

Esercitazione di Laboratorio:

Circuiti con diodi

Coa Giulio

Licastro Dario

Montano Alessandra

6 dicembre 2019

# 1 Scopo dell'esperienza

Lo scopo di questa esercitazione è stato analizzare vari circuiti contenenti diodi, tramite l'esecuzione di una serie di misure in condizioni statiche al fine di determinare la caratteristica statica  $I_d(V_d)$  dei suddetti diodi, e la successiva visualizzazione del loro comportamento con una tensione d'ingresso di tipo sinusoidale.

## 2 Strumentazione utilizzata

La strumentazione usata durante l'esercitazione è:

Strumento	Marca e Modello	Caratteristiche
Multimetro Oscilloscopio	Agilent 34401A Rigol DS1054Z	4 canali, $B = 50 \text{ MHz}$ , $f_c = 1 \text{ G} \frac{\text{Sa}}{\text{s}}$ , $R_i = 1 \text{ M}\Omega$ , $C_i = 13 \text{ pF}$ , 12 Mbps di profondità di memoria
Generatore di segnali	Rigol DG1022	2 canali, $f_{\text{uscita}} = 20 \text{ MHz}$ , $Z_{\text{uscita}} = 50 \Omega$
Alimentatore in DC	Rigol DP832	2 canali, $f_{\text{uscita}} = 20 \text{ MHz}$ , $Z_{\text{uscita}} = 50 \Omega$
Sonda	Rigol PVP215	$B = 35 \text{ MHz}$ , $V_{\text{ nominale}} = 300 \text{ V}$ , $L_{\text{cavo}} = 1.2 \text{ m}$ , $R_s = 1 \text{ M}\Omega$ , Intervallo di compensazione: $10 \div 25 \text{ pF}$ Capacità dell'ordine dei $80 \div 100 \text{ p} \frac{\text{F}}{\text{m}}$
Cavi coassiali Connettori Breadboard Resistenza Diodo Zener Diodo Condensatori	1N5228 1N4148	$R = 9.9 \text{ k}\Omega$  $C_1 = 10 \text{ nF}$ , $C_2 = 100 \text{ nF}$ , $C_3 = 1 \mu\text{F}$

## 3 Premesse teoriche

### 3.1 Incertezza sulla misura dell'oscilloscopio

La misura del valore di un segnale tramite l'oscilloscopio (sia esso l'ampiezza, la frequenza, il periodo, etc.) presenta un'incertezza che dipende, principalmente, da due fattori:

- l'incertezza strumentale introdotta dall'oscilloscopio (ricavabile dal manuale).
- l'incertezza di lettura dovuta all'errore del posizionamento dei cursori.

Quest'ultima incertezza deriva dal fatto che il segnale visualizzato non ha uno spessore nullo sullo schermo.

### 3.2 Sonda

La sonda è un particolare cavo coassiale che presenta un'estremità capace di effettuare delle misurazioni.

Quando si usano dei classici cavi coassiali BNC-BNC al fine di collegare il circuito, su cui effettuare le misure, all'oscilloscopio, si sta inserendo in parallelo al circuito un condensatore di capacità ( $C_c$ ) pari a quella del cavo.

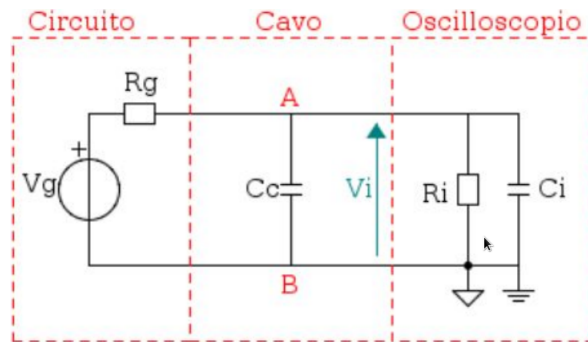


Figura 1: Circuito analizzato collegato all'oscilloscopio tramite un cavo coassiale BNC-BNC.

In questo caso, l'oscilloscopio si comporta, in ingresso, come un filtro passa-basso con una frequenza di taglio ( $f = \frac{1}{2\pi R_i(C_s+C_i)}$ ). L'uso di una sonda per misurare delle grandezze in un circuito, si può vedere come l'inserimento di un condensatore in serie al circuito.

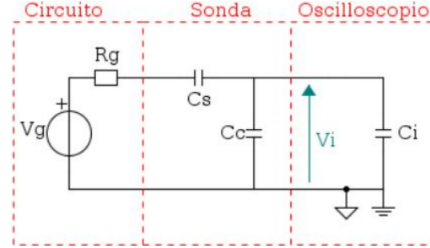


Figura 2: Circuito analizzato collegato all'oscilloscopio tramite una sonda.

L'introduzione di questo condensatore comporta un calo della capacità equivalenti vista all'ingresso del circuito ( $\frac{C_s(C_c+C_i)}{C_s+C_c+C_i} \ll C_c + C_i$ ), ovvero una riduzione della frequenza del polo ( $f_{\text{polo}} = \frac{1}{2\pi R_i(C_s+C_i)}$ ); ciò porta ad una perdita d'informazioni in bassa frequenza. Al fine di evitare tale perdita d'informazioni, si pone, in parallelo al condensatore, una resistenza.

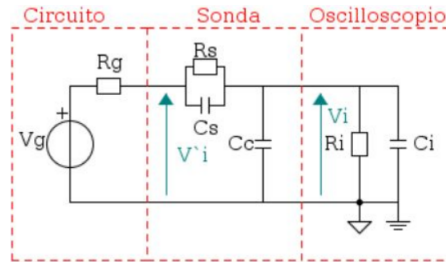


Figura 3: Circuito analizzato collegato all'oscilloscopio tramite una sonda.

Tale resistenza comporta la presenza di uno zero, oltre al polo precedentemente detto.

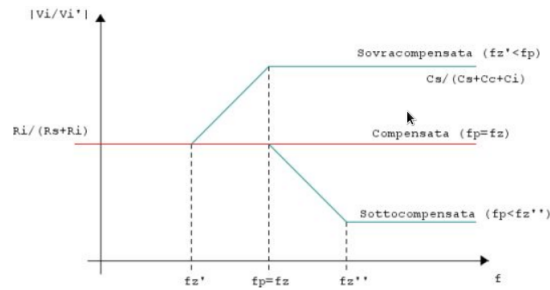
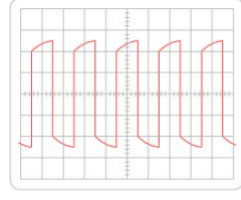
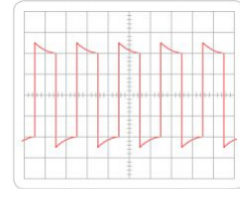


Figura 4: Diagramma di Bode della funzione di trasferimento del circuito.

A seconda dell'elevata o della bassa compensazione della sonda, il segnale sarà distorto verso l'alto o verso il basso.



(a) Sonda sottocompensata.



(b) Sonda sovracompensata.

Figura 5: Visualizzazione del segnale al variare della compensazione della sonda.

La sonda risulta compensata quando la frequenza del polo coincide con la frequenza dello zero; ciò avviene quando  $R_s C_s = R_i (C_c + C_i)$ . La sonda presenta un opportuno trimmer che influenza il valore di  $R_s$  e permette la compensazione. Al fine di verificare se la sonda è compensata si esegue un confronto con un segnale noto.

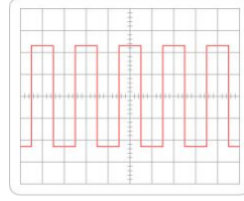


Figura 6: Sonda compensata.

### 3.3 Diodo

Il diodo è un bipolo non lineare il cui comportamento è descritto dalle due seguenti espressioni analitiche equivalenti tra loro

$$i_D = I_S \cdot (e^{\frac{v_D}{\eta V_T}} - 1)$$

$$v_D = \eta \cdot V_T \cdot \ln\left(\frac{i_D}{I_S} + 1\right)$$

dove  $V_T$  è la tensione termica del diodo.

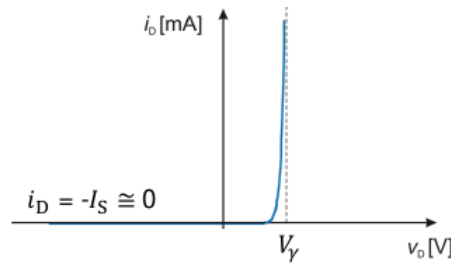


Figura 7: Caratteristica statica di un diodo.

Si noti come, al crescere di  $v_D$ , la corrente  $i_D$ , ovvero la corrente che attraversa il diodo, aumenti (regione di polarizzazione); in particolare, dopo il raggiungimento della tensione di soglia  $V_\gamma$ , il diodo tende a comportarsi come un generatore ideale indipendente di tensione di valore pari a  $V_\gamma$ .

Al contrario, quando  $v_D$  è troppo bassa, la corrente  $i_D$  è pari a  $-I_S$ , ovvero circa nulla; ciò porta il diodo a comportarsi similmente ad un circuito aperto (regione di polarizzazione inversa). Questa condizione può dare luogo al fenomeno del breakdown, ovvero quando il diodo conduce in direzione opposta; tale fenomeno porta, solitamente, alla rottura del diodo.

### 3.3.1 Diodo di Zener

Sono particolari tipi di diodi progettati appositamente per lavorare anche in polarizzazione inversa; questi diodi non si rompono se si verifica il breakdown, anzi sono caratterizzati da una tensione di soglia negativa, detta, per l'appunto, tensione di breakdown.

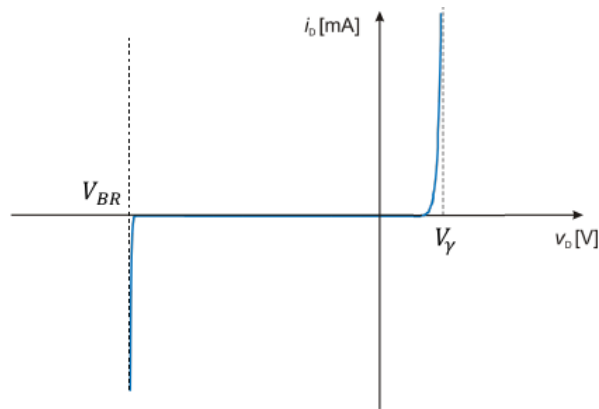


Figura 8: Caratteristica statica di un diodo di Zener.

## 3.4 Raddrizzatore a semplice semionda

Circuito fondamentale che, data una tensione in input, caratterizzata da un valor medio non nullo, ne estrae la parte positiva; il segnale in uscita presenta valor medio nullo.

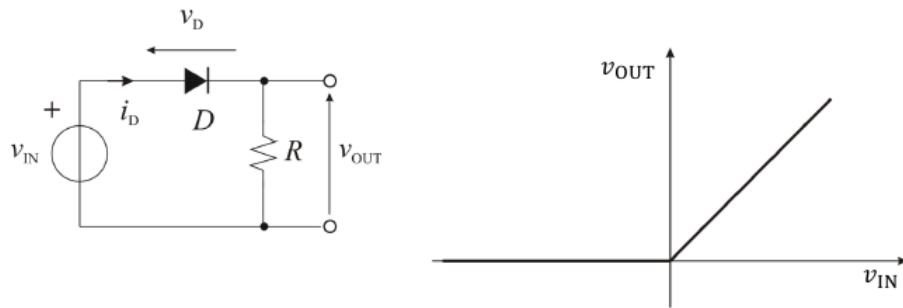


Figura 9: Circuito e transcaratteristica statica di un raddrizzatore a semplice semionda.

### 3.5 Protezione ESD

Circuito usato come protezione da scariche elettrostatiche, caratterizzato dall'imposizione di una tensione massima e di una tensione minima.

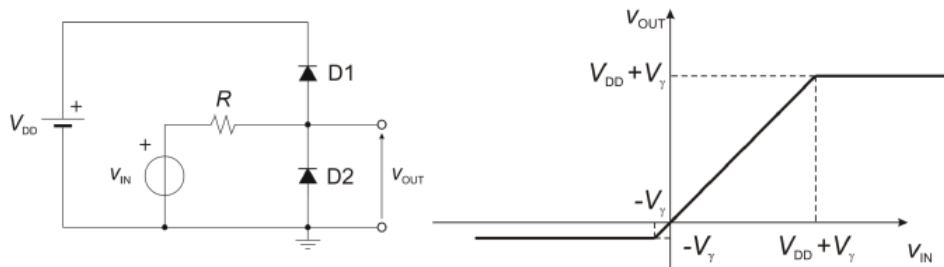


Figura 10: Circuito e transcaratteristica statica di una protezione ESD.

## 4 Esperienza in laboratorio

### 4.1 Caratteristiche statiche

Abbiamo montato sulla basetta la resistenza, il diodo D=1N4148 e l'elemento di collegamento. Per mezzo del multimetro abbiamo misurato la resistenza e abbiamo verificato la correttezza del valore misurato confrontandolo con il valore della resistenza riportato dal produttore, tenendo conto della sua incertezza. Abbiamo connesso la basetta all'alimentatore tramite due cavi a banana, quello rosso a connettere i poli positivi, quello nero usato per la messa a terra, dopodichè abbiamo variato la tensione in ingresso secondo i valori forniti, ed abbiamo misurato, con il multimetro, i valori di tensione ai capi della resistenza.

In seguito abbiamo connesso, al posto dell'alimentatore, il generatore di segnali alla basetta con un cavo BNC-banana, impostato ampiezza di picco  $V_p = 5\text{ V}$  e  $f = 1\text{ kHz}$ , dando come input il segnale sinusoidale caratterizzato da queste due grandezze. Abbiamo connesso la sonda ... e osservato i cambiamenti che il diodo ha apportato al segnale.

Abbiamo ripetuto la procedura con il diodo di zener.

## 4.2 Raddrizzatore a semplice semionda

Abbiamo costruito il circuito richiesto, aggiungendo il condensatore e sostituendo il diodo zener con il precedente. Abbiamo misurato prima le tensioni picco-picco al variare del condensatore, abbiamo potuto apprezzare come la capacità di quest'ultimo influenzi il segnale in uscita rendendolo più o meno (approssimato?). In seguito abbiamo ripetuto l'esperienza

## 4.3 Rivelatore di picco

.

## 4.4 Circuito per la protezione da scariche elettrostatiche

.

# 5 Risultati

## 5.1 Caratteristiche statiche

### 5.1.1 Diodo

I risultati ottenuti al variare della tensione in ingresso, fornita con l'alimentatore, sono stati riportati nella seguente tabella.

Tensione in input [V]	Tensione in output
-4	-0.046 mV
-3.5	-0.043 mV
-3	-0.038 mV
-2	-0.032 mV
-1	-0.027 mV
0	0.001 mV
0.2	2.067 mV
0.4	45.306 mV
0.6	0.177 V
0.8	0.344 V
1	0.526 V
1.5	0.997 V
2	1.477 V

Si può notare che il diodo utilizzato non è adatto alla polarizzazione inversa, infatti per tensioni negative otteniamo valori molto bassi che, però, si mantengono intorno allo 0. Inoltre abbiamo toccato e superato la tensione di soglia (deve essere minore di 0 ?).

Dopo aver connesso generatore di segnali, sonda e oscilloscopio (GIULIO NON HO SPECIFICATO COME ABBIAMO CONNESSO LE ROBE PERCHÉ È NELLA PARTE DELLE PREMESSE) abbiamo ottenuto le seguenti immagini, dove il segnale di input è rappresentato dalla linea blu e l'output da quella gialla. Si può notare come l'input sia un segnale sinusoidale standard, mentre l'output è distorto per effetto del circuito, in particolare la parte negativa del segnale è stata portata a 0 (poiché le tensioni negative ricevute in input dal diodo diventano 0 in output), ed anche la curva sinusoidale risulta un po' schiacciata (perché?).

In seguito, per misurare l'ampiezza di picco del segnale di output abbiamo posizionato i cursori come in figura ottenendo  $V_u(t) = 4.440V$



### 5.1.2 Diodo zener

Abbiamo seguito la stessa procedura con il diodo zener, vanno sottolineati i valori ottenuti con tensioni negative in input, che sono coerenti con la definizione di diodo zener.

(Ricordiamo che stiamo di nuovo utilizzando l'alimentatore e che le misurazioni sono state effettuate con il multimetro)

La tensione di soglia è: La tensione di breakdown è:

Connettendo il generatore di segnali come al punto precedente, con la linea blu per l'input e quella gialla per l'output abbiamo ottenuto la seguente immagine

Qui, a differenza del diodo usato in precedenza, le tensioni negative vengono rappresentate.

Anche in questo caso abbiamo misurato l'ampiezza di picco del segnale in output con i cursori, ottenendo  $V_p = 4.320$

## 5.2 Raddrizzatore a semplice semionda

### 5.2.1 Diodo

Abbiamo inserito i vari condensatori ed ogni volta abbiamo misurato la tensione picco-picco con i cursori. per il condensatore da 10nF abbiamo una  $V_{pp} = 4.48V$  : per il condensatore da 100nF abbiamo una  $V_{pp} = 2.56V$  : per il condensatore da 10microF abbiamo una  $V_{pp} = 480 mV$  :

Possiamo notare come, al decrescere della capacità del condensatore, il segnale in output abbia una  $V_{pp}$  sempre minore, cioè il segnale in input viene attenuato (?) sempre di più.

### 5.2.2 Diodo di Zener

Abbiamo inserito i vari condensatori ed ogni volta abbiamo misurato la tensione picco-picco con i cursori. per il condensatore da 10nF abbiamo una  $V_{pp} = 7.2V$ : per il condensatore da 100nF abbiamo una  $V_{pp} = 6.88V$  : per il condensatore da 10microF abbiamo una  $V_{pp} = 5.52V$  : Lasciando il condensatore da 1 microF e connettendo il circuito con il generatore di segnali abbiamo impostato  $V_p = 5V$  e, al variare della frequenza, abbiamo ottenuto diversi valori per la tensione picco-picco, di seguito abbiamo riportato le immagini ottenute dall'oscilloscopio (in blu il segnale in input ed in giallo l'output). per  $f = 1 kHz$  per  $f = 500 Hz$  per  $f = 100 Hz$

Al decrescere della frequenza...

## 5.3 Rivelatore di picco

.

## 5.4 Circuito per la protezione da scariche elettrostatiche

.

# 6 Conclusioni

## 6.1 Caratteristiche statiche

.

## 6.2 Raddrizzatore a semplice semionda

.

### 6.3 Rivelatore di picco

.

### 6.4 Circuito per la protezione da scariche elettrostatiche

.