

Laboratorio di Segnali e Sistemi

- Esercitazione -4 -

Amplificatore Operazionale 1



Claudio Luci
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

last update : 070117

Argomenti dell'esercitazione:

- Misura dello slew rate
- Misura del prodotto del guadagno per banda passante
- Circuito sommatore non invertente

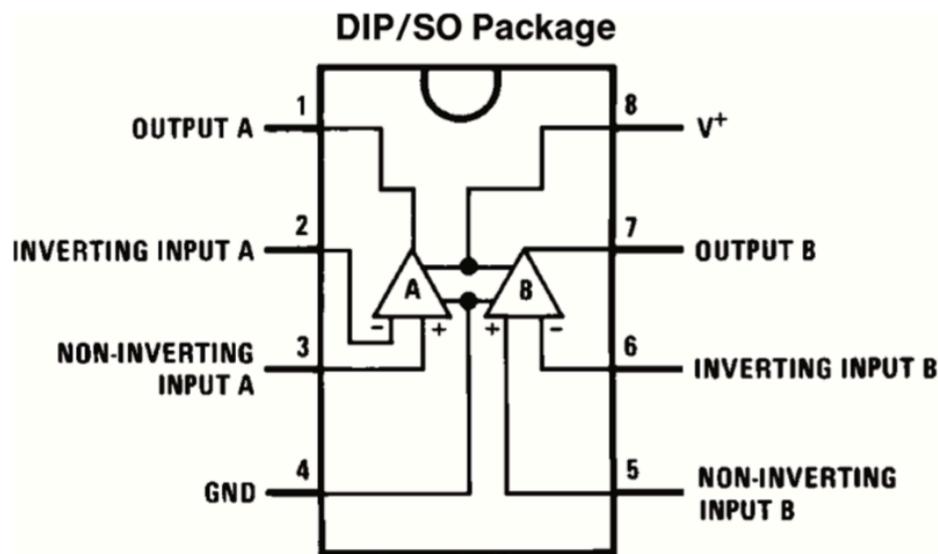
Importante: il sommatore servirà per l'esercitazione 9, quindi non "smontatelo".
Fatele in una parte "isolata" della scheda così non occupate tutto lo spazio.
Fate un montaggio "pulito"

N.B. per l'esercitazione 9 potreste aver bisogno di un sommatore a 3 ingressi e non a 2. Potete provare a fare questo a 3 invece di quello a 2.

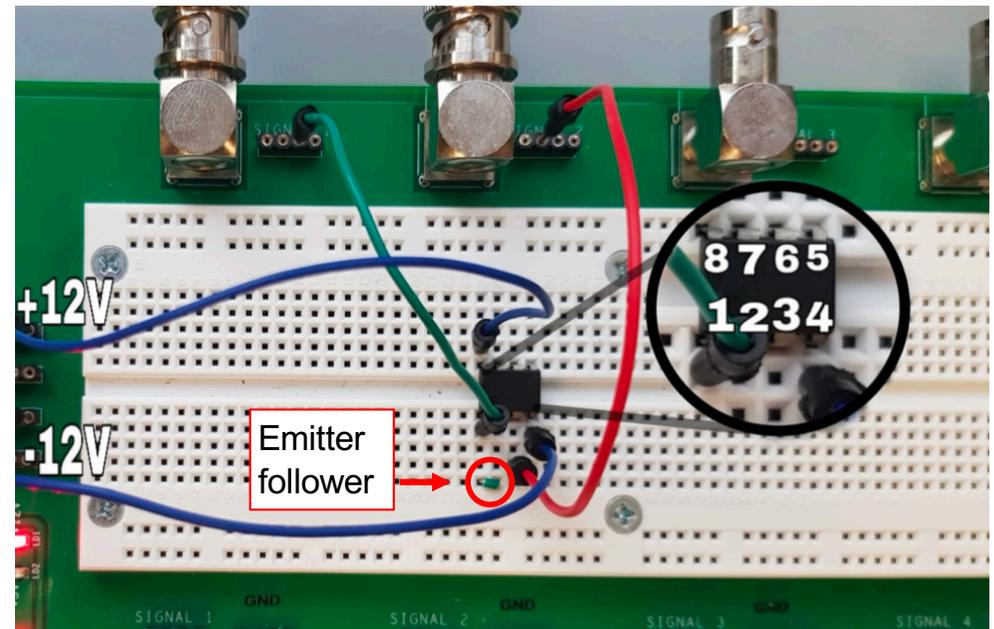
N.B. per l'esercitazione 9 potreste aver bisogno di un emitter follower.
Realizzatelo sfruttando il secondo op-amp del "sommatore"

OP-AMP LM358: piedinatura

- ❑ In laboratorio utilizzeremo l'amplificatore operazionale LM358. Si tratta di un circuito integrato a 8 piedini che contiene due amplificatori operazionali.
- ❑ Questo op-amp può funzionare con alimentazione singola positiva e ground, ma è preferibile usare la doppia alimentazione collegando il negativo sul ground.
- ❑ La differenza tra le due tensioni deve essere inferiore a 32 V, quindi ad esempio si può usare ± 12 V.
- ❑ L'amplificatore non può erogare correnti elevate, quindi le resistenze della rete di reazione non possono essere troppe piccole.



L'integrato è visto dall'alto



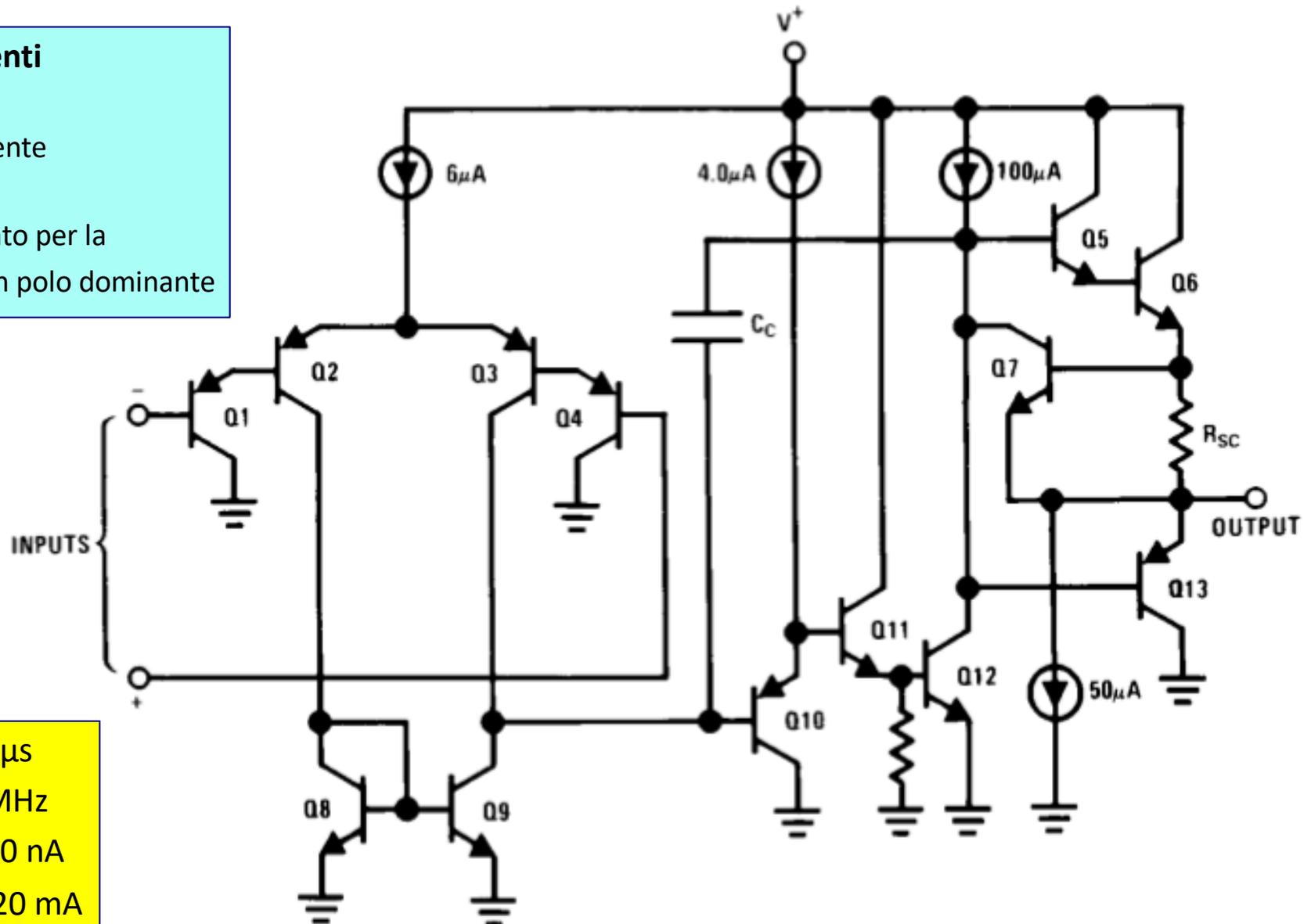
Potete anche usare il TL082 ... ha la stessa piedinatura

OP-AMP LM358: schema del circuito

Schematic Diagram (Each Amplifier)

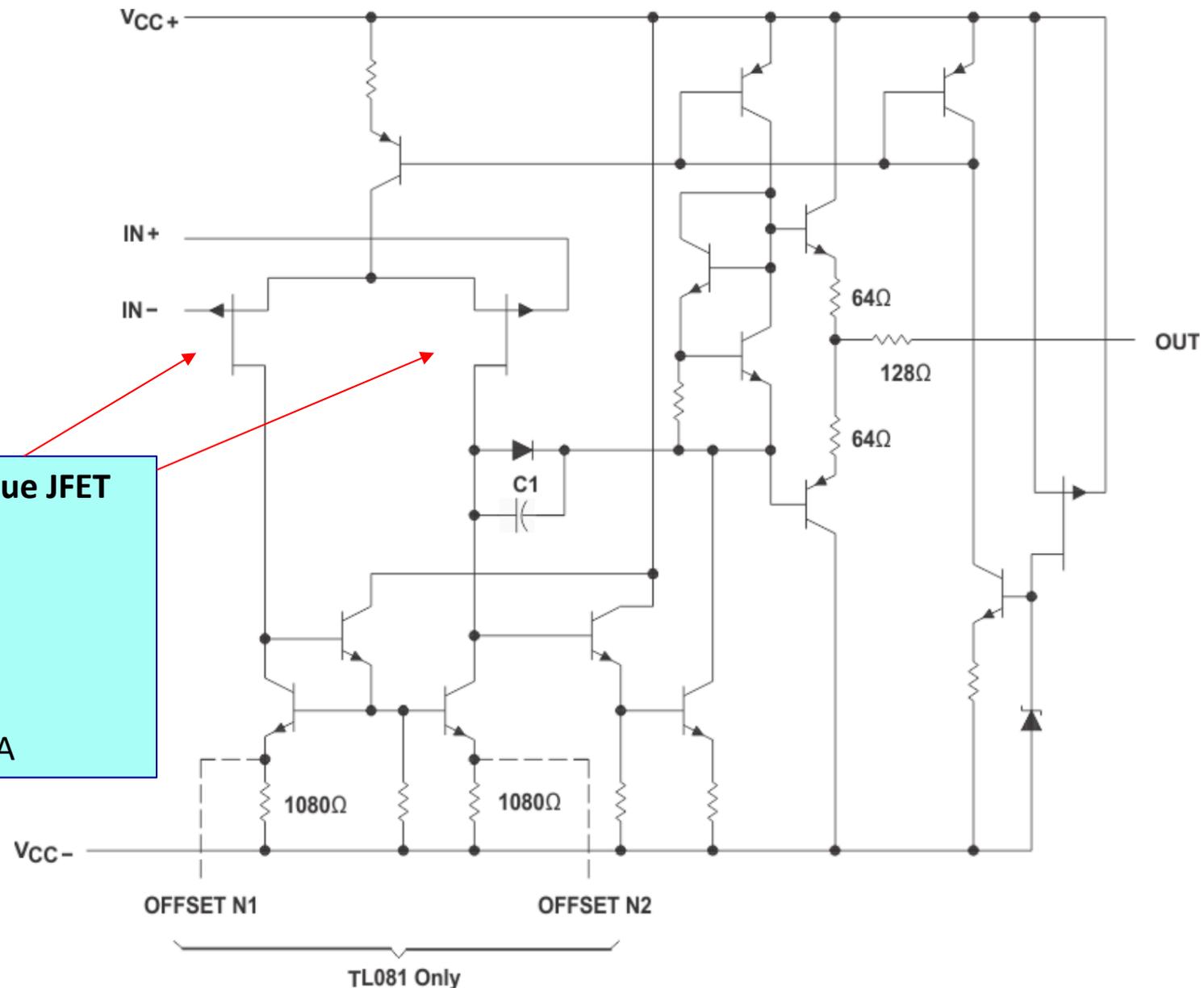
Componenti

12 BJT
4 regolatori di corrente
2 resistenze
1 condensatore usato per la
Compensazione con polo dominante



Slew rate: $0.3 \text{ V}/\mu\text{s}$
GBW (tipico): 1 MHz
Input current: 150 nA
Output current: 20 mA

OP-AMP TL-082: schema del circuito



In ingresso ci sono due JFET

Slew rate: 13 V/μs

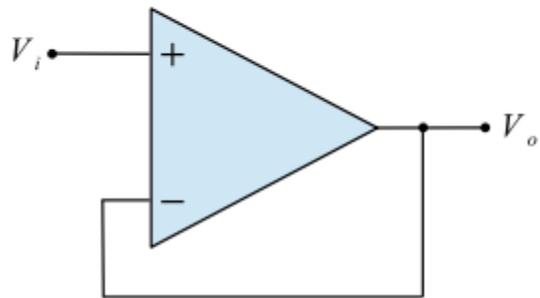
GBW (tipico): 3 MHz

Input current: 0.2 nA

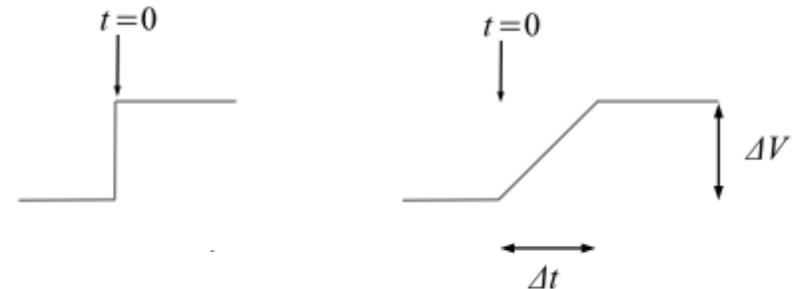
Output current: 10 mA

Misura dello slew rate

- ❑ Per misurare lo slew rate costruite un amplificatore non invertente con amplificazione unitaria (emitter follower).
- ❑ Inviare in ingresso un segnale rettangolare di ampiezza sufficientemente grande e osservate il segnale d'uscita con l'oscilloscopio.
- ❑ Dal confronto tra il tempo di salita e l'altezza del gradino si misura lo slew rate.
- ❑ Confrontatelo con quanto dichiarato dal costruttore nei fogli illustrativi



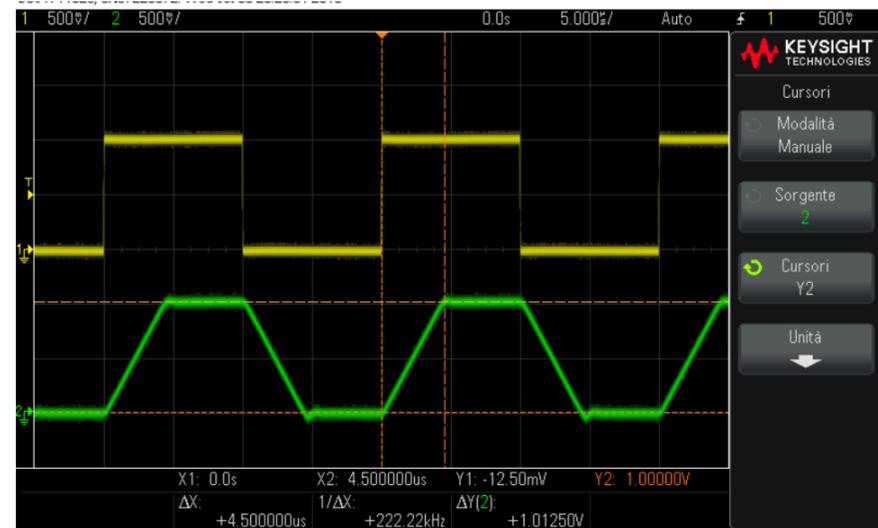
$$S = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$



LM358: $S = 0.3 \text{ V} / \mu\text{s}$

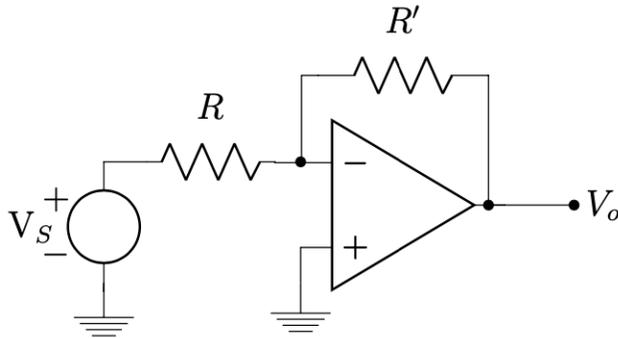
TL082: $S = 13 \text{ V} / \mu\text{s}$
(da confermare in Lab)

Usate il LM358 solo per questa misura.
Per le altre usate il TL082



Effetto dello slew rate su un segnale sinusoidale

- ❑ Provate a valutare, molto velocemente, l'effetto che lo slew rate può avere su un segnale sinusoidale.
- ❑ Costruite un amplificatore invertente, che userete anche per la misura del GBW product.



$$A = -\frac{R'}{R}$$

$$V_i = V_p \sin \omega t \Rightarrow V_u = A \cdot V_p \sin \omega t$$

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$



$$S = \left(\frac{dV_u}{dt} \right)_{MAX}$$

- ❑ Lo slew rate può deformare il segnale d'uscita se non si rispetta la disuguaglianza:

$$\frac{dV_u}{dt} = A \cdot V_p \cdot \omega \sin \omega t$$



$$A \cdot V_p \cdot \omega \leq \left(\frac{dV_u}{dt} \right)_{MAX} = S$$



$$V_p \leq \frac{S}{2\pi f \cdot A}$$

scegliete una frequenza inferiore a quella di taglio (vedi misura successiva)

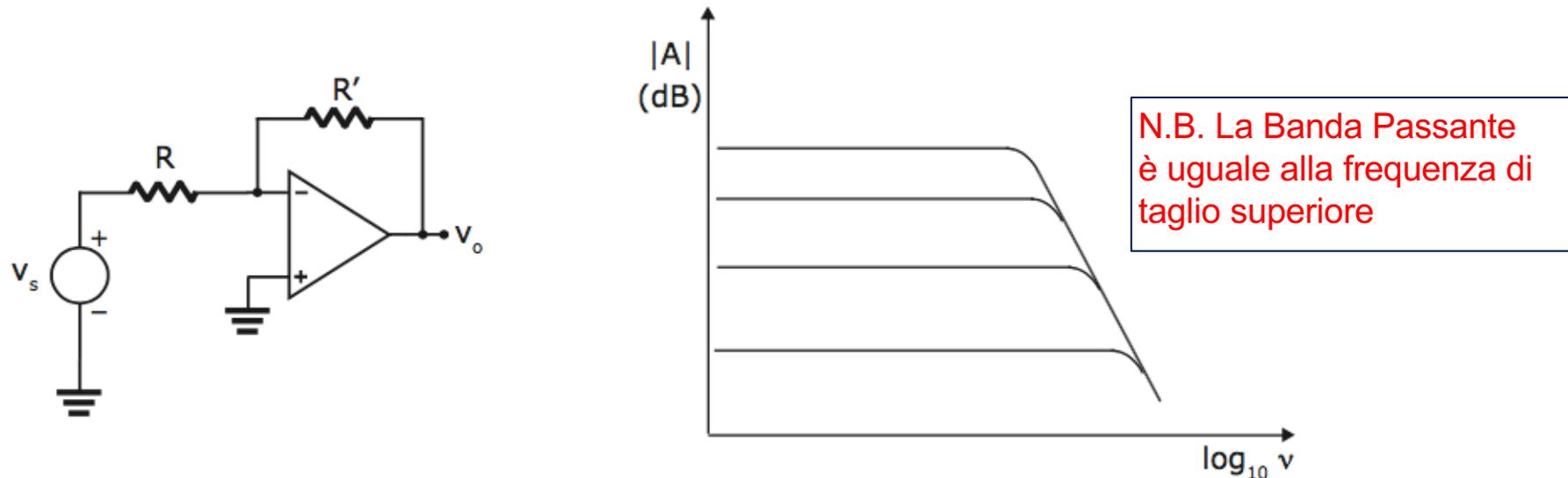
Ad esempio $A=10$ e $f=10$ kHz dovrebbero andare bene. In questo caso si ha:

$$V_p \leq \frac{S}{2\pi f \cdot A} = \frac{3 \cdot 10^5}{2\pi \cdot 10^4 \cdot 10} \approx 0.5 \text{ V}$$

- Partite da un segnale V_p molto minore di 0.5 V e cercate di capire per quale valore di V_p il segnale d'uscita risulti deformato/tagliato.
- Confrontate il valore trovato con quello che si ottiene dalla disuguaglianza, utilizzando il valore di S misurato nel punto precedente.

Misura del prodotto guadagno-banda passante

Costruire un amplificatore invertente e misurare l'andamento della risposta in funzione della frequenza per vari valori dell'amplificazione, costruendo il diagramma di Bode complessivo (vedi figura). Verificare che il prodotto (Amplificazione)x(Banda Passante) è costante. E' opportuno scegliere i vari valori di amplificazione (almeno tre, meglio quattro)



in modo oculato, cioè tale da consentirci di apprezzare bene questo comportamento in un intervallo più grande possibile di valori e con un congruo numero di misure in funzione della frequenza (senza però farne troppe nella regione in cui l'amplificazione è costante). Tenete sempre presente che le resistenze usate non devono essere troppo piccole, ne' troppo grandi.

Attenti allo slew rate:

$$A \cdot V_p \leq \frac{S}{\omega}$$



$$V_p \leq \frac{S}{2\pi f \cdot A} = \frac{3 \cdot 10^5}{2\pi \cdot 10^6} \approx 50 \text{ mV}$$

Consigli per la misura del prodotto GBW

- ❑ La massima tensione d'uscita che potete avere, in modulo, è uguale all'alimentazione (ad esempio 12 V), quindi tenetelo presente quando usate amplificazioni molto grandi
- ❑ Si consiglia di usare tre (o quattro) valori dell'amplificazione abbastanza distanti tra loro, ad esempio 4, 40, 100, 250 oppure 5, 20, 80, 200
- ❑ Ricordate che nel prodotto Guadagno per Banda Passante, il guadagno va preso esprimendo il suo valore in scala lineare e non in decibel.
- ❑ Anche se fate tre o quattro misure del GBW, poi dovete combinare le misure per dare un solo valore.

Alcune misure relative al LM358

Gruppo	GBW product (kHz)	Errore (kHz)
1	368	5
2	547	50
3	640	30
4	723	100
5	672	39
6	619318 (Hz)	12789 (Hz)
7	52 (db x kHz)	3
8	87	11

In genere sono stati usati dei valori di G troppo vicini tra loro

Errore troppo ottimista.

Questo gruppo non fa la media dei valori

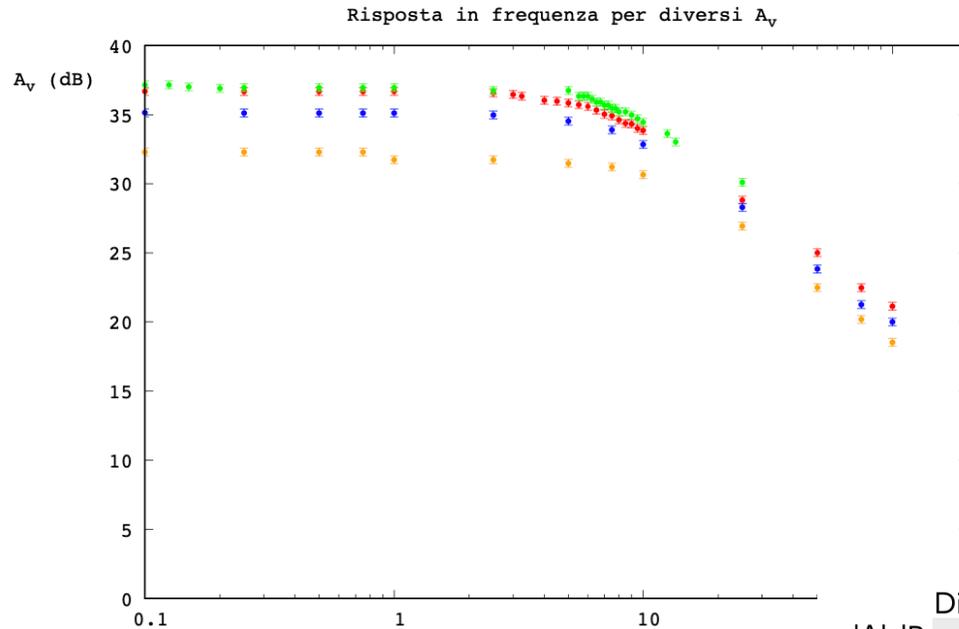
Questo gruppo non fa la media dei valori

No comment sulle cifre significative

Usa i dB, non va bene

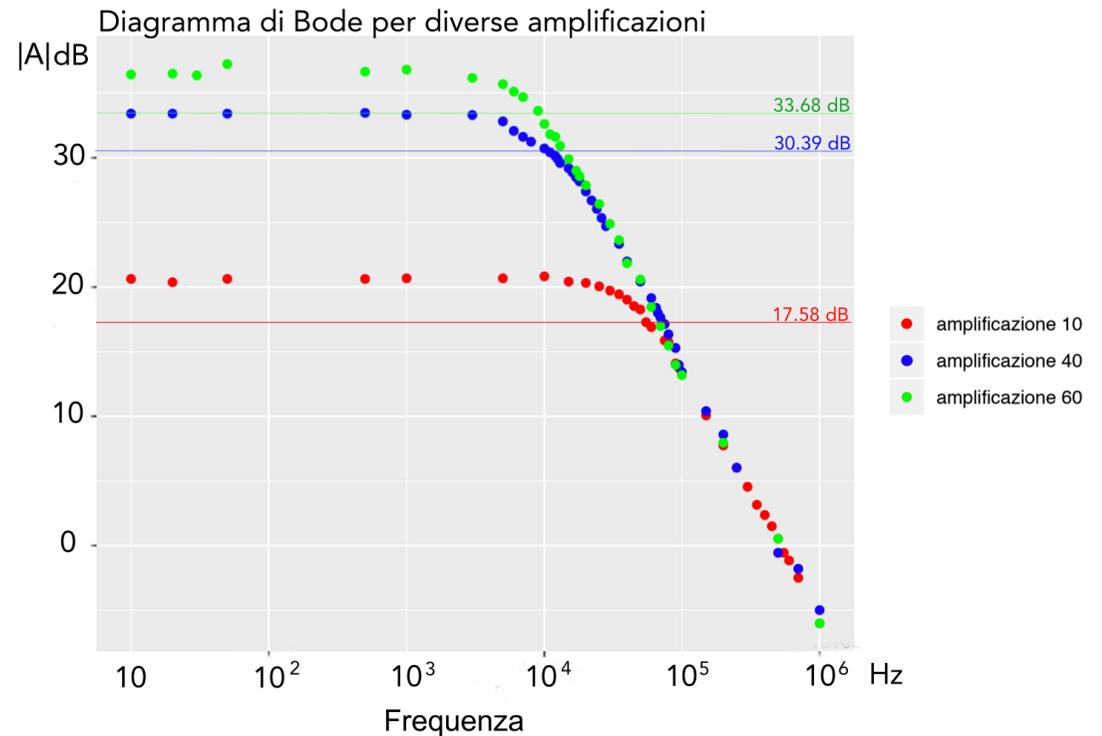
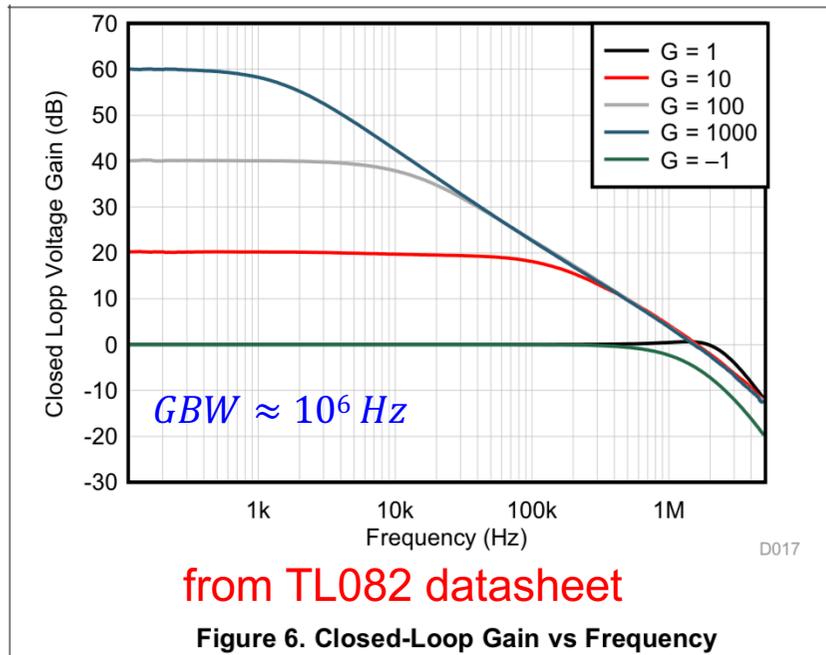
??? , comunque usa 4 valori di G tutti < 10

Alcuni grafici del GBW product



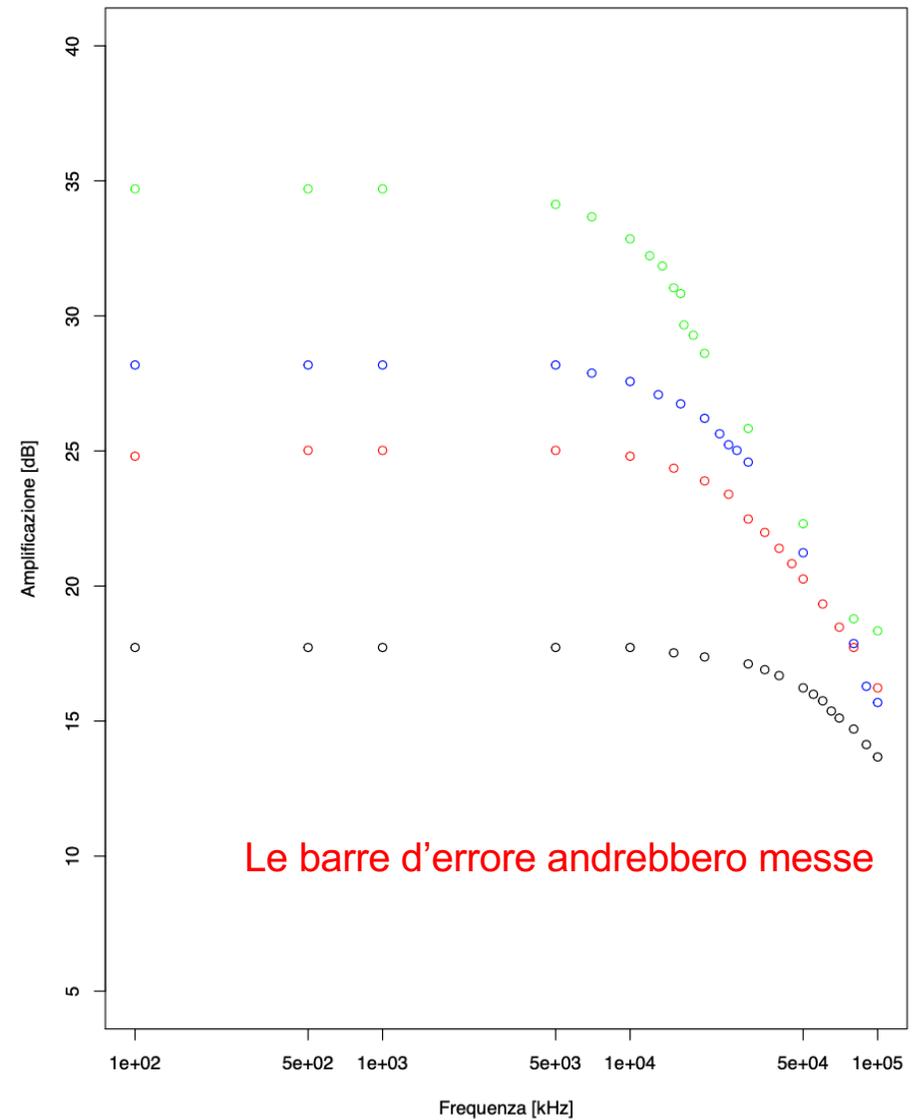
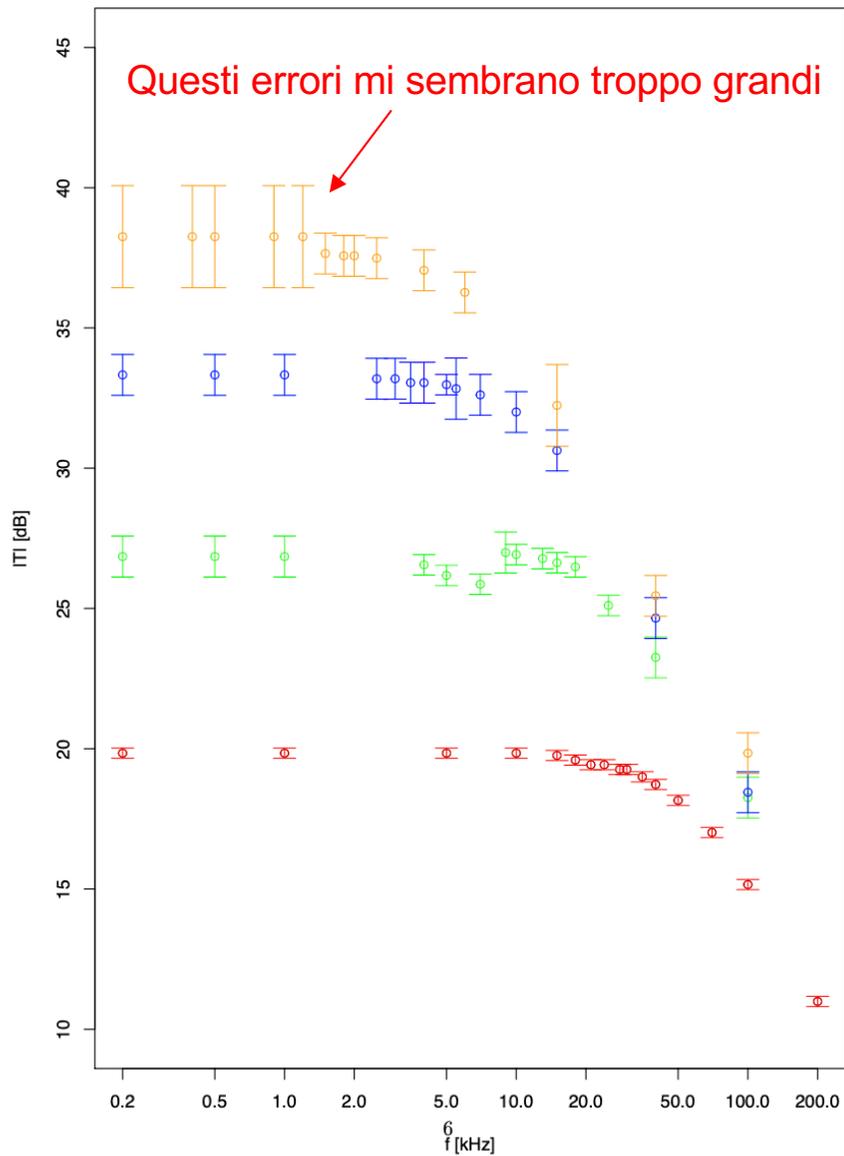
Le amplificazioni sono tutte troppo simili

Questo grafico è fatto bene, peccato per le amplificazioni troppo simili



Alcuni grafici del GBW product

Risposta in frequenza dell' LM358



Errore sull'amplificazione in dB

$$A(dB) = 20 \log_{10} A$$

$$\Delta A(dB) = 20 \log_{10}(A + \Delta A) - 20 \log_{10} A = 20 \log_{10} \frac{A + \Delta A}{A} = 20 \log_{10} \left(1 + \frac{\Delta A}{A}\right)$$

$$\text{Esempio: } \frac{\Delta A}{A} = 1\% \Rightarrow \Delta A(dB) = 20 \log_{10}(1 + 0.01) = 0.086 \text{ dB}$$

$$\text{Esempio: } \frac{\Delta A}{A} = 5\% \Rightarrow \Delta A(dB) = 20 \log_{10}(1 + 0.05) = 0.424 \text{ dB}$$

$$\text{Esempio: } \frac{\Delta A}{A} = 10\% \Rightarrow \Delta A(dB) = 20 \log_{10}(1 + 0.1) = 0.828 \text{ dB}$$

$$\text{Formula inversa: } \frac{\Delta A}{A} = 10^{\frac{\Delta A(dB)}{20}} - 1$$

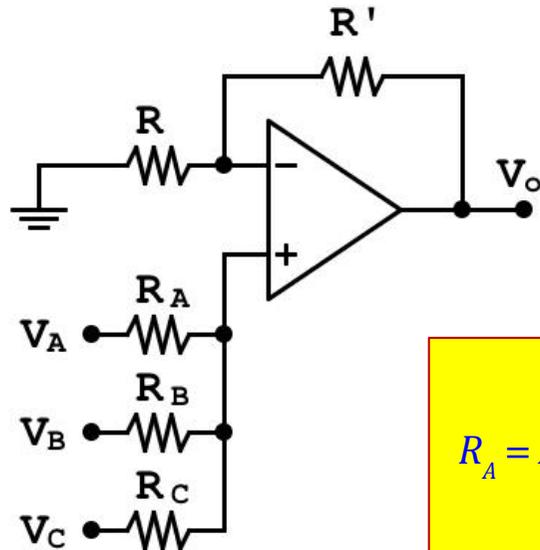
Se l'errore relativo sull'amplificazione è piccolo, si può sviluppare il logaritmo al primo ordine:

$$\Delta A(dB) = 20 \log_{10}(A + \Delta A) - 20 \log_{10} A = 20 \log_{10} A + 20 \frac{d(\log_{10} A)}{dA} \Delta A - 20 \log_{10} A = 20 \log_{10} e \cdot \frac{1}{A} \cdot \Delta A$$

$$\Delta A(dB) = 8.68 \cdot \frac{\Delta A}{A}$$

$$\text{Esempio: } \frac{\Delta A}{A} = 5\% \Rightarrow \Delta A(dB) = 8.68 \times 0.05 = 0.434 \text{ dB}$$

Sommatore non invertente a 3 ingressi



$$V_o = \frac{R'+R}{R} \cdot R_K \cdot \left[\frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right]$$

$$V_{o_{max}} \leq V_{lim}$$

Scegliete

$$R_A = R_B = R_C = R_i = 1 \text{ k}\Omega \quad (\text{ad esempio})$$

$$R' = 2 \cdot R$$

$$V_o = \frac{3R}{R} \cdot \frac{R_i}{3} \cdot \frac{1}{R_i} \cdot (V_A + V_B + V_C)$$

1. Misurate separatamente l'amplificazione di ciascun canale mandando un segnale solo su un ingresso, cortocircuitando gli altri due a massa.
2. Mandate tre segnali continui sui tre ingressi (ottenuti con dei trimmer) e verificate che l'uscita sia la somma dei tre (potete/dovete anche usare uno o due segnali negativi)
3. Mandate due segnali sinusoidali su due ingressi (utilizzando i due generatori o i due canali del generatore nuovo), cortocircuitate il terzo ingresso a massa e verificate il fenomeno dei battimenti (le due frequenze devono essere abbastanza vicine tra loro). Misurate la frequenza del battimento e confrontatela con quello che vi aspettate.
4. Mandate un'onda quadra su un ingresso e un segnale sinusoidale di ampiezza piu' piccola e frequenza piu' grande su un altro ingresso (cortocircuitate sempre il terzo) e verificate sull'oscilloscopio cosa ottenete.

Non smontate il circuito alla fine dell'esperienza

Battimenti

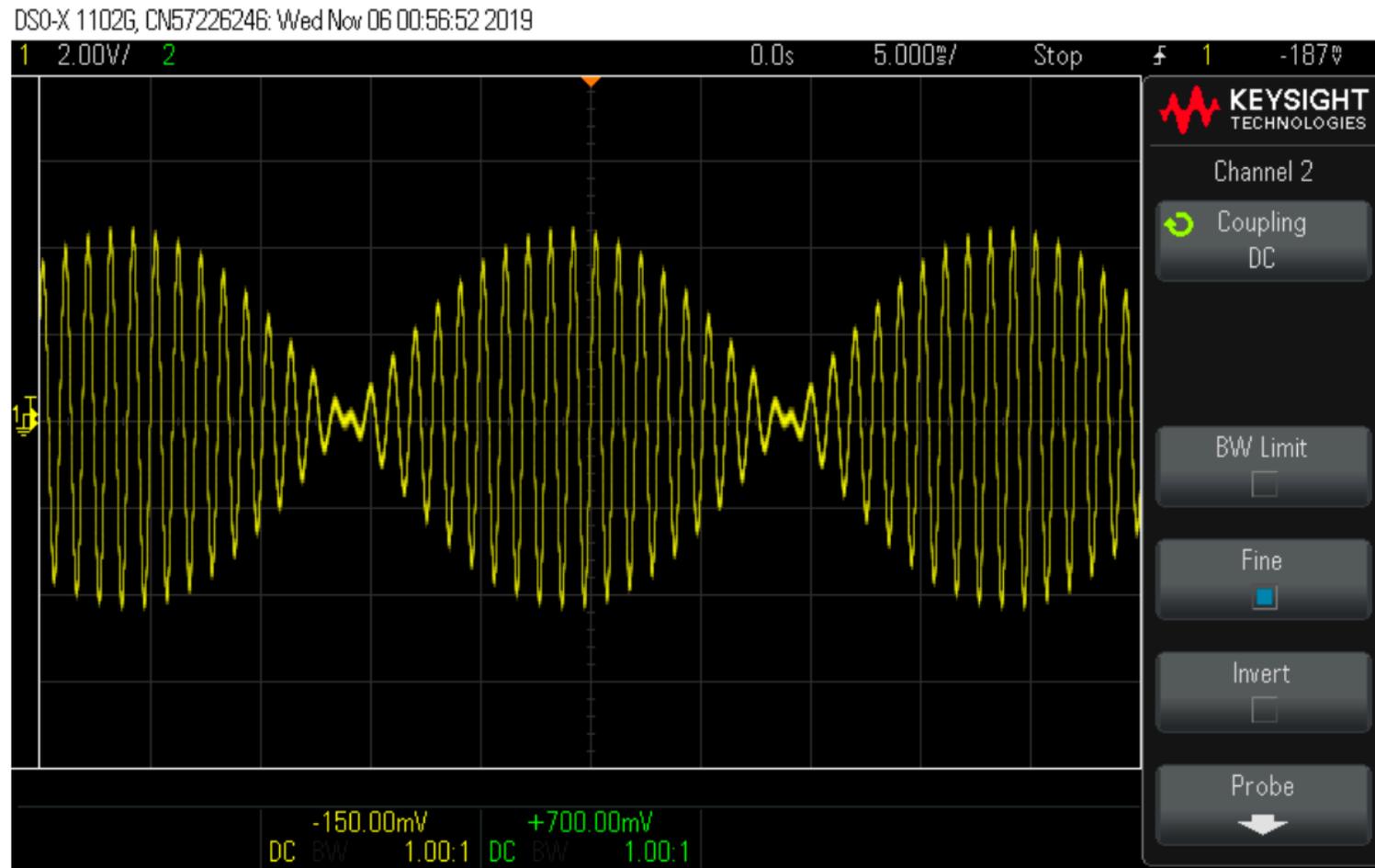


Figure 12: Fenomeno dei battimenti con sommatore a tre ingressi.
ampiezza $V_B = V_C = 2V$; frequenze $f_B = 1kHz$, $f_C = 950Hz$.

Verificare che la frequenza dei battimenti sia di 50 Hz

Onda quadra più onda sinusoidale

- onda quadra $\rightarrow f_B = 1 \text{ kHz}$, $V_B = 10 \text{ V}$;
- onda sinusoidale $\rightarrow f_C = 10 \text{ kHz}$, $V_C = 2 \text{ V}$;

Tramite l'oscilloscopio osserviamo il segnale di uscita (figura (16)).

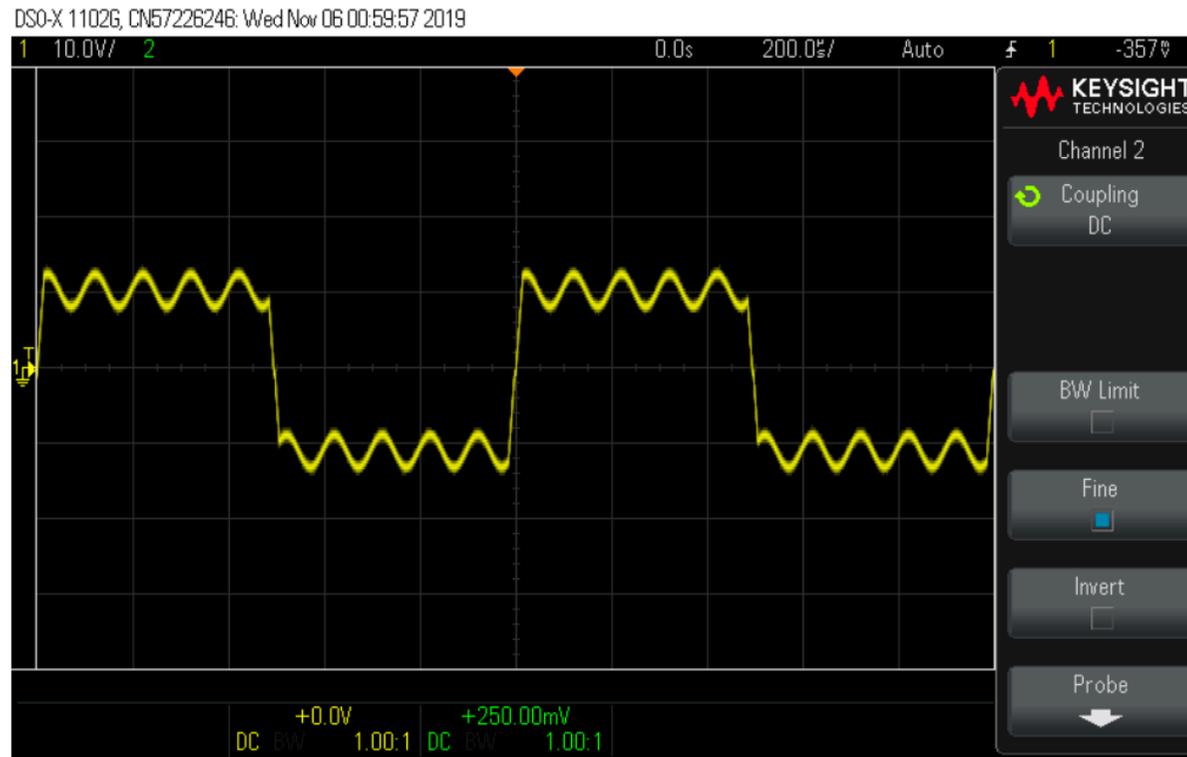
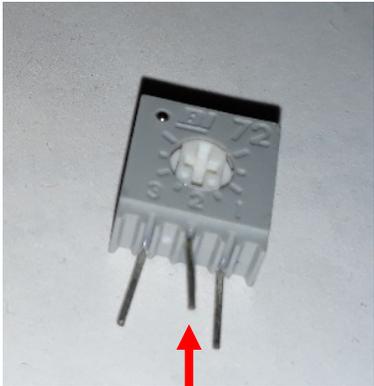


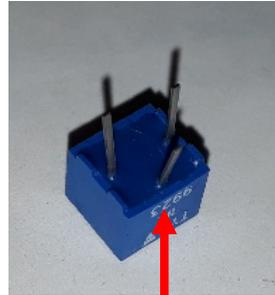
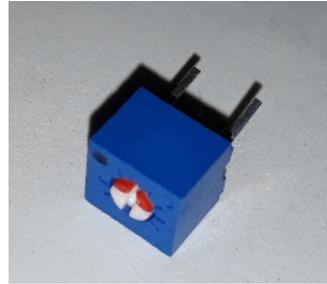
Figure 16: Segnale ottenuto come somma di onda quadra e onda sinusoidale. Poiché il periodo dell'onda quadra è molto più grande di quello della sinusoidale, su ciascun semiperiodo l'output si comporta come la somma di un segnale costante e un segnale sinusoidale: si osserva la stessa onda sinusoidale in ingresso, ma traslata verticalmente di una quantità pari all'ampiezza dell'onda quadra (si veda sezione 2.1). Il verso della traslazione dipende dal semiperiodo (positivo o negativo) dell'onda quadra.

Uso del trimmer

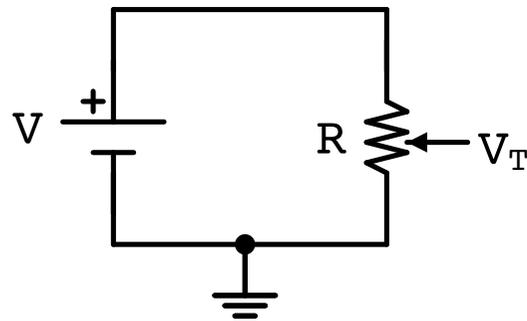
Il trimmer è un potenziometro. Si utilizza un cacciavite per variare il rapporto di partizione



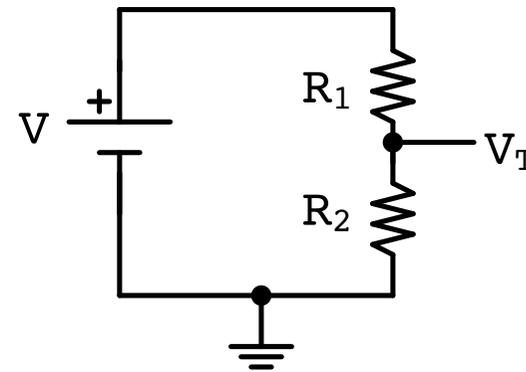
V_T



V_T



è equivalente a:



dove $R_1 + R_2 = R$

$$V_T = V \cdot \frac{R_2}{R}$$

Girando la vite con il cacciavite si cambia R_2 .



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Fine esercitazione 4