

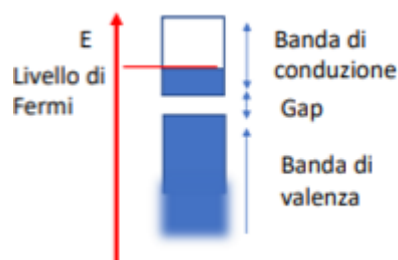
# AA 2020/21 - Esercitazione 5

## Curva caratteristica corrente-tensione di un diodo

**1) Contesto teorico:** In questa esperienza verrà analizzato l'andamento della corrente circolante in un diodo al variare della tensione applicata ai suoi estremi.

Per poter fare tutte le analisi necessarie, bisogna prima conoscere il funzionamento del diodo e, più in generale, dei semiconduttori:

- Partendo dalla base, un materiale solido cristallino è formato da atomi, i cui elettroni devono avere stati in energia tutti diversi tra di loro (principio di esclusione di Pauli). Queste energie non possono avere un valore qualsiasi, ma solo determinati valori, ovvero i livelli energetici elettronici della struttura
- I livelli energetici sono distribuiti discretamente per valori di energia crescenti, ma vi sono delle eccezioni: sono presenti degli intervalli di energia estesi (chiamati gap) nei quali non sono permessi livelli energetici. Questi gap formano le bande, separate da intervalli dove l'energia non è concessa. Le bande fondamentali sono la banda di conduzione (i cui elettroni contribuiscono alla conduzione) e la banda di valenza (i cui elettroni non contribuiscono alla conduzione)
- Gli elettroni si distribuiscono riempiendo i livelli fino ad un valore massimo di energia, ovvero il cosiddetto livello di Fermi. Se il livello di Fermi cade nella banda di conduzione si parla di conduttori. Se invece cade nella banda di valenza, si parla di isolanti o semiconduttori.



- La differenza tra isolanti e semiconduttori è legata all'entità del gap tra le bande di conduzione e di valenza
- Nel caso in cui gli elettroni fossero confinati nella banda di valenza, una frazione di essi viene eccitata termicamente per farli passare nella banda di

conduzione. Questa eccitazione termica lascia nella banda di valenza dei livelli energetici liberi (lacune), disponibili per il possibile moto degli elettroni

- Ci sono due tipi di semiconduttori: gli intrinseci (gap dell'ordine di 1 eV) e i drogati (intrinseci, ma in cui vengono introdotte delle piccole frazioni di elementi chimici diverse)
- Vi sono due tipi diversi di drogaggio:
  1. tipo P: rimpiazzando un atomo si crea una lacuna (uno dei livelli degli elettroni di valenza è vuoto)
  2. tipo N: rimpiazzando un atomo, rimane un elettrone in eccesso disponibile alla conduzione elettrica
  3. tipo P - N: una parte del semiconduttore è di tipo P, l'altra è di tipo N. Il confine tra i due tipi di drogaggio viene chiamato giunzione

Approfondiamo il tipo P - N:

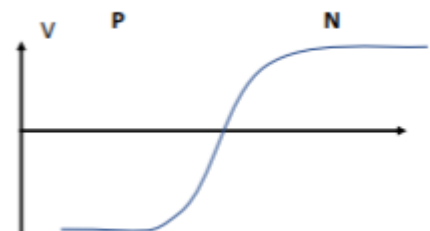
- Per via di un fenomeno particolare (diffusione) parte degli elettroni della zona N passano alla zona P e viceversa per le lacune della zona P. Questo movimento di cariche genera una corrente, detta corrente di diffusione
- Nella zona della giunzione gli elettroni di conduzione passano ad occupare i livelli liberi in banda di valenza, che corrispondono alle lacune già presenti. Si crea così una regione di svuotamento nella quale ai due lati vi sono solo le cariche degli atomi di drogante. Al di fuori di questa regione, il materiale risulta neutro

La regione di svuotamento si comporta come un condensatore, con un'armatura carica positivamente sul lato N ed una carica negativamente sul lato P



Quando si attraversa la giunzione, lungo l'asse del dispositivo c'è una differenza di potenziale che costituisce una barriera di potenziale per il moto dei portatori di carica.

Le lacune sul lato P, quando diffondono verso la zona N, vengono respinte indietro dalla d.d.p. positiva che incontrano e viceversa per gli elettroni della zona N. Questo moto dei portatori contribuisce alla corrente di drift.

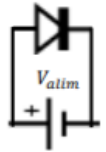


In condizioni stazionarie, la corrente di diffusione e di drift si annullano e quindi nel dispositivo non circola corrente.

Il diodo è un dispositivo a semiconduttore con giunzione P - N, che possiede un verso preferenziale nel flusso di corrente (a differenza di un resistore). I due terminali vengono chiamati anodo e catodo.

In base a come viene alimentato il diodo, esso si comporta in modi diversi:

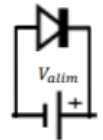
- Polarizzazione diretta: la barriera di potenziale viene ridotta e quindi la corrente di diffusione prevale su quella di drift. Quindi la corrente complessiva fluisce dalla zona P alla zona N. Questa corrente dipende in maniera esponenziale dalla tensione applicata dall'alimentatore.



$$I(V_{alim}) = I_s \left( \exp\left(\frac{eV_{alim}}{kt}\right) - 1 \right)$$

$I_s$ : corrente di saturazione il cui valore dipende dai dettagli costruttivi del diodo

- Polarizzazione inversa: in questo caso, la  $V_{alim}$  è negativa, quindi il termine esponenziale risulta molto piccolo. La corrente quindi satura rapidamente al valore di  $I_s$ .



Analizzando l'andamento della curva della relazione tra la corrente circolante nel diodo e la tensione applicata si nota che:

In polarizzazione diretta, la corrente risulta trascurabile fino a che non si raggiunge un valore di tensione chiamata di lavoro. Questo valore dipende dal materiale semiconduttore e dalle dimensioni del diodo.

In polarizzazione inversa, la corrente circolante è estremamente ridotta ed arriva



ad assumere un valore costante pari a  $-I_s$  per grandi valori di  $|V_{alim}|$ .

**2) Principio di misura:** Le misurazioni da effettuare sono:

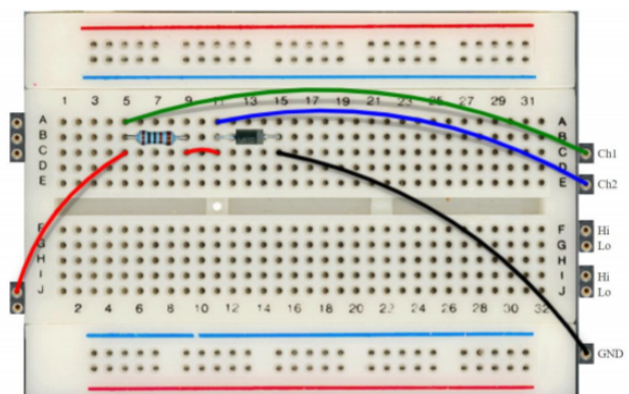
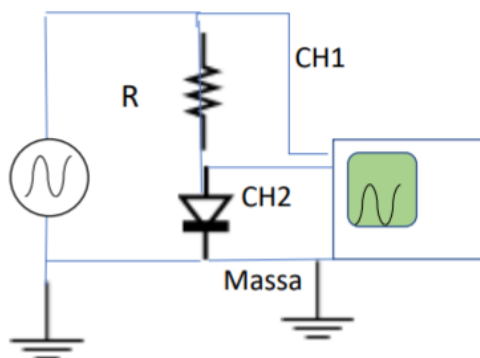
- tensione ai capi del diodo (CH2)
- tensione erogata dal generatore (CH1)
- tensione ai capi del resistore (ottenuta facendo la differenza tra CH1 e CH2) da cui si ricaverà la corrente circolante nella maglia mediante la legge di Ohm

I dati raccolti dalle misurazioni andranno poi spostati su un foglio Excel per analizzarli e realizzare i vari grafici.

**3) Strumenti utilizzati:**

- Breadboard
- Connettori in rame
- Resistore da  $1k\Omega$
- Diodo 1N407
- Oscilloscopio: è uno strumento che consente di acquisire valori di tensione in un certo intervallo di tempo. Nei modelli più recenti, i dati sono digitalizzati e salvabili come file
- Generatore di funzioni: è un dispositivo che genera in uscita un segnale in tensione periodico di una forma particolare. Le forme disponibili sono: onda sinusoidale, onda quadra, onda triangolare, onda a dente di sega. Consente anche di modificare vari parametri come la frequenza, l'ampiezza e l'offset

**4) Procedura di misura:** Per prima cosa, bisogna realizzare sulla breadboard il seguente circuito:



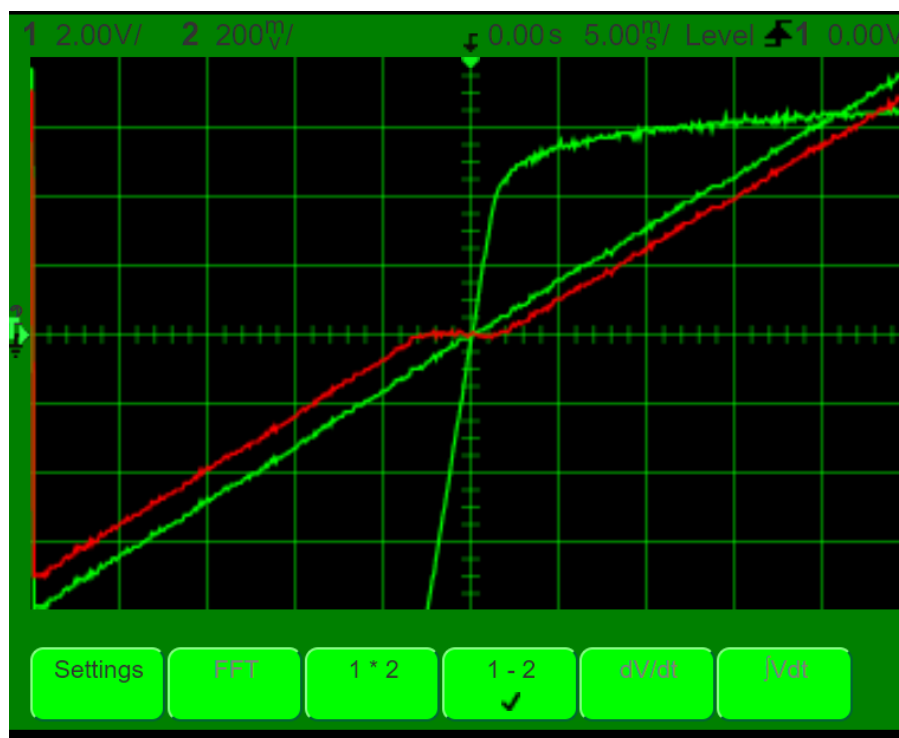
Una volta realizzato il circuito, si passa a impostare correttamente il generatore di funzioni secondo i seguenti parametri:

- Va impostata la forma d'onda a dente di sega
- Ampiezza a 8 V
- Frequenza a 20 Hz

Invece, per quanto riguarda l'oscilloscopio:

- Selezionare la scala verticale del canale 1 a 2 V/div e quella del canale 2 a 200 mV/div
- La scala dei tempi va impostata alla scala massima, ovvero 5 ms/div
- Per visualizzare la differenza CH1 - CH2 bisogna premere il tasto "Math" e spuntare l'operazione "1-2"

Una volta conclusi tutti questi passaggi, si può procedere alle misurazioni a visualizzare il risultato:

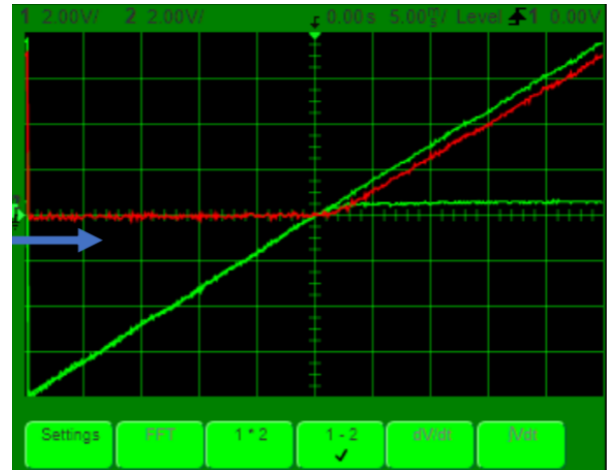


Possiamo notare diversi aspetti:

- nella regione a polarizzazione inversa, nonostante i due segnali abbiano lo stesso valore, risultano ben distinguibili. Ciò è dovuto alla diversa scala dei due canali, che è stata scelta per ridurre l'errore di misura nella regione di polarizzazione diretta

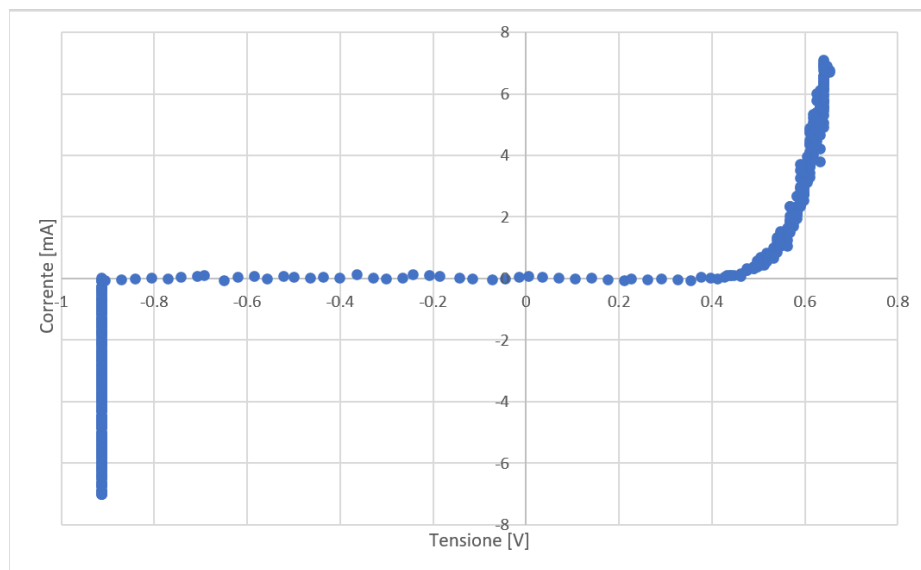
- la scelta della scala per il CH2 provoca saturazione per il segnale in polarizzazione inversa non appena la tensione supera circa 0.8V (in valore assoluto). Difatti, osservando la differenza tra i 2 canali (linea rossa), si può notare una continuazione della linea: ciò è un artefatto dovuto proprio alla saturazione

Per rimuovere l'artefatto e assicurarci che la tensione in polarizzazione inversa risulti nulla da un certo istante in poi, basta cambiare la scala del CH2 in 2 V/div



Una volta fatto ciò, possiamo salvare i dati (ricordandoci di salvarli con la scala del CH2 impostata a 200 mv/div).

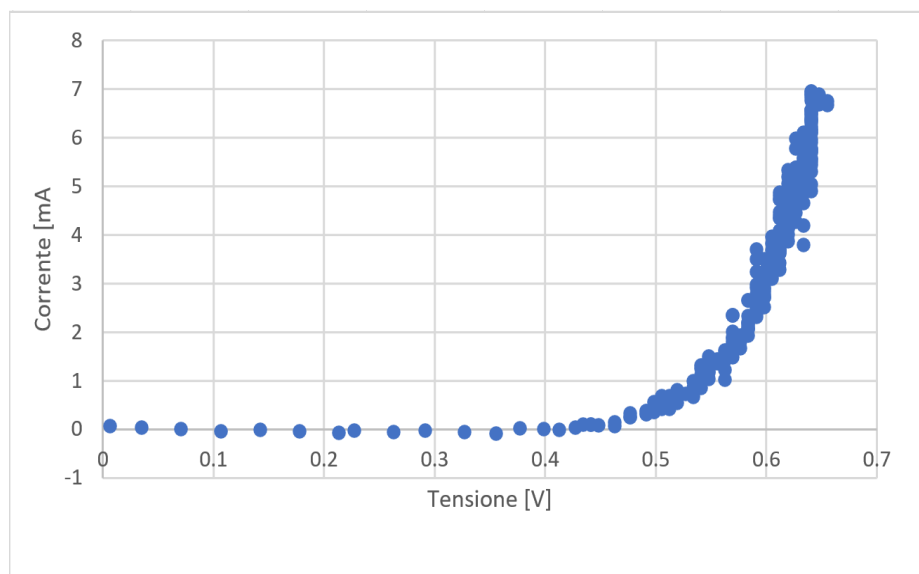
**5) Analisi dei dati:** Come prima analisi possiamo calcolare una colonna di dati con la differenza CH1 - CH2 e costruirci un grafico con la colonna del CH1:



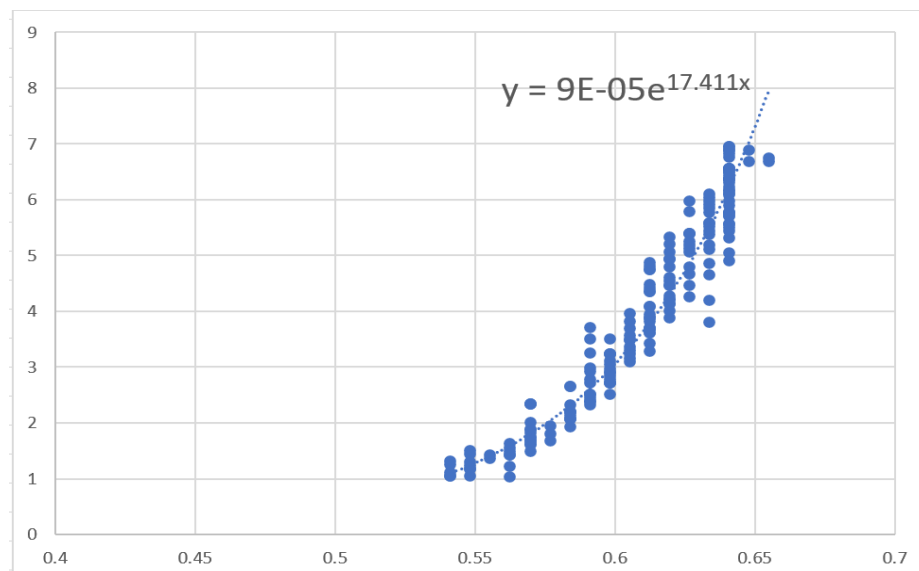
Come si può notare dal grafico soprastante, la tensione di lavoro risulta essere circa 0.4 V (dopo la quale il diodo inizia a condurre).

Possiamo anche notare che, a circa 0.9V (tensione di breakdown), si verifica il cosiddetto effetto valanga: quando la tensione di polarizzazione inversa supera la tensione di breakdown, la corrente aumenta enormemente, causando anche la distruzione del dispositivo.

Il prossimo step è selezionare i dati in maniera da evidenziare la parte che ci interessa:



Come ultima analisi, verifichiamo l'andamento della corrente circolante nel diodo in funzione della tensione applicata ai suoi capi:



Dopo aver selezionato i dati in cui la corrente è superiore a 1 mA, possiamo aggiungere una linea di tendenza. Il coefficiente della linea di tendenza ottenuta rappresenta  $I_s$  (in questo caso, 90 nA). Questo lo potevamo intuire dal modello del diodo che prevede:

$$I(V_{alim}) = I_s \left( \exp\left(\frac{eV_{alim}}{kt}\right) - 1 \right)$$

**6) Risultati e commenti:** La prova è andata a buon fine. Tramite i vari grafici siamo riusciti ad analizzare come si comporta il diodo in base alla tensione applicata ai suoi capi. Siamo riusciti anche a osservare un fenomeno particolare come quello dell'effetto valanga in maniera chiara. L'andamento osservato è quello che ci aspettavamo basandoci sugli elementi teorici. Inoltre, plottando l'andamento della corrente in funzione della tensione, abbiamo notato che rispetta il modello teorico del diodo, che difatti prevede un andamento esponenziale della corrente.