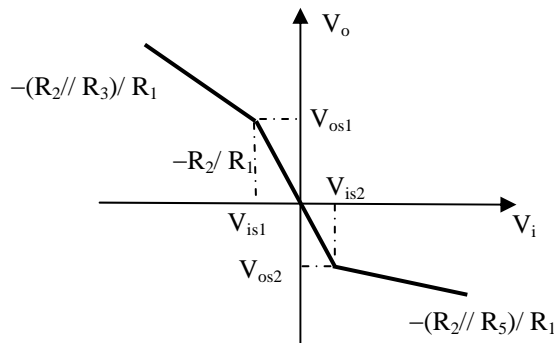
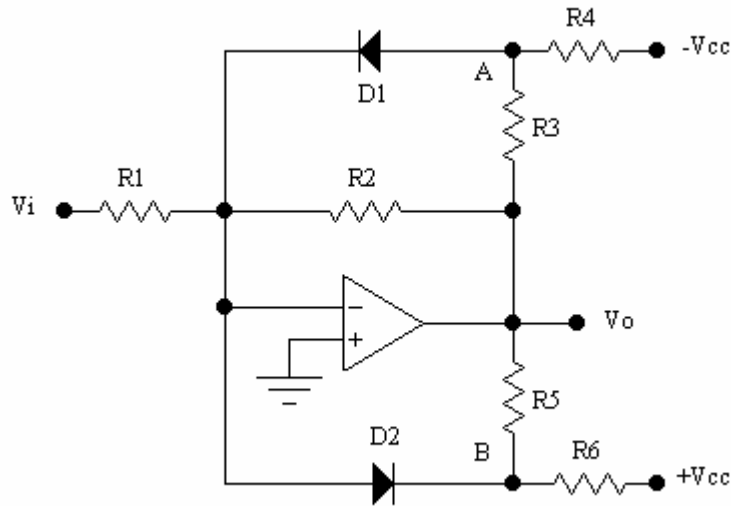


## PROGETTO E VERIFICA DI UN LIMITATORE DI GUADAGNO DI PRECISIONE

Quando la tensione d'uscita supera un valore  $V_{os1}$ , o scende al di sotto di un valore  $V_{os2}$ , entra in funzione la limitazione automatica del guadagno. Il circuito che realizza tale funzione è quello di figura, con la sua funzione d'uscita.



### Risoluzione del circuito e calcolo della funzione d'uscita

Il diodo  $D_1$  deve entrare in conduzione quando  $V_o \geq V_{os1}$ . Il catodo di  $D_1$  è collegato all'ingresso invertente e si trova al potenziale zero di massa virtuale. Esso conduce quando il potenziale (riferito a massa) del punto A, per  $V_o = V_{os1}$ , assume il valore  $+V_\gamma$ .

Il potenziale del punto A dipende dalla tensione d'uscita  $V_o$  e dalla tensione di alimentazione  $-V_{CC}$ . Applicando il principio di sovrapposizione degli effetti, si ha:

$$V_A = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V_o - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \cdot V_{CC} \Rightarrow \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V_{os1} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \cdot V_{CC} = V_\gamma$$

Quando il diodo  $D_1$  entra in conduzione, la resistenza  $R_3$  risulta in parallelo alla resistenza  $R_2$ , riducendo il valore dell'amplificazione.

Con entrambi i diodi interdetti, l'amplificazione è  $A = -\frac{R_2}{R_1}$ ; col diodo  $D_1$  in conduzione è

$$A_+ = -\frac{R_2 // R_3}{R_1} \Rightarrow |A_+| = \left| -\frac{R_2 // R_3}{R_1} \right| = \left| -\frac{R_2}{R_1} \right| \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = |A| \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} < |A|.$$

Il diodo  $D_2$  deve entrare in conduzione quando  $V_o \leq V_{os2}$ . Il catodo di  $D_2$  è collegato all'ingresso invertente e si trova al potenziale zero di massa virtuale. Esso conduce quando il potenziale (riferito a massa) del punto B, per  $V_o = V_{os2}$ , assume il valore  $-V_\gamma$ .

Il potenziale del punto B dipende dalla tensione d'uscita  $V_o$  e dalla tensione di alimentazione  $+V_{CC}$ . Applicando il principio di sovrapposizione degli effetti, si ha:

$$V_B = \frac{R_6}{R_5 + R_6} \cdot V_o + \frac{R_5}{R_5 + R_6} \cdot V_{CC} \Rightarrow \frac{R_6}{R_5 + R_6} \cdot V_{os2} + \frac{R_5}{R_5 + R_6} \cdot V_{CC} = -V_\gamma$$

Quando il diodo  $D_2$  entra in conduzione, la resistenza  $R_5$  risulta in parallelo alla resistenza  $R_2$ , riducendo il valore dell'amplificazione.

$$\text{Col diodo } D_2 \text{ in conduzione è } A_- = -\frac{R_2 // R_5}{R_1} \Rightarrow |A_-| = \left| -\frac{R_2}{R_1} \right| \cdot \frac{R_5}{R_2 + R_5} = |A| \cdot \frac{R_5}{R_2 + R_5} < |A|.$$

Si ha, quindi, una variazione di pendenza della transcaratteristica in corrispondenza dei valori  $V_{os1}$  e  $V_{os2}$ . Tale variazione è tanto più accentuata quanto più il valore di  $R_3$  e di  $R_5$  risultano piccoli rispetto al valore di  $R_2$ .

I valori della tensione di ingresso alle quali inizia la limitazione dell'amplificazione sono:

$$V_{is1} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot V_{os1} < 0 \quad \text{e} \quad V_{is2} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot V_{os2} > 0$$

La funzione d'uscita è costituita da tre tratti:

$$- \quad V_i \leq V_{is1} \Rightarrow V_o \geq V_{os1} \Rightarrow V_o = V_{os1} + A_+ \cdot (V_i - V_{is1}) = V_{os1} - \frac{R_2 // R_3}{R_1} \cdot (V_i - V_{is1})$$

$$\text{tratto con pendenza } A_+ = -\frac{R_2 // R_3}{R_1}.$$

$$- \quad V_{is1} < V_i < V_{is2} \Rightarrow V_{os2} < V_o < V_{os1} \Rightarrow V_o = AV_i = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i \quad \text{tratto con pendenza } A.$$

$$- \quad V_i \geq V_{is2} \Rightarrow V_o \leq V_{os2} \Rightarrow V_o = V_{os2} + A_- \cdot (V_i - V_{is2}) = V_{os2} - \frac{R_2 // R_5}{R_1} \cdot (V_i - V_{is2})$$

$$\text{tratto con pendenza } A_- = -\frac{R_2 // R_5}{R_1}.$$

## Definizione delle caratteristiche del circuito

Si utilizza l'amplificatore operazionale TL081, alimentato con  $V_{CC} = \pm 12V$ . Le tensioni di saturazione risulteranno di circa  $V_{oH} = -V_{oL} \approx V_{CC} - 2V = 10V$ .

Si utilizzano due diodi 1N4148 che presentano una tensione di soglia  $V_\gamma \approx 0,7V$ .

Si fissano i valori:  $A = -10$  ;  $A_+ = -5$  ;  $A_- = -2,5$  ;  $V_{os1} = -V_{os2} = 4V$ .

## Dimensionamento del circuito

Si devono dimensionare 6 resistenze disponendo di 5 equazioni. Si dovrà, pertanto, assegnare un valore ad una delle resistenze e calcolare le altre. Poiché in tutte le relazioni utilizzabili compare  $R_2$ , si esprimeranno le altre resistenze in funzione di  $R_2$ .

$$- A = -\frac{R_2}{R_1} \Rightarrow R_1 = -\frac{R_2}{A} = -\frac{R_2}{-10} = \frac{R_2}{10}$$

$$\begin{aligned} - A_+ = -\frac{R_2 // R_3}{R_1} &= -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} \Rightarrow \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{A_+}{A} = \frac{-5}{-10} = \frac{1}{2} \Rightarrow \\ &\Rightarrow 2R_3 = R_2 + R_3 \Rightarrow R_3 = R_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - A_- = -\frac{R_2 // R_5}{R_1} &= -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_5}{R_2 + R_5} \Rightarrow \frac{R_5}{R_2 + R_5} = \frac{A_-}{A} = \frac{-2,5}{-10} = \frac{1}{4} \Rightarrow \\ &\Rightarrow 4R_5 = R_2 + R_5 \Rightarrow R_5 = \frac{R_2}{3} \end{aligned}$$

$$- \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V_{os1} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \cdot V_{CC} = V_\gamma \Rightarrow R_4 V_{os1} - R_3 V_{CC} = R_3 V_\gamma + R_4 V_\gamma \Rightarrow$$

$$R_4 (V_{os1} - V_\gamma) = R_3 (V_{CC} + V_\gamma) \Rightarrow R_4 = \frac{V_{CC} + V_\gamma}{V_{os1} - V_\gamma} R_3 = \frac{V_{CC} + V_\gamma}{V_{os1} - V_\gamma} R_2 = \frac{12 + 0,7}{4 - 0,7} R_2 = 3,85 \cdot R_2$$

$$- \frac{R_6}{R_5 + R_6} \cdot V_{os2} + \frac{R_5}{R_5 + R_6} \cdot V_{CC} = -V_\gamma \Rightarrow R_6 V_{os2} + R_5 V_{CC} = -R_5 V_\gamma - R_6 V_\gamma \Rightarrow$$

$$R_6 (V_{os2} + V_\gamma) = -R_5 (V_{CC} + V_\gamma) \Rightarrow R_6 = -\frac{V_{CC} + V_\gamma}{V_{os2} + V_\gamma} R_5 = -\frac{V_{CC} + V_\gamma}{V_{os2} + V_\gamma} \cdot \frac{R_2}{3} =$$

$$= \frac{12 + 0,7}{-4 + 0,7} \cdot \frac{R_2}{3} = 1,28 \cdot R_2$$

$$\text{Riassumendo: } R_1 = \frac{R_2}{10} \quad ; \quad R_3 = R_2 \quad ; \quad R_4 = 3,85 \cdot R_2 \quad ; \quad R_5 = \frac{R_2}{3} \quad ; \quad R_6 = 1,28 \cdot R_2$$

Si fissa  $R_2 = 100\text{k}\Omega$  e si calcolano:  $R_1 = \frac{R_2}{10} = \frac{100 \cdot 10^3}{10} = 10\text{k}\Omega$  ;  $R_3 = R_2 = 100\text{k}\Omega$  ;

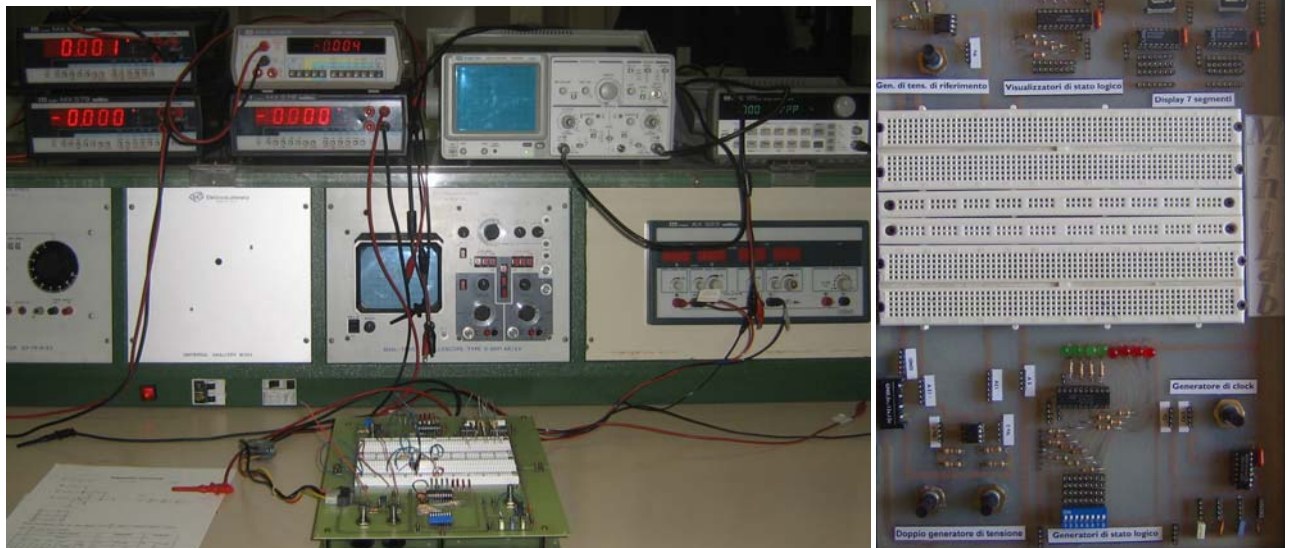
$R_4 = 3,85 \cdot R_2 = 3,85 \cdot 100 \cdot 10^3 = 385\text{k}\Omega \rightarrow 390\text{k}\Omega$  ;  $R_5 = \frac{R_2}{3} = \frac{100 \cdot 10^3}{3} = 33\text{k}\Omega$

$R_6 = 1,28 \cdot R_2 = 1,28 \cdot 100 \cdot 10^3 = 128\text{k}\Omega \rightarrow 120\text{k}\Omega$

### Verifica del circuito

Il circuito verrà verificato prima in continua e poi in alternata. Come strumenti di misura si utilizzeranno due multimetri digitali 4½ digit, un generatore di funzioni e un oscilloscopio a doppia traccia.

Il circuito verrà montato su una piastra sperimentale (figura) che dispone delle alimentazioni, di due generatori di tensione continua di precisione variabili da  $-10\text{V}$  a  $+10\text{V}$ , un generatore di tensione di riferimento di precisione regolabile da  $0$  a  $+9\text{V}$ . Tali generatori variabili consentono di regolare la tensione con una precisione del millesimo di volt.



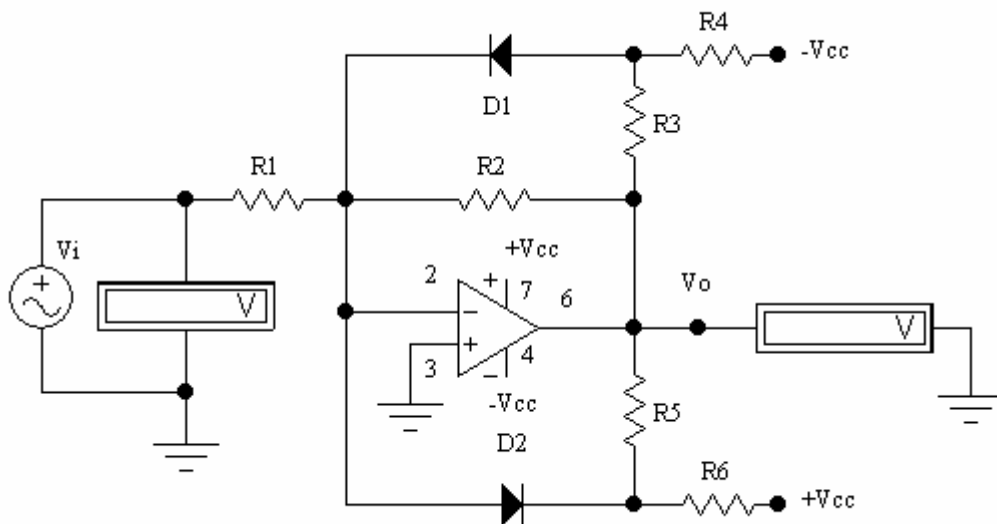
### Procedimento di verifica

1. Si monta il circuito e si collegano all' ingresso il generatore variabile in continua e un multimetro. Si collega all'uscita un multimetro.
2. Si regola la tensione d'ingresso al primo valore della tabella e si rileva la tensione d'uscita.
3. Si ripete per tutti i valori della tabella.
4. Si riporta  $V_o$  in funzione di  $V_i$  su un foglio di carta millimetrata e si traccia la caratteristica d'uscita per punti.

5. Si sostituisce il generatore di tensione continua col generatore di funzioni e i due multimetri con i canali CH<sub>1</sub> e CH<sub>2</sub> dell'oscilloscopio collegati, rispettivamente all'ingresso e all'uscita.
6. Si regola il generatore di funzioni su onda triangolare di frequenza 1KHz e ampiezza 1,6V. si rilevano fotograficamente gli oscillogrammi correlati dell'ingresso e dell'uscita.
7. Si passa alla scansione XY dell'oscilloscopio e si rileva fotograficamente la caratteristica d'uscita.
8. Si regola l'ampiezza dell'onda triangolare d'ingresso, in successione, a 2,8V e a 4V, e si ripetono i punti 6 e 7.

### Verifica in continua

Il circuito per la verifica in continua è quello di figura.



Al fine di ottimizzare il rilievo per punti della caratteristica d'uscita, si calcolano i valori delle tensioni di soglia d'ingresso ( $V_{is1}$  e  $V_{is2}$ ) e i valori delle tensioni d'ingresso che saturano l'uscita.

$$V_{os1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{is1} \Rightarrow V_{is1} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot V_{os1} = -\frac{10 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} \cdot 4 = -0,4V \Rightarrow V_{is2} = -V_{is1} = 0,4V$$

$$V_{oH} = V_{os1} + A_+ \cdot (V_{iL} - V_{is1}) \Rightarrow V_{iL} = \frac{V_{oH} - V_{os1}}{A_+} + V_{is1} = \frac{10 - 4}{-5} - 0,4 = -1,6V$$

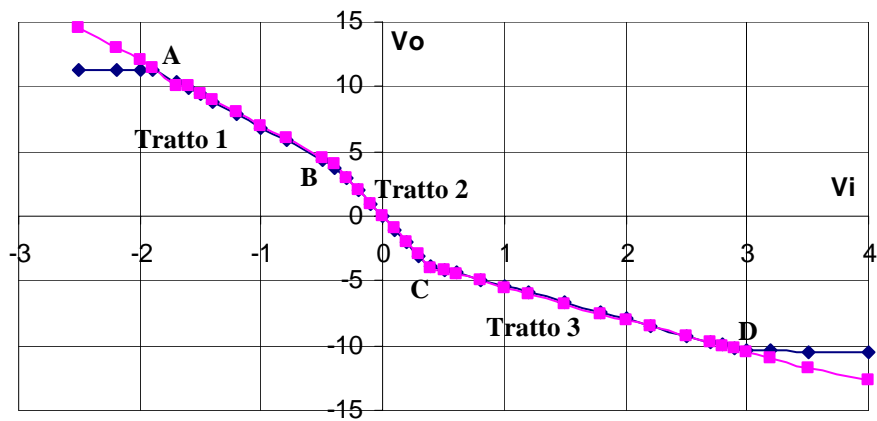
$$V_{oL} = V_{os2} + A_- \cdot (V_{iH} - V_{is2}) \Rightarrow V_{iH} = \frac{V_{oL} - V_{os2}}{A_-} + V_{is2} = \frac{-10 + 4}{-2,5} + 0,4 = 2,8V$$

Si sceglie di partire da valori di tensione d'ingresso che saturano l'uscita (-2,5V), portare il circuito in funzionamento lineare, e saturare l'uscita in modo opposto. Nella caratteristica d'uscita risultano sottolineati così tutti i possibili funzionamenti del circuito

## Tabulazione dei dati

Volt			Adimen	Volt			Adimen
$V_i$	$V_o$	$V_o$ calc	$V_o / V_i$	$V_i$	$V_o$	$V_o$ calc	$V_o / V_i$
-2,5	11,24	14,5	-3,45	0,3	-3,05	-3,0	-10,1
-2,2	11,24	13,0	-4,02	0,4	-3,79	-4,0	-9,475
-2,0	11,23	12,0	-4,52	0,5	-4,1	-4,25	-8,2
-1,9	11,23	11,5	-4,82	0,6	-4,37	-4,5	-7,28
-1,7	10,37	10,05	-4,9	0,8	-4,90	-5,0	-2,25
-1,6	9,87	10,00	-4,9	1,0	-5,41	-5,5	-2,35
-1,5	9,38	9,5	-4,89	1,2	-5,92	-6,0	-2,4
-1,4	8,85	9,0	-4,85	1,5	-6,68	-6,75	-2,44
-1,2	7,85	8,0	-4,81	1,8	-7,45	-7,5	-2,46
-1,0	6,85	7,0	-4,75	2,0	-7,95	-8,0	-2,47
-0,8	5,81	6,0	-4,52	2,2	-8,45	-8,5	-2,47
-0,5	4,28	4,5	-8,56	2,5	-9,22	-9,25	-2,49
-0,4	3,75	4,0	-9,375	2,7	-9,71	-9,75	-2,48
-0,3	3,0	3,0	-10,0	2,8	-9,96	-10,0	-2,48
-0,2	2,0	2,0	-10,0	2,9	-10,22	-10,25	-2,49
-0,1	0,98	1,0	-9,8	3,0	-10,35	-10,5	-2,44
0,0	-0,025	0,0	-10	3,2	-10,40	-11,0	-2,29
0,1	-1,05	-1,0	-10,5	3,5	-10,44	-11,75	-2,08
0,2	-2,05	-2,0	-10,25	4,0	-10,44	-12,75	-1,79

## Caratteristica d'uscita



Si scelgono tre coppie di punti del grafico e si calcolano le pendenze (amplificazioni) dei tre tratti:

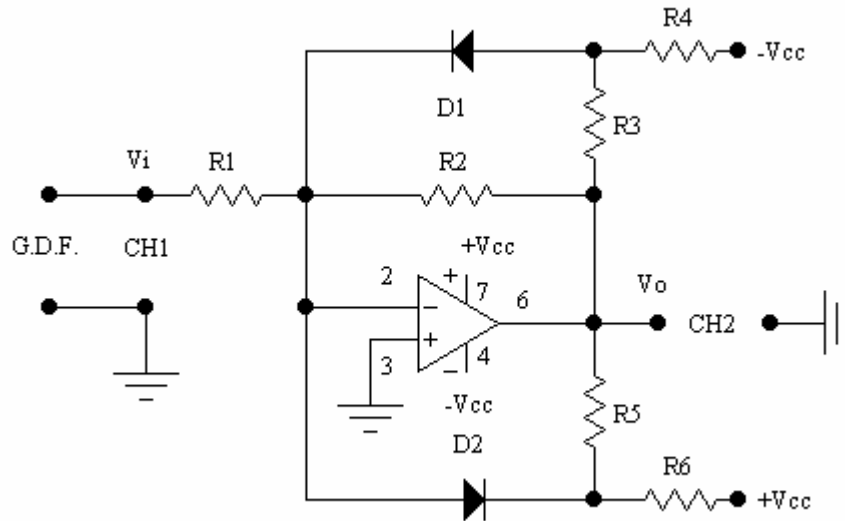
$$\text{Tratto 1: } A(-1,7 ; 10,05) ; B(-0,4 ; 3,75): \quad A_+ = \frac{3,75 - 10,05}{-0,4 + 1,7} = -4,85$$

$$\text{Tratto 2: } B(-0,4 ; 3,75) ; C(0,4 ; -3,79): \quad A = \frac{-3,79 - 3,75}{0,4 + 0,4} = -9,425$$

$$\text{Tratto 3: } C(0,4 ; -3,79) ; D(2,8 ; -9,96): \quad A_- = \frac{-9,96 + 3,79}{2,8 - 0,4} = -2,57$$

## Verifica in alternata

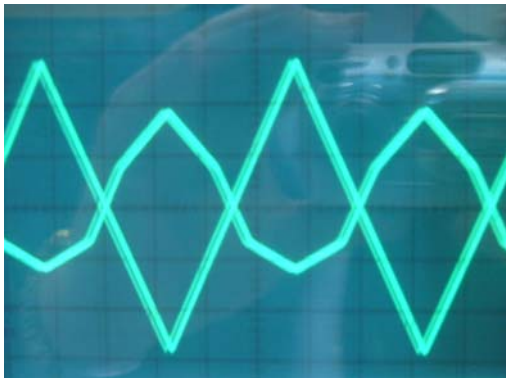
Il circuito per la verifica in alternata è quello di figura.



Al fine di evidenziare i vari modi di funzionamento del circuito, si utilizza un'onda triangolare di frequenza 1KHz e ampiezze: 1,6V; 2,8V; 4V. ciò permette di sottolineare il funzionamento lineare fino a 1,6V; il funzionamento non lineare con uscita positiva e lineare negativa fino a 2,8V; il funzionamento in zone non lineari e lineari.

Per ogni ampiezza, si riportano di seguito le foto degli oscillogrammi del segnale di ingresso e d'uscita correlati e della caratteristica d'uscita.

**Ampiezza 1,6V** (BT = 0,2ms/div; CH<sub>1</sub> = 0,5V/div; CH<sub>2</sub> = 5V/div)



**Ampiezza 2,8V** (BT = 0,2ms/div; CH<sub>1</sub> = 1V/div; CH<sub>2</sub> = 5V/div)



**Ampiezza 4V** (BT = 0,2ms/div; CH<sub>1</sub> = 1V/div; CH<sub>2</sub> = 5V/div)

