

UNIVERSITÁ DI GENOVA  
SISTEMI ELETTRONICI EMBEDDED (MODULO B), 2 OTTOBRE - 10 OTTOBRE 2017

---

# SLEW RATE & GAIN - BANDWIDTH PRODUCT

---

Salvo Michele, Marco Taverna

# 1 Obiettivi

## I. Test dei collegamenti:

Obiettivo di questo punto è collegare l'alimentatore ( $\pm 15V$ , GND) alla breadboard e testare il corretto funzionamento di ogni collegamento [see 3.1]

## II. Slew Rate of 741, Observation of Effects with Sine & Square Input Voltages:

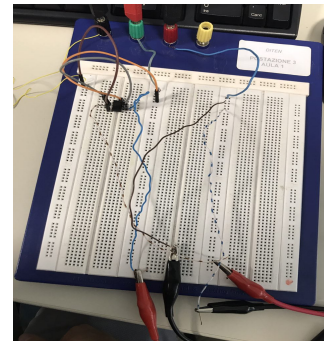
Obiettivo di questo punto è costruire un'amplificatore lineare non-invertente ai grandi segnali e verificare l'effetto della slew rate e della full power bandwidth, calcolandone i rispettivi valori reali e confrontandoli con quelli forniti dal datasheet [see 3.2]

## III. Gain-Bandwidth Product Determination:

Obiettivo di questo punto è calcolare la banda passante di un buffer e successivamente di un amplificatore operazionale (configurazione libera) con un guadagno prefissato. Si richiede quindi di mettere in correlazione i dati ricavati con quelli forniti dal datasheet, costruendo un grafico finale che metta in relazione guadagno e banda passante. [see 3.3]

# 2 Strumentazione

- Cavi di Connessione
- 1 x Breadboard
- 1 x AD741L High Accuracy IC Op Amp
- 1 x Resistenza da  $1\text{ K}\Omega$ ,  $10\text{ K}\Omega$ ,  $100\text{ K}\Omega$ ,
- 1 x Oscilloscopio Digitale
- 1 x Alimentatore
- 1 x Agilent 33120A Generatore di funzioni/forme d'onda
- 1 x Agilent 34401A Multimetro Digitale

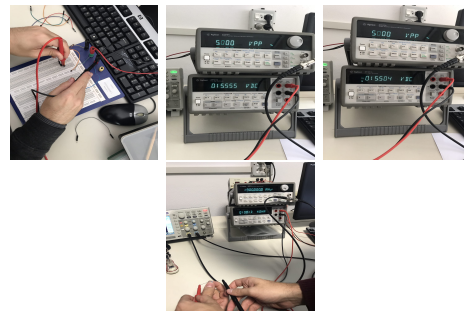


# 3 Procedimento

## 3.1 Test dei collegamenti

In questa prima fase, dopo aver opportunamente collegato  $V_+$ ,  $V_-$  e  $GND$  alla breadboard, abbiamo verificato l'effettivo passaggio di tensione dall'alimentatore. Per effettuare questa operazione colleghiamo a strumento spento:

1. Spinotto rosso su  $V - \Omega - mA$
2. Spinotto nero su  $COM$



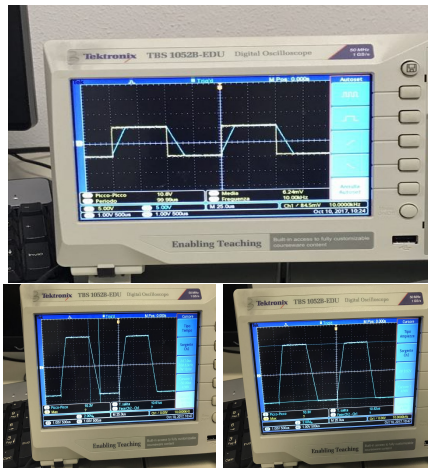
Successivamente accendiamo il multimetro ed effettuiamo la nostra misurazione appoggiando il puntale nero a massa e il puntale rosso prima sul filo collegato a  $V_+$  e poi su quello collegato a  $V_-$ , per misurarne le rispettive tensioni.

Inoltre è conveniente verificare l'effettivo valore di resistenza dei vari resistori che ci serviranno nello svolgimento del punto **3.3**. Per effettuare questa misurazione sarà sufficiente appoggiare i puntali ai due capi del resistore; essendo l'ohm l'unità di misura della resistenza sarà opportuno schiacciare il rispettivo pulsante contrassegnato con la lettera  $\omega$  sul multimetro.

**Nota:** Sul resistore le bande colorate indicano il valore di resistenza, in particolare il quarto o quinto anello, a seconda del tipo di resistenza che stiamo usando, indica il grado di precisione o tolleranza al quale il resistore è stato costruito.

### 3.2 Slew Rate of 741, Observation of Effects with Sine & Square Input Voltages

Per prima cosa abbiamo costruito un circuito non-invertente. Successivamente abbiamo mandato in ingresso al nostro amplificatore un'onda quadra <sup>[1]</sup> con un' ampiezza di voltaggio piccolo opportunamente selezionata (nel nostro caso abbiamo utilizzato una  $V_{pp} = 5$  <sup>[2]</sup>).



Effettuate le misurazioni opportune <sup>[3]</sup>, quali  $\Delta V$  e  $\Delta t$  dell'onda contrassegnata dal colore blu (onda generata dal nostro amplificatore operazionale che presenta appunto il fenomeno della slew rate), abbiamo calcolato il rispettivo valore della slew rate così ottenuta:

$$\Delta V = 9.92V \quad \Delta t = 19\mu s$$

$$S_R = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{9.92V}{19\mu s} \simeq 0.52$$

Figure 1: Slew Rate e relative misurazioni

<sup>[1]</sup> Per mandare in ingresso un'onda quadra è necessario premere il rispettivo pulsante sul generatore di funzioni ( $\square$ ); successivamente tramite il tasto **'ampl'** sarà possibile modificarne l'ampiezza  $V_{pp}$

<sup>[2]</sup>  $V_{pp}$ : Voltage peak-to-peak

<sup>[3]</sup> Per effettuare le misurazioni possiamo avvalerci dell'apposita funzione di **'cursore'** presente nell'oscilloscopio, andando di fatto a posizionare manualmente i cursori per la misurazione

”La slew rate determina la power bandwidth di un’amplificatore operazionale”. Per verificare questa affermazione, graficamente, possiamo utilizzare in ingresso al nostro amplificatore un’onda di tipo sinusoidale <sup>[1]</sup>. Aumentando la frequenza (prima alle basse frequenze fino ad arrivare a circa  $30KHz$ ), possiamo osservare il comportamento delle due sinusoidi: inizialmente saranno sovrapposte, successivamente, incrementando la frequenza, si potrà notare come ad una frequenza nota ( $f_{max}$ ) le due sinusoidi inizieranno sempre più a distaccarsi.

Verifichiamo questo comportamento anche dal punto di vista matematico:

$$f_{max} = \frac{slew\ rate}{2\pi\ peak\ output\ voltage}$$

Nel nostro caso, ricordando la **slew rate** ottenuta al punto precedente, avremo :

$$f_{max} = \frac{0.52\ \frac{V}{\mu s}}{2\pi \cdot 10V} = 8.22\ KHz$$

### 3.2.1 Conclusioni finali

Si è potuta, quindi, verificare l’effettiva distorsione da slew rate prodotta dall’amplificatore operazionale sul segnale in ingresso. Comparando i risultati ottenuti,  $S_R \simeq 0.52$ , con quelli presenti nel datasheet,  $S_R = 0.5$ , se ne è potuta confermare l’effettiva presenza ed il rispettivo valore. Inoltre, si è potuto dimostrare come la slew rate influenzi la full power response, provocando un reale distacco dell’onda generata dall’amplificatore, sempre maggiore con l’aumentare della frequenza dell’onda in ingresso.

## 3.3 Gain-Bandwidth Product Determination

Per iniziare, abbiamo costruito un buffer <sup>[2]</sup> (vedi figura a lato), o inseguitore di tensione: questa configurazione è facilmente ottenibile chiudendo in retroazione unitaria (il guadagno  $A_v$  sarà anch’esso unitario) un amplificatore operazionale, ovvero collegando il segnale in uscita direttamente sull’ingresso invertente dell’amplificatore. Quindi, assicurandoci di avere in ingresso una  $V_{in}$  sufficientemente piccola da evitare distorsione da slew rate, abbiamo calcolato la bandwidth dell’amplificatore.

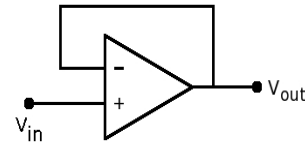


Figure 3: Buffer o inseguitore di tensione

**Bandwidth:** con banda passante si intende l’intera gamma di frequenze il cui guadagno si discosta da quello massimo di un fattore  $2^{-0.5}$  (cioè  $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$ ), ovvero attenua al massimo di -3dB rispetto al valore massimo. Tipicamente la banda passante è data da un intervallo d’interesse di valori  $\omega_L \leq \omega \leq \omega_H$ , dove  $\omega_L$  e  $\omega_H$  sono dette pulsazioni di taglio.

<sup>[1]</sup> Per mandare in ingresso un’onda sinusoidale è necessario premere il rispettivo pulsante sul generatore di funzioni (~); successivamente tramite il tasto ‘freq’ sarà possibile modificarne la frequenza

<sup>[2]</sup> **Buffer:** circuito che dà in uscita lo stesso valore di tensione che riceve in ingresso, sostanzialmente è un dispositivo che memorizza il segnale ricevuto in ingresso

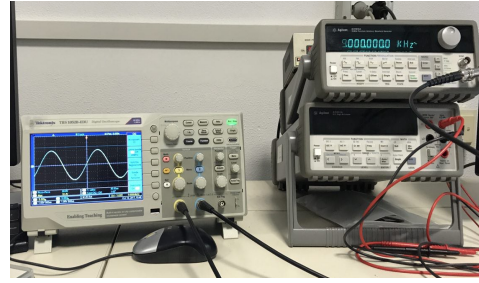


Figure 2: Full Power Response

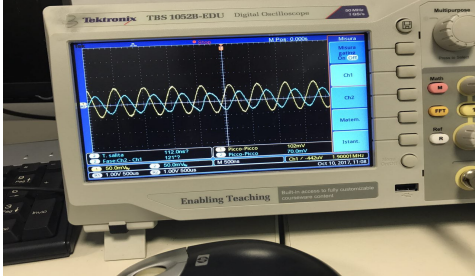


Figure 4: Misurazione grafica della banda passante

Dal punto di vista matematico possiamo verificare questo fenomeno attraverso la seguente formula:

$$20 \log_{10} \left( \frac{V_{misurata}}{V_{ingresso}} \right) = -3 \text{ dB}$$

Nel nostro caso, utilizzando una sinusoide con un'ampiezza iniziale  $V_{pp} = 50 \text{ mV}$ , abbiamo ottenuto un'attenuazione di -3 dB ad una frequenza pari a circa  $1,9 \text{ MHz}$ . A questa frequenza, infatti, il voltaggio picco-picco è risultato essere  $V_{pp} = 35 \text{ mV}$ ; verificandolo attraverso la formula otteniamo:

$$20 \log_{10} \left( \frac{35 \text{ V}}{50 \text{ V}} \right) = 20 \cdot (-0.1549) = -3.098 \text{ dB}$$

Successivamente abbiamo costruito un' amplificatore operazionale (configurazione libera, nel nostro caso la scelta è stata 'amplificatore operazionale invertente') che avesse inizialmente un guadagno  $A_v = 10$  e successivamente un guadagno più elevato, nel nostro caso  $A_v = 100$ . Ricordiamo qui di seguito le formule necessarie al calcolo del guadagno considerando  $Z_1$  e  $Z_2$  come due carichi resistivi:

- Amplificatore invertente:  $|A_v| = \frac{R_2}{R_1}$
- Amplificatore non-invertente:  $|A_v| = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

Per ottenere un guadagno  $A_v = 10$ , utilizzando l'amplificatore in configurazione invertente, abbiamo utilizzato una  $R_1 = 1 \text{ K}\Omega$  e una  $R_2 = 10 \text{ K}\Omega$ . Sempre rimanendo sotto le opportune condizioni di piccolo segnale,  $V_{pp} = 50 \text{ mV}$ , partendo da una bassa frequenza ( $\simeq 10 \text{ KHz}$ ) e aumentando progressivamente, abbiamo misurato la banda passante, ottenendo un'attenuazione di -3dB a una frequenza di  $95 \text{ KHz}$ . A questa frequenza, infatti, il voltaggio picco-picco misurato risultava essere  $V_{pp} = 35 \text{ mV}$ . Verificandolo matematicamente avremo:

$$20 \log_{10} \left( \frac{35 \text{ mV}}{50 \text{ mV}} \right) = 20 \cdot (-0.1549) = -3.098 \text{ dB}$$

Possiamo quindi procedere al calcolo mediante approccio grafico:

a parità di ampiezza in ingresso, variando la sola frequenza (partendo da una bassa frequenza e aumentando progressivamente), quando la nostra tensione in uscita scenderà di un valore pari al 70,7% del valore massimo ottenibile relativamente all'ampiezza applicata all'ingresso, avremo trovato la frequenza desiderata.

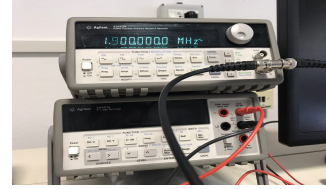


Figure 5: Frequenza alla quale il guadagno del buffer scende di -3 dB

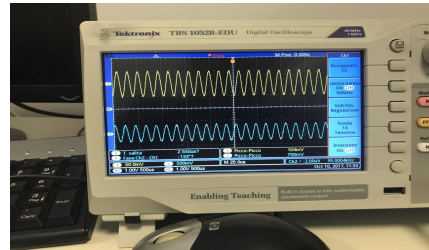


Figure 6: Frequenza alla quale il guadagno dell'op amp con  $A_v = 10$  scende di -3 dB

Infine, per ottenere un guadagno  $A_v = 100$ , utilizzando sempre l'amplificatore in configurazione invertente, abbiamo utilizzato una  $R_1 = 1K\Omega$  e una  $R_2 = 100K\Omega$ . Ripetendo il procedimento svolto precedentemente otteniamo alle basse frequenze ( $\simeq 1\text{ KHz}$ ) una  $V_{pp} = 9.60\text{ V}$ , aumentando progressivamente la frequenza, è risultata un'attenuazione di -3dB alla frequenza di  $10\text{ KHz}$  con una  $V_{pp} = 6.75\text{V}$ . Verifichiamolo matematicamente:

$$20 \log_{10} \left( \frac{6.75\text{ V}}{9.60\text{ V}} \right) = 20 \cdot (-0.1529) = -3.059\text{ dB}$$

### 3.3.1 Conclusioni finali

Come possiamo notare, confrontando i dati ottenuti con il grafico presente nel datasheet, i risultati ottenuti risultano essere concordi al comportamento dell'amplificatore:

Guadagno	Frequenze
1	$1.9\text{ MHz}$
10	$95\text{ KHz}$
100	$9.6\text{ KHz}$

$\Rightarrow$

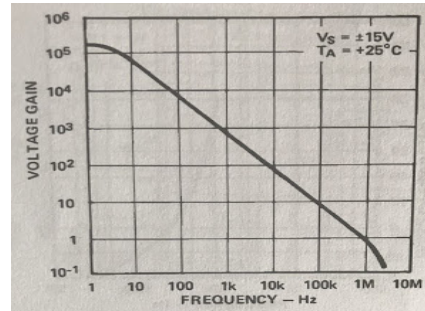


Figure 7: Guadagno in anello aperto vs. Frequenze