

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

L'esercitazione, della durata di tre sessioni, consiste nell'esecuzione dei punti da 1 a 3. Il *logbook elettronico* (che include alcuni plot e foto come specificato sotto) va caricato sul logbook elettronico entro la sera del giorno successivo.

NOTA 1: visto che non tutti useranno Arduino, abbiamo indicato alcune operazioni **in rosso**, per chi acquisirà dati con Arduino, e altre **in violetto**, per chi userà solo l'oscilloscopio.

NOTA 2: i circuiti realizzati con componenti reali possono generare dei livelli di continua sotto i segnali che vogliamo analizzare. (1) usare sempre l'oscilloscopio in DC e i cursori per le misure; (2) considerare lo "zero" dei segnali come il livello di continua che si vede subito prima degli stessi (baseline). Es: un segnale che ha il max a 1.2V ma presenta una baseline di 0.2V avrà un'ampiezza effettiva di 1V.

### 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!

## 1) Generatore dei segnali e preamplificatore di carica

### 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).
- Impostare sul CH1 del generatore la forma "PULSE". Frequenza 1 kHz, livello di tensione di riferimento (*high*) a 0 e ampiezza negativa (*low*) a -1V, durata dell'impulso  $T=5\text{ us}$  (si ottiene impostando il duty cycle al 99.5% o 995 us, perché è invertito...). Verificare con l'oscilloscopio che la forma dell'impulso sia corretta.
- Identificare la resistenza  $R_{in}$  assegnata (valore compreso tra 45k e 85k) e calcolare la quantità di carica prevista  $Q_{in}$  che arriva sul preamp in 5 us.

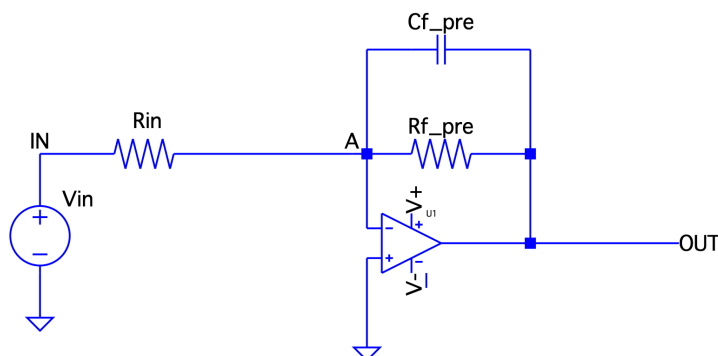


fig.1: schema generatore e preamplificatore

## 1.2) Preamplificatore di carica

- Identificare la capacità  $C_{f\_pre}$  (valore compreso tra 160 pF e 350 pF) e la  $R_{f\_pre}$  (valore tra 500k e 1000k) tra quelle in dotazione.
- Assemblare il circuito di figura 1 con il primo operazionale in dotazione, la capacità  $C_{f\_pre}$  e la resistenza  $R_{f\_pre}$ . Calcolare il tempo caratteristico  $\tau_{pre}$  atteso e il valore atteso massimo  $V_{pre}^{MAX}$  di tensione in uscita dal preamp.
- Inserire il segnale del generatore (impulso quadrato) in IN e visualizzare sull'oscilloscopio il segnale di uscita OUT verificando l'effetto di integrazione della carica e il successivo smorzamento esponenziale.
- Confrontare il valore massimo atteso con quello 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 alcune misure con  $T \leq 10 \mu s$  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  $\tau_{pre}$  analizzando la fase di scarica del segnale e confrontare il risultato con il valore atteso.
- per chi non usa Arduino: prendere le misure necessarie alla misura in laboratorio utilizzando l'oscilloscopio
- per chi usa Arduino: stimare approssimativamente il valore per vedere che sia ragionevolmente in accordo con le aspettative. Alla fine dell'esperienza registrare il segnale per l'analisi più accurata da fare a casa (punto 4)

## 1.5) Risposta in frequenza

- Misurare la risposta in frequenza del circuito per frequenze tra 10 Hz e 1 MHz. Costruire il grafico di Bode e verificare il tipico andamento da circuito integratore. Confrontare i risultati sperimentali con le previsioni.
- **da caricare su moodle:**
  - o misure dei componenti
  - o dati raccolti e valori calcolati (vedi format .txt 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

**WARNING:** non smontare l'integratore! costruire lo shaper in un'altra zona libera della basetta.

### 2.1) Shaper base CR-RC

- Assemblare il circuito formatore di base di figura 2 utilizzando le due capacità uguali in dotazione  $C_{sh1/2}$  (valore compreso tra 90pF e 160p) e le due resistenze uguali  $R_{sh1/2}$  (valore compreso tra 90k e 160k). Disaccoppiare i due stadi CR – RC utilizzando il secondo opamp dello stesso integrato TL082 come buffer. Calcolare il tempo caratteristico  $\tau_{sh}$ .

- Inserire sull'ingresso B un'onda quadra di frequenza sufficientemente bassa ( $\sim 100$  Hz) di ampiezza  $V_{pre}^{ideal} = +1V$  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 alla baseline.

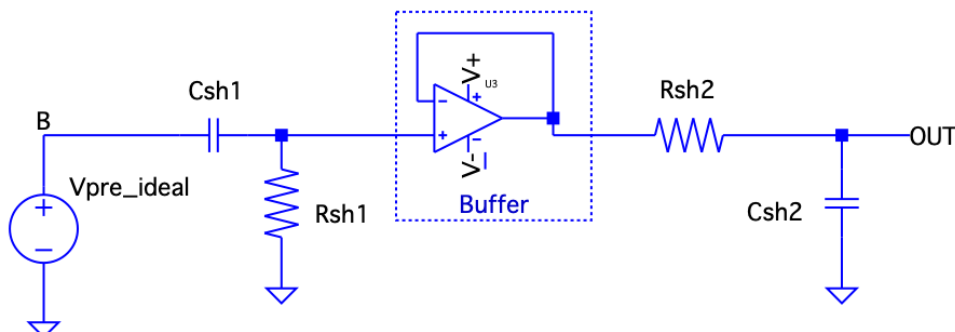


fig.2: schema shaper CR-RC

- Calcolare i valori attesi e confrontarli con i valori misurati. Se si discostano oltre il 10% dalle attese consultare il docente.
- Per chi non usa Arduino: registrare la forma della curva, da confrontare poi in fase di analisi dati con la forma d'impulso prevista. Prendere un sufficiente numero di misure in laboratorio utilizzando l'oscilloscopio.
- Per chi usa Arduino: si fa alla fine (punto 4)

## 2.2) Risposta in frequenza dello shaper base

- Misurare la risposta in frequenza del circuito per frequenze tra 10 Hz e 1 MHz. Costruire il grafico di Bode e verificare le regioni di frequenza in cui il circuito si comporta da integratore o da derivatore. Confrontare i risultati sperimentali con le previsioni.

## 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). Chiedere ai docenti per le resistenze.
- 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.

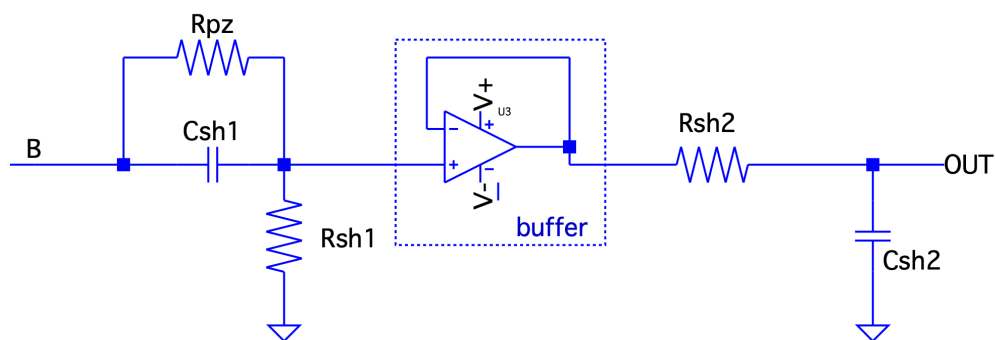


fig.3: schema shaper CR-RC con compensazione pole-zero

- **da caricare su moodle:**

- misure dei componenti
- dati raccolti e valori calcolati
- 3 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
- Grafico di Bode della risposta in frequenza (o sua foto) per il punto 2.2

### 3) Circuito amplificatore non invertente e catena elettronica completa

Il segnale prodotto fin qui ha la forma corretta, ma l'ampiezza è piccola rispetto ai tipici range di input delle DAQ. La scheda di acquisizione Arduino Due riceve sull'input analogico segnali positivi su un range di circa 3V, che vengono convertiti su 12 bit (4096 valori).

Il segnale proveniente dalla shaper è già positivo e basterà quindi un'amplificazione lineare per adattarlo al range della DAQ e utilizzare al meglio la conversione AD. Useremo quindi un semplice circuito amplificatore non invertente.

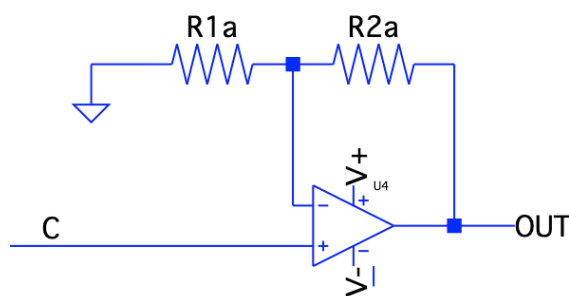


fig.4: schema amplificatore non invertente semplice

#### 3.1) Stadio finale di amplificazione

- 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 2 V.
- Utilizzando il secondo integrato TL082, costruire il circuito di figura 4 con opportune resistenze (>5k) tali da ottenere l'amplificazione desiderata. Chiedere ai docenti per le resistenze.
- Iniettare sull'ingresso C un'onda sinusoidale di frequenza 1 kHz e misurare l'amplificazione ottenuta. Se si discosta oltre il 10% dal valore previsto avvisare il docente.

- Inserire quindi il segnale dello shaper 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.

### 3.2) 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 alcune misure utilizzando l'oscilloscopio con  $T \leq 10 \text{ us}$  e costruire il grafico  $V_{\text{out}}^{\text{MAX}}$  vs.  $Q_{\text{IN}}$  per verificare la linearità della risposta del circuito.

### 3.3) Risposta in frequenza della catena elettronica

- Misurare la risposta in frequenza del circuito per frequenze tra 10 Hz e 1 MHz. Costruire il grafico di Bode e verificare le regioni di frequenza in cui il circuito si comporta da integratore o da derivatore. Confrontare i risultati sperimentali con le previsioni.

### 3.4) Effetto dello shaping-time (facoltativo. Se si usa Arduino andare prima al punto 4)

- Verificare l'effetto di integrazione-derivazione al variare dello shaping time: sostituire alle resistenze  $R_{sh1/2}$  una coppia di resistenze di valore ridotto ( $R_{sh}' \ll R_{sh}$ ), in modo da modificare il  $\tau_{sh}$  senza alterare la compensazione del PZ. Chiedere ai docenti per le nuove resistenze.
- Visualizzare il segnale di uscita. Cosa è successo?
- Fotografare il segnale, da confrontare poi in fase di analisi dati con quelli prodotti dalla simulazione.

### 3.5) Altre misure con la catena elettronica finale (facoltativo, se non si usa Arduino)

- Provare a variare il segnale di ingresso (es. un impulso triangolare che sale in 500ns e torna a zero in 5 us, e/o un'altra forma a vostra scelta – usare la forma Arb e inserire il segnale a punti) e misurare il segnale in uscita al preamplificatore e sull'uscita finale. Fotografare l'oscilloscopio in modo da poter ricavare a posteriori i valori significativi e confrontarli con le previsioni/simulazioni.
- Provare a modificare qualche componente del circuito (non a caso, ma prevedendo prima cosa dovrebbe succedere) e vedere se il circuito risponde come previsto.
- **da caricare su moodle:**
  - o *misure dei componenti*
  - o *dati raccolti e calcoli richiesti*
  - o *foto oscilloscopio (incluso il numero identificativo dello strumento) con  $V_{\text{IN}}$  e  $V_{\text{OUT}}$  del segnale più alto*
  - o *Plot  $V_{sh}^{\text{MAX}}$  vs.  $Q_{\text{IN}}$  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) Misure con Arduino

Arduino permette di acquisire le forme d'onda in modo "raw" per poi analizzarle offline in dettaglio in fase di relazione. Il segnale in uscita dal preamplificatore e quello finale possono essere acquisiti direttamente. Quello in uscita dallo shaper invece richiederebbe un adattamento di impedenza, cosa che complicherebbe ulteriormente il circuito. Si può comunque acquisire il

segnale dopo lo stadio finale e utilizzare l'amplificazione misurata (punto 3) per riscaldare il segnale misurato.

Seguire queste indicazioni per limitare il tempo di esecuzione delle misure:

- a) se l'Arduino non corrisponde a quello utilizzato la volta scorsa, acquisire una forma d'onda quadra da 1 V e 5 kHz per avere una calibrazione minimale, ma sufficiente.
- b) registrare il segnale finale con  $T=10$  us. Visualizzare la forma d'onda e verificare se l'ampiezza in `adc_counts` è ragionevolmente compatibile con l'ampiezza in Volt misurata in precedenza. Se tutto è ok procedere con le misure a  $T$  inferiori.
- c) Registrare un segnale in uscita dal preamplificatore con  $T = 5$  us.
- d) Per lo shaper: togliere la  $R_{pz}$  e misurare un segnale non compensato con  $T=5$  us. Riscaldando questo segnale per l'amplificazione dell'ultimo stadio si ottiene quello che sarebbe stato il segnale misurato direttamente in uscita dallo shaper (pto 2.3). Sostituire quindi l'ingresso dello shaper con l'onda quadra per registrare il segnale di risposta dello shaper base (pto 2.1).