

# Relazione terza esercitazione

Causa Lorenzo, Vigna Riccardo

## 1 Progettazione al simulatore

Si vuole progettare un oscillatore a ponte di Wien, che fornisca in uscita una sinusoide di frequenza 1kHz. Un obiettivo è quello di mantenere bassa la distorsione armonica totale, che è il parametro che mostra quanto effettivamente l'onda sia "pura". Per realizzare un oscillatore bisogna soddisfare le condizioni di Barkhausen. Data la funzione di anello  $T(s)$  devono valere:

$$|T(j\omega_0)| = 1 \quad (1)$$

$$\angle T(j\omega_0) = 0 \quad (2)$$

dove  $\omega_0$  è la frequenza di oscillazione della sinusoide. Verificate queste due condizioni e dato un segnale di ingresso, questo si autosostiene mantenendo forma e ampiezza. Per evitare di applicare un segnale in ingresso si può portare inizialmente il circuito in uno stato di instabilità (due poli complessi coniugati con parte reale maggiore di 0, che corrispondono a una sinusoide con ampiezza crescente nel tempo) e verificare successivamente le condizioni a regime.

## 1.1 Circuito senza diodi

Si può dimostrare che per soddisfare la condizione a regime sul modulo, il rapporto  $\frac{R_2}{R_1}$  deve essere 2. Tuttavia ponendoci in questa situazione non è possibile innescare l'onda. All'innescio dovrò quindi avere:  $|T(j\omega_0)| > 1$  che corrisponde a  $\frac{R_2}{R_1} > 2$ . Scegliamo  $R_1 = 15k\Omega$  e  $R_2 = 31k\Omega$ . Non soddisfacendo più Barkhausen l'onda tenderà alla saturazione. L'equazione che determina la frequenza di oscillazione  $f_0$  è:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3)$$

dove  $R=R_A=R_B$  e  $C=C_A=CB$ .

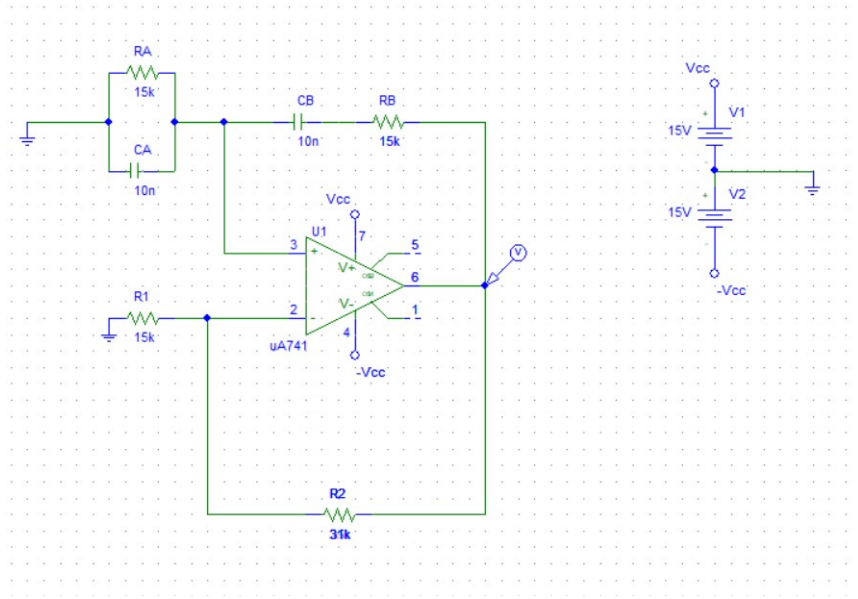


Figure 1: circuito senza diodi

Fissiamo  $C=10nF$  e dato che vogliamo avere  $f_0 = 1kHz$  si ricava  $R = 15.915k\Omega$  che si approssima al valore commerciale  $R = 15k\Omega$ . Come alimentazione usiamo 15V duale.

A questo punto siamo passati alla simulazione, dove abbiamo usato la modalità transiente, che permette di osservare l'andamento temporale dell'uscita. Si è osservato che, come da attese, la fase di innesco avviene correttamente, ma poi l'ampiezza della sinusoide continua ad aumentare fino a che l'operazionale non satura. Da qui in poi l'oscillazione diventa permanente, ma presenta una elevata distorsione.

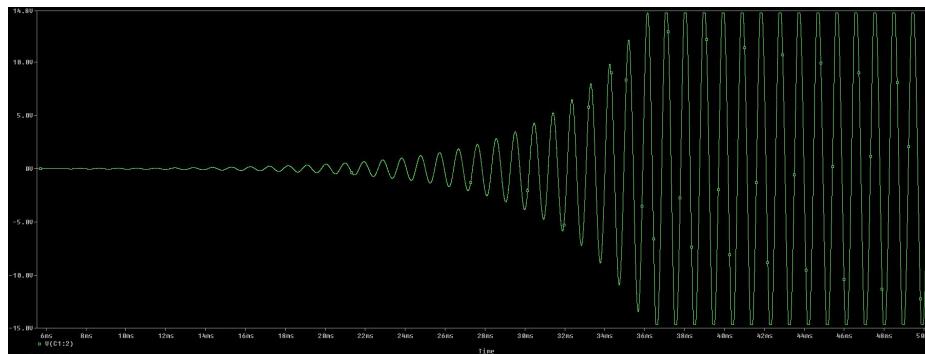


Figure 2: transitorio circuito senza diodi

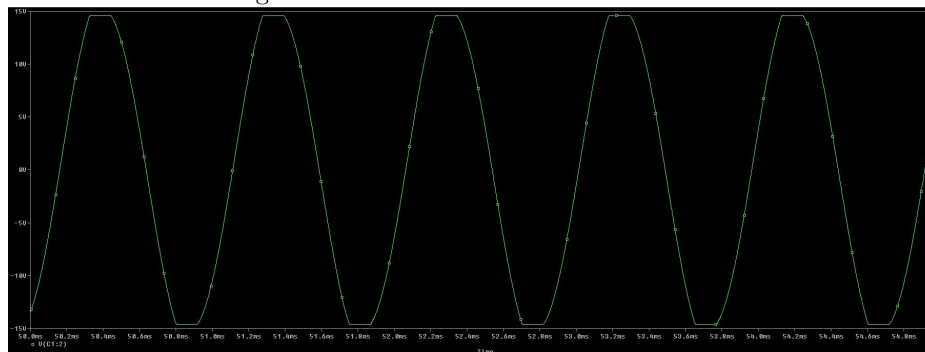


Figure 3: forma d'onda a regime circuito senza diodi

## 1.2 Circuito con diodi

La soluzione al problema del circuito precedente è l'inserimento di due diodi che svolgono la funzione di meccanismo automatico di controllo. All'accensione i diodi sono interdetti e si comportano quindi come un circuito aperto. Il rapporto  $\frac{R3+R2}{R1} > 2$  e quindi l'onda si innesca. Dopodichè scorre corrente nel circuito e i diodi entrano in conduzione. Questi presentano una resistenza non lineare che all'aumentare della corrente diminuisce. Ma al diminuire della resistenza il rapporto  $\frac{R2+(R3/r_d)}{R1}$  tende ad arrivare a 2. Una volta raggiunto questo valore il circuito si trova nelle condizioni di Barkhausen e l'onda non aumenta più di ampiezza raggiungendo uno stato stabile.

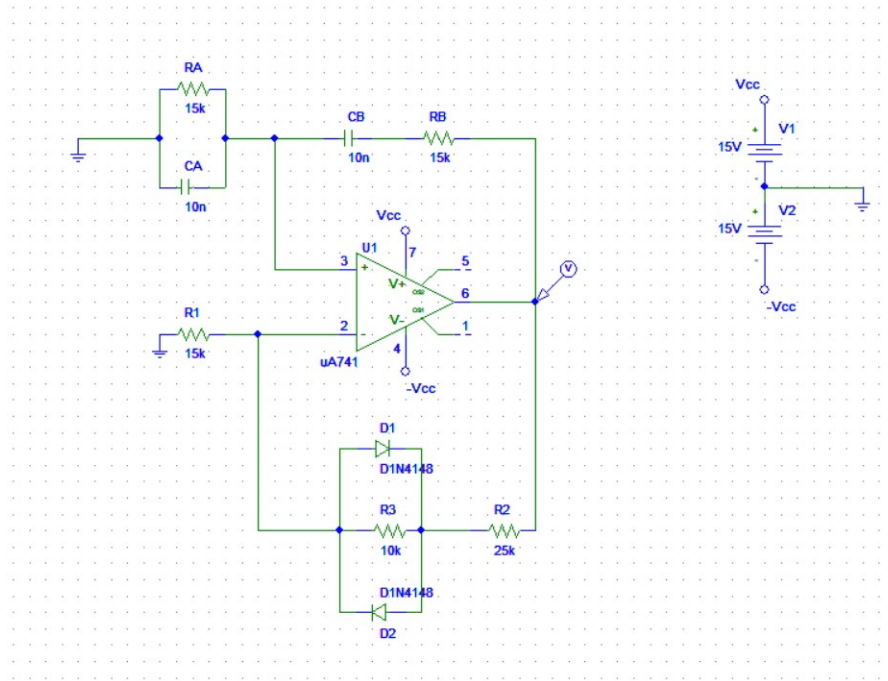


Figure 4: circuito con diodi

I valori delle resistenze R2, R3 sono stati scelti in modo tale da avere un punto di lavoro intorno alla condizione dei moduli ( $R2 + (R3/r_d) = 30k\Omega$ ). Per questa simulazione abbiamo preso  $R2 = 10k\Omega$ ,  $R3 = 25k\Omega$ .

Analogamente a quanto fatto nel circuito senza diodi abbiamo eseguito una simulazione transiente:

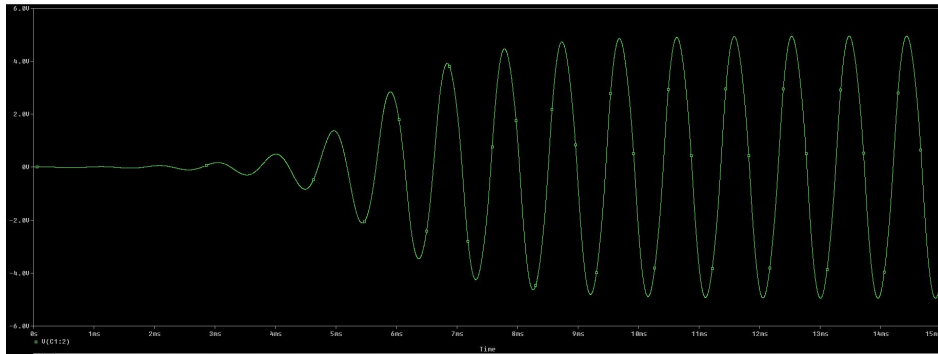


Figure 5: transitorio circuito senza diodi

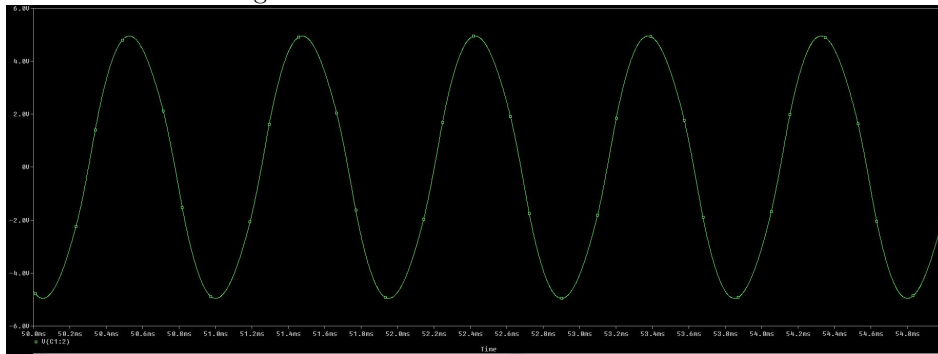


Figure 6: forma d'onda a regime circuito senza diodi

Dalla figura 5 si vede come l'onda cresce fino a stabilizzarsi. Dalla figura 6 si possono ricavare il valore di ampiezza e la frequenza. Variando la resistenza  $R_3$  si può ottenere una forma più o meno distorta rispetto a quella dell'immagine.

### 1.3 Analisi in Fourier e calcolo della distorsione armonica totale

Uno studio più approfondito riguardo ai parametri introdotti nel paragrafo precedente si può fare attraverso l'analisi di Fourier.



Figure 7: FFT

Dalla figura si può notare un picco alla frequenza di 1050Hz e ricordando che la trasformata di una sinusoide è un impulso alla frequenza di oscillazione, il risultato conferma le aspettative. Si nota inoltre un altro picco a una frequenza multipla della fondamentale, che rappresenta un'armonica. Per avere una sinusoide più pura possibile le armoniche devono essere trascurabili. Il parametro che esplicita la distorsione dell'onda è detta THD (Total harmonic distortion)

che è così definita: 
$$THD = \sqrt{\sum_{i=2}^n \left(\frac{F_i}{F_1}\right)^2}$$

dove  $F_i$  sono le ampiezze delle armoniche e  $F_1$  è l'ampiezza della fondamentale. Per ricavare i valori degli impulsi abbiamo zoomato la figura 7.

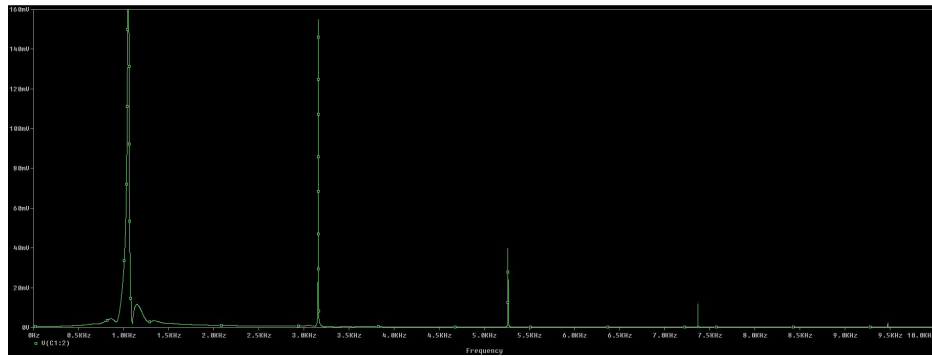


Figure 8: Armoniche

Per il calcolo della THD abbiamo trascurato le armoniche dalla quinta in poi.

Ampiezza	Frequenza
4.5V	$\sim 1050Hz$
154.83mV	$\sim 3160Hz$
39.81mV	$\sim 5260Hz$
11.89mV	$\sim 7380Hz$
2.38mV	$\sim 9480Hz$

Considerati questi valori la distorsione viene circa  $THD = 3.56\%$ . Variando la resistenza R3 è possibile migliorare o peggiorare questo valore. Per esempio abbiamo provato a usare  $6k\Omega$  ottenendo una THD di circa  $1.72\%$  mentre utilizzando un esagerato valore di  $100k\Omega$  la distorsione diventa visibile anche nella simulazione temporale.

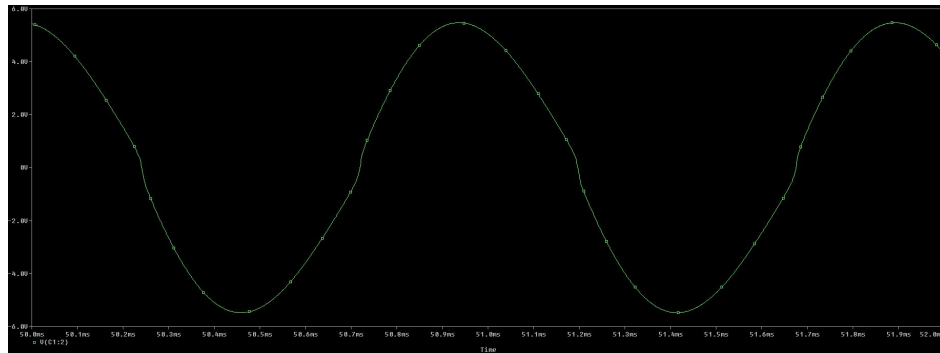


Figure 9: circuito con diodi

## 2 Costruzione in laboratorio

Abbiamo usato gli stessi valori dei componenti della simulazione, tranne che per R2 del circuito in figura 1, dove abbiamo usato il valore commerciale  $R2 = 33k\Omega$ . L'alimentazione è sempre a 15V duale.

### 2.1 Circuito senza diodi

Una volta realizzato il circuito abbiamo osservato l'uscita a regime sull'oscilloscopio che presentava la distorsione da saturazione.

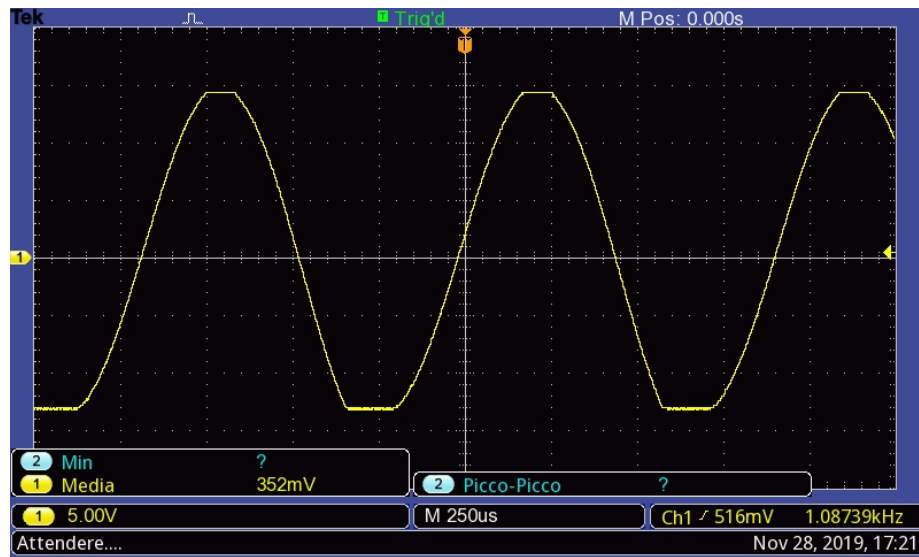


Figure 10: Uscita oscilloscopio circuito senza diodi

Notiamo che la frequenza di oscillazione coincide con quella desiderata a meno di una piccola differenza, anche dovuta al fatto che i valori di resistenza e capacità nel circuito sono affetti da tolleranze (In particolare le due reti RC che determinano la pulsazione non sono identiche come vorremmo).

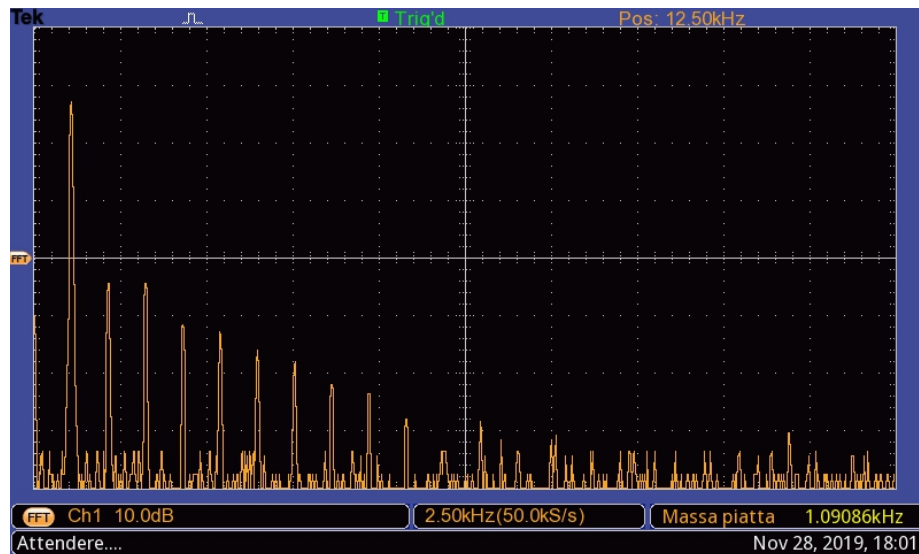


Figure 11: Spettro oscilloscopio circuito senza diodi



Osservando lo spettro fornito dall'oscilloscopio vediamo una distorsione importante, soprattutto dovuta alla saturazione dell'uscita.

## 2.2 Circuito con diodi

Si passa quindi alla versione migliorata con i diodi (figura 4). Abbiamo inoltre aggiunto un trimmer da  $10k\Omega$  in serie a R2 per variare il guadagno manualmente.

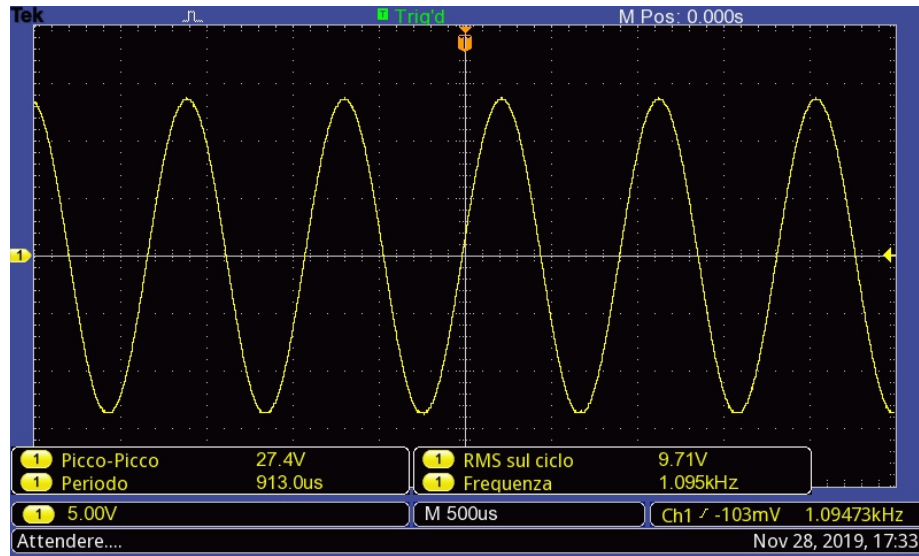


Figure 12: Uscita oscilloscopio circuito con diodi

L'onda risulta decisamente più pulita grazie al controllo automatico operato dai diodi. Per analizzare gli effetti del trimmer supponiamo momentaneamente ideali i diodi, ovvero cortocircuiti quando in conduzione. In questa situazione avremo la serie tra R2 e  $r_{trimmer}$  (vedi figura 4). Quando  $\frac{R2+r_{trimmer}}{R1}$  diventa maggiore di 2 ovvero quando, con i nostri valori,  $r_{trimmer} > 5k\Omega$  il circuito saturerà sicuramente. Per  $r_{trimmer} < 5k\Omega$  si può regolare il guadagno. In realtà i diodi hanno la loro resistenza interna e quindi il valore del trimmer per cui l'uscita satura, sarà inferiore a quello calcolato.

Lo spettro risulta decisamente più pulito rispetto a quello riferito al circuito precedente. Ciò accade grazie all'azione dei diodi.  
Le armoniche sono difficili da distinguere a causa del rumore di misura dovuto alla strumentazione. Di conseguenza la THD è incalcolabile in modo accurato.

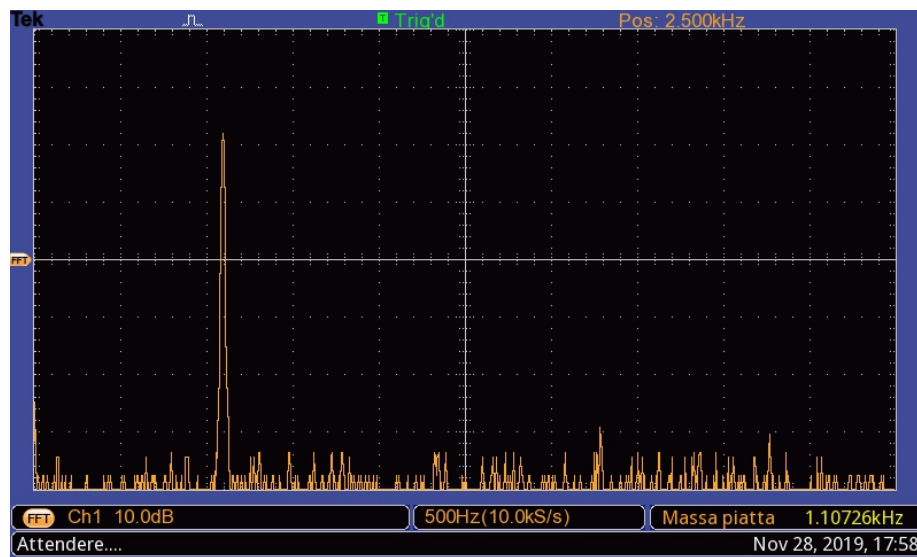


Figure 13: Spettro oscilloscopio circuito con diodi