

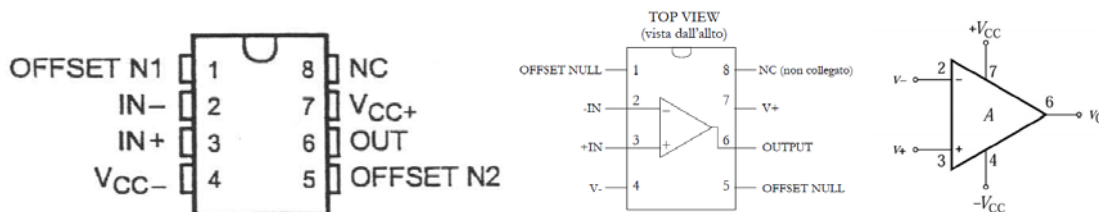
# Esperienza di laboratorio n. 3:

## Misure con oscilloscopio digitale su amplificatore operazionale in configurazione catena chiusa

### Richiami preliminari sull'amplificatore operazionale $\mu A741$

L'amplificatore operazionale  $\mu A741$  ha:

- due pin di ingresso (uno invertente  $V_-$ , l'altro non invertente  $V_+$ );
- un pin di uscita,  $V_O$ ;
- due pin per l'alimentazione (in continua)  $+V_{CC}$  e  $-V_{CC}$ ;
- due pin per compensare l'offset.

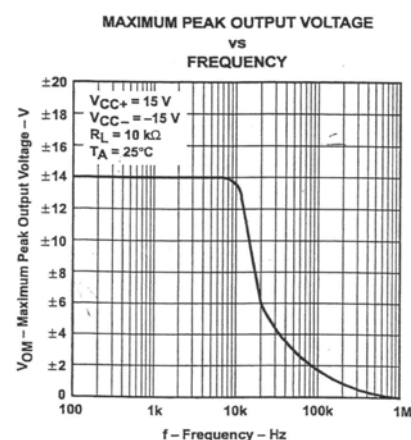


Essendo un elemento attivo, per funzionare, l'amplificatore operazionale ha bisogno di essere alimentato. Dalle specifiche del  $\mu A741$ , si nota che questo circuito integrato richiede un'alimentazione duale compresa tra  $\pm 9V$  e  $\pm 15V$ .

Parameter	Symbol	Value	Unit
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICmin}$	70 90 dB
kSVS	Supply voltage sensitivity ( $\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$ )	$V_{CC} = \pm 9 V$ to $\pm 15 V$	30 150 $\mu V/V$
I <sub>OS</sub>	Short-circuit output current		$\pm 25 \pm 40 \mu A$

Dal grafico in figura, si può notare che, con una alimentazione  $V_{CC}$  di  $\pm 15V$ , il valore massimo di uscita  $V_O$  è pari a  $\pm 14V$ , fino ad una frequenza di 10 kHz.

In generale, per valori di tensione di alimentazione compresi tra  $\pm 9 V$  e  $\pm 15 V$ , si può considerare  $V_O = V_{CC} - 2 V$ .



Dalla definizione di amplificazione (A)

$$A = V_O / V_i = V_O / (V_- - V_+);$$

si può risalire al valore massimo della tensione in ingresso che può essere fornita all'amplificatore:

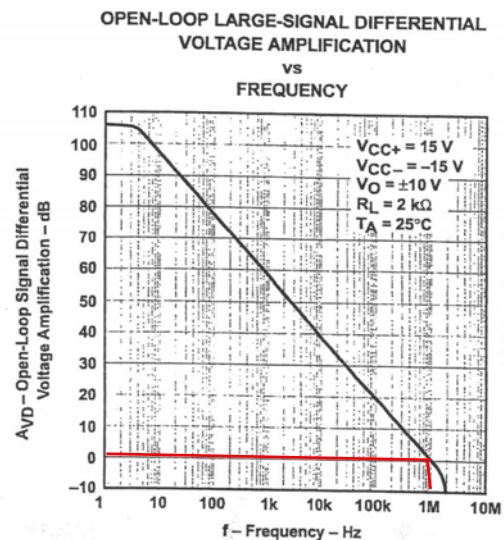
$$(V_- - V_+)_{MAX} = V_O/A$$

### Gain Bandwidth Product (GBWP) – Prodotto banda-guadagno

Il GBWP di un amplificatore operazionale è il prodotto tra il modulo del suo guadagno ad anello aperto e la frequenza di taglio a 3 dB. In pratica, è la frequenza a cui il guadagno di tensione ad anello aperto si riduce al valore unitario.

Questo parametro (caratteristico per ciascun amplificatore), essendo costante a qualsiasi frequenza, permette di determinare il massimo guadagno ottenibile da uno strumento ad una determinata frequenza, e viceversa.

Dal grafico in figura (disponibile sul datasheet dell'amplificatore), si osserva che ad un guadagno di 0dB ad anello aperto corrisponde una frequenza pari ad 1 MHz.



Possiamo quindi determinare la banda passante (B) e la frequenza di taglio ( $f_t$ ):

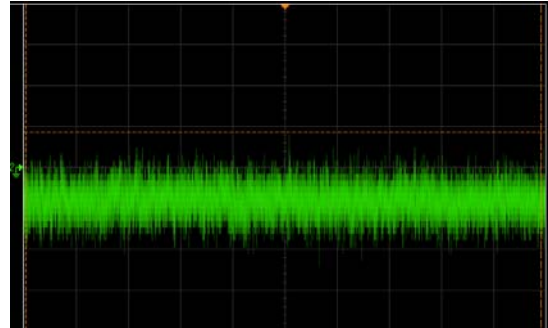
$$f_t = B = GBWP/A.$$

### Tensione di offset e compensazione

Idealmente, un amplificatore differenziale alimentato con una tensione duale e con ingressi collegati entrambi a massa dovrebbe fornire in uscita una tensione pari a 0 V. In realtà, invece, esistono sempre delle dissimmetrie interne di funzionamento che danno origine ad una piccola tensione d'uscita. Questa tensione viene detta "tensione di offset".

Sperimentalmente, l'effetto dell'offset può essere osservato alimentando l'operazionale e non fornendo alcun segnale agli ingressi. Operativamente, sull'oscilloscopio, visualizziamo solo il canale al quale è collegato l'uscita dell'amplificatore operazionale.

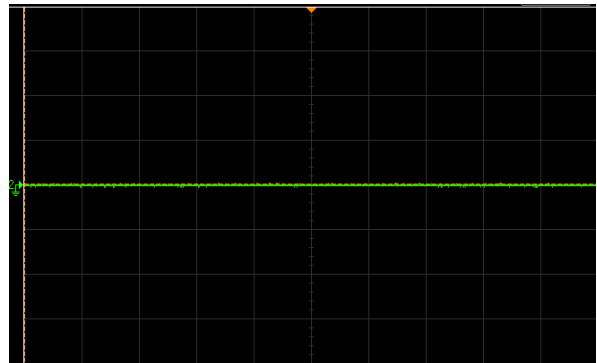
Il segnale è in continua, con sovrapposto un segnale di rumore: per questo, è opportuno eseguire una misura mediata della tensione efficace (RMS).



*Visualizzazione della tensione di offset*

Per compensare l'offset in modo da riportare a 0 V la tensione in uscita, è necessario collegare fra i due pin interessati (offset o balance) un trimmer il cui cursore risulti collegato alla tensione di alimentazione oppure a massa, e regolare quindi tale trimmer fino a rilevare in uscita una tensione nulla.

Operativamente, per annullare l'offset, si utilizza il trimmer già presente sul circuito fornito durante l'esercitazione: tramite un cacciavite, si ruota la vite fin quando non vengono letti valori dell'ordine di pochi  $\mu\text{V}$ .

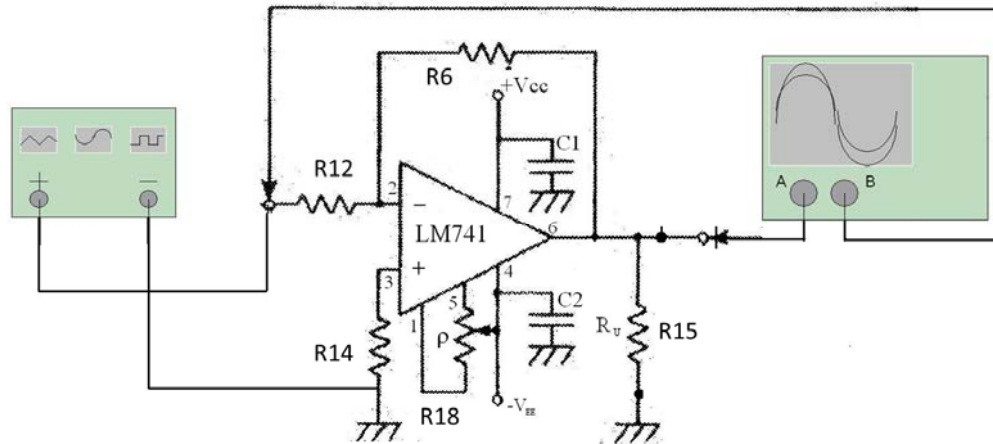


*Azzeramento dell'offset*

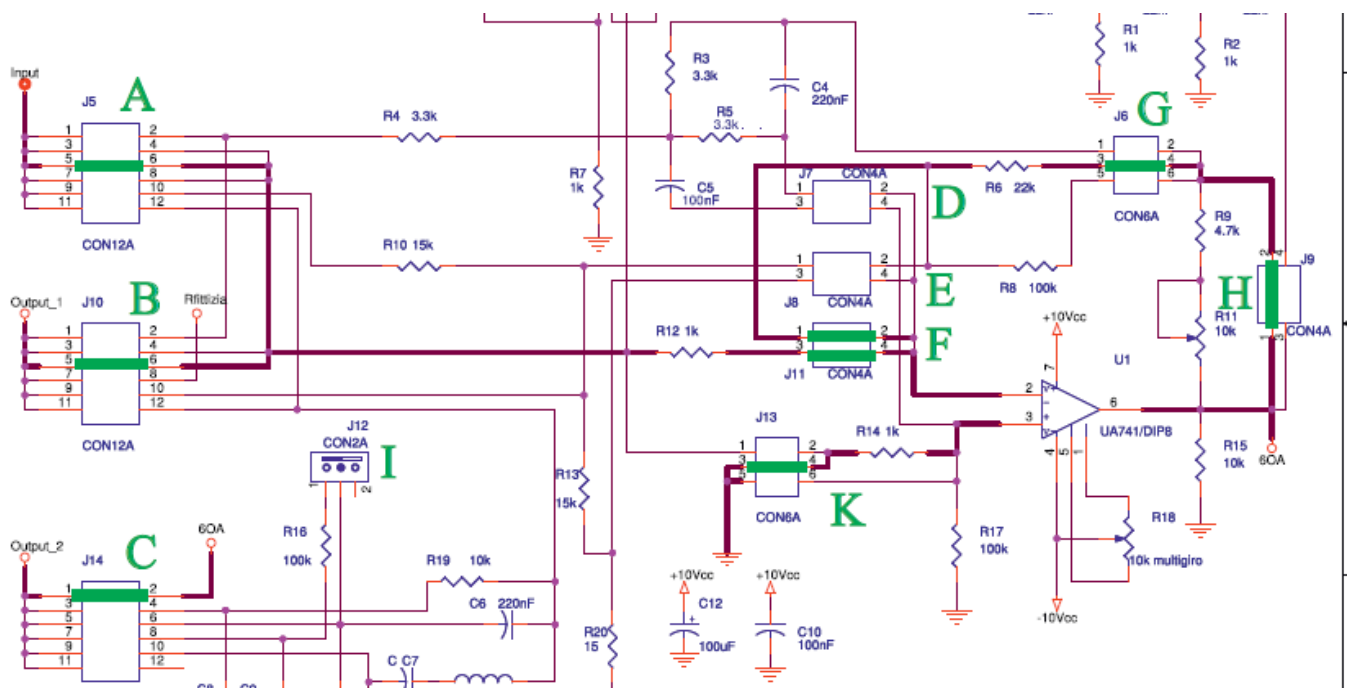
### Misure di guadagno e frequenza di taglio in catena chiusa

Scopo dell'esperienza: Valutare il guadagno e la frequenza di taglio di un amplificatore operazionale in catena chiusa.

La figura che segue mostra la schematizzazione della configurazione circuitale di un amplificatore operazionale in catena chiusa e delle modalità di connessione agli strumenti.



In questa esperienza di laboratorio, il circuito nella configurazione “a catena chiusa” è stato realizzato direttamente su una scheda elettronica, il cui schematico è il seguente:



**NB: Per “abilitare” la configurazione catena chiusa, provvedere al posizionamento corretto dei jumper (tratti spessi, in verde, nello schema in alto).**

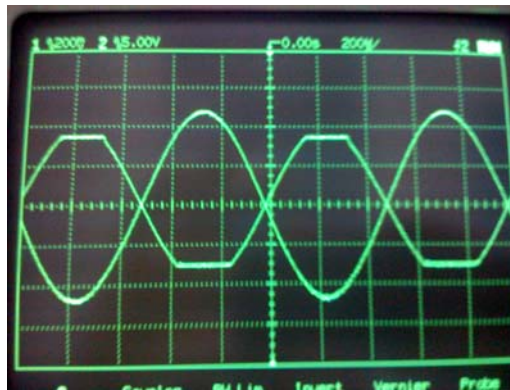
Nel circuito considerato, le resistenze R6 (tra ingresso invertente dell'amplificatore ed il pin di uscita) ed R12 (tra ingresso invertente dell'amplificatore ed ingresso dell'amplificatore) determinano il guadagno in catena chiusa dell'amplificatore, che vale:

$$A_{\text{teorico}} = (-R6/R12).$$

La resistenza R14 posta tra l'ingresso non invertente e massa serve per non collegare direttamente l'ingresso non invertente a massa, ma ad un valore di resistenza prossimo a quello dell'ingresso invertente. La resistenza variabile R18 (da 10 k $\Omega$ ) è di tipo multi-giro e serve a compensare il valore di tensione di offset.

Dopo aver ridotto l'offset, e stimato il segnale di ingresso in ampiezza e frequenza, per mezzo del generatore di funzioni si fornisce in ingresso al circuito un segnale sinusoidale. Partendo da questo valore di ampiezza, si varia l'ampiezza del segnale (aumentandola o diminuendola) fino ad ottenere la massima tensione d'uscita picco-picco.

Se l'ampiezza del segnale supera il valore massimo, l'amplificatore raggiunge la regione di saturazione ed il segnale si presenterà come nell'immagine che segue:



Dalla formula vista sopra, calcoliamo il valore teorico del guadagno in catena chiusa:

$$A_{\text{teorico}} = -R_6/R_{12} = 22$$

Sperimentalmente, stimiamo il guadagno dalla stima del valore delle tensioni picco-picco  $V_{O_{PP}}$  e  $V_{i_{PP}}$ , misurate con l'oscilloscopio. Il guadagno sarà dato dal rapporto:

$$A = -\frac{V_{O_{PP}}}{V_{i_{PP}}} = -20,46$$

La frequenza di taglio è la frequenza alla quale il guadagno è diminuito di -3dB, ciò equivale a:

$$A(-3dB) = A / \sqrt{2} = 14,47$$

Sapendo che:

$$A(-3dB) = \frac{V_o}{V_i}$$

È possibile calcolare il valore della tensione di uscita in corrispondenza della frequenza di taglio:

$$V_o = A(-3dB) \cdot V_i = 10,94 \text{ V}$$

Per la valutazione sperimentale della frequenza di taglio, si impostano i due cursori orizzontali dell'oscilloscopio in corrisponde di questo valore di tensione. Si procede quindi a variare la frequenza del segnale fino a che il segnale in uscita visualizzato

sull'oscilloscopio non risulta tangente ai due cursori orizzontali (OSS: questa operazione è analoga a quella fatta per la stima sperimentale della frequenza di taglio del filtro RC passa-basso).

In corrispondenza della frequenza di taglio, si può notare che il segnale in uscita è distorto (segnale triangolare) e che il valore di frequenza trovato è diverso dal valore teorico. Questo succede perché stiamo lavorando con un segnale di ingresso con ampiezza massima.

Per evitare questo effetto, è necessario ridurre l'ampiezza del segnale, ricalcolare il nuovo valore di attenuazione a 3dB e, quindi, stimare la frequenza di taglio (che risulta pari a circa 36 kHz).

La frequenza di taglio teorica, invece, si ricava dalla figura di merito espressa per mezzo dalla relazione:

$$GBP = A \cdot B \text{ (Gain Bandwidth Product)}$$

Che, dalle specifiche del  $\mu A741$ , vale 1MHz. Quindi, la frequenza di taglio teorica ( $f_{t,TEORICA}$ ) risulta pari a:

$$f_{t,TEORICA} = B = GBP / A = 48,5 \text{ kHz}$$