

Raddrizzatore veloce ad una semionda

Diodo ideale, o superdiodo

Un amplificatore operazionale ed un diodo possono essere combinati, come in Figura 1, per realizzare un raddrizzatore ad una semionda di precisione. L'uscita v_O rappresenta una replica parziale rettificata del segnale di ingresso v_S con caduta di tensione trascurabile, rispetto a quella che si avrebbe con l'utilizzo di un singolo diodo (pari a circa 0.6 V). Grazie all'elevato guadagno ad anello aperto dell'operazionale, A_V (≈ 200000 in DC), la tensione di innesco del diodo, V_γ , è ridotta a V_γ/A_V , quando il diodo è inserito nell'anello di retroazione ed è in conduzione. In tal caso l'elevato guadagno A_V forza la tensione ai terminali di ingresso dell'operazionale ad essere quasi zero.

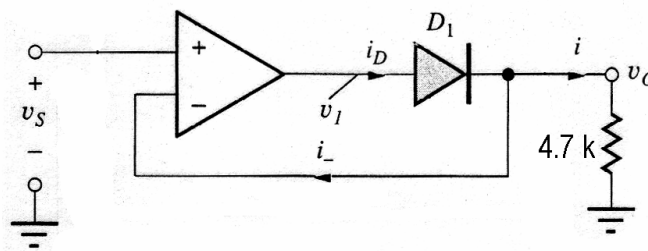


Figura 1 Raddrizzatore con superdiodo

Per $v_S > 0$, v_O eguaglia v_S , e $i > 0$. In tal caso l'uscita dell'operazionale è positiva ed il diodo D_1 si trova in conduzione. Poiché la corrente nel piedino invertente, i_- , è idealmente zero, la corrente i_D è pari ad i , il diodo è in conduzione e l'anello di retroazione è chiuso proprio attraverso il diodo.

Per $v_S < 0$, l'uscita dell'operazionale è negativa ed il diodo non si trova in conduzione, quindi $i_D = 0$ e l'anello di retroazione è aperto: $v_O = 0$, poiché $i = 0$.

La transcaratteristica del circuito di Figura 1 è quindi quella riportata in Figura 2.

Sorgenti di errore principali:

- Guadagno finito dell'operazionale
- Guadagno dell'operazionale che diminuisce all'aumentare della frequenza
- Tensione di offset dell'operazionale

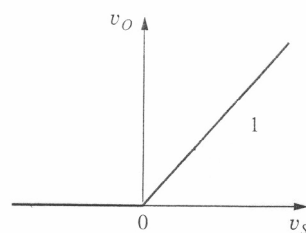


Figura 2 Transcaratteristica del circuito di figura 1

Problema di carattere pratico:

sebbene per tensioni di ingresso negative l'uscita del circuito[†] sia correttamente pari a zero, ai terminali di ingresso dell'operazionale ho una tensione negativa e l'uscita dell'operazionale, v_1 , è quindi saturata verso la tensione negativa di alimentazione: l'anello di retroazione è aperto e non vale quindi il principio della massa virtuale!

Lo stadio di ingresso dei moderni amplificatori operazionali è in grado di sopportare tensioni differenziali che si avvicinano (e talvolta anche superano) la tensione di alimentazione. Anche per lo stadio di uscita la situazione non è pericolosa e non c'è quindi il rischio di danneggiare il dispositivo.

Domanda: quale limite di prestazioni mi determina la saturazione?

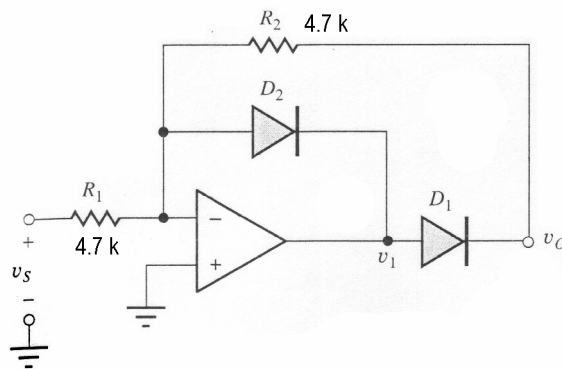


Figura 3 Configurazione senza saturazione

Configurazione rettificante senza saturazione

Il problema della saturazione può essere aggirato tramite la configurazione circuitale di Figura 3, che realizza sempre un raddrizzatore di precisione a singola semionda.

L'operazionale è ora in configurazione invertente e viene raddrizzata la semionda negativa del segnale di ingresso:

$$\text{per } v_s \geq 0 \quad v_o = 0 \quad \text{per } v_s \leq 0 \quad v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_s$$

La transcaratteristica del circuito è quella di figura 4.

Domanda: perché l'operazionale non entra in saturazione in questa configurazione circuitale?

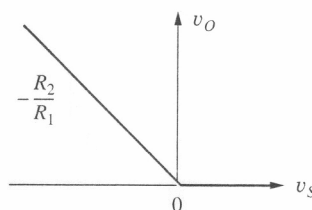


Figura 4 Transcaratteristica del circuito di figura 3

[†] **NOTA BENE:** l'uscita del circuito è nel punto contrassegnato da v_o e non coincide con l'uscita dell'operazionale

Esercitazione

Parte prima (da svolgere rapidamente):

- Montare il circuito di Figura 1
- Alimentare l'operazionale uA741 con tensione $\pm 12\text{ V}$
- Applicare come segnale di ingresso una sinusoide con ampiezza picco-picco di 10 V (nota: 5 V sul display del generatore di forme d'onda). Per avere un trigger stabile è vantaggioso portare il segnale di ingresso anche su di un canale dell'oscilloscopio tramite un attacco BNC a T ed un cavo coassiale
- Visualizzare l'uscita sull'oscilloscopio tramite una sonda compensata 10x
- Valutare, in modo rapido ed approssimato, la banda del circuito ed annotare la frequenza, a partire dalla quale, il segnale presenta una distorsione visivamente apprezzabile
- Impostata la frequenza di 1 kHz sul generatore di segnale, posizionare la sonda sull'uscita dell'operazionale e verificare che questo si trova in saturazione durante la semionda negativa del segnale di ingresso. **Tracciare la forma d'onda sul grafico di figura 6** (impostare la base dei tempi dell'oscilloscopio in modo da visualizzare solo un paio di periodi del segnale)

Parte seconda:

- Montare il circuito di figura 3
- Utilizzare stessa alimentazione e segnale di ingresso
- Con la sonda compensata posizionata sull'uscita del circuito, valutare la banda passante della nuova configurazione circuitale e la frequenza a cui la distorsione è apprezzabile
- Alle frequenze più elevate (es. 20 kHz), quando il segnale di uscita è ancora apprezzabile, si nota una forte distorsione della sinusoide, che diviene in pratica un'onda triangolare (vedi Figura 5): la velocità di salita dell'onda triangolare (o pendenza), dV/dt , quanto vale (in volt/microsecondi)? **A quale limite dell'operazionale è legata?**
- Impostata la frequenza di 1 kHz sul generatore di segnale, spostare poi la sonda sull'uscita dell'operazionale e tracciare la forma d'onda sul grafico di Figura 6: **come si spiega il segnale visualizzato, anche in confronto a quello che si otteneva con la configurazione precedente?**

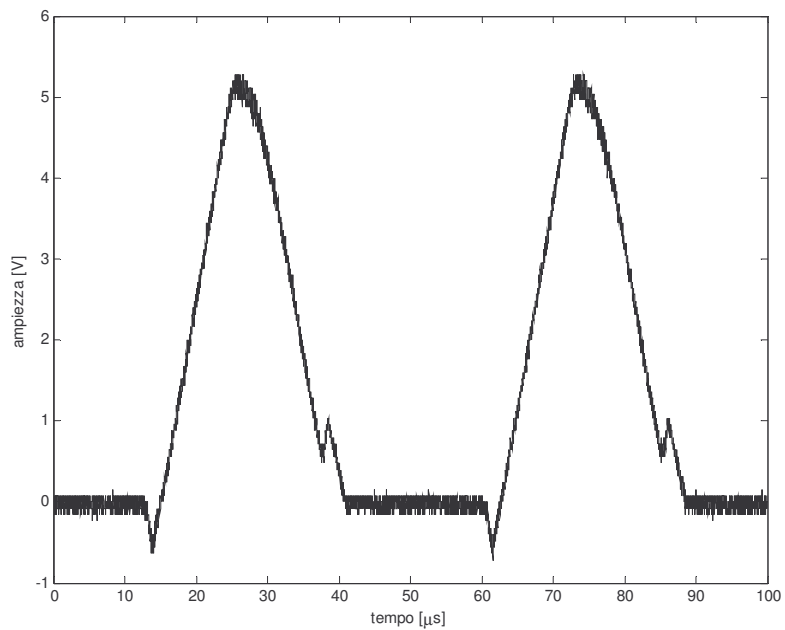


Figura 5 Uscita del circuito di Figura 3 con segnale di 20 kHz: si noti la forte distorsione

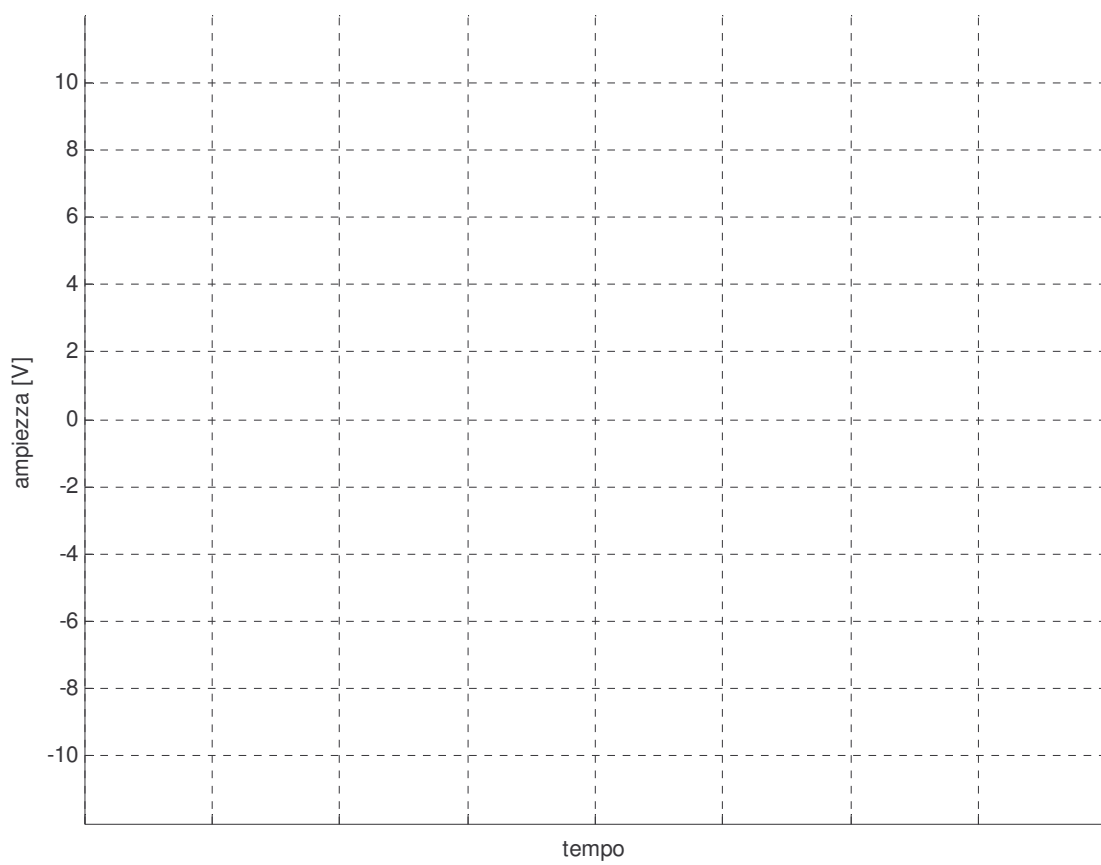


Figura 6

Banda a -3 dB per il circuito 1:

Frequenza a cui la distorsione è già visibilmente apprezzabile per il circuito 1:

Banda a -3 dB per il circuito 2:

Frequenza a cui la distorsione è già visibilmente apprezzabile per il circuito 2:

Componenti utilizzati nell'esercitazione:

- Amplificatore operazionale uA741 – q.tà 1
- Resistore da 4.7 k Ω – q.tà 2
- Diodo silicio pn 1N4148 – q.tà 2

Diodo silicio 1N4148

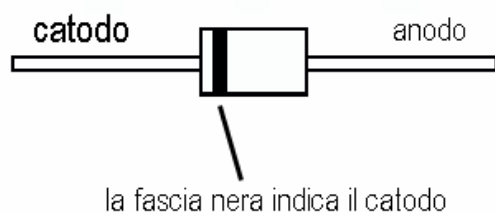


Figura 7

Pinout operazionale uA741

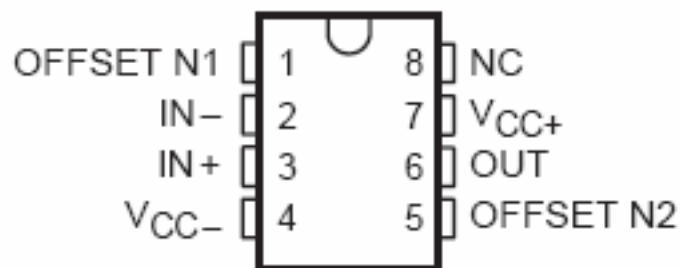


Figura 8

Amplificatore logaritmico

Un'altra particolare configurazione dell'amplificatore operazionale è quella dell'amplificatore logaritmico. Nell'esercitazione è proposta la versione più semplice (Figura 9), anche se è quella meno utilizzata perché afflitta da diversi inconvenienti.

Quando il segnale di ingresso è positivo, il diodo nella catena di retroazione è in conduzione e il piedino di ingresso invertente si trova a massa virtuale.

La corrente che scorre nel diodo è:

$$I_D = I_S \left(e^{qV_D/kT} + 1 \right) = I_S \left(e^{V_D/V_T} + 1 \right) \approx I_S \left(e^{V_D/V_T} \right)$$

con I_D corrente del diodo, I_S corrente inversa del diodo, V_D tensione diretta ai capi del diodo, k costante di Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K), T temperatura assoluta e q carica dell'elettrone.

Si ricorda poi che è:

$$\frac{kT}{q} = V_T$$

Trascurando la corrente nel piedino invertente e per il principio di massa virtuale si ha che:

$$\begin{aligned} V_O &\approx -V_D \\ I_D &\approx V_S/R \end{aligned}$$

da cui:

$$V_O \approx -V_T \ln \left(\frac{V_S}{RI_S} \right)$$

Esercitazione

- Montare il circuito dell'amplificatore logaritmico come mostrato in Figura 9.
- Effettuare una prima misura di tipo qualitativo, impostando il generatore di segnale su 8 V_{pp} (4 V_{pp} sul display), OFFSET di 4.1 V_{DC} (2.050 V_{DC} sul display) e frequenza 1 kHz. Per vedere meglio la risposta di tipo logaritmico si può impostare un'onda triangolare sul generatore di funzioni, invece della sinusoide.
- La seconda misura prevede invece di usare il generatore di funzioni come generatore di tensione continua variabile e di tracciare sul grafico semilogaritmico di Figura 13 (oppure in una tabella) l'uscita per valori di tensione continua in ingresso compresi tra 10 mV e 2 V.

NOTA: per impostare la sola tensione continua senza onda AC sovrapposta, tenere premuto il tasto "OFFSET" per qualche secondo.

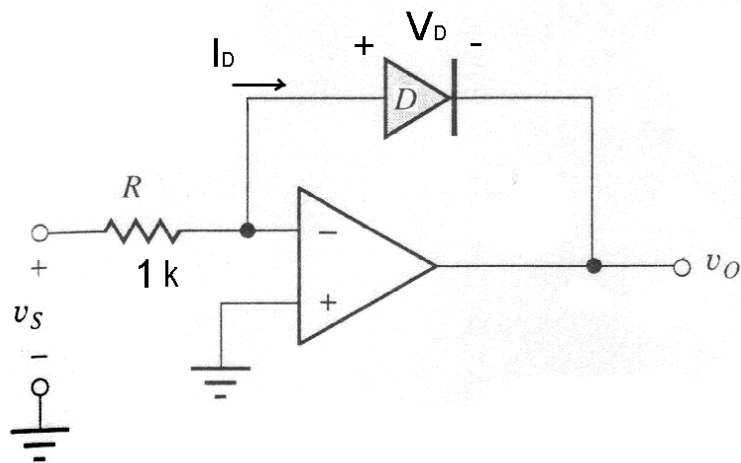


Figura 9 Amplificatore logaritmico a diodo

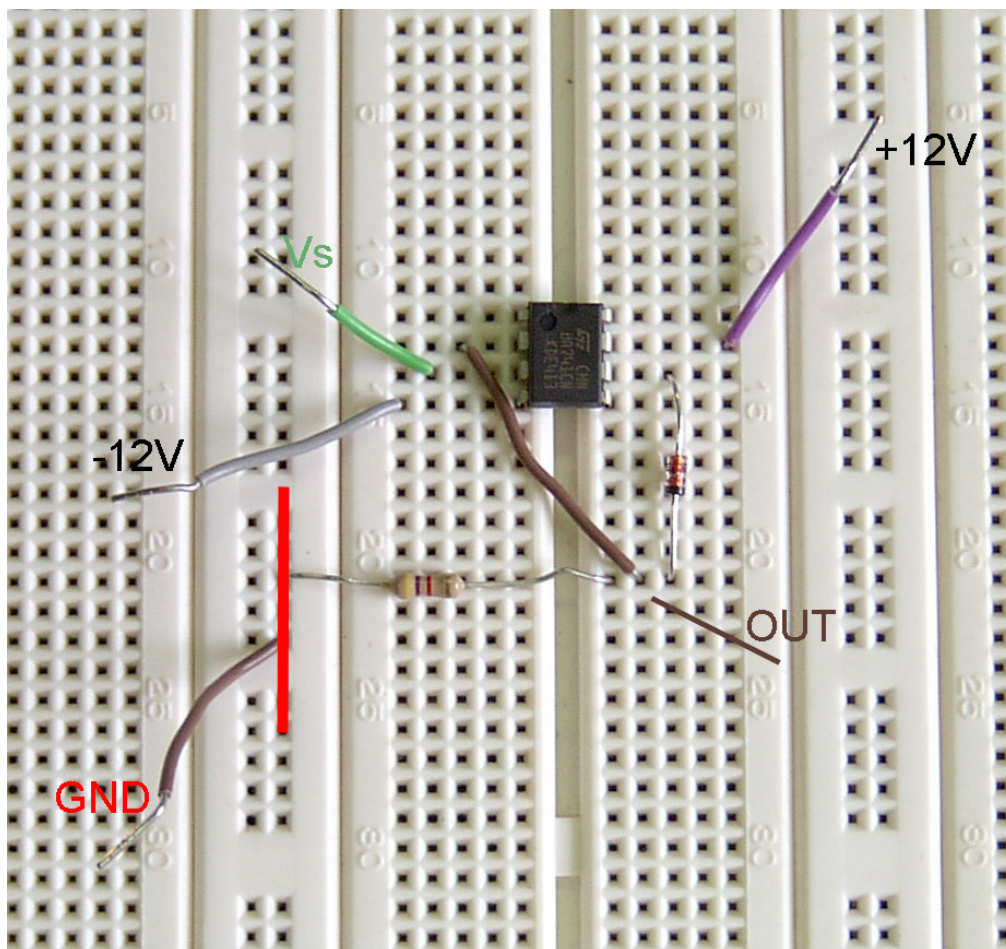


Figura 10 montaggio suggerito per il circuito di Figura 1

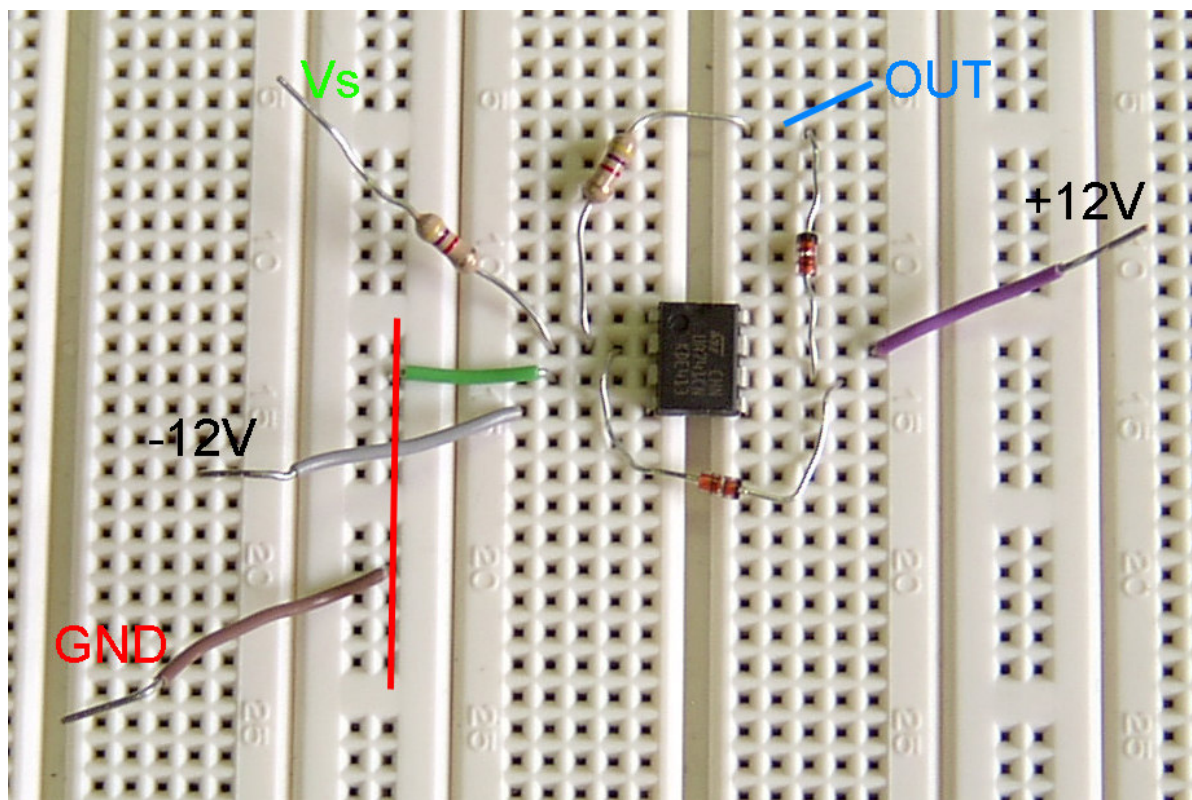


Figura 11 montaggio suggerito per il circuito di Figura 3

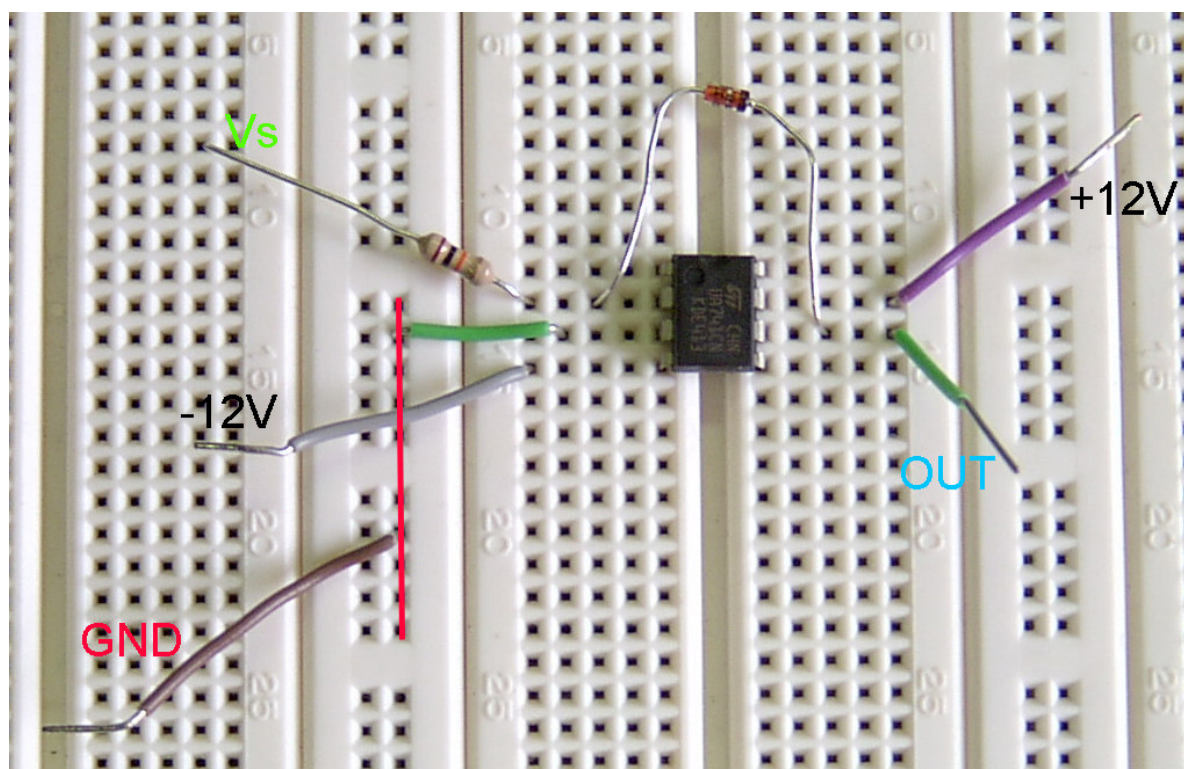


Figura 12 montaggio suggerito per il circuito di Figura 9

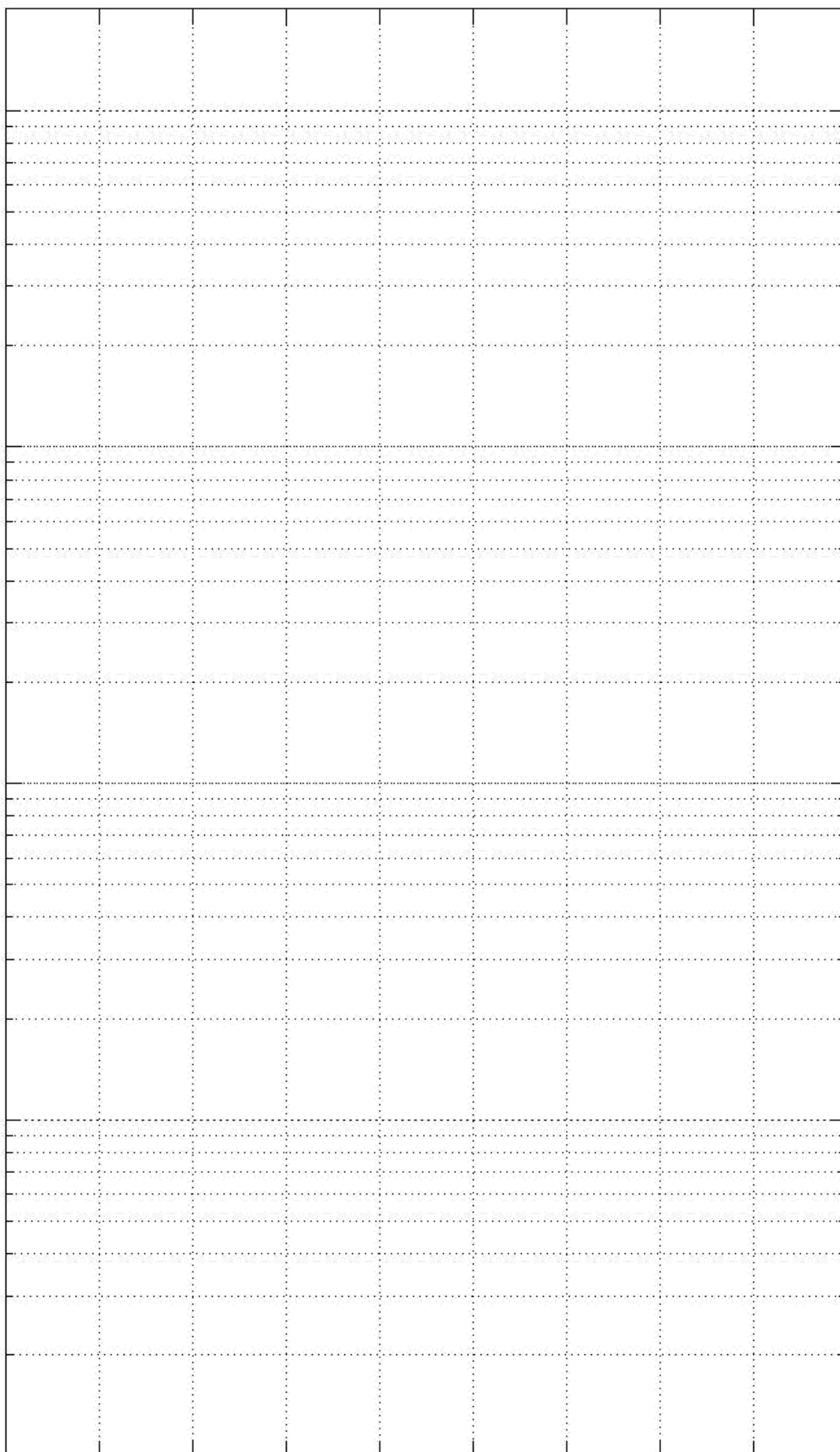


Figura 13