

STUDIO DI CIRCUITI CON AMPLIFICATORI OPERAZIONALI

NB: l'esercitazione, da svolgere in due giorni, consiste nell'esecuzione dei punti 1, 2 e di un terzo così specificato: se avete optato per l'utilizzo di Arduino come strumento di acquisizione per la prossima esperienza svolgete il punto 4 (calibrazione dell'arduino), in caso contrario il punto 3.

Il logbook elettronico (che include alcuni plot e foto come specificato sotto) va caricato sul logbook elettronico entro la sera del secondo giorno.

Materiale e strumentazione disponibile

- un integrato TL082C contenente 2 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

Per le misure con l'oscilloscopio utilizzare le sonde!

Schema di alimentazione dell'operazionale

- Collegare l'amplificatore operazionale alle alimentazioni $V_{cc} = +15V$ e $V_{ee} = -15V$. Dal momento che, a causa dell'alto guadagno, gli operazionali sono soggetti a fenomeni di oscillazione, collegare due capacità da $0.1 \mu F$ tra le alimentazioni dell'operazionale e la massa, posizionandoli in prossimità dei pin dell'opamp.
- Prima di effettuare qualsiasi cambiamento al circuito, spegnere le alimentazioni. Per evitare che gli input stages dell'opamp si danneggino, non superare mai i valori specificati per V_{cc} e V_{ee} .

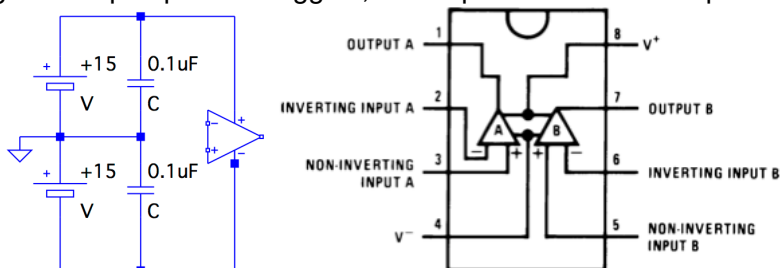


fig.1: schema del circuito di alimentazione dell'opamp TL032 e relativa piedinatura dell'integrato.

1) Misura della curva di trasferimento VTC (caratteristica V_{in} vs. V_{out}) per un amplificatore invertente

- Misurare le resistenze in dotazione ($R_f > R_1$!) e assemblare il circuito in figura 2, con le tensioni di alimentazioni spente. Calcolare l'amplificazione attesa.¹

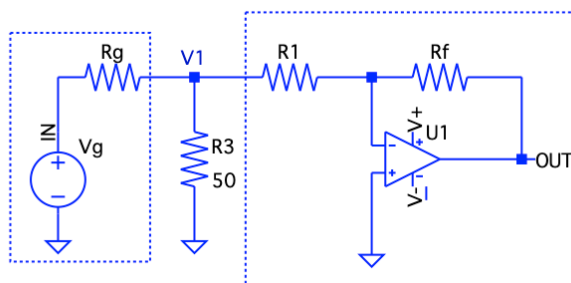


fig.2: amplificatore invertente

¹ R_g è la resistenza interna del generatore e R_3 una resistenza da circa 50 ohm per adattare l'ingresso (vanno bene anche le resistenze di valore standard da 47 ohm). L'adattamento non è strettamente necessario in questo caso, ma nella maggior parte dei circuiti con cui abbiamo a che fare in fisica è sempre presente, per adattarsi ai cavi e ad altri eventuali moduli a cui potrebbero venir collegati.

- Per facilitare l'impostazione del circuito (non necessario, ma utile) controllate che il generatore sia impostato sull'impedenza di 50 ohm, in modo da leggere sul display un valore compatibile con quello reale che misurerete sull'oscilloscopio.
- Applicare in ingresso una tensione sinusoidale di frequenza 1 kHz e una ampiezza di 0.2 V_{pp}: misurare la tensione di ingresso con l'oscilloscopio nel punto V1 (V_{in}) e la tensione di uscita in OUT (V_{out}).
- Aumentare progressivamente l'ampiezza del segnale in ingresso e misurare l'ampiezza in uscita, arrivando a prendere almeno un paio di punti in saturazione. Registrare separatamente i massimi positivi e quelli negativi di V1 e OUT usando i cursori e riportare i risultati in un grafico.
- **da caricare sul logbook elettronico:**
 - a. misure dei componenti
 - b. dati raccolti della VTC
 - c. Plot V_{OUT} vs. V_{IN} con il fit (o sua foto)

2) Realizzazione di un circuito derivatore

Il circuito rappresentato in figura 3 è un derivatore (filtro attivo)

- Modificare il circuito precedente aggiungendo la capacità C1.
- Calcolare la frequenza di taglio attesa e il massimo guadagno atteso.
- Utilizzare il generatore di tensione Vg per iniettare un'onda triangolare di ampiezza 1 V e frequenza 1 kHz. Visualizzate la tensione di ingresso (V1) e la tensione in uscita dall'operazionale (OUT) verificando il funzionamento da derivatore.
- Ripristinare quindi la forma d'onda sinusoidale e ricavare sperimentalmente la frequenza di taglio modificando la frequenza sul generatore fino a raggiungere l'amplificazione attesa per la f_t.
- Misurare la risposta in frequenza (*solo ampiezze*) con una decina di punti tra 100 Hz e 1 MHz e riportare in grafico l'andamento dell'amplificazione (scale logaritmiche, *grafico di Bode*)

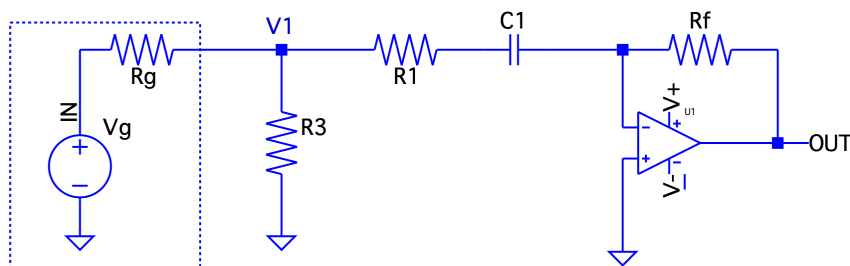


fig.3: circuito derivatore

- **da caricare sul circuito elettronico:**
 - a. misure componenti
 - b. foto oscilloscopio (incluso il numero identificativo dello strumento) con V_{in} e V_{out} per l'onda triangolare in ingresso
 - c. misura diretta frequenza di taglio
 - d. dati banda passante
 - e. Grafico di Bode (o sua foto)

3) Circuito sommatore invertente (facoltativo per chi usa Arduino, da fare, in caso, dopo il punto 4)

Il circuito di figura 4 è un sommatore invertente. La tensione in uscita dall'operazionale, nel caso ideale di resistenze esattamente uguali, è data dalla somma delle tensioni fornite dai due generatori di tensione V1 e V2: $V_{OUT} = -(V1 + V2)$

- Modificare il circuito precedente: togliere il condensatore, sostituire Rf con una resistenza uguale a R1, aggiungere il secondo ingresso con la R1b sempre uguale a R1 e adattare l'ingresso.
- Applicare agli ingressi V1 e V2 due onde sinusoidali di ampiezza $V_{PP} = 1V$ e frequenza rispettivamente 1 kHz e 2 kHz.
- Visualizzare la forma d'onda in uscita sull'oscilloscopio e misurare le ampiezze in ingresso e uscita nei punti di interesse, verificando l'effetto di somma.
- Provate infine a modificare la frequenza dell'onda V2 mettendola vicina a V1 per osservare i battimenti. Misurate il periodo dell'onda involuppo e confrontatelo con il calcolo teorico.

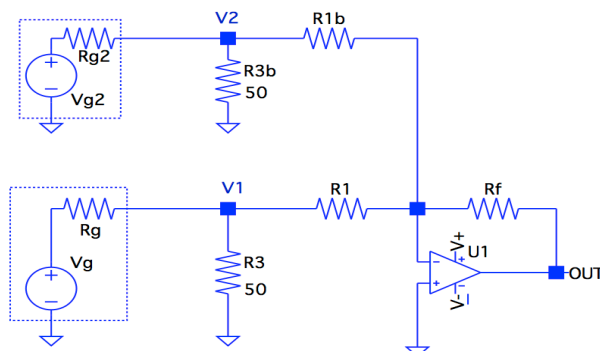


fig.4: circuito sommatore invertente

- **da caricare sul logbook elettronico:**
 - misure dei componenti
 - foto oscilloscopio (incluso il numero identificativo dello strumento) con V1 e Vout per le due onde a frequenza una doppia dell'altra
 - misure significative onda somma
 - foto oscilloscopio con V1 e Vout per le due onde in battimento
 - misure significative battimenti

4) Data Acquisition con Arduino

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 quadra di ampiezza **V1 = 1 V e partenza da 0** (*impostare l'ampiezza tramite i valori low-high sul generatore con low=0 e high=1 V*). Impostare la frequenza a 5 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 forma d'onda utilizzando lo script in python.
- Verificare quindi di aver acquisito correttamente la forma d'onda visualizzando i dati con la macro root in dotazione oppure con altro programma grafico.

- Ricavare il sampling time in modo approssimato (poi lo farete meglio a casa...) dalle misure in sample dei fronti di salita e discesa, nota la frequenza dell'onda in ingresso.

4.2) Calibrazione verticale

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

4.2.1) Se avete poco tempo a disposizione...

- scollegate il pin del segnale dall'Arduino
- Visualizzate sull'oscilloscopio il segnale e misurate bene i valori di tensione basso e alto dell'onda.

La calibrazione si può ricavare in maniera minimale utilizzando la forma d'onda acquisita in precedenza e i due punti corrispondenti ai due valori misurati delle tensioni.

4.2.1) Se avete almeno 15-20 min a disposizione...

L'ADC interno dell'Arduino ha una buona linearità, tuttavia il circuito aggiunto di protezione dei pin di ingresso modifica leggermente la risposta, soprattutto alle tensioni maggiori.

Preparazione dei segnali (SENZA ARDUINO)

- scollegate il pin del segnale dall'Arduino (non è necessario spegnere la scheda)
- Visualizzate sull'oscilloscopio il segnale e misurate bene i valori di tensione basso e alto dell'onda.
- Modificate l'ampiezza sul generatore e misurate, sempre con l'oscilloscopio, le tensioni reali corrispondenti alle impostazioni nominali di 0.2V, 0.5V, 1.5V, 1.8V, 2V, 2.1V, 2.2V, 2.3V, 2.4V e 2.5V.

Acquisizione dei segnali (CON ARDUINO)

- Impostate la prima ampiezza nominale di 200 mV e collegate il pin di segnale
- Acquisite una forma d'onda utilizzando lo script in python e verificate l'acquisizione.
- Acquisite altre forme d'onda con le ampiezze nominali misurate in precedenza

Verificate (a casa) la linearità e ricavate i parametri della calibrazione lineare dalle misure in adc_counts delle tensioni acquisite.

- da caricare sul logbook elettronico:

- a. numero dell'arduino utilizzato
- b. file onda acquisita per la calibrazione temporale
- c. stima approssimata del sampling rate
- d. valori di tensione misurati con l'oscilloscopio

5) Circuito raddrizzatore di precisione (facoltativo, 30' – 60')

Realizzare il circuito in fig. 5 utilizzando:

- quattro resistenze uguali ($R1a = R1b = R1c = R1d$, min. 4.7k, max.100k) e una resistenza di valore dimezzato ($R2 = R1a / 2$)
 - due diodi 1N4148
 - l'integrato TL082C (che contiene 2 amplificatori operazionali al suo interno)
- Impostare una tensione sinusoidale in ingresso con 5 V in ampiezza (10 V_{pp}) e frequenza 1 kHz.
 - Visualizzare sull'oscilloscopio la tensione in ingresso (V1) e in uscita dall'operazionale U1 (OUT) (*usare le sonde!*) e prendere nota dei valori di ampiezza.
 - Misurare anche la tensione in uscita dall'operazionale U2 (Vo') e la tensione nel punto V2.
 - Calcolare il valore aspettato di tensione nei punti misurati (Vo, V2, Vo'), separatamente per la semionda in ingresso positiva e negativa, e confrontarli con i valori misurati.

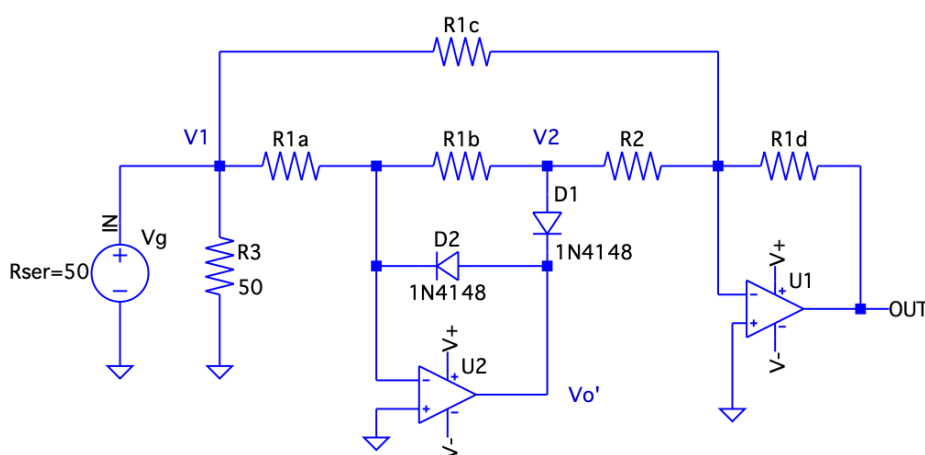


fig.5: raddrizzatore di precisione con amplificatori operazionali

- **da caricare sul logbook elettronico:**
 - valori misurati delle resistenze
 - valori di tensione V1, V2, Vo', Vo misurati per i massimi pos e neg di V1
 - foto oscilloscopio (incluso il numero identificativo dello strumento) con Vin e Vout
 - altra foto con Vin e V2
 - altra foto con Vin e Vo'