

# Laboratorio di Fisica

Docenti: Prof. A. Garfagnini - Prof. M. Lunardon

Corso di Laurea in Fisica

Canale 1 A-L

Anno Accademico 2020/2021

---

## ESPERIENZA DI LABORATORIO

### Catena Elettronica

---

TURNO T2

NICOLÒ LAI

1193976

nicolo.lai@studenti.unipd.it

DATA ESPERIENZA

23/11/2020

25/11/2020

26/11/2020

# 1 Obiettivo

Assemblare i moduli principali costituenti una catena elettronica (*preamplificatore*, *shaper*, *amplificatore*). Studiarne il segnale in uscita e la risposta in frequenza per ciascuno di essi.

# 2 Strumentazione e Componenti

Nel corso dell'esperienza vengono utilizzati:

- Multimetro digitale Metrix MTX3292
- Generatore di funzioni Tektronix AFG1022
- Oscilloscopio digitale Tektronix TBS1102B
- Alimentatore di tensione continua TTi
- Due circuiti integrati TL082C (in totale quattro amplificatori operazionali)
- Resistori e condensatori di varie taglie
- Scheda Arduino Due

# 3 Catena Elettronica

L'esperienza si basa sull'assemblamento e sullo studio della risposta di una serie di moduli volti a simulare l'elettronica associata ad un *rivelatore di radiazione*. In laboratorio, quindi, si utilizza il generatore di funzioni in modo da erogare un segnale che ricordi la rivelazione di un evento da parte del detector: questo segnale viene quindi inizialmente elaborato dal *preamplificatore* (di tipo *charge-sensitive*) e successivamente dallo *shaper* (di tipo *CR-RC*). Il segnale in uscita dal formatore viene infine amplificato per favorirne l'acquisizione da parte di una DAQ, che corrisponde in questo caso all'ADC della scheda Arduino Due. I tre stadi (*preamplificatore*, *shaper*, *amplificatore*) costituiscono dunque la *catena elettronica* rappresentata in Figura 1.

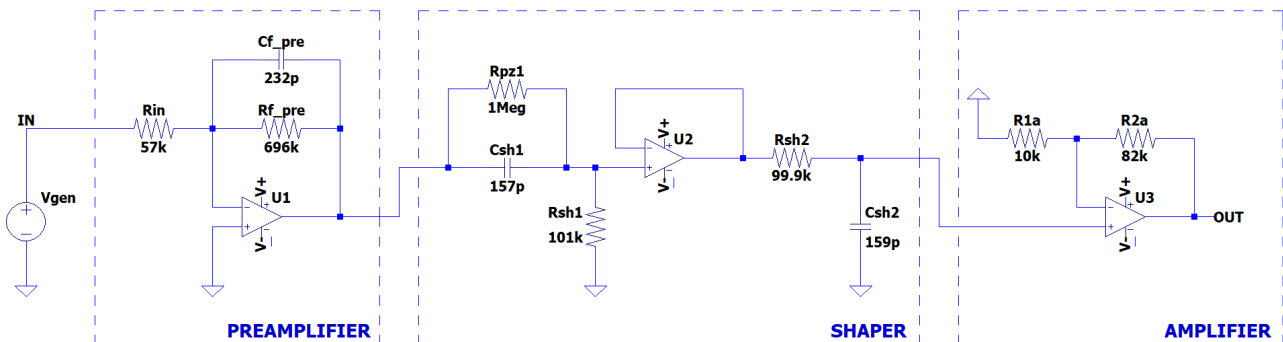


Figura 1: Schema a costanti concentrate della catena elettronica suddivisa nei tre moduli di interesse.

# 4 Preamplificatore

Il primo stadio della catena (*preamplificatore*) si utilizza per migliorare il rapporto segnale/rumore, in modo da trasferire un segnale più pulito all'elettronica di acquisizione. Si assembla in laboratorio un preamplificatore *charge sensitive*: come si può osservare in Figura 1 il modulo consiste di un circuito integratore e la tensione in uscita è quindi direttamente proporzionale alla carica in ingresso. Lo scopo di questa sezione, dedicata al preamplificatore, è di studiare il segnale in uscita verificandone l'integrazione e la linearità rispetto alla carica in ingresso, oltre alla risposta in frequenza del filtro passa basso ricercandone la frequenza di taglio.

## 4.1 Configurazione Sperimentale

Si comincia utilizzando il generatore per simulare i segnali del rivelatore, impostando sul CH1 un impulso quadrato di frequenza  $f_{\text{gen}} = 1 \text{ kHz}$ , tensione di riferimento  $V_{\text{high}} = 0 \text{ V}$ , ampiezza *negativa*  $V_{\text{low}} = -1 \text{ V}$  e durata  $T = 5 \mu\text{s}$  (cioè il tempo di raccolta del segnale). Viene successivamente assemblato sulla breadboard il primo modulo in Figura 1 utilizzando le componenti circuitali riportate in Tabella 1, misurate con il multimetro Metrix. Si utilizza poi un generatore di tensione continua con  $V_{\text{cc}} = +15 \text{ V}$  e  $V_{\text{ee}} = -15 \text{ V}$  per alimentare l'operazionale. Si assume, inoltre, che esso abbia un comportamento ideale, ovvero che il polo positivo ed il polo negativo si trovino allo stesso potenziale (*virtual short*). Il segnale in ingresso  $V_{\text{in}}$  viene prelevato nel punto *IN* evidenziato nello

Misure Dirette - Preamplificatore		
Resistenza	Valore	F.S.
$R_{\text{in}}$	$56.56 \pm 0.02 \text{ k}\Omega$	100 k $\Omega$
$R_{\text{f}}$	$696.1 \pm 0.3 \text{ k}\Omega$	1000 k $\Omega$
$C_{\text{f}}$	$0.232 \pm 0.009 \text{ nF}$	1 nF

Tabella 1: Misure dirette delle componenti circuitali.

schema mentre il segnale in uscita  $V_{\text{out}}^{\text{pre}}$  dal preamplificatore viene prelevato al termine del primo modulo, entrambi utilizzando sonde 10X. Concentrando l'attenzione sul modulo di ingresso (generatore reale e cablaggio), il sistema è un filtro passa basso con frequenza di taglio  $f_t^{\text{in}} \approx 32 \text{ MHz}$  che risulta essere molto maggiore delle frequenze in gioco: risulta allora corretto assumere il modulo in ingresso del tutto equivalente ad un generatore ideale, come rappresentato in Figura 1. Trattando ora il preamplificatore, la funzione di trasferimento del circuito risulta essere

$$H(s) = -\frac{1}{R_{\text{in}} C_{\text{f}}} \frac{1}{s + \frac{1}{\tau_{\text{f}}}} \quad \text{con } \tau_{\text{f}} = R_{\text{f}} C_{\text{f}} \equiv \tau^{\text{pre}} \quad (1)$$

Ricavando allora la risposta ad un segnale a gradino nell'approssimazione  $T \ll \tau^{\text{pre}}$  si trova una crescita lineare direttamente proporzionale alla carica in ingresso al preamplificatore per  $0 < t < T$  e una decrescita smorzata esponenzialmente per  $t \gg T$ :

$$V_{\text{out}}^{\text{pre}}(t) = \begin{cases} -\frac{Q_{\text{in}}(t)}{C_{\text{f}}} & 0 < t < T \\ -\frac{Q_{\text{c}}}{C_{\text{f}}} e^{-\frac{t}{\tau^{\text{pre}}}} & t \gg T \end{cases} \quad \text{con } \begin{cases} Q_{\text{in}}(t) = I_{\text{in}} t = \frac{V_{\text{in}}}{R_{\text{in}}} t \\ Q_{\text{c}} = I_{\text{in}} T = \frac{V_{\text{in}}}{R_{\text{in}}} T \end{cases} \quad (2)$$

dove, appunto,  $Q_{\text{in}}(t)$  corrisponde alla carica raccolta al tempo  $t$  dal preamplificatore mentre  $Q_{\text{c}}$  rappresenta la carica *totale* accumulata nel preamplificatore. Ci si aspetta allora che il segnale in uscita  $V_{\text{out}}^{\text{th}}$  visualizzato sull'oscilloscopio presenti una salita lineare, un valore di tensione massimo corrispondente a  $V_{\text{max}}^{\text{th}} = 0.388 \pm 0.017 \text{ V}$  (misurando l'ampiezza del segnale in ingresso  $V_{\text{in}} = 1.02 \pm 0.02 \text{ V}$ ), e successivamente una decrescita esponenziale di tempo caratteristico  $\tau^{\text{th}} = 0.161 \pm 0.006 \mu\text{s}$ . Sperimentalmente, si misura un valore massimo di tensione pari a  $V_{\text{max}}^{\text{per}} = 0.392 \pm 0.007 \text{ V}$  e un tempo caratteristico di circa  $\tau^{\text{per}} \approx 0.158 \mu\text{s}$ , perfettamente in linea con le aspettative. Si vuole, in ogni caso, approfondire lo studio della risposta del preamplificatore nelle sezioni successive.

## 4.2 Linearità del Preamplificatore

Ci si propone ora di verificare la dipendenza lineare del segnale in uscita  $V_{\text{out}}^{\text{pre}}$  dalla carica in ingresso  $Q_{\text{in}}$  come esposto in Equazione 2. Si fa variare dunque la durata  $T$  del segnale erogato dal generatore di funzioni da  $2 \mu\text{s}$  a  $10 \mu\text{s}$ , in modo da modificare di volta in volta la quantità di carica iniettata nel preamplificatore: per ogni  $T$  viene calcolata la quantità di carica totale  $Q_{\text{c}}$  e viene misurato con l'oscilloscopio il valore massimo del segnale in uscita  $V_{\text{out}}^{\text{max}}$ . Ai valori di tensione misurati con l'oscilloscopio viene associato l'errore di acquisizione comprendente sia il contributo di lettura sia il contributo sul guadagno verticale in quanto nel processo di misura sono state utilizzate scale diverse, con la consapevolezza che quest'ultime portano ad una correlazione almeno parziale delle incertezze. Gli errori sulla carica  $Q_{\text{c}}$ , invece, sono totalmente correlati tra loro:  $V_{\text{in}}$  e  $R_{\text{in}}$  sono, chiaramente, costanti e l'incertezza sulla carica è dunque semplicemente l'incertezza sulla corrente in ingresso al preamplificatore  $\sigma_{I_{\text{in}}}$  riscalata dal tempo  $T$ . Si assume, ragionevolmente, che l'incertezza sulla durata  $T$  del segnale sia trascurabile. Si rappresentano ora in Figura 2 le coppie  $\{Q_{\text{c}}, V_{\text{out}}^{\text{max}}\}$  interpolate da una retta: il coefficiente angolare di quest'ultima corrisponde analiticamente all'inverso della capacità di feedback  $C_{\text{f}}$ . La bontà del fit, l'andamento dei residui ed il confronto di  $C_{\text{f}}^{\text{fit}}$  con quanto misurato direttamente con il multimetro verranno presi in considerazione per verificare la linearità del preamplificatore.

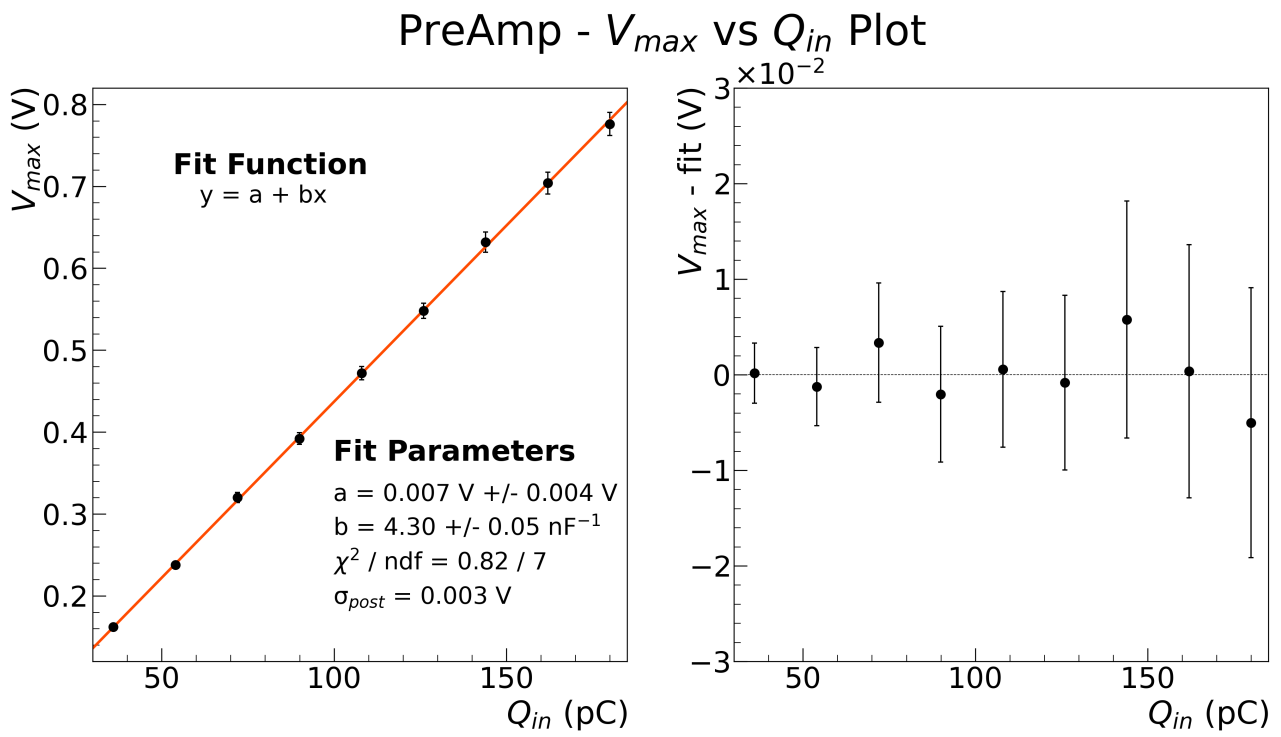


Figura 2: Fit lineare del massimo di tensione in uscita contro la carica totale in ingresso.