

Scheda di laboratorio di elettronica

Fabio Zoratti*, Luca Arnaboldi†

7 febbraio 2020

Sommario

Lo scopo dell'esperienza é studiare il comportamento di qualche semplice circuito con diodi, condensatori e resistenze in corrente continua e alternata.

*fabio.zoratti@sns.it

†luca.arnaboldi@sns.it

1 Curva caratteristica del diodo

1.1 Materiali a disposizione

- Un diodo.
- Un generatore di tensione continua a 5 V dichiarati.
- Due multimetri digitali.
- Un set di resistenze.
- Cavi “a banana”.
- Un potenziometro

1.2 Introduzione teorica

Il diodo é uno dei primi componenti non simmetrici che si trovano in un circuito, nel senso che ha due terminali, esattamente come resistenze, generatori, condensatori. . . , ma i due terminali di un diodo non sono equivalenti. Il simbolo circuitale di un diodo é in Figura 1, e come vedete ha un verso.

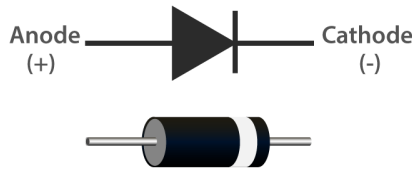


Figura 1: simbolo circuitale e foto di un tipico diodo. La banda di colore diverso sul diodo indica il verso del componente e corrisponde al disegno sopra.

Il comportamento di un diodo ideale é descritto dalla Equazione 1 di Shockley [Wik19].

$$I(\Delta V) = I_0 \left(\exp \left[\eta \frac{e\Delta V}{k_B T} \right] - 1 \right) \quad (1)$$

dove ΔV é la differenza di potenziale ai capi del diodo (notare che é una quantità dotata di segno, l'equazione é valida per entrambe i segni), mentre η é un parametro dell'ordine dell'unitá che dipende dal materiale di cui é fatto il diodo e dai dettagli di costruzione della giunzione. I_0 é un altro parametro che dipende dai dettagli di costruzione del diodo. k_B

é la costante di Boltzmann, e é la carica elementare, mentre T é la temperatura del diodo, che potete assumere di (300 ± 5) K. L'obiettivo di questa parte della esperienza é di ricostruire la curva in Equazione 1 e di ricavare i parametri η, I_0 con un opportuno fit.

1.3 Schema dell'esperienza

Il tempo previsto per lo svolgimento di questa parte dell'esperienza é di 3 ore.

- Ideare un circuito con i componenti a disposizione per misurare in modo semplice e veloce molte coppie di punti tensione-corrente.
- Quando il circuito é stato pensato, chiamare i responsabili in aula per farselo approvare.
- Costruire il circuito (dopo che é stato approvato. Collegare un circuito sbagliato potrebbe far scoppiare il diodo).
- Misurare coppie di punti $(\Delta V, I)$ di tensione ai capi del diodo e corrente che ci passa attraverso. Quanti punti? Si seguano le indicazioni date alla lezione di analisi dati. Si riporti per ogni misura la sua incertezza. Potete consultare il manuale dei multimetri per conoscere i dettagli dello strumento.
- Si costruisca su carta millimetrata un grafico a partire dalle coppie di punti $(\Delta V, I)$. L'obiettivo é quello di ricavare η, I_0 con un fit, per cui disegnare le coppie $(\Delta V, I)$ senza ulteriore elaborazione potrebbe non essere la cosa migliore. Potrebbe essere utile fare delle approssimazioni, in particolare si ricorda che $e^x \gg 1$ se $x > 4$
- Si ottenga una stima di η, I_0 , con relativa incertezza.

2 Carica e scarica di un circuito RC

2.1 Materiali a disposizione

- Un oscilloscopio analogico con banda passante di 50 MHz.
- Un generatore di forme d'onda.
- Un set di condensatori a carta.

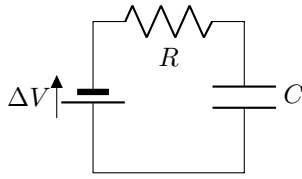


Figura 2: schema del circuito RC

- Un set di resistenze.
- Cavi “a banana”.
- Due multimetri digitali.

2.2 Introduzione teorica

2.2.1 Circuito elettrico

Consideriamo un circuito elettrico con una sola maglia come quello in Figura 2. L’equazione di Kirchoff per il circuito é riportata in Equazione 2.

$$\Delta V(t) - \frac{Q(t)}{C} - I(t)R = 0 \quad (2)$$

Supponendo che la tensione ΔV sia costante, possiamo risolvere l’equazione differenziale per la funzione $Q(t)$. La soluzione é riportata in Equazione 3.

$$Q(t) = C\Delta V + (Q(0) - C\Delta V) \exp[-t/RC] \quad (3)$$

L’obiettivo é misurare la capacitá del condensatore C .

2.2.2 Funzionamento generatore di forme d’onda

Il generatore di forme d’onda é l’apparecchio sotto l’oscilloscopio. Ha diversi pulsanti per regolare il suo funzionamento, due terminali sul fronte e un display che indica la frequenza dell’onda in uscita al momento.

Il generatore di forme d’onda fornisce una differenza di potenziale regolabile in funzione del tempo fra i suoi due terminali. Il terminale rosso, come da convenzione, é quello positivo, ovvero quello a potenziale maggiore, ma questa distinzione ha senso solo quando si parla di offset, visto che il generatore produce segnali oscillanti.

É quasi sempre consigliabile collegare il terminale nero del generatore di forme d’onda al segnale di terra (GND) dell’oscilloscopio, in modo da avere una terra comune.

Come vedete, il display che indica la frequenza indica molte cifre, e sono molto stabili tranne l’ultima, per cui potete supporre che l’incertezza sulla frequenza dell’onda generata sia trascurabile rispetto alle altre misure.

Le possibili regolazioni che potete toccare sono le seguenti:

- Forma dell’onda uscente: potete scegliere se utilizzare un’onda quadra (funzione costante a tratti, $-V$, $+V$ in modo alternato, onda sinusoidale o onda triangolare. Potete collegare l’oscilloscopio al generatore per vedere con i vostri occhi la forma dell’onda in uscita.
- Frequenza dell’onda. Ci sono diversi pulsanti che vi permettono di scegliere l’ordine di grandezza dell’onda in uscita, li riconoscete perché hanno indicato una potenza di 10 e Hz accanto. Potete inoltre girare una delle due manopole per una regolazione fine della frequenza.
- Ampiezza dell’onda uscente: potete regolare l’escursione in Volt dell’onda uscente. Per farlo dovete girare l’altra manopola. Potete inoltre tirare verso di voi la manopola per ottenere una amplificazione di -20 dB¹.
- Offset dell’onda: senza regolare questa manopola, la differenza di potenziale fra terminale rosso e nero oscilla fra $-V$ e $+V$, ovvero ha media temporale nulla. Regolando un offset potete spostare la media del segnale.

2.2.3 Funzionamento oscilloscopio

L’oscilloscopio é uno status symbol di un fisico sperimentale che lavora con l’elettronica. Avere un oscilloscopio con banda passante di 1 GHz e 10 ingressi é meglio di avere uno yacht².

¹Sí, volevo cancerarvi. TL;DR: Diminuisce di un fattore 10 l’ampiezza.

Piú nel dettaglio, l’amplificazione in dB é definita nel seguente modo: $A = 10 \log_{10} \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = 10 \log_{10} \left(\frac{A_{\text{out}}}{A_{\text{in}}} \right)^2 = 20 \log_{10} \frac{A_{\text{out}}}{A_{\text{in}}}$. Perché logaritmo in base 10? Perché utilizziamo i dB (decibel) invece dei B (bel), cosí scompare anche il fattore 10 nella definizione? Blame ingegneri.

²Probabilmente é falso, ma lo yacht non ce lo possiamo permettere. Almeno l’oscilloscopio lo paga il lab.

L'oscilloscopio é un misuratore di tensioni variabili nel tempo. Moralmnte é un voltmetro costruito in modo che voi possiate vedere la forma di un segnale periodico a frequenze alte (< 1 MHz) senza avere la supervista.

L'oscilloscopio é uno strumento complicato e si consiglia di chiamare un responsabile al tavolo se ci si trova in difficoltá. Inoltre é **caldamente sconsigliato** fare cose evidentemente poco furbe con questo strumento, perché mentre un diodo bruciato costa pochi centesimi, un oscilloscopio ha da 3 a 4 cifre nel prezzo.

I componenti fondamentali di un oscilloscopio sono i seguenti:

- Terminali: per misurare le tensioni dovete collegare i terminali dell'oscilloscopio al circuito. Ci sono 3 terminali importanti sugli oscilloscopi in lab: CH1, CH2 e GND. Questo oscilloscopio permette di visualizzare a schermo le tensioni (CH1 - GND) e (CH2 - GND) contemporaneamente. É opportuno collegare subito GND alla terra del generatore di forme d'onda. Gli altri terminali hanno una impedenza in ingresso di $1\text{ M}\Omega$ dichiarata³.
- Manopola per la regolazione temporale: l'oscilloscopio fa automaticamente il grafico in funzione del tempo del segnale, mettendo l'asse temporale in orizzontale e quello della tensione in verticale. La manopola serve a regolare quanto tempo viene visualizzato sull'asse orizzontale.
- Manopole per ogni canale: chiaramente potete avere bisogno di visualizzare un segnale piccolo o grosso. Questa manopola vi permette di regolare quanti volt vale una tacca sull'asse verticale. Potete anche regolare l'offset della visualizzazione del segnale, ma per queste cose é piú utile giocare per 10 secondi piuttosto che leggere 40 pagine di manuale.
- Manopola del trigger. Questa é la parte piú complicata e importante dell'oscilloscopio. Dove sta la magia del visualizzare un segnale a 300 kHz come stabile? Questo avviene nel circuito di trigger. Quello che succede é che un circuito legge il segnale in ingresso (che puó essere CH1,

³Ricordate come si schematizza un voltmetro non ideale? Impedenza in ingresso é il valore della resistenza che si aggiunge in quella schematizzazione.

CH2, EXT o altro, **va scelto**) e *decide* quando il segnale sta "iniziando" e di conseguenza quando andare a ridisegnarlo sullo schermo.

Moralmnte il circuito di trigger per un oscilloscopio come quello in lab é semplice: il segnale in ingresso viene comparato con un segnale costante di riferimento (che puó essere regolato con l'opportuna manopola TRIG), e quando il segnale in ingresso supera il segnale di riferimento, il circuito scatta e il segnale viene ridisegnato a schermo.

Quello che state vedendo é quindi un segnale ridisegnato migliaia di volte in un secondo. Chiaramente questo ha senso solo se il segnale é periodico, altrimenti vedrete solo qualcosa di disordinato⁴.

2.3 Schema dell'esperienza

Il tempo previsto per lo svolgimento dell'esperienza é di 1 ora, di cui la maggior parte verrá dedicata a familiarizzare con l'oscilloscopio, che é oggettivamente uno strumento complicato.

- Ideare un circuito per visualizzare sullo schermo dell'oscilloscopio il tipico esponenziale smorzato di un processo RC.
- Supponendo che la capacitá del condensatore sia dell'ordine di $0.5\ \mu\text{F}$, si stimi la frequenza da utilizzare per il generatore di forme d'onda.
- Farsi approvare il circuito dal responsabile in aula.
- Si costruisca il circuito.
- Si familiarizzi con l'oscilloscopio, per esempio cercando innanzitutto di vedere la forma d'onda in uscita dal generatore.
- Si visualizzi sullo schermo la tipica forma dell'esponenziale smorzato.
- Si trovi un modo grezzo per calcolare il tempo tipico del decadimento esponenziale a partire dal grafico (si possono fare modifiche alla frequenza o ad altro, se ritenuto opportuno), e si stimi

⁴Esistono oscilloscopi che vedono anche segnali non periodici, per esempio registrano la forma di un picco e la lasciano a schermo per un po'. Mi pare che quello che c'é lí in lab non lo possa fare, ma potrei ricordare male.

quindi la capacità del condensatore, con relativa incertezza.

Riferimenti bibliografici

[Wik19] Wikipedia. Shockley diode equation, 2019.
[Online; controllata il 6-novembre-2019].

