

REALIZZAZIONE DI UNA VERSIONE SEMPLIFICATA DI CATENA ELETTRONICA PER UN RIVELATORE DI RADIAZIONE

Attenzione: questa esperienza viene proposta quest'anno per la prima volta, e non è quindi ancora stata adeguatamente "testata" dagli studenti. E' verosimile che il testo della scheda verrà aggiornato più volte durante il laboratorio sulla base delle indicazioni che emergeranno di volta in volta. Subito prima di iniziare l'esperienza recuperate quindi l'ultima versione del testo sul sito moodle.

NOTA: l'esercitazione, della durata di due pomeriggi, consiste nell'esecuzione dei punti da 1 a 4. Il logbook va consegnato completo dei dati e conti richiesti a fine giornata. *Alcuni plot e foto indicati in blu vanno caricati su moodle.*

Tenete d'occhio i tempi di esecuzione dei vari punti: se siete in ritardo rivolgetevi al docente o all'assistente presente in laboratorio.

Materiale e strumentazione disponibile

- due integrati TL082C contenenti in tutto 4 amplificatori operazionali
- resistenze e condensatori di varie taglie
- un alimentatore di tensione continua stabilizzato (2 uscite 0-20V + 1 uscita fissa 5V)
- un generatore di funzioni Tektronix AFG 1022 a 2 canali
- un oscilloscopio digitale Tektronix TBS 1102B
- due multimetri digitali
- una scheda Arduino Due con circuito di protezione sugli ingressi

Per le misure con l'oscilloscopio utilizzare le sonde!

PRIMA PARTE: REALIZZAZIONE E STUDIO INDIVIDUALE DEI COMPONENTI DELLA CATENA ELETTRONICA

1) Generatore dei segnali e preamplificatore di carica (tempo previsto 90' – 120')

1.1) Generatore di impulsi di corrente

- Utilizzeremo il generatore di funzioni per simulare i segnali del rivelatore, generando un impulso quadrato di tensione con in serie una resistenza adeguata (che equivale a un impulso di corrente con la resistenza in parallelo). Essendo la resistenza di ingresso del preamplificatore molto più bassa di R_{in} , tutta la corrente generata entrerà nel preamp.
- Impostare sul CH1 del generatore la forma "PULSE". Frequenza 500 Hz e periodo dell'impulso 2 μ s. Verificare con l'oscilloscopio che la forma dell'impulso sia corretta.
- Recuperare una resistenza R_{in} compresa tra 10k e 50k e impostare l'ampiezza dell'impulso in modo che la carica che arriva sul preamp sia quella indicata nella combinazione assegnata sul logbook.

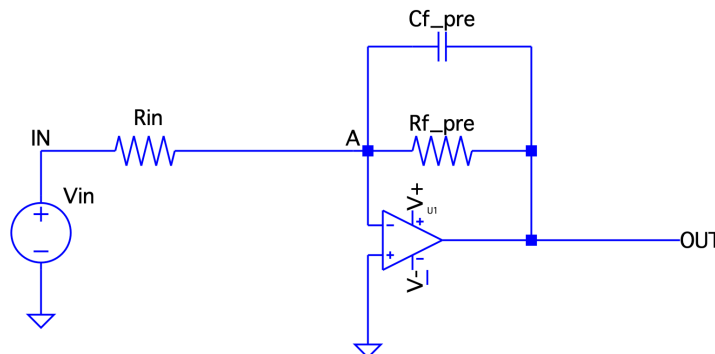


fig.1: schema generatore e preamplificatore

1.2) Preamplificatore di carica

- Il preamplificatore di carica è un semplice circuito integratore invertente. Assemblare il circuito con l'operazionale in dotazione, la capacità C_{f_pre} indicata nella combinazione e una resistenza R_{f_pre} per ottenere il tempo caratteristico τ_{pre} indicato.
- Inserire il segnale del generatore (impulso quadrato) sull'ingresso A e visualizzare sull'oscilloscopio il segnale di uscita OUT verificando l'effetto di integrazione della carica e il successivo smorzamento esponenziale.
- Calcolare il valore atteso massimo V_{pre}^{MAX} di tensione in uscita dal preamp e confrontarlo con il valore misurato. Se si discosta oltre il 10% dalle attese consultare il docente.

1.3) Verifica della linearità del preamplificatore

- Modificare la durata dell'impulso di ingresso in modo da variare la quantità di carica iniettata e misurare l'altezza massima del segnale del preamplificatore. Eseguire 5 misure tra 2 us e 10 us e costruire il grafico V_{pre}^{MAX} vs. Q_{in} per verificare la linearità della risposta del circuito.

1.4) Tempo caratteristico

- Misurare il tempo caratteristico τ_{pre} prendendo 5-6 punti (V_{pre} , t) nella fase di scarica del segnale, interpolando i punti con un'esponenziale decrescente (ovvero i logaritmi con una retta). Confrontare il risultato con il valore atteso.

1.5) Riposta in frequenza

- Misurare la risposta in frequenza del circuito per frequenze tra 10 Hz e 1 MHz. Riportare le misure in scala logaritmica (grafico di bode) per verificare il tipico andamento da circuito integratore. Confrontare i risultati sperimentali con le previsioni teoriche.
- **da caricare su moodle:**
 - o *foto oscilloscopio (incluso il numero identificativo dello strumento) con V_{IN} e V_{OUT_pre} del punto 1.2)*
 - o *Plot V_{pre}^{MAX} vs. Q_{IN} con il fit (o sua foto) per il punto 1.3*
 - o *Grafico di Bode della risposta in frequenza (o sua foto) per il punto 1.5*

2) Circuito formatore (tempo previsto 90' – 120')

2.1) Shaper base CR-RC

- Assemblare il circuito formatore di base di figura 2 utilizzando due capacità uguali $C_{sh1/2}$ del valore indicato nella combinazione e due resistenze uguali $R_{sh1/2}$ tali da avere il tempo caratteristico τ_{sh} indicato. Disaccoppiare i due stadi CR – RC utilizzando il secondo opamp del TL082 come buffer.
- Inserire sull'ingresso B un'onda quadra di frequenza sufficientemente bassa (~100 Hz) tra 0 e $V_{pre}^{ideal} \sim 1V$ che simula il comportamento di un preamplificatore ideale che mantiene il segnale alto per un tempo indefinito.
- visualizzare sull'oscilloscopio il segnale di uscita OUT e misurare le grandezze caratteristiche: valore del massimo (V_{sh}^{MAX}) e tempo corrispondente (t_{sh}^{MAX}). Verificare anche che dopo $10\tau_{sh}$ il segnale sia tornato prossimo a 0.

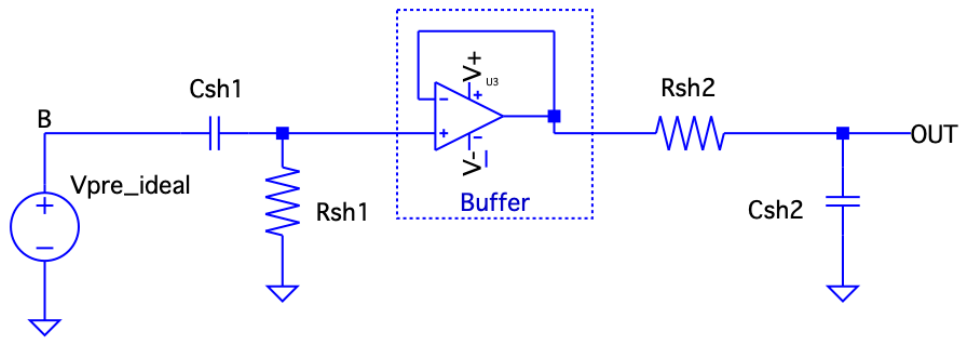


fig.2: schema shaper CR-RC

- Calcolare i valori attesi e confrontarli con i valori misurati. Se si discostano oltre il 10% dalle attese consultare il docente.
- Prendere infine 10-12 punti della curva, da confrontare poi in fase di analisi dati con la forma d'impulso prevista.

2.2) Risposta in frequenza dello shaper base

- Misurare la banda passante dello shaper per frequenze tra 10 Hz e 1 MHz. Riportare le misure in scala logaritmica (grafico di bode) e verificare le regioni di frequenze in cui il circuito si comporta da integratore o da derivatore. Confrontare i risultati sperimentali con le previsioni teoriche.

2.3) Shaper CR-RC con compensazione Pole-Zero

- Inserire ora l'uscita del preamplificatore sull'ingresso B dello shaper. Ripristinare le condizioni del punto 1.2 e verificare che il segnale in uscita dal preamplificatore corrisponda a quello misurato in precedenza. Prendere nota della tensione massima raggiunta dal preamplificatore V_{pre}^{MAX} .
- Visualizzare il segnale di uscita dallo shaper, che dovrebbe ora presentare il tipico undershoot: rimisurare i valori del massimo V_{sh}^{MAX} , il tempo corrispondente e il valore massimo dell'undershoot.
- Calcolare il valore richiesto di R_{pz} per compensare l'effetto del Pole-Zero e inserire una resistenza di pari valore (eventualmente come serie di più resistenze) in parallelo a C_{sh1} (figura 3).
- Tenendo sempre in ingresso il segnale del preamp, visualizzare il segnale di uscita per verificare l'effetto di compensazione.
- Verificare che la tensione dopo $10\tau_{sh}$ sia compatibile con lo zero. In caso contrario provare a modificare R_{pz} fino a quando il segnale si riporta correttamente a 0. Se il valore sperimentale differisce per oltre il 10% da quello atteso contattare il docente.

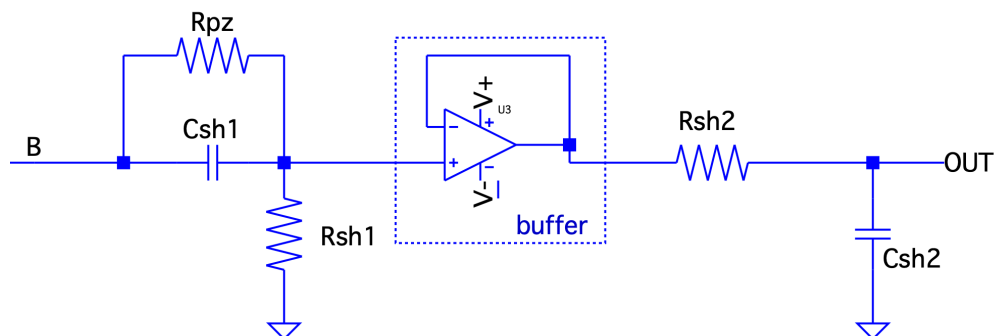


fig.3: schema shaper CR-RC con compensazione pole-zero

2.4) Linearità della catena elettronica fino allo stadio formatore

- Modificare la durata dell'impulso di ingresso in modo da variare la quantità di carica iniettata e misurare l'altezza massima del segnale in uscita dallo shaper. Eseguire 5 misure tra 2 us e 10 us e costruire il grafico V_{sh}^{MAX} vs. Q_{in} per verificare la linearità della risposta del circuito.

2.5) Effetto dello shaping-time

- Verificare l'effetto di integrazione-derivazione al variare dello shaping time: sostituire alle resistenze $R_{sh}/2$ coppie di resistenze di valore ridotto, in modo da modificare il τ_{sh} senza alterare la compensazione del PZ. Provare con $R_{sh}' = R_{sh}/10$ e con $R_{sh}'' = R_{sh}/100$.
- Visualizzare il segnale di uscita nei due casi. Fotografare i segnali, da confrontare poi in fase di analisi dati con quelli prodotti dalla simulazione. *Cosa si vede in corrispondenza dello shaping time più piccolo?*
- Ripristinare infine le R_{sh} originali.
- **da caricare su moodle:**
 - o 4 foto oscilloscopio (incluso il numero identificativo dello strumento) con V_{IN} e V_{OUT_sh} per (a) CR-RC base con ingresso a gradino; (b) CR-RC base con ingresso dal preamp; (c) CR-RC modificato con compensazione PZ e ingresso dal preamp; (d) CR-RC modificato con shaping time = 1/100 di quello iniziale.
 - o Grafico di Bode della risposta in frequenza (o sua foto) per il punto 2.2
 - o Plot V_{sh}^{MAX} vs. Q_{IN} con il fit (o sua foto) per il punto 2.4

3) Circuito amplificatore invertente (tempo previsto 90' – 120')

Il segnale prodotto fin qui ha la forma corretta, ma è negativo e di ampiezza non ottimale. La scheda di acquisizione Arduino Due richiede in ingresso segnali positivi in un range di pochi volt. Per adattare l'output dello shaper all'ingresso della DAQ useremo quindi un circuito amplificatore invertente da strumentazione. *Perché non possiamo usare un invertente semplice?*

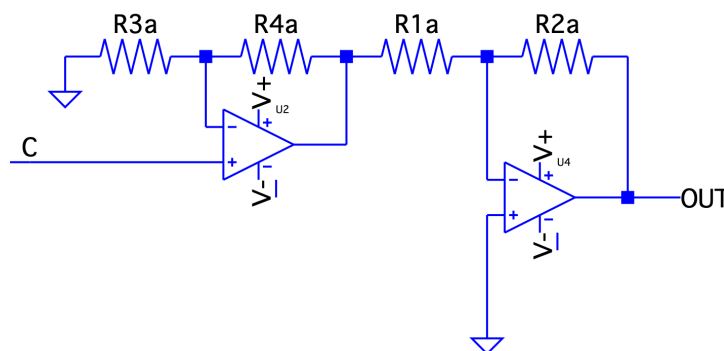


fig.4: schema amplificatore invertente da strumentazione

- Impostare la durata più lunga per il segnale sul generatore (Q_{IN} più alto) pari a 10 us e misurare l'ampiezza del segnale di uscita dallo shaper V_{sh}^{MAX} . Calcolare quindi l'amplificazione necessaria affinché questo segnale raggiunga l'altezza di circa 2 V.
- Utilizzando il secondo integrato TL082, costruire il circuito di figura 4 con opportune resistenze (>5k) tali da ottenere l'amplificazione desiderata.
- Inserire il segnale del formatore in C e verificare di aver ottenuto l'output previsto. Se l'ampiezza dell'output si discosta oltre il 10% dal valore previsto avvisare il docente.

3.1) Linearità della catena elettronica

- Modificare la durata dell'impulso di ingresso in modo da variare la quantità di carica iniettata e misurare l'altezza massima del segnale in uscita dall'amplificatore. Eseguire 5 misure tra 2 us e 10 us e costruire il grafico V_{out}^{MAX} vs. Q_{IN} per verificare la linearità della risposta del circuito.

3.2) Risposta in frequenza del circuito finale

- Misurare la banda passante del circuito finale per frequenze tra 10 Hz e 1 MHz. Riportare le misure in scala logaritmica (grafico di bode) e verificare le regioni di frequenze in cui il circuito si comporta da integratore o da derivatore. Confrontare i risultati sperimentali con le previsioni teoriche.
- **da caricare su moodle:**
 - o *foto oscilloscopio (incluso il numero identificativo dello strumento) con V_{IN} e V_{OUT} del segnale più alto*
 - o *Plot V_{sh}^{MAX} vs. Q_{IN} con il fit (o sua foto) per il punto 3.1*
 - o *Grafico di Bode della risposta in frequenza (o sua foto) per il punto 3.2*

4) Data Acquisition (tempo previsto 90' – 120')

La scheda di acquisizione in dotazione è una scheda Arduino Due montata su un supporto di appoggio e dotata di una basetta aggiuntiva, che permette di accedere ai pin di interesse attraverso dei morsetti a vite.

L'accesso a questi pin, inoltre, è stato protetto con dei limitatori di tensione a diodi, in modo da evitare di iniettare tensioni troppo elevate nei pin, che potrebbero bruciare la scheda.

Anche se ci sono le protezioni, è opportuno comunque **rispettare sempre** i seguenti accorgimenti:

- verificare bene con l'oscilloscopio che **i segnali inseriti non superino mai i 2.5 Volt di ampiezza.**
- **ACCENSIONE (in sequenza):**
 1. partire con la scheda Arduino **senza alcun collegamento** sui pin.
 2. **collegare il cavo USB Arduino-PC**, in modo da alimentarlo (connettore centrale, vicino all'alimentazione esterna). Si dovrebbero accendere 2 led verde e giallo sulla sinistra del connettore.
 3. inserire i pin **senza segnale** (generatore spento)
 4. accendere il generatore e acquisire i segnali
- **SPEGNIMENTO (in sequenza):**
 1. spegnere il generatore
 2. scollegare tutti i pin
 3. staccare il cavo USB

PIN disponibili

Per le misure dell'esperienza utilizzeremo i seguenti 3 pin :

1. Trigger sul **pin 49**
2. Segnale da acquisire sul **pin A0**
3. Massa sul **pin GND**

4.1) Calibrazione temporale

Scopo di questa operazione è la determinazione precisa del sampling time dell'ADC dell'Arduino.

Preparazione dei segnali (SENZA ARDUINO)

- Impostare il segnale di trigger sul CH2 del generatore: un impulso quadrato di durata 10 us e frequenza 1 kHz. **L'altezza dell'impulso di trigger deve essere pari a 2 V a partire dallo 0.** Verificare sull'oscilloscopio la forma del segnale di trigger.
- Impostare sul CH1 del generatore l'onda sinusoidale con **Vpp = 500 mV e partenza da 0** (selezionare l'offset di 250 mV oppure i valori low-high con low=0 e high=500 mV). Impostare la frequenza inizialmente a 1 kHz.

Acquisizione dei segnali (CON ARDUINO)

- Accendere l'Arduino come spiegato sopra
- Collegare i pin (a generatore ancora spento) nella seguente sequenza:
 - o pin GND : massa
 - o pin 49 : trigger (CH2)
 - o pin A0 : segnale (Ch1)
- Acquisire una o più forme d'onda utilizzando lo script in python.
- Verificare quindi di aver acquisito correttamente le forme d'onda visualizzando i dati con la macro root in dotazione oppure con altro programma grafico.
- Acquisire altre forme d'onda con sinusoide a 2kHz, 5kHz e 10 khz.

Ricavare il sampling time dalle misure in sample del periodo delle sinusoidi.

4.2) Calibrazione verticale

Scopo di questa operazione è la determinazione della funzione di calibrazione in tensione del campionatore ($V = a + b \cdot ch$ con ch =tensione in adc_counts)

Preparazione dei segnali (SENZA ARDUINO)

- scollegare il pin del segnale dall'Arduino (non è necessario spegnere la scheda)
- Impostare sul CH1 del generatore l'onda quadrata con **partenza da 0 e altezza variabile** (inizialmente 200 mV). Impostare la frequenza a 1 kHz.
- Visualizzare sull'oscilloscopio il segnale e misurare bene l'altezza dell'impulso.
- Modificare l'ampiezza e misurare, sempre con l'oscilloscopio, le tensioni corrispondenti alle impostazioni nominali di 500 mV, 1 V, 1.5 V, 2 V e 2.3 V

Acquisizione dei segnali (CON ARDUINO)

- Tornare all'ampiezza nominale di 200 mV e collegare il pin di segnale
- Acquisire una forma d'onda utilizzando lo script in python e verificare l'acquisizione.
- Acquisire altre forme d'onda con le ampiezze misurate in precedenza: 500 mV, 1 V, 1.5 V, 2 V e 2.3 V

Ricavare i parametri della calibrazione lineare dalle misure in adc_counts delle tensioni acquisite.

4.3) Acquisizione dei segnali della catena elettronica

Preparazione dei segnali (SENZA ARDUINO)

- scollegare i pin dell'Arduino.
- Ripristinare la configurazione del punto 3.1 con il segnale di ingresso di durata 10 μs e la frequenza a 1 kHz. Visualizzare l'output sull'oscilloscopio e verificare che corrisponde al segnale studiato in precedenza.
- Preparare il trigger: sincronizzare il CH2 (trigger) con il CH1 (segnale) in modo che il trigger capiti circa 250 μs prima del segnale da acquisire. Operare sul parametro phase avendo l'accortezza di muovere la rotellina di controllo in entrambi i canali (come fatto nell'esperienza degli opamp).

Acquisizione dei segnali (CON ARDUINO)

- Spegnerne i canali del generatore
- Collegare i pin dell'Arduino e riaccendere i canali del generatore.
- Acquisire una o più forme d'onda utilizzando lo script in python e verificare l'acquisizione.
- Ridurre progressivamente la durata dell'impulso di ingresso (9 μs , 8 μs , 7 μs ...) e acquisire le forme d'onda corrispondenti.

- da caricare su moodle:

- o *Grafico della forma d'onda sinusoidale a 1 kHz*
- o *Grafico della forma d'onda quadra da 200 mV*
- o *Grafico del segnale finale con durata dell'impulso di 10 μs .*

5) Circuito preamplificatore-formatore (facoltativo)

Il circuito in figura 5 rappresenta una versione più realistica degli stadi preamplificatore-formatore studiati in precedenza.

- Risolvere il circuito nel formalismo di Laplace, determinare le condizioni di compensazione PZ e il valore dei componenti, considerando, come sopra, di avere un tempo caratteristico dello stadio preamplificatore intorno ai 200-300 μs e un tempo di formazione intorno ai 10-20 μs .
- Assemblare il circuito, iniettare il segnale in corrente come sopra e visualizzare la forma d'onda di uscita (OUT) e in uscita al preamplificatore.
- Prendere un numero congruo di misure significative e confrontare i risultati ottenuti con le attese.

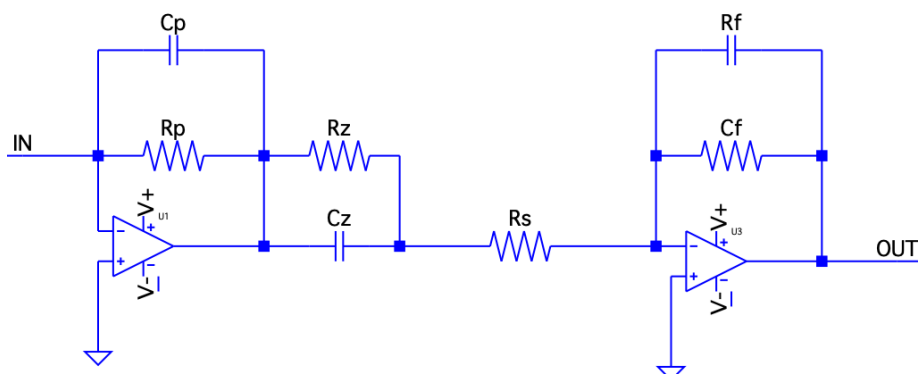


fig.5: raddrizzatore di precisione con amplificatori operazionali

- da caricare su moodle:

- a. *foto oscilloscopio (incluso il numero identificativo dello strumento) con Vin e Vout*