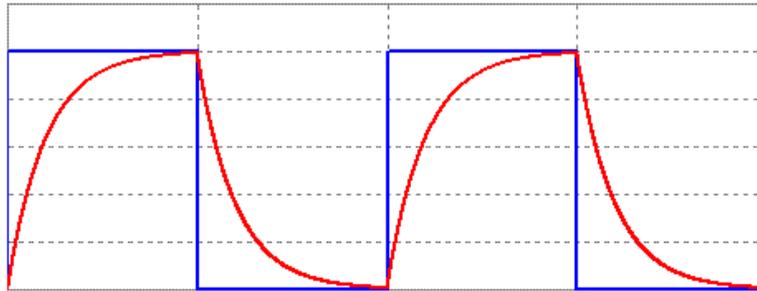
Il grafico – con il periodo di tempo in ascisse e la carica elettrica in ordinate – segna un valore costante nel semipiano negativo delle ascisse, mentre, in quello positivo, la curva rappresenta un esponenziale che tende allo 0.

La formula risulta essere:

$$q(t) = Q e^{-t/T}$$

T è la costante di tempo del circuito RC, perciò:

$$T [s] = RC$$



Questo grafico mostra carica e scarica del condensatore, ossia una funzione a tratti composta da esponenziale negativo che, dopo aver raggiunto il punto di saturazione, si trasforma in esponenziale.

Procedimento

1. Realizzare un circuito elettrico sfruttando un oscilloscopio, un breadboard con un condensatore e una resistenza, sonde e cavi.
2. Sull'oscilloscopio, attivare il trigger per bloccare il segnale e fissare un istante di tempo.
3. Spostare un cursore dell'oscilloscopio all'inizio di una salita del grafico mostrato sullo strumento, come istante zero, e uno alla fine, nel punto di saturazione.
4. Osservare sull'oscilloscopio il valore di periodo di tempo indicato.
5. Misurare il valore ohmico della resistenza utilizzando un multimetro, in funzione di ohmetro.

Dati e loro elaborazione

Valore teorico		
$R [\Omega]$	$C [F]$	$T [s] = RC$
$2 \times 10^3 \Omega$	$10^{-10} F$	$2 \times 10^3 \times 10^{-10} = 2 \times 10^{-7} s$ $= 200 ns$

Valore sperimentale	
$\Delta t [s]$	$T [s] = \frac{t}{3}$
$5,05 \times 10^{-7} s = 505 ns$	$\frac{5,05 \times 10^{-7} s}{3} \Rightarrow \frac{505 ns}{3} = 168 ns$

Conclusioni

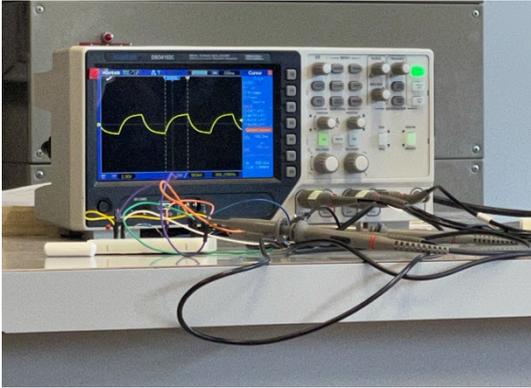
Lo scopo di questo esperimento era verificare la carica e la scarica del condensatore.

Per farlo, sono stati calcolati due valori della costante di tempo del circuito, uno teorico e uno sperimentale.

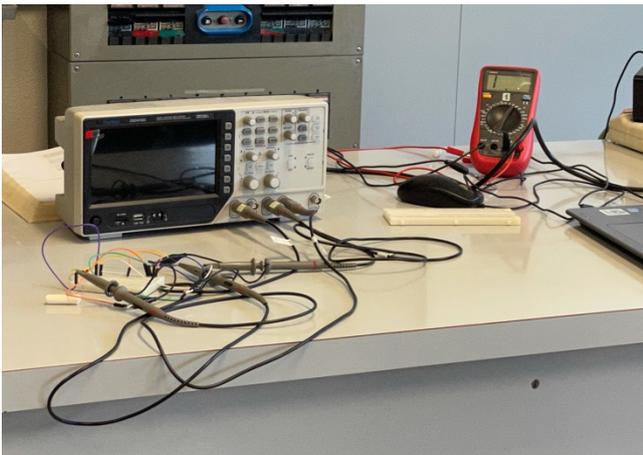
Per il primo, è stata sfruttata la formula che prevede di calcolare il prodotto tra capacità elettrica e resistenza. Per il secondo, invece, bisogna tenere in considerazione che dopo $3T$ il condensatore può essere considerato carico, essendosi conclusi i fenomeni transitori della fase di carica.

Osservando i due valori ottenuti, si può notare una discrepanza di alcuni nanosecondi. Quest'ultima è dovuta a una serie di errori sperimentali, ad esempio il fatto che il periodo di tempo considerato sia una stima e non un valore certo, la presenza di sonde e cavi che imprimono una certa resistenza, la resistenza interna e la capacità elettrica dell'oscilloscopio.

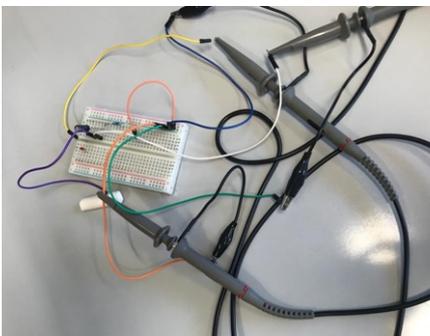
L'esperienza di laboratorio, infine, può essere considerata riuscita.



Oscilloscopio, breadbord, sonde, cavi:
Sul display del primo strumento, si osserva il grafico
indicante la carica e la scarica del condensatore, che si
susseguono



Oscilloscopio, multimetro, breadboard,
sonde, cavi



Breadboard, sonde, cavi



Resistenza



Condensatore

Esperienza 2: Costruzione della caratteristica tensione-corrente di un conduttore non ohmico

Lo scopo di questo esperimento è dimostrare che i conduttori non ohmici non presentano un valore di resistenza costante, al variare di intensità e differenza di potenziale.

Strumenti e materiali

- Trasformatore;
- Ponte a diodi;
- Reostato;
- Basetta;
- Lampadina a incandescenza;
- Tester con funzione di voltmetro;
- Amperometro.

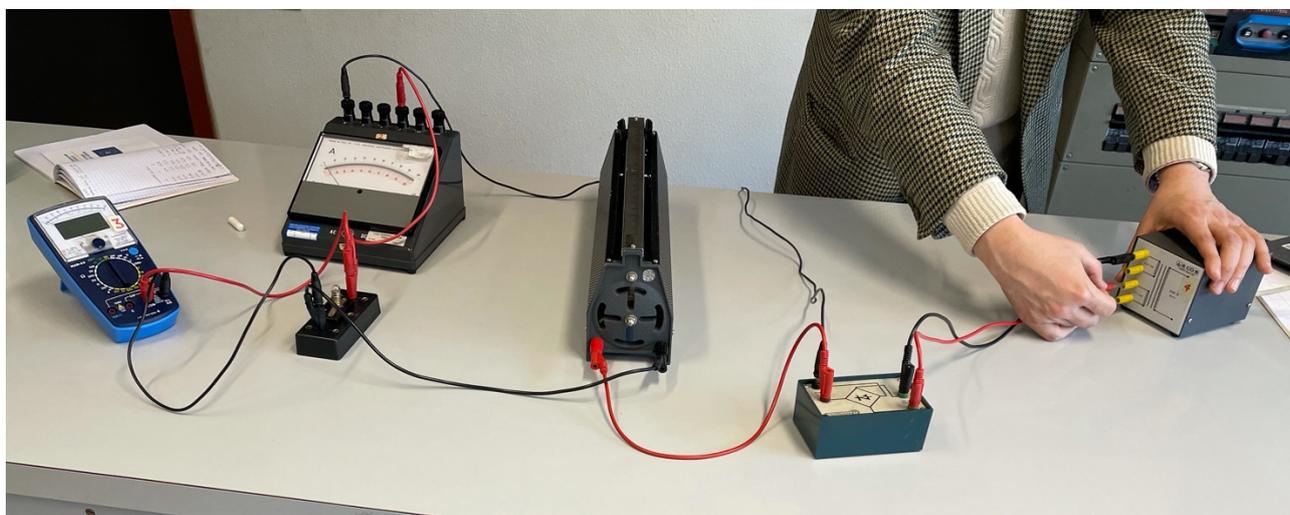
Premessa teorica

La premessa teorica coincide con quella dell'esperimento precedente, ossia la *Verifica sperimentale delle due Leggi di Ohm*.

I conduttori non ohmici presentano una resistenza variabile in base a corrente e tensione. Ciò significa che avviene un aumento di temperatura fino al raggiungimento di centinaia di gradi centigradi.

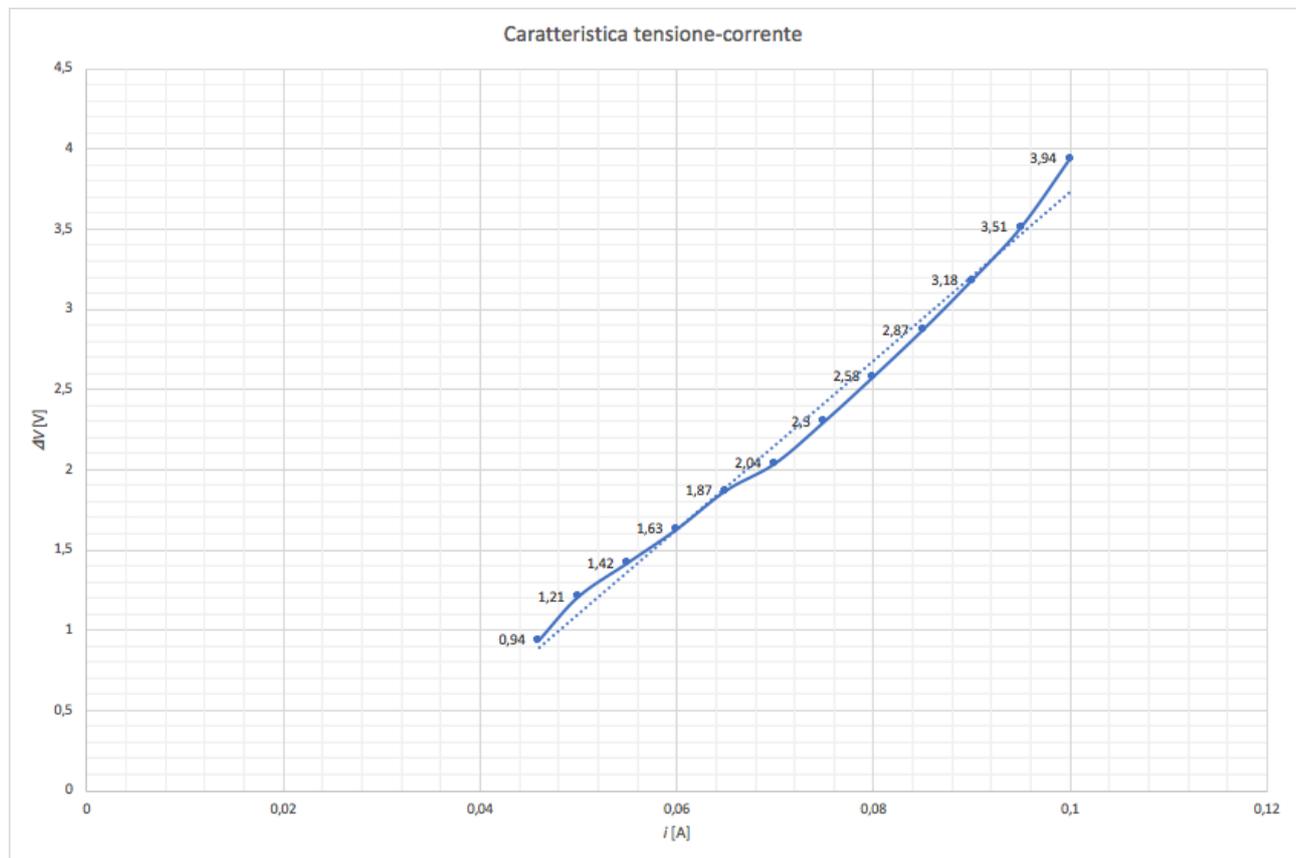
Procedimento

1. Realizzare un circuito elettrico (come nell'immagine sottostante) con trasformatore, ponte a diodi, reostato, basetta con lampadina a incandescenza, tester (in modalità voltmetro), amperometro, collegati fra loro tramite conduttori elettrici unipolari.
2. Spostare il cursore del reostato in modo che la lancetta dell'amperometro coincida con una tacca scelta, ad esempio la quarantaseiesima.
3. Visualizzare sul voltmetro il valore rilevato e annotarsi entrambi.
4. Spostare nuovamente il cursore del reostato, aumentando il valore di intensità elettrica segnata dall'amperometro.
5. Visualizzare sul voltmetro il valore rilevato e annotarsi entrambi.
6. Ripetere i punti 4 e 5, fino al raggiungimento del fondoscala dell'amperometro.



Dati e loro elaborazione

Valore teorico		
i [A]	ΔV [V]	R [Ω] = $\frac{\Delta V}{i}$
0,046 A	0,94 V	20,43 Ω
0,050 A	1,21 V	24,20 Ω
0,055 A	1,42 V	25,82 Ω
0,060 A	1,63 V	27,17 Ω
0,065 A	1,87 V	28,77 Ω
0,070 A	2,04 V	29,14 Ω
0,075 A	2,30 V	30,67 Ω
0,080 A	2,58 V	32,25 Ω
0,085 A	2,87 V	33,76 Ω
0,090 A	3,18 V	35,33 Ω
0,095 A	3,51 V	36,95 Ω
0,100 A	3,94 V	39,40 Ω



Conclusioni

Lo scopo di questo esperimento era dimostrare che i conduttori non ohmici non presentano un valore di resistenza costante, al variare di intensità e differenza di potenziale.

Per farlo, sono stati misurati sperimentalmente il valore di intensità della corrente elettrica e quello della differenza di potenziale in un circuito con una resistenza.

Facendo varie misurazioni, cambiando di volta in volta l'amperaggio, sono stati ritrovati valori differenti. Il loro rapporto porta a valori diversi, che corrispondono, quindi, alle varie resistenze.

Per verificare che l'esperimento sia riuscito, è stato realizzato il grafico "Caratteristica della tensione-corrente", in cui si osserva che la spezzata che congiunge i valori trovati sperimentalmente non coincide con la linea di tendenza.

Questo accade poiché la lampadina a incandescenza è un conduttore non ohmico, che non presenta un valore di resistenza costante, dato che non segue la Prima Legge di Ohm.

Si può affermare che l'esperimento sia riuscito nell'ambito degli errori sperimentali.

Tutte le immagini sono state scattate presso Laboratorio di Fisica del Liceo Da Vinci – Pascoli, Gallarate.