

Gli alimentatori

a cura del prof. Giuseppe Spalierno
Aprile 2013

Un alimentatore elettronico è un circuito in grado di trasformare la tensione sinusoidale della rete luce (tensione 220V efficaci, frequenza 50Hz) in tensione continua costante nel tempo.

Un raddrizzatore elettronico trasforma una tensione alternata, con semionde positive e negative, in tensione con semionde tutte dello stesso segno, positive o negative.

Il raddrizzatore è costituito da due elementi:

- 1) un trasformatore, che serve a ridurre il valore della tensione di rete in un valore desiderato;
- 2) uno o più diodi a semiconduttori.

Esistono due tipi di raddrizzatori:

- 1) ad una semionda: essi fanno passare la semionda positiva ed eliminano quella negativa o viceversa;
- 2) a doppia semionda: anziché eliminare la semionda negativa, questi raddrizzatori la ribaltano raddoppiando, così, il valore medio della tensione ottenuta.

In fig. 1 si mostra lo schema di principio di un raddrizzatore alimentato da un generatore di tensione sinusoidale. L'uscita del raddrizzatore è applicata ad una resistenza che rappresenta il carico utilizzatore. Negli schemi elettrici che seguono non si fa uso del trasformatore, per semplicità.

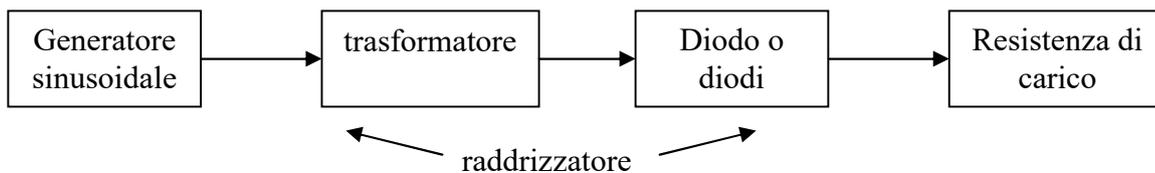


Fig.1 - Raddrizzatore.

In fig.2 si mostra lo schema di un raddrizzatore ad una semionda e a doppia semionda.

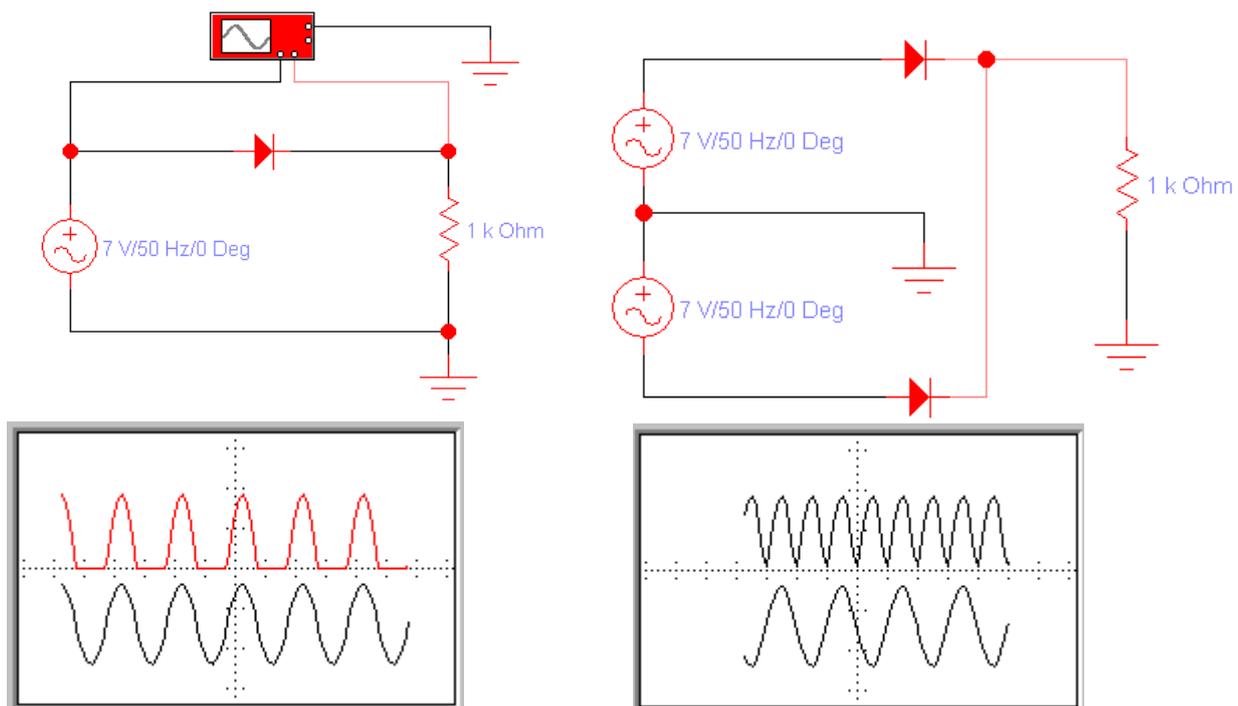


Fig.2 - Raddrizzatore ad una (a sinistra) e doppia (a destra) semionda e relative forme d'onda.

L'alimentatore si può realizzare facendo seguire al raddrizzatore un filtro passa-basso: un condensatore verso massa, una induttanza in serie o entrambi.

In fig.3 si mostra il più semplice alimentatore costituito da un raddrizzatore ad una semionda e da un filtro passa basso realizzato da un condensatore.

Durante la semionda positiva il diodo conduce caricando il condensatore; in altre parole la tensione ai capi del condensatore aumenta. Durante la fase discendente della semionda positiva e durante tutta la semionda negativa il condensatore non può scaricarsi nel diodo e lo fa nella resistenza di carico con costante di tempo RC. Più grande è il valore C del condensatore, più lentamente avviene la scarica, cioè la tensione di uscita diminuisce di poco.

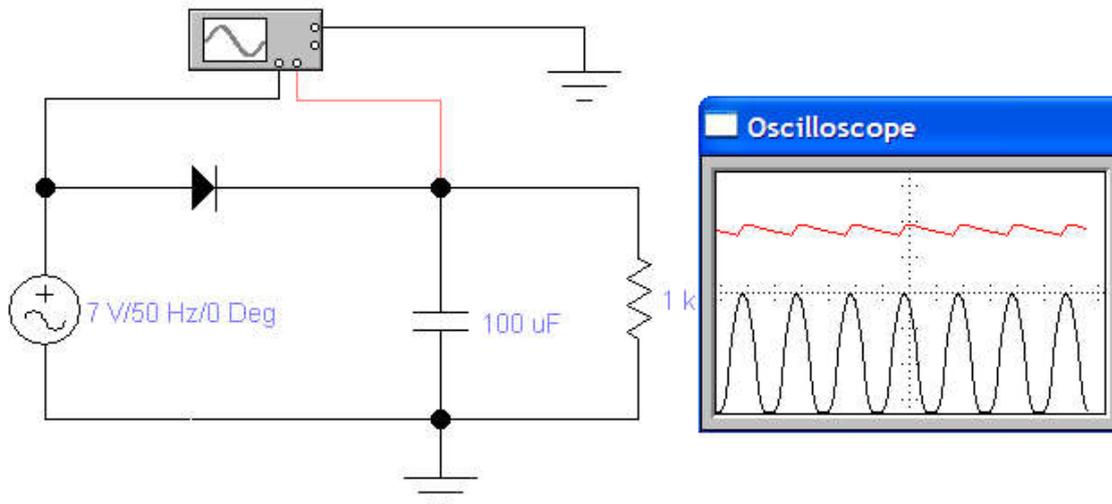


Fig.3 – Alimentatore con raddrizzatore ad una semionda e filtro passa basso capacitivo.

Per eliminare o per lo meno ridurre l'ondulazione che appare visibile nella forma d'onda di uscita dell'alimentatore di fig.3, si ricorre al collegamento in cascata di uno stadio stabilizzatore. In tal caso si ottiene un alimentatore stabilizzato.

Lo stadio stabilizzatore più semplice impiega un diodo Zener polarizzato inversamente in grado di fornire ai suoi capi una tensione praticamente costante anche se varia notevolmente la tensione di comando e la corrente richiesta dalla resistenza di carico utilizzata. Affinché lo stadio funzioni correttamente è necessario che lo Zener sia preceduto da un'altra resistenza di limitazione di corrente. In fig.4 si mostra l'alimentatore stabilizzato a diodo Zener e le relative forme d'onda.

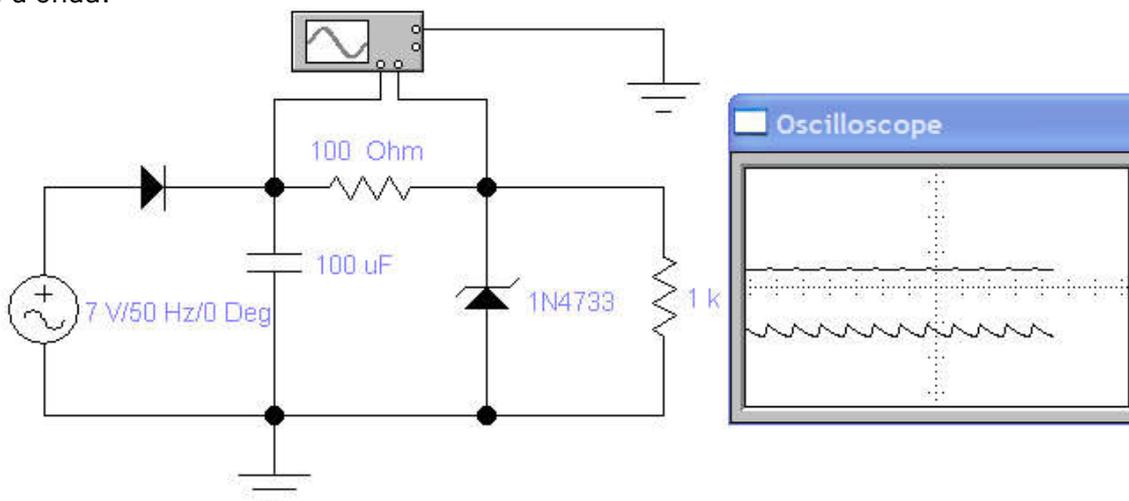
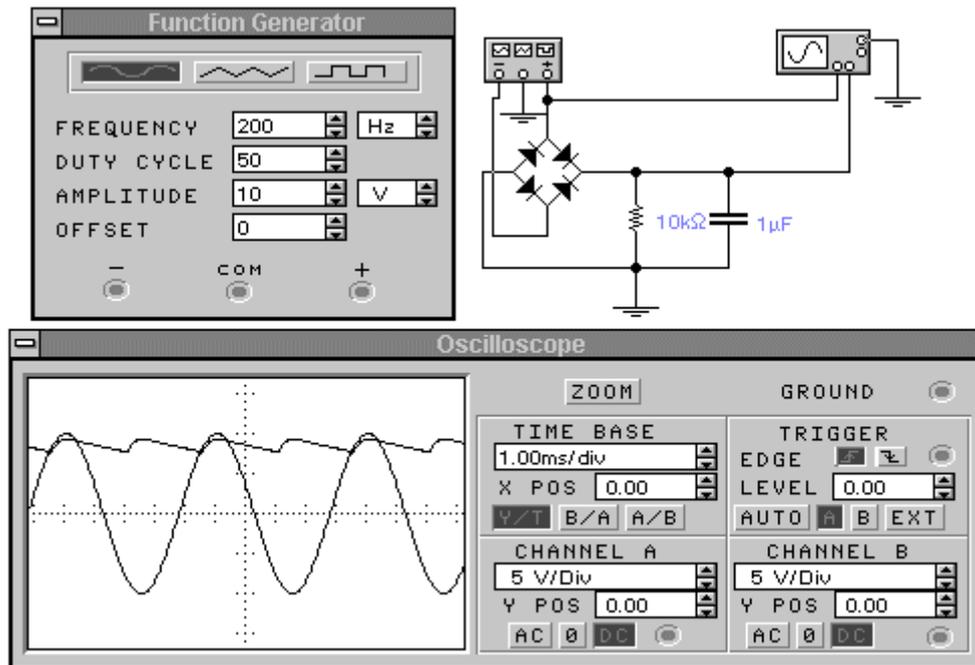


Fig.4 – Alimentatore stabilizzato con diodo Zener ($V_z = 5V$).

La forma d'onda inferiore mostra l'uscita dell'alimentatore con ondulazione compresa tra 8V e 10V circa.
La forma d'onda superiore è praticamente costante con valore 5V.

Simulazione al computer in ambiente Electronics Workbench 5.12

Si realizzi il circuito in figura lavorando in ambiente Workbench.



Il generatore di funzioni è utilizzato come generatore di onde sinusoidale a cui sono state imposte le caratteristiche elettriche indicate in figura.

Lo strumento oscilloscopio, collegato all'ingresso e all'uscita del circuito, è stato impostato con i valori che si possono ricavare nella parte destra della stessa figura.

Le forme d'onda sinusoidali che appaiono sull'oscilloscopio sono quelle della tensione con:

- ingresso di ampiezza 10V, fase iniziale 0 frequenza pari a 200Hz;
- uscita di tipo quasi triangolare con valore massimo $V_M=9.4V$, $\Delta V=2V$ e valore medio $V_m \approx 8.4V$.

La sperimentazione è iniziata impostando il valore di resistenza a 1KΩ ed osservando sull'oscilloscopio l'estrema variazione di carica e scarica della forma d'onda di uscita. Successivamente si è impostata la resistenza sul valore di 10KΩ cui corrispondono le forme d'onda mostrate nella precedente figura.

Dal calcolo teorico si deduce che il ronzio percentuale vale:

$$r\% = \frac{1}{4\sqrt{3} \cdot f \cdot RC} \cdot 100$$

Sostituendo i valori $R=10K\Omega$ e $C=1\mu F$ ed $f=200Hz$ si ottiene: $r\%=7.2\%$.

La formula che consente il calcolo del ronzio percentuali attraverso i dati sperimentali è:

$$r\% = 28.9 \frac{\Delta V}{V_m} = 28.9 \cdot \frac{2}{8.4} = 6.9\% \quad \left(\frac{V_r}{\Delta V} = \frac{100}{2 \cdot \sqrt{3}} = 28.9 \right)$$

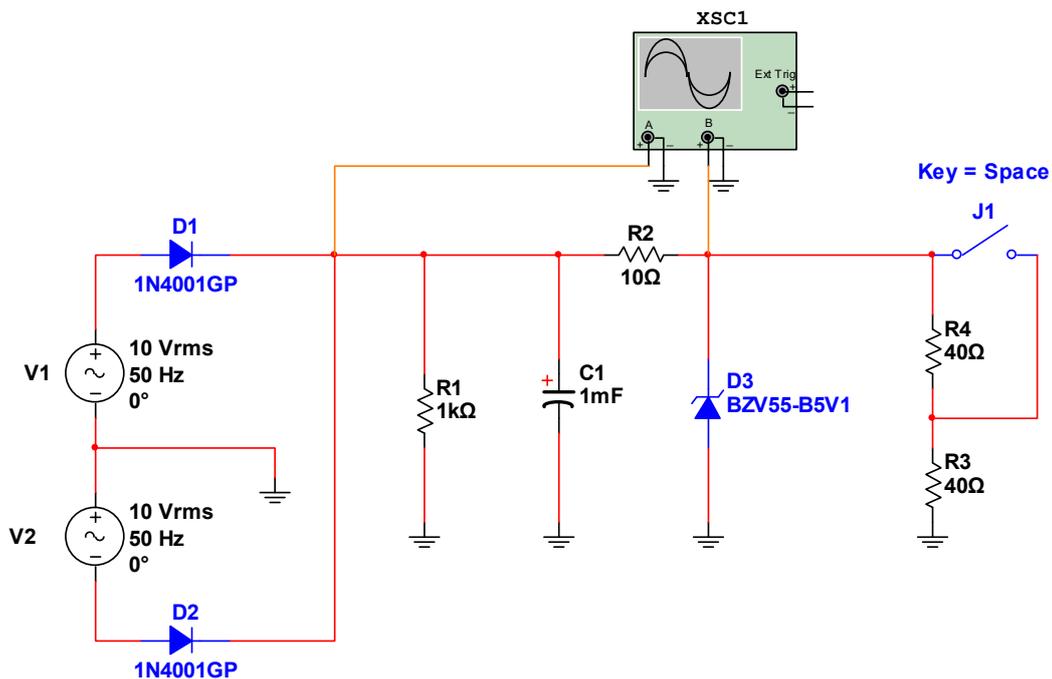
I risultati sperimentali, entro le approssimazioni di tutte le formule e dei rilievi numerici, sono in accordo coi i dati teorici in quanto forniscono lo stesso ordine di grandezza.

Ripetendo la sperimentazione per $R=100K\Omega$ si osserva sull'oscilloscopio che la tensione di uscita è praticamente costante e di valore medio $V_m=9.3V$ con $\Delta V=0.17V$ cui corrisponde $r\%=0.53\%$ contro il valore teorico $r\%=0.72\%$.

Alimentatore stabilizzato con diodo Zener

In questo alimentatore si considera un trasformatore con doppio secondario con un punto in comune. Si può simulare l'uscita del trasformatore a presa centrale con due generatori sinusoidali in serie. Il punto comune è collegato alla massa dell'alimentatore. Avendo supposto una tensione pari a 10V rms , il valore massimo di ciascun generatore è: $V_M = 10 \cdot \sqrt{2} = 14.1V$

Durante la semionda positiva di V1 il diodo D1 è in conduzione mentre il diodo D2 è interdetto. Viceversa durante la semionda negativa. Questo vuol dire che per un semiperiodo conduce D1 e per l'altro semiperiodo conduce D2. In entrambi i casi la corrente fluisce in modo unidirezionale verso il circuito di destra rispetto ai diodi fornendo semionde tutte positive. Lo stadio stabilizzatore è costituito dal diodo Zener con tensione di Zener di 5.1V @ 5mA.



La resistenza R_1 è influente. Era stata inserita come carico prima di collegare lo stabilizzatore.

La resistenza R_2 limita la corrente che fluisce nel diodo Zener.

L'interruttore $J1$ è stato inserito per verificare, durante la simulazione, la diversità di comportamento dell'alimentatore stabilizzato quando la resistenza di carico assume il valore 80Ω (R_4 ed R_3 in serie ad interruttore aperto) e quando invece assume il valore di 40Ω (ad interruttore chiuso la resistenza R_4 è cortocircuitata ed il carico utilizzatore assume il valore di R_3).

Nelle successive due figure si forniscono le forme d'onda rilevate dall'oscilloscopio virtuale relative all'uscita del raddrizzatore (sui catodi dei diodi rettificatori D1 e D2) ed all'uscita dello stadio stabilizzatore realizzato col diodo Zener D3.

Entrambi i canali dell'oscilloscopio sono stati impostati con una scala di 5V/div. e la base dei tempi con la scala di 10ms/div.

Sono stati utilizzati i cursori 1 e 2, il primo posizionato sul valore di picco massimo (13.225V) ed il secondo sul valore di picco minimo (9.176V) della forma d'onda posta sul canale A (uscita dei diodi D1 e D2). L'oscilloscopio fornisce anche i corrispondenti valori rilevati dal canale B che sono: 5.233V e 5.206V. La traccia del canale B è apparentemente costante. I valori rilevati, però, differiscono al massimo di 27.756mV (pochissimo).

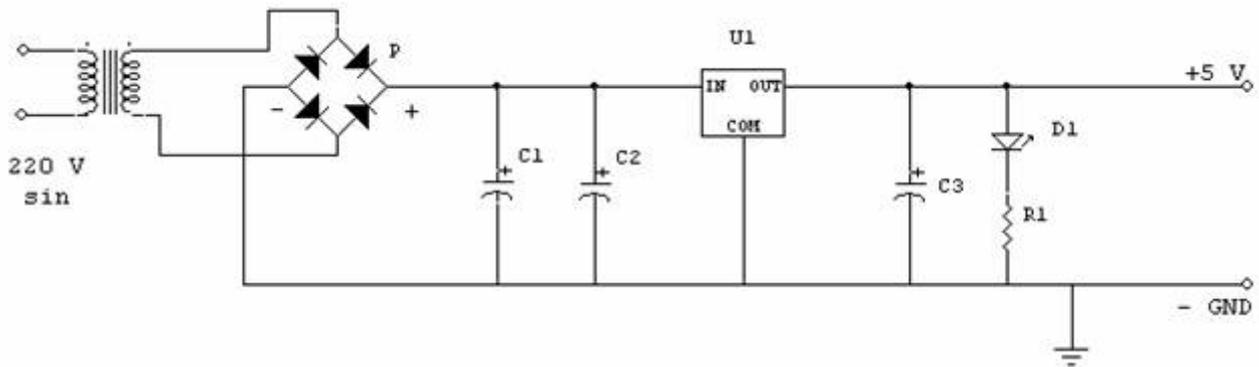


Con la chiusura dell'interruttore J1, il carico utilizzatore è solo $R_3=40\Omega$ e quindi l'alimentatore deve fornire più corrente al carico. Si osserva nella successiva figura, ad occhio, una impercettibile ondulazione peraltro non riscontrabile dall'esame dei valori massimo e minimo di cursori 1 e 2 relativamente al canale B. Lo stabilizzatore sta lavorando assai bene.



ALIMENTATORE STABILIZZATO

SCHEMA ELETTRICO

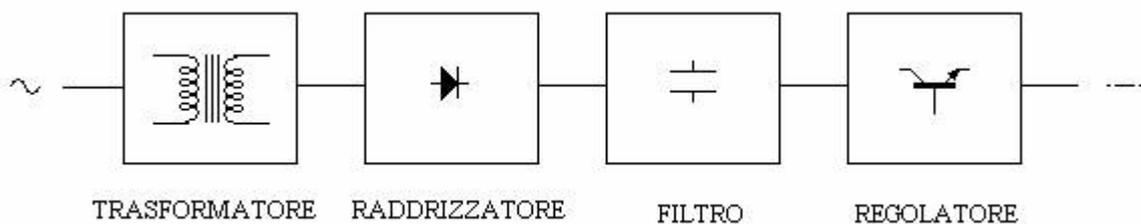


ELENCO COMPONENTI

Quantità	Sigla di riferimento	Valore	Caratteristiche
1	P		Ponte raddrizzatore
2	C ₁ , C ₂	2200 μF	Elettrolitico 50 V
1	C ₃	220 μF	Elettrolitico 50 V
1	U ₁	7805	Stabilizzatore
1	D ₁		LED
1	R ₁	330 Ω	Resistenza ¼ W

RELAZIONE TECNICA

Abbiamo progettato un alimentatore stabilizzato, realizzato poi su bread-board e, in seguito, collaudato, secondo il seguente schema a blocchi:



Analizziamo il funzionamento del circuito mediante lo schema a blocchi.

TRASFORMATORE

Il trasformatore di rete provvede di norma ad abbassare il valore della tensione di ingresso. Esistono diverse tipi di trasformatore; quello da noi utilizzato è costituito da un avvolgimento primario a cui applicare la tensione di rete alternata a 220V e da uno secondario che fornisce una tensione alternata 9V efficaci.

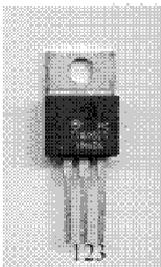
RADDRIZZATORE

Il circuito raddrizzatore, ad una o a due semionde, è costituito da un insieme di diodi. Nel nostro caso, utilizzeremo un raddrizzatore a due semionde servendoci del ponte di Graetz. Grazie al ponte, in uscita troveremo un segnale unipolare, pulsante e con valore medio positivo. L'ampiezza di tale segnale è minore rispetto a quella del segnale in ingresso per via della caduta di tensione su due diodi polarizzati direttamente (caduta di tensione di circa 1.4V).

FILTRO

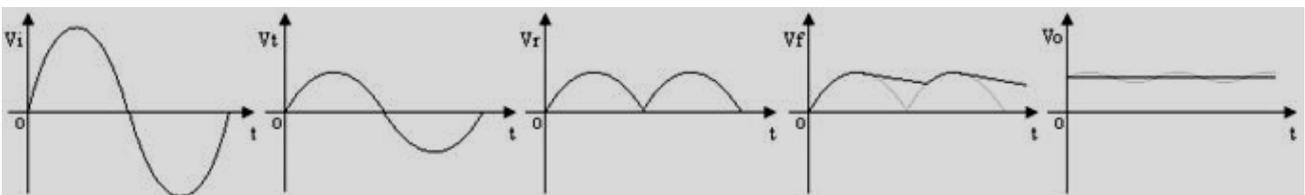
Il segnale in uscita dal raddrizzatore ha un andamento pulsante e, rispetto al valor medio, presenta delle variazioni della forma d'onda (ondulazioni residue - ripple). Tale fenomeno, negli alimentatori stabilizzati, è indesiderato e deve essere ridotto il più possibile mediante l'uso di un opportuno filtro di livellamento, che accumula energia quando la corrente aumenta, mentre, quando questa diminuisce, restituisce l'energia accumulata fornendo corrente al carico in uscita, smorzando quindi l'oscillazione della corrente in uscita.

STABILIZZATORE O REGOLATORE DI TENSIONE



Il regolatore ha la funzione di fornire in uscita una tensione costante indipendentemente dalle variazioni di rete ($220\text{ V} \pm 10\%$), del carico utilizzatore (con carichi diversi, vengono assorbite correnti diverse) e dei parametri del circuito (con il variare della temperatura, varia la curva caratteristica dei diodi). Esso, inoltre, attenua ulteriormente il valore del ripple. Nel nostro caso lo stabilizzatore è costituito da un 7805 (dove 78 indica un regolatore a tensione di uscita positiva, e 05 indica la tensione di uscita generata dal regolatore), provvisto di un'armatura metallica con un foro per la dissipazione del calore.

Si mostrano le forme d'onda dalla tensione di rete alla tensione di uscita +5V.



Supponiamo così di voler realizzare un alimentatore stabilizzato con tensione di uscita pari a 5V e corrente di 1A. Innanzitutto sappiamo che l'ingresso del regolatore 7805 deve essere ad un potenziale maggiore, rispetto all'uscita, di $2 \div 3\text{ V}$ (V_{dropout}). Possiamo così dire che in ingresso al regolatore vi deve essere una tensione pari a:

$$V_i = V_{\text{out}} + V_{\text{dropout}} = 5 + 2.5 = 7.5\text{V}$$

Possiamo così calcolare il valore del condensatore che va a costituire il filtro dell'alimentatore. Sappiamo innanzitutto che la corrente in entrata nel regolatore è pressoché pari a quella in uscita,

$$I_i \cong I_o$$

in quanto lo stesso componente assorbe minime quantità di corrente. Per calcolare ora il valore del condensatore del filtro è necessario conoscere, con tali parametri, la tensione di ripple, che deve essere:

$$V_{rpp} \leq 0.4V_i = 0.4 \cdot 7.5 = 3V$$

Sapendo quindi che:

$$V_{rpp} = \frac{I_o}{2 \cdot f \cdot C}$$

Possiamo calcolare il valore del condensatore:

$$C = \frac{I_o}{2 \cdot f \cdot V_{rpp}} = \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 3} = 3.3mF$$

Possiamo collegare in parallelo due condensatori elettrolitici da 2200 μF (si ottiene 4.4mF abbastanza vicino al valore teorico 3.3mF della precedente formula).

Calcoliamo ora la tensione che dovremmo trovare in ingresso, e quindi dell'avvolgimento secondario del trasformatore:

$$V_{2(eff)} = \frac{V_{i\min} + V_{rpp} + 2 \cdot V_d}{\sqrt{2}} = \frac{7.5 + 3 + 2 \cdot 0.8}{1.414} = 8.56V$$

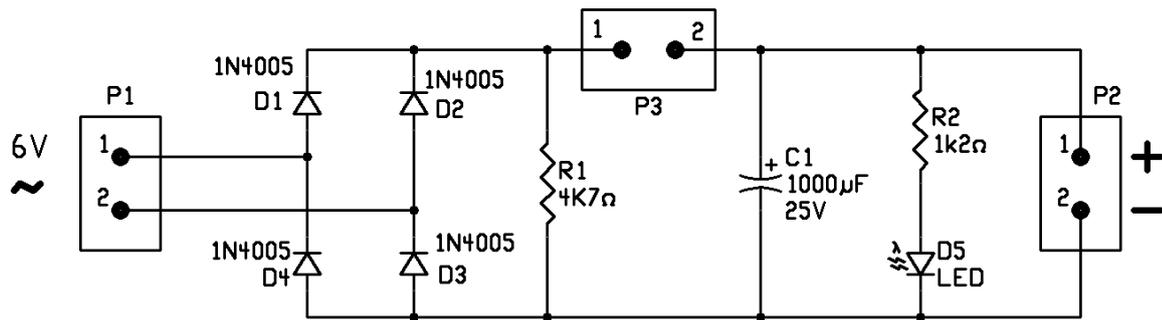
Pertanto, colleghiamo innanzitutto il trasformatore al nostro raddrizzatore a ponte di Graetz, sulla diagonale di alimentazione. Alla diagonale di carico andiamo invece a collegare in parallelo il filtro, costituito nel nostro caso da due condensatori di 2200 μF collegati in parallelo. Il loro catodo va a collegarsi sulla massa in uscita.

Andiamo ora a collegare il regolatore 7805. Il suo ingresso (pin 1) viene collegato alla diagonale di carico del ponte, il terminale centrale (pin 2) si collega alla massa dell'alimentatore mentre il terminale di uscita (pin 3) fornisce la tensione costante di +5V.

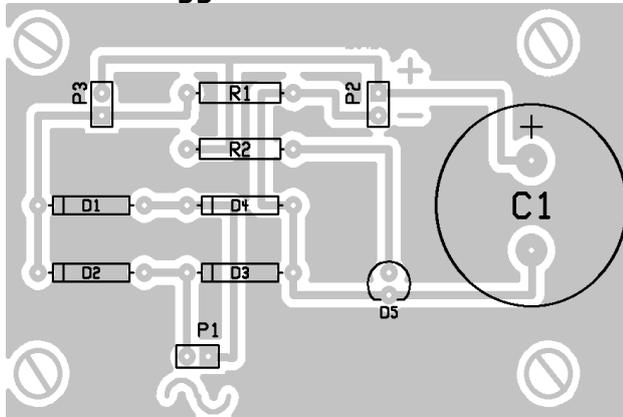
Inoltre, in uscita al regolatore, colleghiamo un altro condensatore, di 220 μF , al fine di ridurre il più possibile l'ondulazione residua dell'alimentatore (ripple) a valori accettabili. Anche in questo caso il catodo del condensatore viene collegato alla massa.

In più, abbiamo previsto anche un indicatore, costituito da un diodo LED, che segnala il funzionamento dell'alimentatore. Il LED, collegato in serie ad una resistenza imitatrice di corrente di valore 330 Ω , viene così disposto in parallelo all'uscita, dalla quale possiamo prelevare la tensione continua di 5 V con corrente massima di 1A.

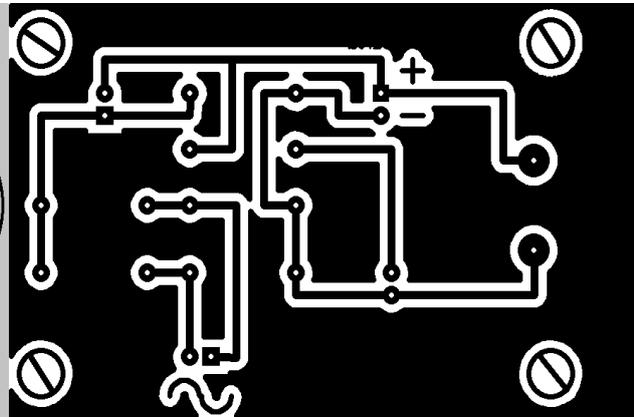
Alimentatore con raddrizzatore a ponte di Graetz



Lato montaggio

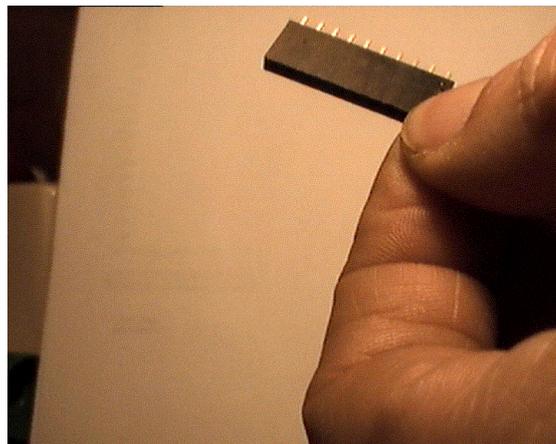
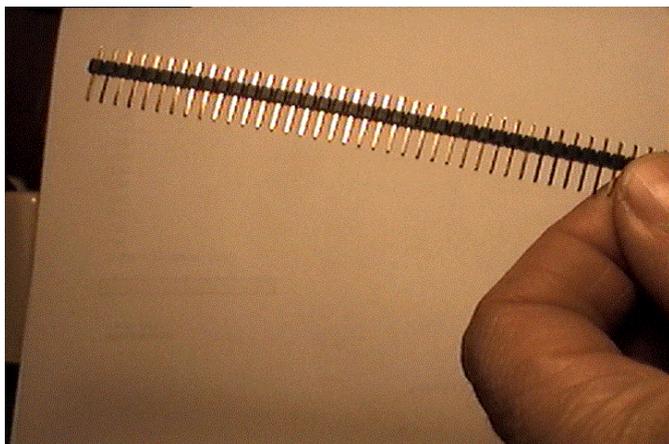


Master



Lista componenti

n.	Descrizione componenti
3pz. 2poli	Connettori maschio passo 2.54mm - strip line - 40 poli - sezionabili (vedi Fig.1). Si sezionano 3 parti da due contatti.
3pz. 2poli	Connettore femmina 10 poli per accoppiare al connettore maschio indicato al rigo precedente (vedi Fig.2)
4	Diodi rettificatore 1A-500V - 1N4005
1	Resistore 4.7KΩ - 1/2 W
1	Resistore 1.2KΩ - 1/2 W
1	LED circolare 5mm - rosso
1	Condensatore 1000 µF - 25V - montaggio verticale
1	Basetta presensibilizzata formato 1/2 Europa (100mm x 80mm)
1	Trasformatore 6V - 0.5A



Cosa serve e dove si usa l'alimentatore ?

Ogni apparato elettronico come il nostro telefonino, il computer, la radio ecc.. per funzionare abbisogna di energia. Normalmente noi colleghiamo alla presa di casa il nostro apparato o lo alimentiamo con una batteria.

Il circuito interno funziona, a bassa tensione (tipicamente 6V - 24V) e a corrente continua. La batteria fornisce direttamente tale tensione.

La tensione di rete invece fornisce forma d'onda alternata e di elevato valore: 220V.

Quindi quando l'apparato è alimentato dalla rete è necessario ridurre la tensione di rete 10/20 volte. Tale servizio è reso dal trasformatore che porta normalmente la tensione di rete a valori appunto tra i 6V ed i 20V.

Tuttavia la tensione uscente dal trasformatore è sempre alternata. E' quindi necessario raddrizzarla (con apposito circuito) e quindi filtrarla per ridurla ad una corrente continua con valore di ampiezza simile a quella della batteria.

L'alimentatore può trovarsi interno alla apparecchiatura (televisore, Computer desktop, radio ecc..) oppure esterno (alimentatore computer portatile, caricabatteria telefono, ecc..)

Come è fatto ?

Collaudo

TRASFORMATORE

Individuare, se non indicato sullo stesso in modo esplicito, il primario ed il secondario del trasformatore. Il primario deve avere una resistenza più elevata del secondario. Questo perché è costituito da un numero di spire maggiore del secondario (quindi è più lungo) deve sopportare una corrente inferiore rispetto al secondario e quindi la sua sezione è inferiore.

Collegare il primario ad una spina per il collegamento alla rete (220V) isolando con cura i terminali.

Collegare il secondario ad una presa di tipo Femmina passo 2.54mm che si adatti alla spina maschio del connettore P1. Sezionare la presa illustrata in fig.2 al fine di ottenere solo due contatti.

E' prudente inserire un fusibile da 0,5A sul secondario del trasformatore al fine di proteggere circuito e trasformatore da eventuali sovracorrenti causate da errati collegamenti. Preparare un'altra presa Femmina da due contatti e ponticellarla. La utilizzeremo quando dovremo chiudere il ponticello P3.

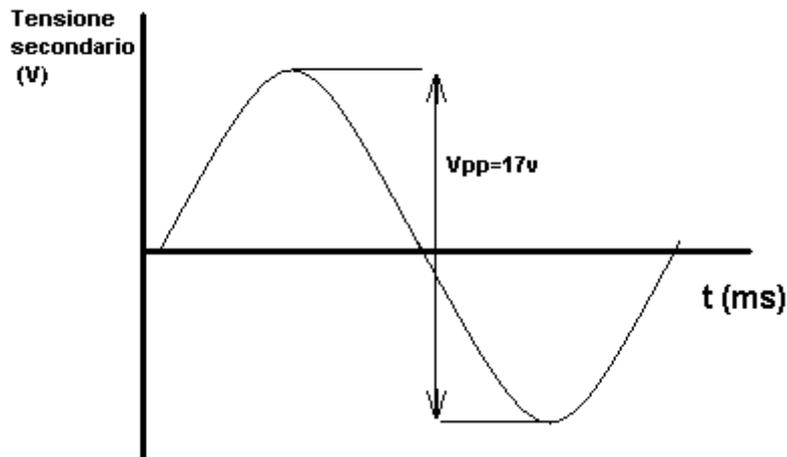
Verifica del funzionamento del circuito

Collegare il primario del trasformatore alla rete e misurare al secondario:

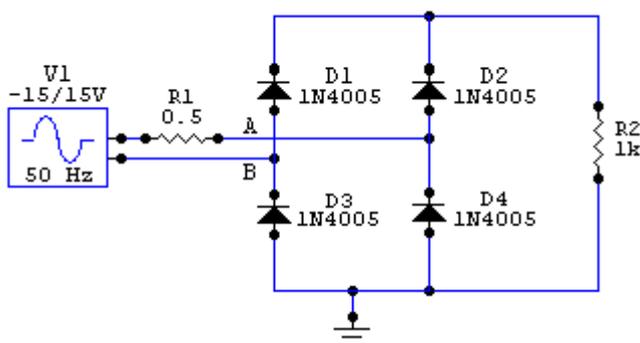
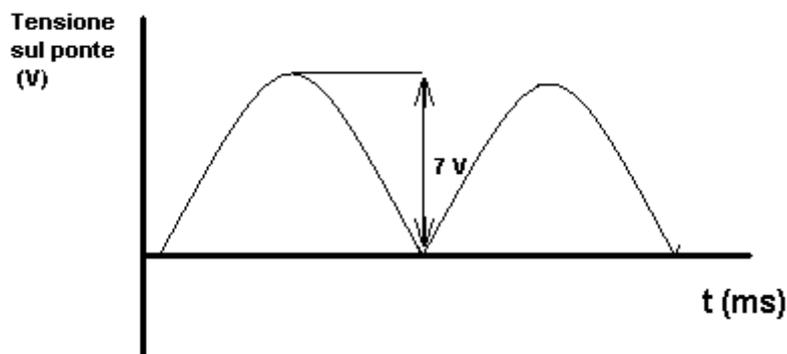
Misurare la tensione presente tramite multimetro (predisposto VCA). Dovremmo trovare una tensione di poco superiore a quella nominale 6v. Notiamo che a vuoto, e cioè senza carico la tensione è di solito leggermente superiore a quella nominale e tende a ridursi applicando il dovuto carico. La tensione letta è la tensione efficace. Secondo la qualità del multimetro tale tensione potrà essere il "vero valore efficace" oppure per i multimetri con meno pretese semplicemente il valore massimo ridotto al 70%. Con multimetri che non dispongono di una lettura del vero valore efficace, non è possibile misurare tensioni che non siano sinusoidali ed a valor medio nullo.

Annotiamo tale tensione che risulta.....

Misuriamo ora la tensione sul secondario del trasformatore osservandola all'oscilloscopio. Osserveremo quindi come varia istante per istante la tensione. Visualizzeremo un segnale sinusoidale di ampiezza $V_M = V_{\text{efficace}} * 1.41 = 8.5V$. Tale segnale avrà un'ampiezza picco picco di 17V ($V_M * 2$).



Mantenendo il ponticello P3 aperto: osserviamo ora, sempre tramite oscilloscopio, l'andamento della tensione presente ai capi di R1 e cioè al ponte raddrizzatore. Dovremmo trovare una tensione pulsante a doppia semionda con ampiezza circa 7V.



Infatti il ponte riporta la semionda negativa a positiva. Notiamo una caduta di tensione di circa 1.5V dovuta ai due diodi. $8,5V - 1.5V = 7V$. Chiudiamo ora il ponticello P3.

Osserviamo sempre tramite oscilloscopio la tensione presente al ponte. Considerare che a ponticello chiuso, gli estremi del ponte coincidono con i morsetti di uscita.

Noteremo subito che il LED si illumina. Il segnale visualizzato sarà ora una retta (predisporre l'oscilloscopio VDC).

Infatti il condensatore C1 serve a "livellare" la

tensione pulsante.

L'ampiezza di tale tensione sarà uguale al valore massimo di quella pulsante precedentemente misurata. (7V). Misurando tramite un voltmetro ritroveremo lo stesso valore (7V).

Applichiamo un carico all'uscita e osserviamo il segnale.

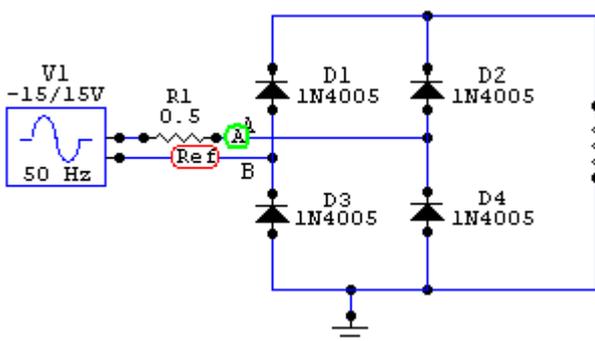
Noteremo una certa ondulazione residua sovrapposta alla componente continua. All'aumentare della corrente richiesta dal carico, la componente continua tenderà a diminuire mentre l'ondulazione residua tenderà ad aumentare.



Per meglio comprendere il funzionamento del circuito, utilizzeremo, in prima analisi il simulatore software. Successivamente procederemo al collaudo ed alle verifiche sperimentali (le più impegnative) tramite la strumentazione idonea.

Verifica del funzionamento tramite simulatore

Apriamo quindi il nostro simulatore e **disegniamo la prima parte del circuito**. Prendiamo in



considerazione il nostro schema elettrico quando il connettore P3 è aperto.

V1 = genera la tensione alternata periodica sinusoidale a 50Hz al posto del trasformatore

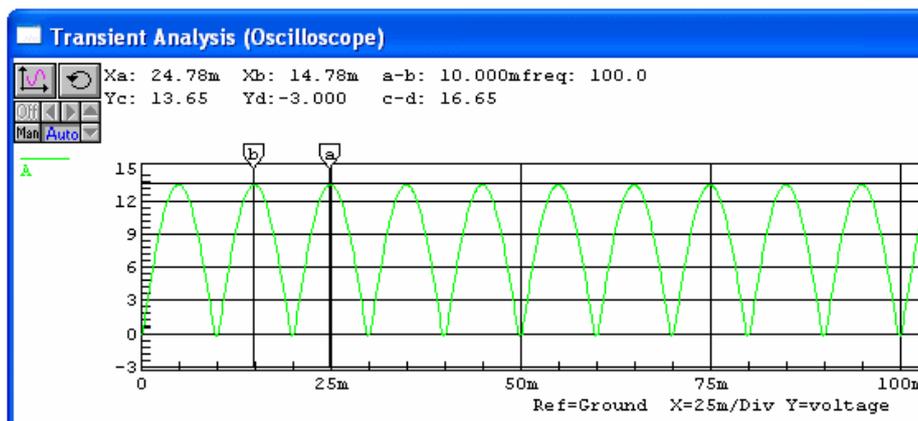
R1 = resistenza interna del generatore (secondario trasformatore)

D1, D2, D3, D4 = raddrizzatore a ponte di Graetz

R2 = carico per chiudere il circuito a ponte (R1 nello schema originale)

Osserviamo il segnale presente tra A e B, all'ingresso del ponte.

N.B. Per osservare il segnale V_{AB} , dato che **NON è riferito a massa**, sposteremo il riferimento (Ctrl) su uno dei due terminali (nell'esempio terremo come riferimento il terminale B- vedi illustrazione seguente).



Notiamo che l'ampiezza picco picco è di 30V(cursori c-d) La frequenza è 50Hz (cursori a - b) Il segnale risulta sinusoidale, a valore medio nullo, indistorto.

Osserviamo il segnale presente su R1 all'uscita del del ponte.

Rimettiamo il riferimento a massa (sempre tramite tasto Ctrl) e verifichiamo il segnale.

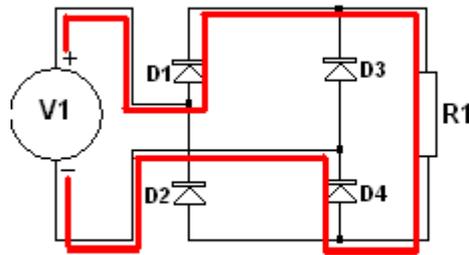
Notiamo che la semionda negativa è stata invertita di polarità tanto che il segnale è tutto positivo.

Il periodo risulta quindi la metà rispetto al segnale entrante e frequenza doppia.

L'ampiezza risulta giustamente ridotta dalla caduta di tensione dei due diodi inseriti nel ponte.

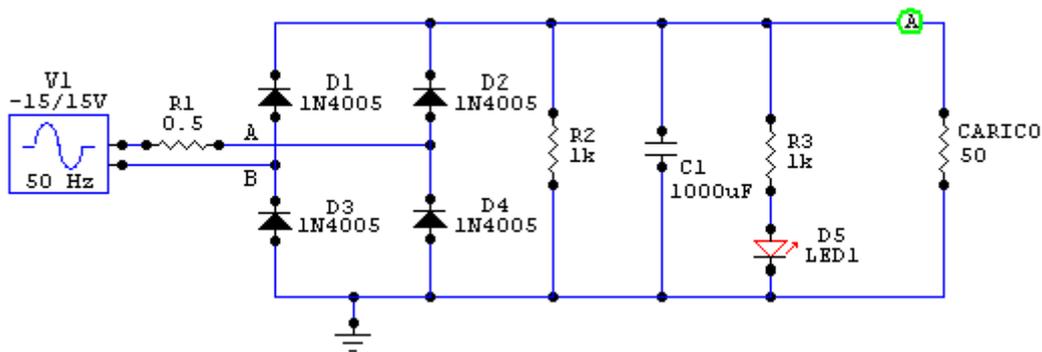
$$VR1 = V1_{max} - 1.4V$$

— Circolazione corrente durante una semionda

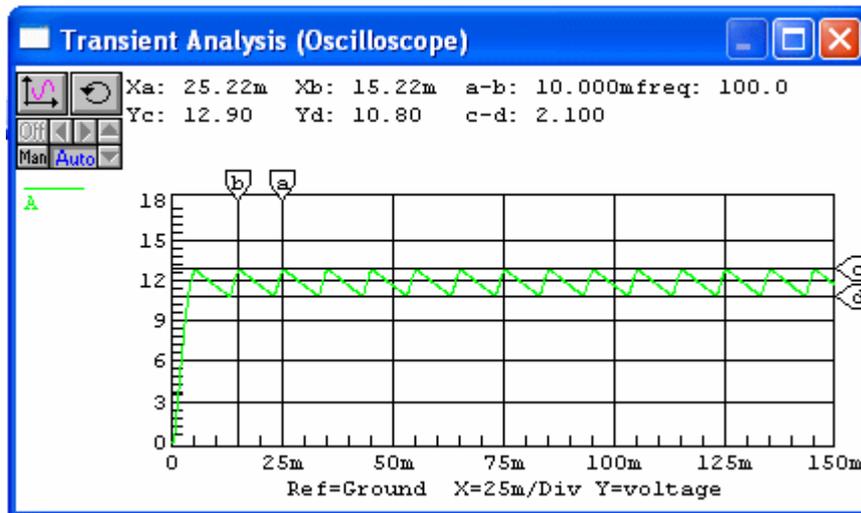


I due diodi D1 e D4 risultano in serie al carico e quindi la loro caduta di tensione viene sottratta alla tensione del generatore V1

Consideriamo ora il circuito completo con applicato un carico.



Osserviamo la tensione sul CARICO



Notiamo che la tensione sul carico è continua ma leggermente "ondulata". Varia da un massimo di 12.90V ad un minimo di 10.80V.

Il segnale fornito dal generatore V_1 è, come abbiamo visto pulsante.

Il condensatore C_1 , si carica, ad ogni periodo alla tensione massima quando V_1 assume il suo valore massimo. Quando la tensione su V_1 scende, il condensatore si scarica sul carico.

Per quanto sia grande la capacità di C_1 , e quindi sia "capace" di mantenere tale tensione costante la scarica risulta sempre presente.

La componente variabile di segnale viene chiamata 'ondulazione residua' e:

- **augmenta** con l'aumentare della corrente richiesta dal carico
- **diminuisce** se aumento la capacità C_1 .

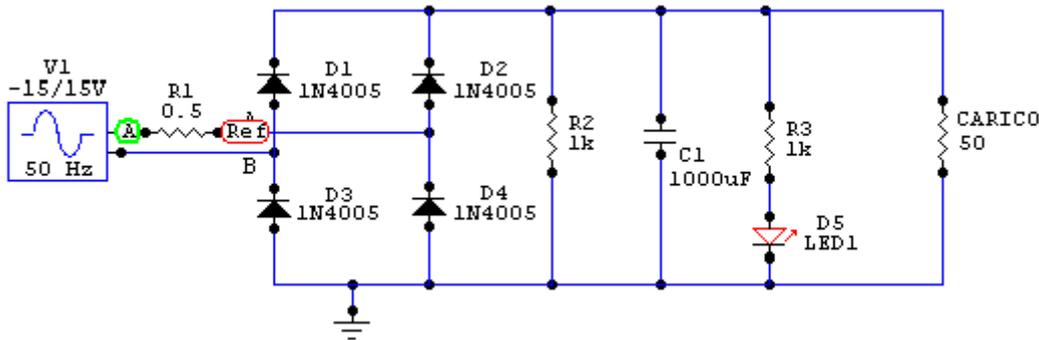
Notiamo pure, se ci è sfuggito, che la tensione "ondulata" assume come valore massimo 12.9V (cursore C)

Eppure dalla simulazione precedente risultava che il valore massimo che assumeva V_1 era 13.65V.

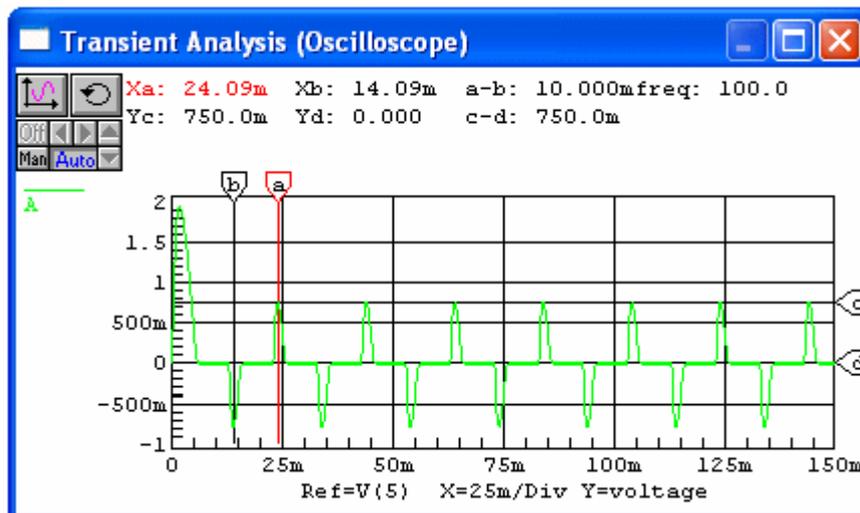
Dove si sono persi 0.75V ?

Non dobbiamo dimenticare che il trasformatore ha una sua resistenza interna che per quanto potente è sempre presente. Nella nostra simulazione abbiamo inserito in serie al generatore V_1 il resistore $R_1 = 0.5 \Omega$ che rappresenta proprio tale resistenza.

Osserviamo il segnale presente su R_1 . Notiamo il posizionamento del riferimento.



Segnale su R_1 .



Osserviamo che la caduta di tensione su R_1 aumenta in modo notevole quando V_1 assume il suo valore massimo.

E' infatti proprio in quel momento che sia il condensatore che il carico richiedono la corrente massima e quindi la caduta di tensione su R_1 è anch'essa massima (0.75V).