

# Accoppiamento LED-FOTODIODO in funzione della frequenza di modulazione del segnale

Filippo Audisio, Cataldo Insalaco, Telemaco Pezzoni

20 gennaio 2026

## 1 Obiettivo dell'esperienza

L'obiettivo è quello di studiare il comportamento del segnale rilevato da un fotodiodo in funzione della sua frequenza di modulazione e della resistenza di carico  $R$  usata.

## 2 Materiali e Metodi

### 2.1 Strumentazione

- Generatore di funzioni
- Basetta per circuiti
- Oscilloscopio
- 1 LED
- Set di resistenze di diverso valore
- Cavetti coassiali di connessione (e un connettore a T)
- Presa per cavo coassiale con morsetti

### 2.2 Procedura sperimentale

Lo schema sperimentale è costituito da un sistema accoppiato LED-Fotodiodo. Un LED, alimentato da un generatore di funzioni, funge da sorgente luminosa modulata per il fotodiodo, il quale è inserito in un circuito chiuso con una resistenza di carico. Il segnale elettrico risultante viene prelevato ai capi della resistenza e analizzato tramite un oscilloscopio. L'alimentazione del LED si ottiene prelevando dal generatore un segnale ad onda quadra con una tensione picco-picco di 5-6 Volt, così da non prendere in considerazione fenomeni di distorsione della forma d'onda che non siano riconducibili alla detezione col fotodiodo. In questa configurazione l'intensità di illuminazione (e quindi anche la corrente fotogenerata) viene mantenuta costante per un intervallo  $\frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega}$  e poi nulla per un intervallo di tempo analogo.

Al variare della frequenza ci si aspetta il seguente andamento:

$$V_s = V_0 \tanh\left(\frac{\pi \omega_0}{2 \omega}\right) = V_0 \tanh\left(\frac{\pi f_0}{2 f}\right) \quad (1)$$

con

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC_d} \quad (2)$$

Per frequenze tendenti a zero,  $V_S$  tende a  $V_0$ , mentre per frequenze grandi  $V_S$  tende a 0. Al variare della frequenza si raccolgono i valori misurati dall'oscilloscopio, i parametri sperimentali sono successivamente ricavati mediante due diverse strategie di fit:

- Fit onda sinusoidale: in cui i parametri  $f_0$  e  $V_0$  vengono ricavati utilizzando l'equazione

$$V_V = \frac{I_V R}{1 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2}} = \frac{I_V R}{1 + \frac{f^2}{f_0^2}} \quad (3)$$

- Fit onda quadra: in cui i parametri  $f_0$  e  $V_0$  vengono ricavati utilizzando Equazione 1.

### 3 Analisi dei dati e grafici

#### 3.1 Tabelle Risultati Fit

**Tabella 1:** Parametri ricavati dal fit con onda sinusoidale

Resistenza	$f_0$ [Hz]	$\sigma_{f_0}$	$Err.Rel_{f_0}[\%]$	$V_0$ [mV]	$\sigma_{V_0}$	$Err.Rel_{V_0}[\%]$
$0 \Omega$	$1.43 \times 10^4$	$1.19 \times 10^4$	83.4	193.71	42.57	21.9
$500 \Omega$	$2.83 \times 10^6$	$0.67 \times 10^6$	23.5	18.42	0.50	2.8
$1000 \Omega$	$1.30 \times 10^6$	$0.26 \times 10^6$	20.2	35.96	2.46	6.8
$5000 \Omega$	$3.38 \times 10^5$	$0.17 \times 10^5$	5.1	184.65	3.19	1.7
$10000 \Omega$	$1.72 \times 10^5$	$0.14 \times 10^5$	8.01	316.18	8.72	2.8

**Tabella 2:** Parametri ricavati dal fit con onda quadra

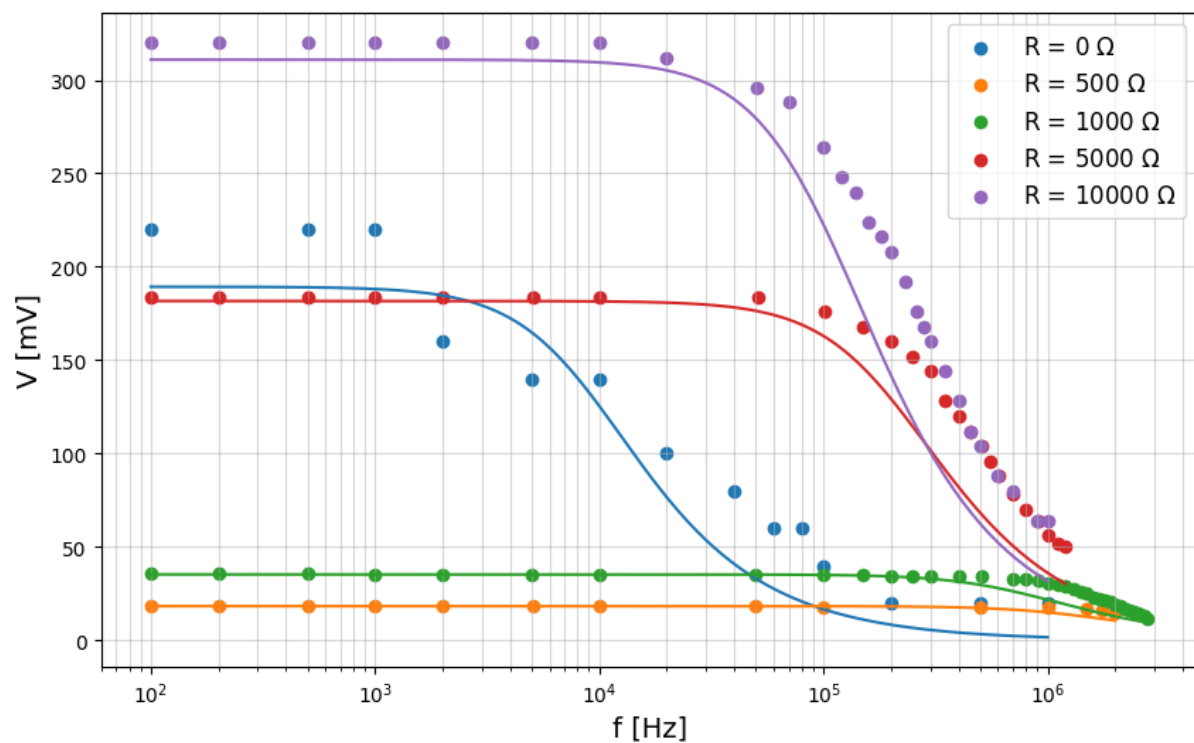
Resistenza	$f_0$ [Hz]	$\sigma_{f_0}$	$Err.Rel_{f_0}[\%]$	$V_0$ [mV]	$\sigma_{V_0}$	$Err.Rel_{V_0}[\%]$
$0 \Omega$	$8.85 \times 10^3$	$7.65 \times 10^3$	86.4	189.32	45.41	23.9
$500 \Omega$	$1.41 \times 10^6$	$0.23 \times 10^6$	16	18.34	0.48	2.7
$1000 \Omega$	$7.80 \times 10^5$	$0.98 \times 10^5$	12.6	35.33	1.68	4.8
$5000 \Omega$	$2.02 \times 10^5$	$0.16 \times 10^5$	7.6	181.69	5.16	2.8
$10000 \Omega$	$1.02 \times 10^5$	$0.16 \times 10^5$	15.9	310.89	18.66	6

Dai risultati appena riportati è possibile confrontare i valori che assume  $C_d$  al variare della resistenza di carico usata.

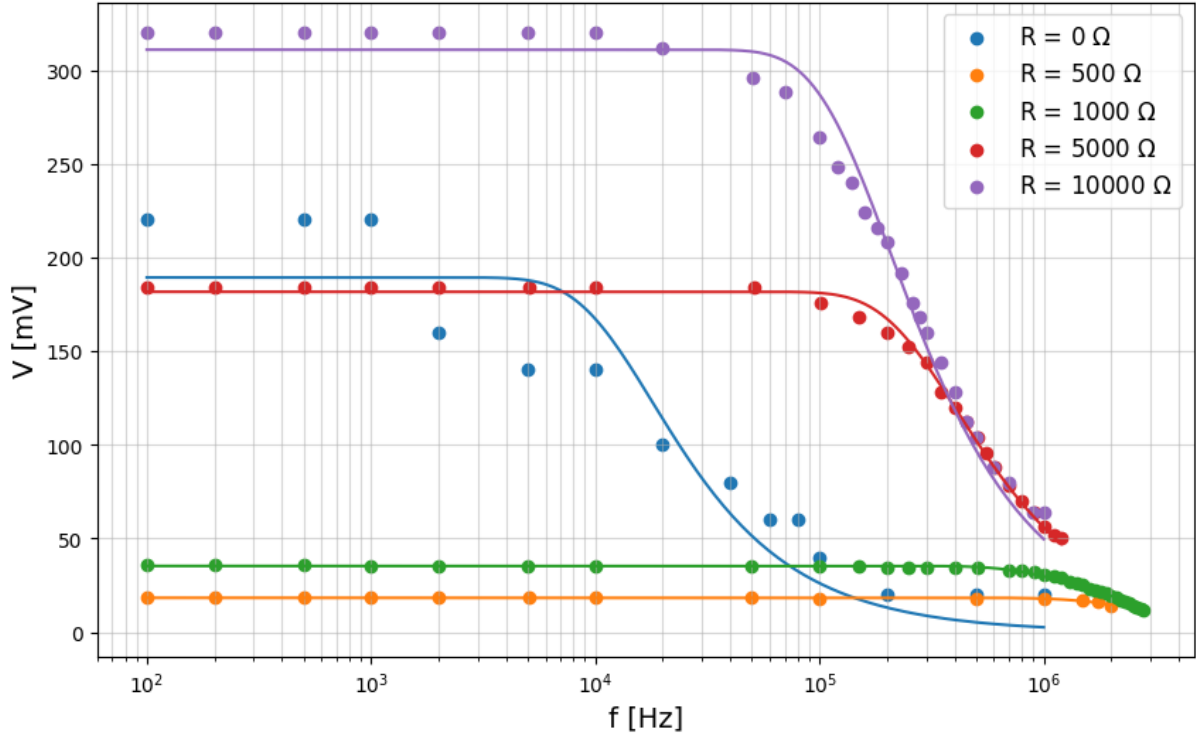
**Tabella 3:** Valori della capacità di giunzione  $C_d$  al variare della resistenza di carico  $R$ .

Resistenza di carico $R[\Omega]$	Capacità di giunzione $C_d$ [F]
80 000	$2.25 \times 10^{-10}$
500	$2.25 \times 10^{-10}$
1000	$2.04 \times 10^{-10}$
5000	$1.57 \times 10^{-10}$
10 000	$1.55 \times 10^{-10}$

### 3.2 Grafici sperimentali e curve di regressione



**Figura 1:** plot modello fit sinusoidale



**Figura 2:** plot modello fit onda quadra

## 4 Conclusioni

Quando nel circuito non è presente alcuna resistenza di carico, in realtà bisogna considerare l'impedenza intrinseca dell'oscilloscopio. Questa corrisponde ad una resistenza di  $1\text{ M}\Omega$  in parallelo ad una capacità di  $20\text{ pF}$ , pertanto alle frequenze utilizzate nell'esperienza si è stimato un valore di  $80\text{ k}\Omega$ .

Il confronto tra i modelli di fit conferma che la funzione basata sulla tangente iperbolica descrive con maggior coerenza la risposta all'onda quadra. I risultati ottenuti sono verosimili rispetto a quelli previsti teoricamente ed i valori di  $C_d$  restano relativamente stabili. Si osserva un errore relativo notevole ( $> 80\%$ ) per la frequenza di taglio nella configurazione senza resistenza di carico, tale incertezza è probabilmente dovuta all'elevata impedenza dell'oscilloscopio che porta il fotodiodo in regime di saturazione.