

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 dal 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
- Un 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. Possiamo dunque analizzare l'evoluzione del segnale in due fasi distinte.

Al variare della frequenza ci si può aspettare un andamento proporzionale a:

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

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 analizzano i segnali visualizzati sull'oscilloscopio, i quali consentono di valutare la costante di tempo $\tau = RC_d$ (e di conseguenza la capacità C_d) analizzando il comportamento in funzione della frequenza, valutando le frequenze a cui avviene la caduta di intensità e determinando la frequenza di taglio f_0 . I parametri sperimentali possono essere 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 l'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]	σ_{f_0}	$Err.Rel_{f_0}[\%]$	V_0 [mV]	σ_{V_0}	$Err.Rel_{V_0}[\%]$
0 Ω	1.43×10^4	1.19×10^4	83.4	193.71	42.57	21.9
500 Ω	2.83×10^6	0.67×10^6	23.5	18.42	0.50	2.8
1000 Ω	1.30×10^6	0.26×10^6	20.2	35.96	2.46	6.8
5000 Ω	3.38×10^5	0.17×10^5	5.1	184.65	3.19	1.7
10000 Ω	1.72×10^5	0.14×10^5	8.01	316.18	8.72	2.8

Tabella 2: Parametri ricavati dal fit con onda quadra

Resistenza	f_0 [Hz]	σ_{f_0}	$Err.Rel_{f_0}[\%]$	V_0 [mV]	σ_{V_0}	$Err.Rel_{V_0}[\%]$
0 Ω	8.85×10^3	7.65×10^3	86.4	189.32	45.41	23.9
500 Ω	1.41×10^6	0.23×10^6	16	18.34	0.48	2.7
1000 Ω	7.80×10^5	0.98×10^5	12.6	35.33	1.68	4.8
5000 Ω	2.02×10^5	0.16×10^5	7.6	181.69	5.16	2.8
10000 Ω	1.02×10^5	0.16×10^5	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	2.25×10^{-10}
500	2.25×10^{-10}
1000	2.04×10^{-10}
5000	1.57×10^{-10}
10 000	1.55×10^{-10}

3.2 Grafici sperimentali e curve di regressione

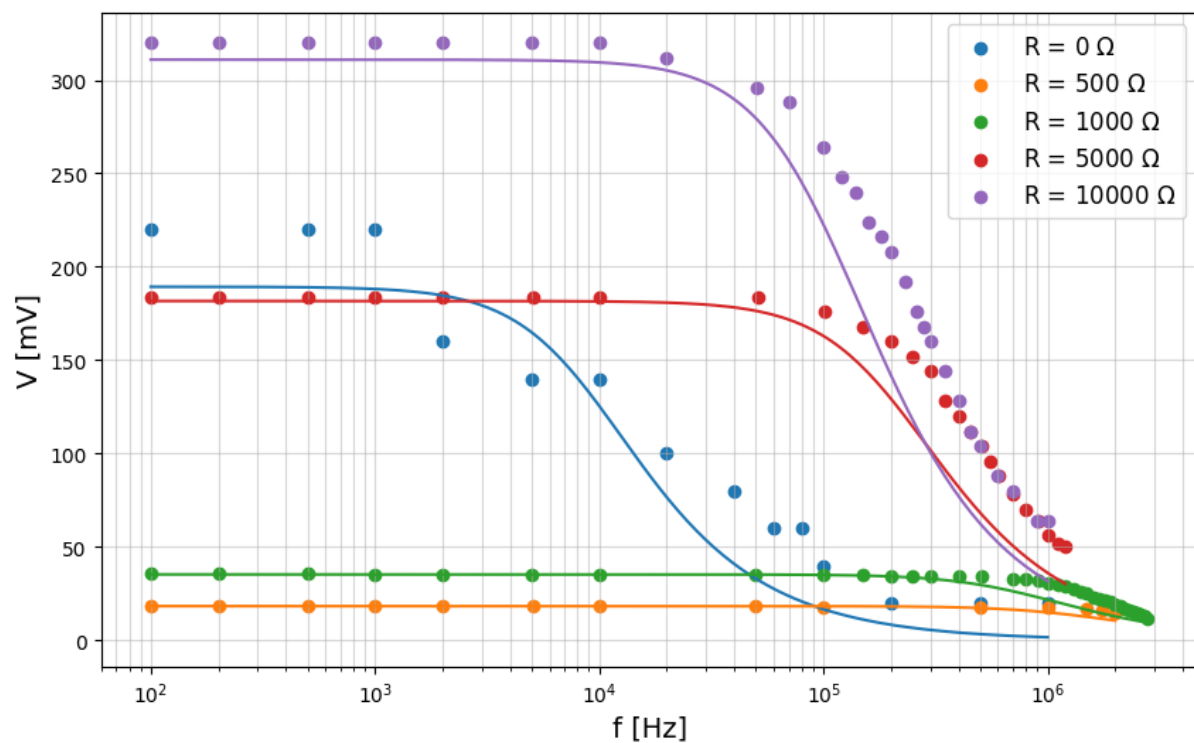


Figura 1: plot modello fit sinusoidale

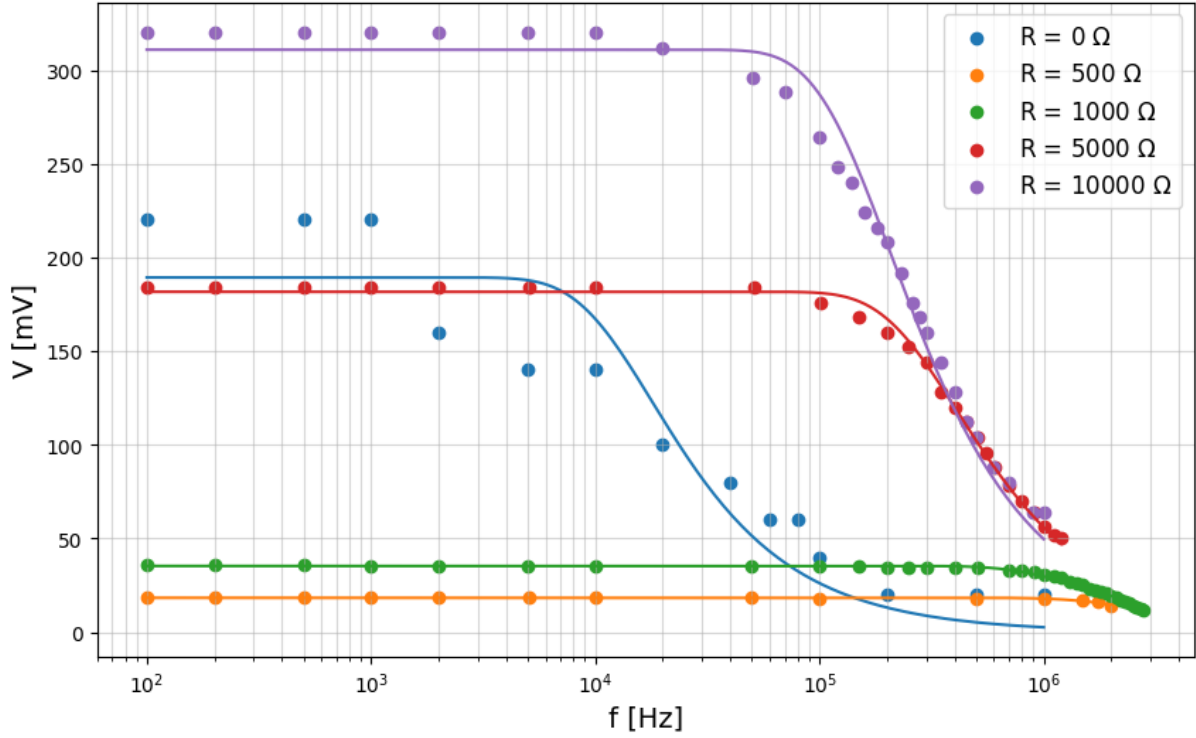


Figura 2: plot modello fit onda quadra

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 pF , pertanto alle frequenze utilizzate nell'esperienza si può stimare 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 compatibili con quelli previsti teoricamente e 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.