

Università degli studi di Lecce

Tesina di elettronica 1

Studente: Distante Carmelo

Facoltà: Ingegneria Informatica teledidattica

Alimentatore stabilizzato

Titolo: Alimentatore stabilizzato a 5V

Generalità sugli alimentatori

La quasi totalità delle apparecchiature elettroniche richiede per il suo funzionamento di una tensione continua: es. amplificatori, radio, carica-batterie...

I valori di tensione richieste vanno da qualche volt a qualche decina di volt, con correnti da qualche mA alle decine di A.

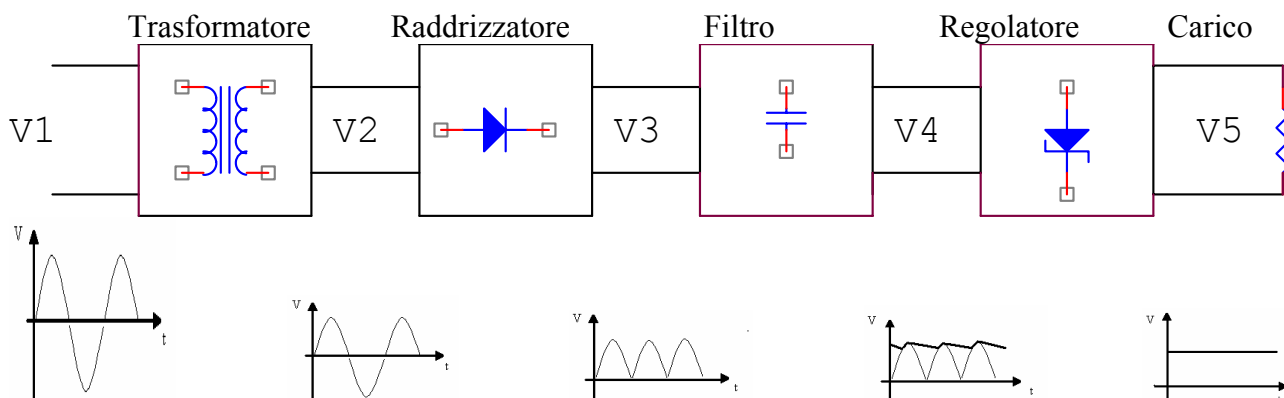
Si possono usare delle comuni alimentazioni a batterie che però hanno una durata limitata e un costo elevato, motivi questi che li rendono preferibili solo per apparecchiature portatili;

Negli altri casi è più conveniente utilizzare degli alimentatori, o "power supply", che sono dispositivi in grado di convertire la tensione alternata di rete a 220V in una tensione continua, come quella fornita dalle comuni pile, stabilizzata cioè indipendente, entro certi limiti, dalla tensione d'ingresso, dalla corrente assorbita dal carico in uscita e dalla temperatura.

Obiettivo: Realizzare un alimentatore in grado di fornire una tensione stabilizzata di 5V ed una corrente massima di 100mA; Il circuito deve anche fornire una tensione non stabilizzata di 16V.

Schema a blocchi:

Un applicazione che risponda a queste esigenze può essere così schematizzata:



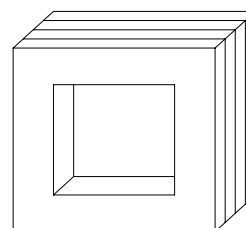
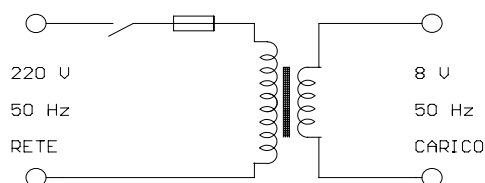
Si tratta, come si può vedere, di un tipico alimentatore stabilizzato.

Prima di procedere alla descrizione dello schema scelto, facciamo una analisi dei singoli blocchi costituenti l'alimentatore stabilizzato.

Trasformatore

La tensione a 220V alternata "V1" è applicata ad un trasformatore che la riduce ad un valore più basso pur conservandogli la forma alternata.

Il trasformatore è formato da due avvolgimenti, elettricamente separati, avvolti su lamierini ferromagnetici.



Applicando una tensione alternata ad un avvolgimento, si può prelevare dall'altro una tensione maggiore, uguale o minore rispetto a quella applicata a seconda che il numero di spire di questo secondo avvolgimento sia maggiore, uguale o minore rispetto a quelle del primo.

Nel nostro caso la tensione prelevata sarà molto più piccola di quella applicata.

Si può inserire un fusibile, per proteggere il trasformatore, ed un interruttore per poterlo comandare. L'impiego del trasformatore è necessario anche perché imposto dalle norme che prevedono, per motivi di sicurezza, l'isolamento dei dispositivi, che possono venire in contatto con gli utenti, dalla tensione di rete.

Esistono anche trasformatori con più secondari e trasformatori a presa centrale caratterizzati, questi ultimi, da due tensioni al secondario di uguale ampiezza ma di sfasamento opposto.

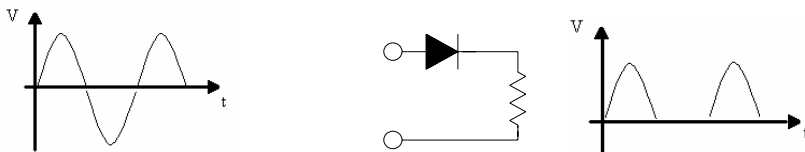
Raddrizzatore

La tensione V_2 così ottenuta è applicata ad un circuito raddrizzatore che può essere costituito da un semplice diodo, due diodi insieme con un trasformatore a presa centrale, oppure quattro diodi in una disposizione particolare detta "ponte di Graetz".

Lo scopo dei diodi è quello di eliminare le semionde negative della tensione alternata sinusoidale sfruttando la caratteristica di unidirezionalità degli stessi: la tensione all'uscita del circuito raddrizzatore è V_3 di tipo pulsante.

Raddrizzatore ad una semionda:

Applicando la tensione alternata al diodo, la tensione in uscita sarà di tipo pulsante: il diodo infatti durante le semionde positive è polarizzato direttamente e conduce, durante quelle negative è polarizzato inversamente per cui non conduce. Sul diodo abbiamo una caduta di tensione di 0,7 V dovuta alla tensione di soglia del diodo: l'ampiezza della tensione in uscita è così ridotta di 0,7V



Difetti del raddrizzatore ad una semionda:

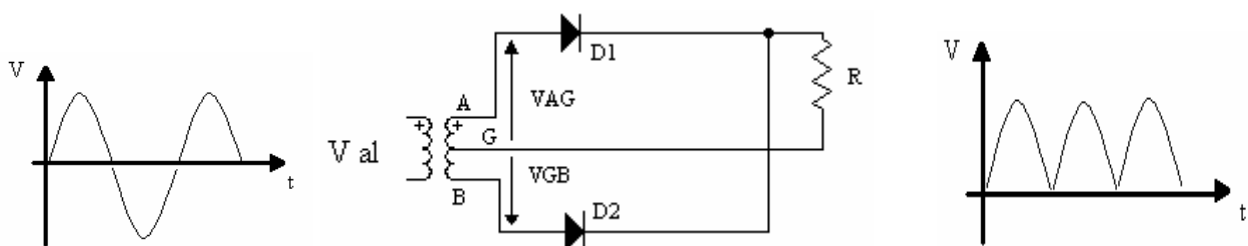
- La perdita di metà semionda;
- La componente continua della corrente che circolando nel secondario del trasformatore può far saturare il nucleo e quindi il trasformatore stesso cesserà di comportarsi come tale.

Raddrizzatore a doppia semionda con trasformatore a presa centrale:

C'è un trasformatore con secondario a presa centrale.

Durante la semionda positiva il punto "A" è a potenziale positivo rispetto al punto "G", che è al potenziale di riferimento, per cui conduce "D1"; Durante la semionda negativa è il punto "B" ad essere a potenziale positivo rispetto al punto "G", per cui conduce "D2".

Durante le due semionde la corrente nel carico ha sempre lo stesso verso e sul carico quindi c'è una tensione pulsante con frequenza doppia rispetto a quella di rete: da qui il nome di "doppia semionda".



Difetti di questo metodo:

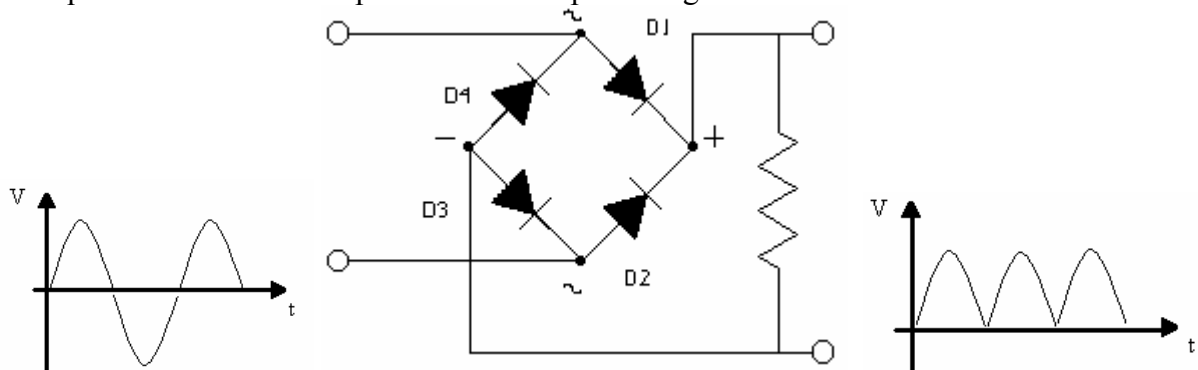
- Doppio numero di spire al trasformatore; maggiore ingombro e costo dello stesso;
- Ogni diodo deve sopportare una tensione doppia quando e' polarizzato inversamente: es. nella semionda positiva sul catodo di D1, e quindi di D2, c'e' la tensione VAG, ma sull'anodo di D2 c'e' anche "-VGB" per cui in totale una tensione doppia.

Vantaggi:

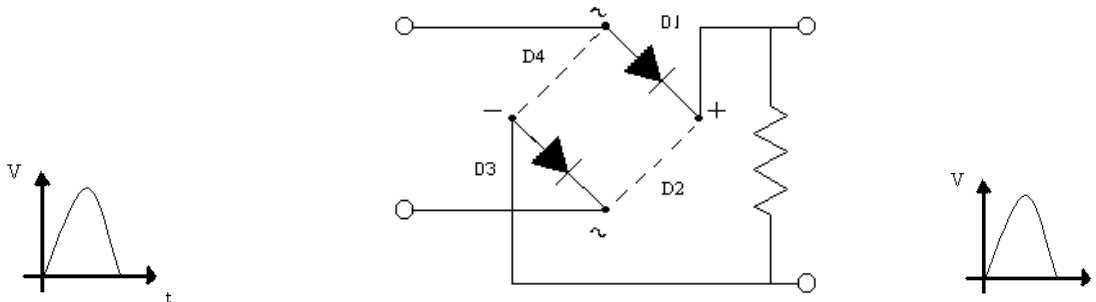
- Ogni diodo sopporta metà della corrente complessiva per cui possono essere più piccoli;
- Durante una semionda la corrente ha un verso e nell'altra ha il verso opposto, per cui non c'e' pericolo di saturazione per il nucleo del trasformatore.

Ponte raddrizzatore:

Ci sono quattro diodi in una disposizione detta "ponte di graetz":

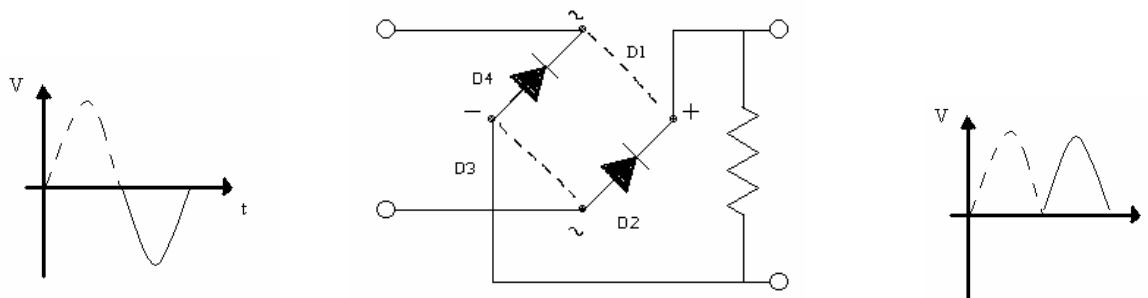


E' possibile reperire in commercio dei dispositivi che hanno già al loro interno i quattro diodi nella disposizione a ponte, oppure si possono utilizzare 4 diodi ed effettuare i vari collegamenti.



Durante la semionda positiva conducono i diodi D1 e D3 (e' come se questa tensione fosse stata applicata al circuito ad una semionda ma con 2 diodi al posto di 1): sul carico avremo la semionda positiva di ingresso diminuita della caduta sui due diodi.

D2 non può condurre perché sull'anodo c'e' una tensione zero e sul catodo sarebbe necessaria una tensione più bassa, cioè negativa; D4 non può condurre perché sul catodo c'e' la massima tensione e sull'anodo sarebbe necessaria una tensione maggiore.



Durante la semionda negativa, conducono D2 e D4: sul carico scorre una corrente sempre nello stesso verso di prima per cui si ha sempre una semionda positiva (diminuita sempre della caduta sui due diodi).

D1 non può condurre perché sull'anodo c'è una tensione zero e sul catodo sarebbe necessaria una tensione più bassa, cioè negativa; D3 non può condurre perché sul catodo c'è la massima tensione e sull'anodo sarebbe necessaria una tensione maggiore.

Sul carico quindi c'è una tensione pulsante con frequenza doppia rispetto a quella di rete: da qui il nome di doppia semionda.

Vantaggi di questo metodo:

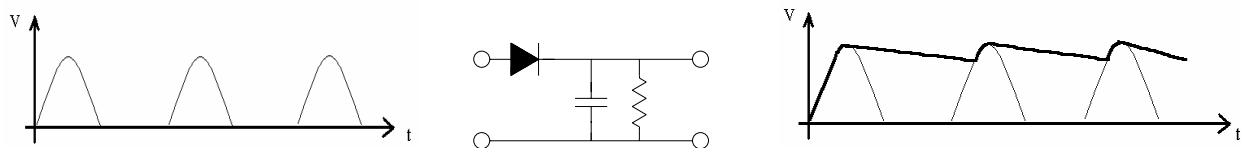
- La tensione inversa sopportata da ciascun diodo è pari alla tensione sul secondario e non il doppio;
- Semplicità del trasformatore rispetto a quello a presa centrale, con conseguente minore costo e ingombro.

Svantaggi: caduta di tensione doppia a causa dei due diodi disposti in serie.

- Quando la tensione da raddrizzare è piccola si preferisce il metodo con il trasformatore a presa centrale: la tensione inversa doppia sopportata dai due diodi non è in questo caso eccessiva;
- Se la tensione è invece più alta si preferisce l'uso del ponte in quanto in questo caso la caduta di circa 1,5V sui due diodi è poco influente.

Filtro di livellamento

La tensione pur essendo positiva, non è ancora continua, ma ha un andamento "pulsante". Per renderla continua, si utilizza un filtro detto di "livellamento": in genere un condensatore di grossa capacità in parallelo al carico.



Vediamone il funzionamento, osservando il circuito di figura, per il caso ad una sola semionda: per quello a doppia semionda il funzionamento è equivalente.

- Durante il primo quarto di periodo la tensione è positiva e sale: il condensatore si carica attraverso il diodo;
- Durante il secondo quarto di periodo la tensione è positiva ma scende: il diodo è polarizzato inversamente e il condensatore si scarica lentamente attraverso il carico;
- Da questo punto, fino a quando la tensione applicata non supera quella ai capi del condensatore, il diodo rimane sempre polarizzato inversamente e la tensione al carico è fornita dal condensatore stesso che in questo modo lentamente si scarica;
- Quando il diodo torna ad essere polarizzato direttamente, il processo ricomincia, per cui il condensatore si ricarica riacquistando la carica persa per poi fornirla di nuovo quando il diodo non conduce e così via.

Si può notare che la tensione sul carico (sul grafico quella segnata in grassetto) non è perfettamente continua, ma ha una ondulazione residua chiamata **RIPPLE** che dipende dalla capacità del condensatore: più essa è grande, più sarà piccolo il ripple.

Un buon alimentatore deve avere un basso ripple. Questo si misura applicando la formula seguente:

$$r\% = \frac{V_{rpp}}{2 * \sqrt{3} * V_m} * 100$$

dove V_{rpp} è il valore picco-picco della tensione di ripple e V_m è il valore medio della tensione fornita al carico

Per ridurre il ripple non e' possibile mettere un condensatore grande quanto si vuole, perché più e' grande, maggiori sono i picchi di corrente che devono poi passare nei diodi per consentire la ricarica.

I diodi infatti conducono solo in un piccolo intervallo, in figura quello in cui la tensione sul condensatore aumenta, ed in quello devono fare passare un valore di corrente sufficiente a ricaricare la capacità, scaricatasi durante l'intervallo precedente: più e' grande il condensatore, maggiore e' il picco di corrente nei diodi che devono riuscire a sopportare senza distruggersi.

Regolatore

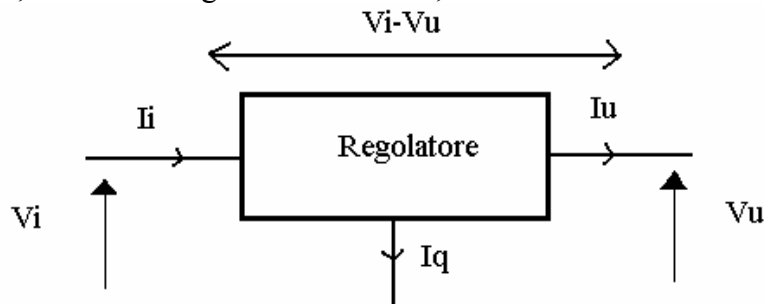
La tensione ottenibile ai capi di C e' "abbastanza" costante e può essere validamente utilizzata per applicazioni non specialistiche: caricabatterie, alimentazione di lampadine.

Questa tensione però risente sia delle variazioni della tensione di rete, che come e' noto si verificano spesso nel corso della giornata e secondo le zone servite dalla rete ENEL, sia delle variazioni del carico, sia delle variazioni della temperatura.

Una situazione del genere non e' accettabile per la maggioranza delle applicazioni: alimentazione di amplificatori, circuiti logici, impianti HI-FI, usi nei laboratori...

Per risolvere questi problemi, oltre che per ridurre l'ondulazione residua, e' necessario interporre tra l'uscita del filtro e il carico un dispositivo, o un circuito, detto "stabilizzatore di tensione".

La tecnica elettronica fornisce molte soluzioni al problema che vanno dall'uso dei diodi zener, a quello dei BJT, all'uso di circuiti integrati dedicati: l'uso dei circuiti integrati e' da preferire per la semplicità di impiego, il costo e l'ingombro contenuto, l'affidabilità.



Come si vede dalla figura c'è una potenza all'ingresso del regolatore pari a: $P_i = V_i \cdot I_i$

mentre al carico e' fornita una potenza pari a: $P_u = V_u \cdot I_u$;

Una parte della potenza e' dissipata sul regolatore ed e' data da $P_d = P_i - P_u$: questa e' necessaria al regolatore per funzionare ed e' comunque dissipata sotto forma di calore.

Il rendimento del regolatore e': $\eta = \frac{P_u}{P_i} = \frac{P_i - P_d}{P_i} = 1 - \frac{P_d}{P_i}$ che quindi e' sempre minore di 1.

Possiamo calcolare il rendimento anche in un altro modo:

dalla figura si nota che sul regolatore c'è una caduta di tensione pari a " $V_i - V_u$ " e " $I_i = I_q + I_u$ ";

La potenza dissipata e' allora pari a: " $P_d = P_i - P_u = V_i \cdot I_i - V_u \cdot I_u$ ";

sostituisco " $I_u = I_i - I_q$ " da cui " $P_d = V_i \cdot I_i - V_u \cdot (I_i - I_q) = I_i \cdot (V_i - V_u) + V_u \cdot I_q$ "

Quindi la P_d dipende dal salto di tensione e varia al variare di V_i : per renderla minima dovrei avere " I_q " nulla ma non e' possibile perché e' necessaria al regolatore per funzionare.

$$\text{Il rendimento e' allora: } \eta = \frac{P_u}{P_i} = \frac{V_u \cdot I_u}{V_i \cdot I_i} = \frac{V_u \cdot (I_i - I_q)}{V_i \cdot I_i} = \frac{V_u}{V_i} \cdot \left(\frac{I_i - I_q}{I_i} \right) = \frac{V_u}{V_i} \cdot \left(1 - \frac{I_q}{I_i} \right)$$

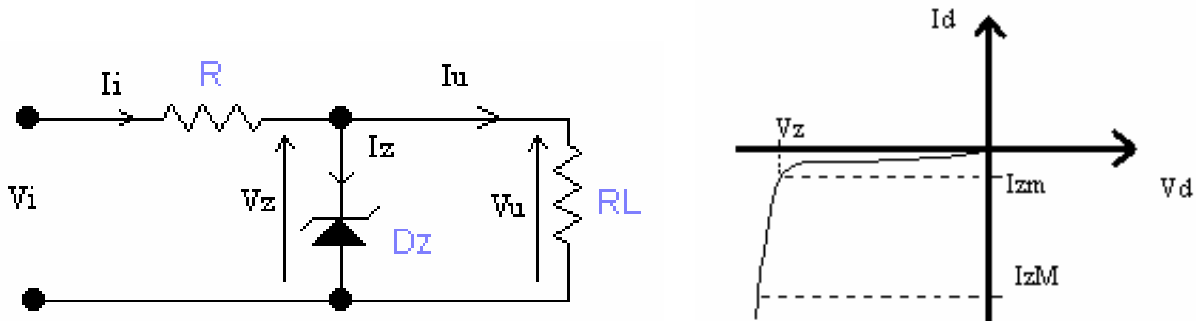
Se I_q fosse zero il rendimento sarebbe massimo pari al rapporto tra V_u ed V_i .

Questi regolatori hanno quindi bisogno di dissipare una potenza per funzionare, da qui il nome di "regolatori di tipo dissipativo"

Il salto di tensione tra ingresso ed uscita e' detta tensione di "Drop-out" e nei regolatori integrati della serie 78XX e' di 2,5V.

Regolatore di tipo parallelo:

Si pone in parallelo al carico un diodo zener:



Per un diodo polarizzato inversamente esiste una tensione detta di break-down superata la quale si può avere la distruzione del dispositivo.

Il diodo zener invece e' costruito in modo da sfruttare questa situazione senza arrivare alla distruzione del componente a patto però di non superare un valore massimo di corrente I_{zM} .

In questa zona il diodo si comporta come un regolatore di tensione: la tensione ai suoi capi rimane costante nonostante cambi la corrente in esso circolante; e' necessario comunque che la tensione e la corrente sullo zener siano tali da farlo lavorare oltre la zona di ginocchio individuata da "Vz" e "IzM".

$$I_i = \frac{V_i - V_z}{R} \quad I_u = \frac{V_u}{R_L} = \frac{V_z}{R_L} \quad I_i = I_u + I_z$$

Si nota che una variazione di "Vi" provoca una variazione di "Ii" ma non di "Iu" ne di "Vu": Iu infatti dipende unicamente da Vz e da RL per cui la variazione di Ii e' assorbita dallo zener come variazione di Iz;

Una variazione del carico provoca una variazione di Iu ma non di Vu che e' uguale a Vz: la variazione di Iu non potendo provocare variazione di Ii e' allora assorbita dallo zener come variazione di Iz.

Come si vede in ogni caso e' sempre lo zener ad assorbire tutte le variazioni purché comunque la corrente in esso circolante non scenda al di sotto del valore minimo.

La resistenza di limitazione dello zener deve essere allora progettata in modo che a vuoto la corrente nello zener non superi il valore massimo consentito e d'altra parte sia sufficiente a superare la zona di ginocchio.

Regolatori di tipo serie:

I regolatori di tipo parallelo possono erogare in uscita bassi valori corrente in quanto ad esempio la corrente massima che può essere richiesta dal carico deve poter essere assorbita dallo zener durante il funzionamento a vuoto.

Si può allora usare un circuito con un regolatore in serie costituito da un bjt con uno zener che stabilizza la tensione sulla base.

La corrente al carico Iu non e' prelevata direttamente dallo zener come nel caso precedente, ma da un BJT che la preleva dall'ingresso e la fornisce al carico tramite l'emettitore. $I_u = \frac{V_i - V_{ce}}{R_L}$

In questo caso lo zener e' influenzato da Iu solo in minima parte: infatti $I_z = I_r - I_b$, dove Ir e' la corrente circolante nella resistenza.

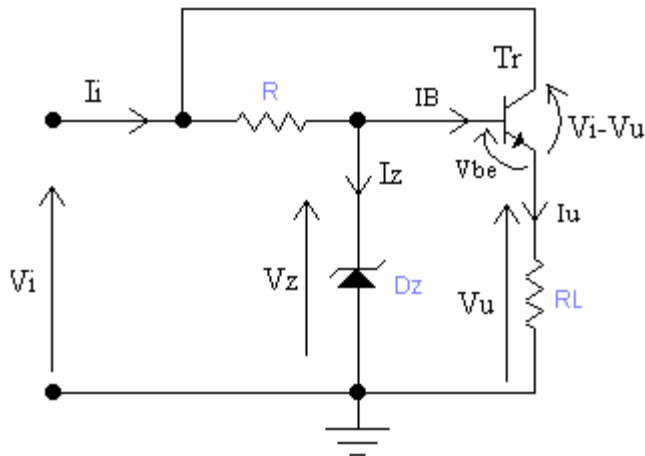
Una variazione di I_u quindi diviene una variazione di I_b beta volte minore e solo questa parte di variazione di corrente deve essere compensata dallo zener con una variazione di I_z (nel caso precedente invece era $I_z=I_i-I_u$).

Lo zener allora dissipa di meno, scalda di meno e quindi può essere progettato più piccolo.

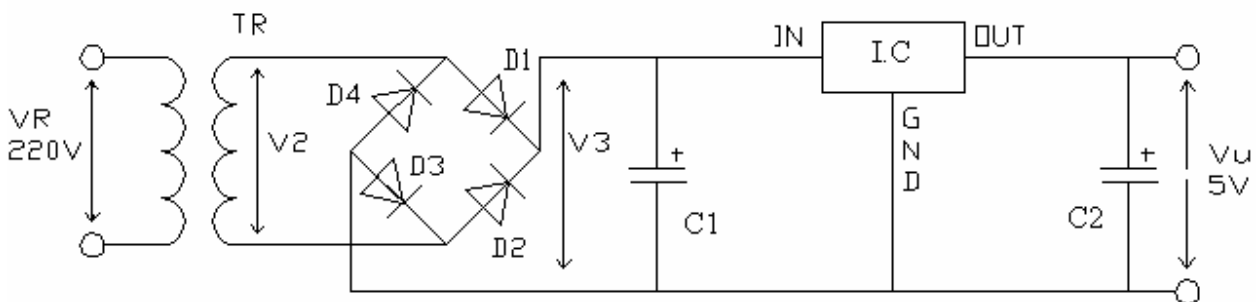
La tensione in uscita è stabilizzata essendo pari a: $V_u=V_z-V_{be}$.

La variazione di I_z fa variare, anche se poco la V_z ; così come la variazione di I_u è una variazione di corrente di emettitore che diviene una variazione di V_{be} e quindi poi di V_u : questo è quindi un circuito base che può essere migliorato.

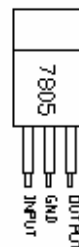
Ai capi del BJT c'è una tensione pari a $V_{ce}=V_i-V_u$ per cui dissipa una potenza pari a $P_d=(V_i-V_u)*I_u$



Regolatore integrato



- TR= 220V / 8V 1A
- D1 - D4= 1N4007
- C1= 1mF 50V
- C2= 100nF
- I.C.= 7805



Un notevole miglioramento può essere ottenuto utilizzando uno stabilizzatore integrato ad es. della serie 78XX.: le "XX" stanno per il valore di tensione che l'integrato produce in uscita a patto di applicare una tensione di 2,5V superiore in ingresso detta tensione di drop-out.

L'integrato utilizzato nell'es. è un "7805" che produce una tensione di 5V: il funzionamento è assicurato essendo la tensione applicata pari a " $V_{2max} - V$ di caduta sui diodi";

dove $V_{2max} = V_{2eff} * \sqrt{2} = 8 * 1,41 = 11,2V$ e la tensione sui diodi è: $V_d \approx 0,7 * 2 = 1,4V$ quindi la tensione su I.C. è: $11,2V - 1,4V = 9,8V$ sufficienti al funzionamento dell'integrato.

C1 e' la capacità di filtro dell'alimentatore e C2 elimina i disturbi in alta frequenza: i valori riportati sono indicati dal costruttore.

L'integrato e' protetto dai sovraccarichi ed e' in grado di fornire una $I=1A$: e' bene prevedere un'aletta di raffreddamento da fissare al corpo del componente in modo da dissipare il calore, che è prodotto dallo stesso e che potrebbe distruggerlo.

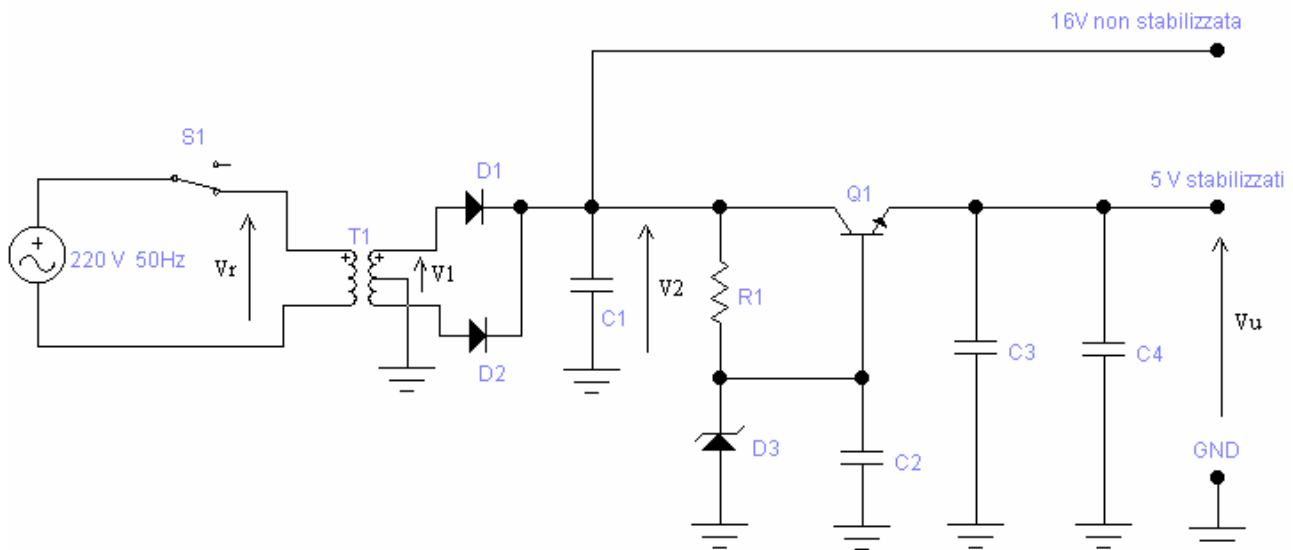
L'integrato riduce notevolmente anche il ripple per cui può essere utilizzato come filtro un condensatore di capacità più piccola con risparmio nei costi.

La tensione V_u in uscita al circuito e' perfettamente continua e stabilizzata.

Per verificarne il funzionamento si potrebbe applicare una tensione in ingresso fino a 30V e verificare che V_u e' poco superiore a 5V; verificare anche cambiando il carico che la V_u rimane fissa a 5V.

Analisi del circuito

Schema elettrico



Elenco componenti:

T1=trasformatore con secondario a presa centrale 220/12+12 1A

S1=interruttore a levetta da circuito stampato

D1=D2:diodo 1N4002

C1=1000 μ F 40V elettrolitico

C2=100 μ F elettrolitico 40V

C3=100 μ F elettrolitico 40V

C4=100nF ceramico a disco

R1=1,2k Ω

Q1=Bd 135 D3=BZX55 $V_z=5,7V$

Il funzionamento del circuito e' stato già descritto parlando del funzionamento generale degli alimentatori e qui lo sintetizziamo:

1. La tensione di rete, attraverso un interruttore, e' applicata ad un trasformatore con secondario a presa centrale che la abbassa a 12V efficaci;
2. I due diodi D1 e D2 all'uscita del trasformatore rendono la tensione unidirezionale;
3. Il condensatore di filtro C1 rende continua la tensione pur con certo ripple.
4. Il BJT insieme allo zener e ad R1 costituiscono il regolatore per cui la tensione d'uscita prelevata sull'emettitore e' stabilizzata;
5. C2 riduce l'ondulazione residua del segnale d'ingresso applicata allo zener: il suo valore e' consigliato pari ad 1/10 di C1;
6. C4 elimina i disturbi in alta frequenza, mentre C3 serve per attenuare gli effetti dovuti a rapide variazioni della corrente in uscita: i valori indicati sono quelli riportati per questi tipi di alimentatori.

Progettazione

L'elenco dei componenti e' dato a pagina precedente: si da ora una spiegazione delle scelte fatte per ogni componente in base alle specifiche richieste dal circuito.

Trasformatore

Volendo una tensione V_2 continua non stabilizzata pari a 16V questa e' data da:
 $V_2 = V_1 * \sqrt{2} - V_d$ dove con V_d si e' indicata la tensione di soglia dei diodi pari a circa 0,7V, e con V_1 si intende il valore efficace della tensione sul secondario del trasformatore.

Da questa relazione la tensione V_1 e' data da: $V_1 = \frac{V_2 + V_d}{\sqrt{2}} = \frac{16V + 0,7V}{1,41} = 11,84V$

Bisogna considerare però che questo non e' un caso teorico ma pratico, per cui dovrei tenere conto delle tolleranze dei diodi e del ripple introdotto dal condensatore per cui 16V non sono proprio continui, della tensione sul primario del trasformatore che non sempre e' pari a 220V efficaci, ma varia nel corso della giornata e da zona a zona: in sostanza quegli 11,84V li posso approssimare a 12V.

La tensione di ingresso al trasformatore e 220V efficaci forniti dalla rete ENEL.

Volendo 100mA massimi in uscita, il trasformatore deve essere in grado di fornire una corrente due-tre volte superiore: dalla disponibilita' in commercio si sceglie un: trasformatore con secondario a presa centrale 220/12+12 1A.

Interruttore

E' un dispositivo di comando che permette di aprire o chiudere un circuito; in questo caso lo si e' utilizzato per dare versatilita'.

Si sceglie un interruttore a levetta da circuito stampato: in alternativa si puo' anche usare un deviatore utilizzando il comune ed un laterale.

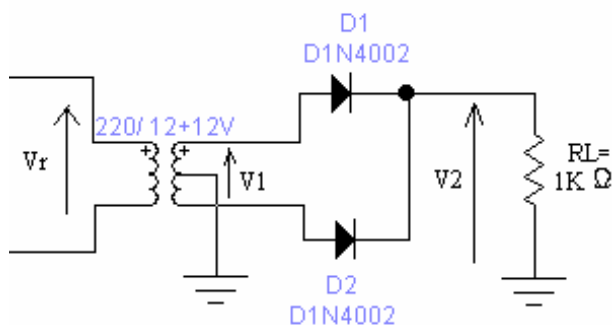
Raddrizzatore

V_{1max} : Ampiezza della tensione all'ingresso del raddrizzatore (cioe' sul secondario)

V_{2max} : ampiezza della tensione all'uscita del raddrizzatore

V_{rm} : massima tensione inversa del diodo

I_{fm} : massima corrente diretta del diodo



$$V_{rm} > 2 * V_{1max} = 2 * 17V = 34V$$

$$I_{fm} > \frac{V_{1max}}{R_L} = \frac{17V}{1K\Omega} = 17mA$$

$$V_{2max} = V_{1max} - V_d = 17V - 0,7V = 16,3V$$

Il diodo 1N4002 dai data-sheet risulta avere una $V_{rm}=100V$ ed una $I_{fm}=20A$ per cui e' adatto al circuito che stiamo progettando.

Condensatori

Per quanto riguarda il filtro, ci sono delle formule per il calcolo dei vari componenti in base al circuito scelto e al ripple voluto.

C'e' una formula empirica in base a cui, in un filtro formato da un condensatore, la capacita' e' data dalla $I_{omax} * 2000$: in ogni caso la capacita' non deve mai essere inferiore ai 1000µF.

Nel nostro caso abbiamo scelto un filtro formato da un solo condensatore di valore $1000\mu\text{F}=1\text{mF}$ essendoci un circuito stabilizzatore dopo il filtro,

Dato il valore questo e' sicuramente un condensatore elettrolitico per cui polarizzato.

La tensione massima del condensatore deve essere maggiore almeno di due volte quella che potrebbe essere applicata: nel caso maggiore di $2*16\text{V}=32\text{V}$: si sceglie quindi un condensatore $C1=1000\mu\text{F}$ 40V elettrolitico

Per quanto detto nella spiegazione del circuito, i condensatori $C2, C3, C4$ si scelgono come segue: $C2=100\mu\text{F}$; $C3=100\mu\text{F}$; $C4=100\text{nF}$.

Per $C2$ e $C3$, essendo di valore elevato si scelgono dei condensatori elettrolitici per una tensione massima di 40V; Per $C4$ si sceglie un condensatore ceramico a disco.

Transistor di regolazione serie

P_{dmax} : massima potenza dissipata dal Bjt

V_{1eff} = Tensione efficace sul secondario del trasformatore

V_{1max} = Tensione massima sul secondario del trasformatore

V_d : caduta di tensione sui diodi

V_u : Tensione di uscita

I_{omax} : massima corrente erogata al carico che nel caso si e' scelta pari a 100mA

I_c : corrente di collettore

V_{ce} : tensione collettore-emettitore

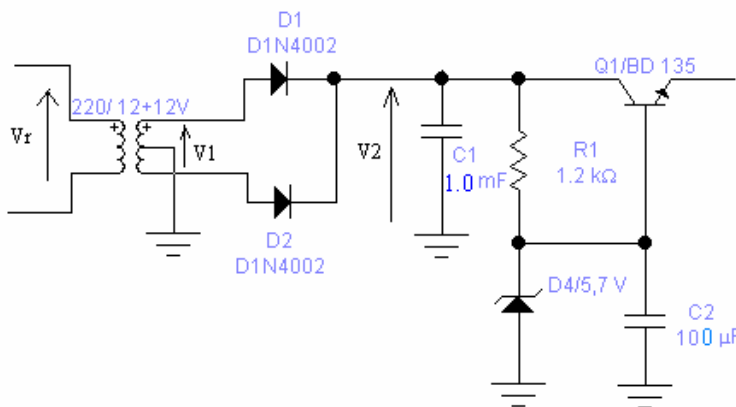
I_{bmax} : massima corrente di base

$$P_{d\ max} = V_{ce} * I_{o\ max} = (V_2 - V_u) * I_{o\ max} = (V_{1eff} * \sqrt{2} - V_d - V_u) * I_{o\ max}$$

$$P_d = (12V * 1,41 - 0,7V - 5V) * 0,1A \approx 1,1W$$

$$I_c > I_{omax} = 100mA$$

$$V_{ce} \geq V_2\ max = 16V$$



Si può scegliere un Bd 135 che ha le seguenti caratteristiche:

$P_{dmax}=8W$;

$I_{cmax}=1A$;

$V_{cemax}=45V$;

$h_{femin}=40$

I_{bmax} e' 500mA

Scelto il transistor, si calcola I_{bmax} :
$$I_{b\ max} = \frac{I_{o\ max}}{h_{Femin}} = \frac{100mA}{40} = 2,5mA < 500mA$$
 massimi del bjt

Per verificare se il transistor e' in grado di dissipare il calore prodotto e' necessario ricavare dal foglio tecnico del componente i valori della resistenza termica giunzione-ambiente R_{ja} del contenitore TO220: $70^\circ\text{C}/\text{W}$

T_j : temperatura giunzione;

T_a : temperatura ambiente

P_{dmax} : potenza massima dissipata dal Bjt

$T_j - T_a = R_{ja} * P_{dmax}$ da cui
$$T_j = P_{d\ max} * R_{ja} + T_a = 1,1W * 70 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} + 25^\circ\text{C} = 102^\circ\text{C}$$
 inferiore ai

150°C massimi per cui il dispositivo può dissipare il calore senza l'aggiunta di alcun dissipatore.

Diodo zener e Resistenza di limitazione:

V_z : tensione di zener

I_z : corrente di zener

I_z : corrente minima nello zener per superare il ginocchio

V_{2max} : massima variazione della tensione all'ingresso del regolatore (Non valore massimo di V_2)

$$V_z = V_u + V_{be} = 5 * 0,7 = 5,7V$$

Si sceglie un BZX55 che ha $V_z = 5,7V$; $I_{zm} = 5mA$; $I_{zmax} = 70mA$; P_{dmax} a $25^\circ C = 500mW$

La resistenza R_1 deve garantire che anche nel caso di massimo assorbimento in uscita, cioè $I_o = 100mA$, e quindi con $I_b = I_{bmax}$, la corrente nello zener sia maggiore di I_{zmin} per far sì che esso stabilizzi:

$$R_{1\max} = \frac{V_r}{I_r} = \frac{V_2 - V_z}{I_{z\min} + I_{b\max}} = \frac{16V - 5,7V}{5mA + 2,5mA} = \frac{10,6V}{7,5mA} = 1413\Omega$$

1413 Ω non è un valore commerciale ed è anche il valore massimo, per cui scegliamo un valore più piccolo: 1,2K Ω ohm che è un valore commerciale.

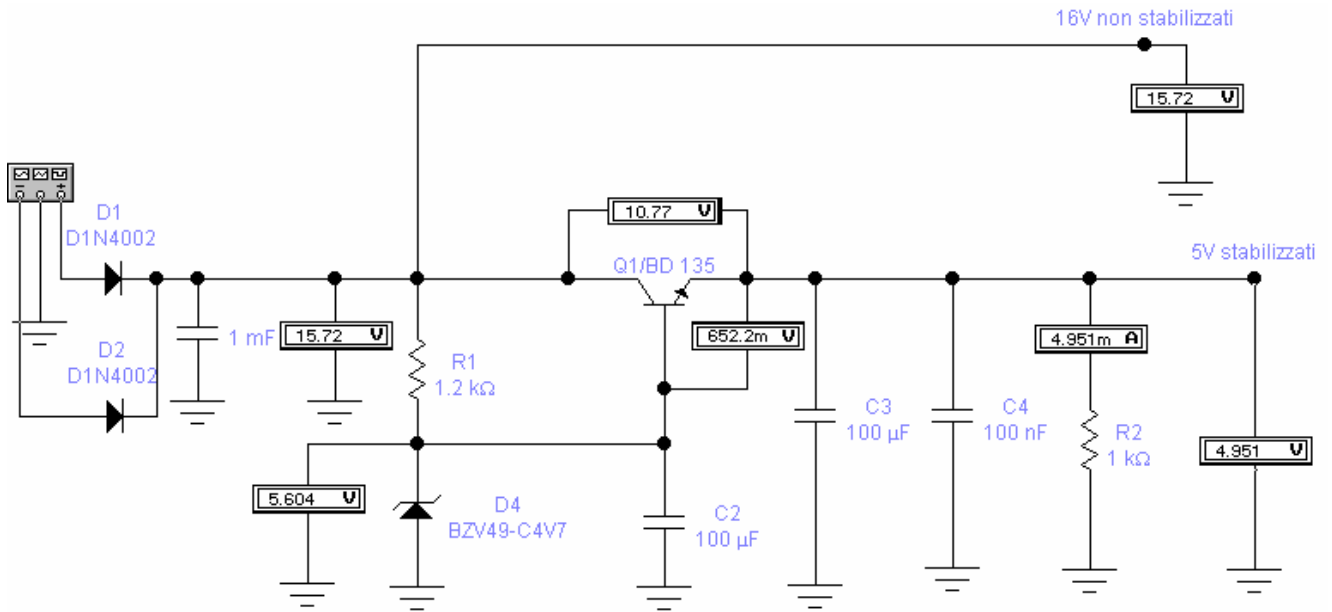
La corrente massima nello zener si ha nella situazione a vuoto cioè $I_o = 0A$ e quindi $I_b = 0A$

$$I_{z\max} = \frac{V_{2\max} - V_z}{R_1} = \frac{16V - 5,7V}{1200} = 8,58mA \text{ minore della } I_{zmax} \text{ dello zener pari a } 70mA$$

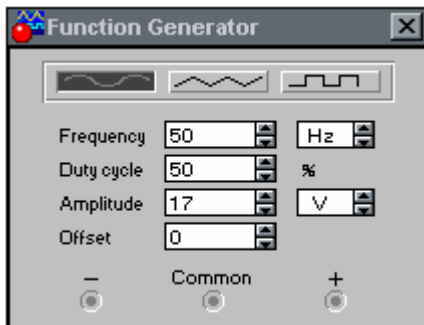
In questo caso $P_{dmax} = V_z * I_{zmax} = 5,7V * 9,4mA = 53,6mW$ minore quindi della P_{dmax} dello zener pari a 500mW.

Misure sul circuito

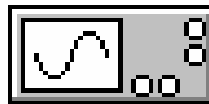
Circuito di misura



Per la simulazione si adoperato il programma work-bench sostituendo al trasformatore un generatore di funzioni che fornisce una tensione duale di +17V -17V (valori massimi)



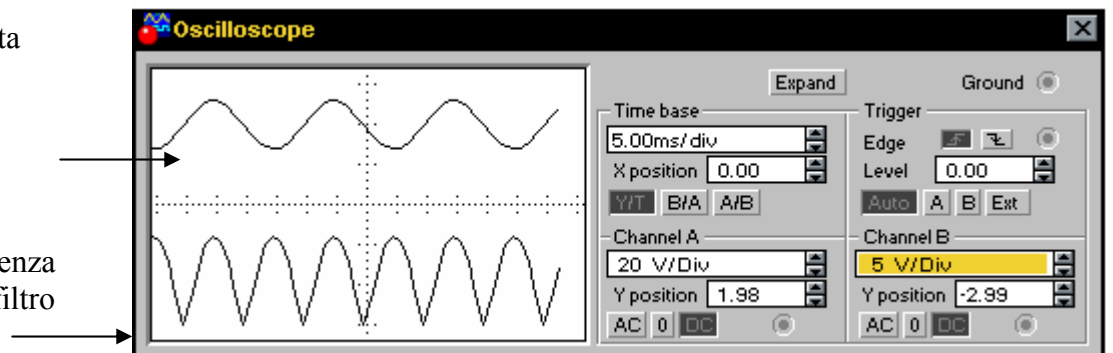
In figura si nota che sono stati inseriti voltmetri ed amperometri per misurare tutte le tensioni e le correnti nei vari punti del circuito: tutti gli strumenti sono selezionati in DC



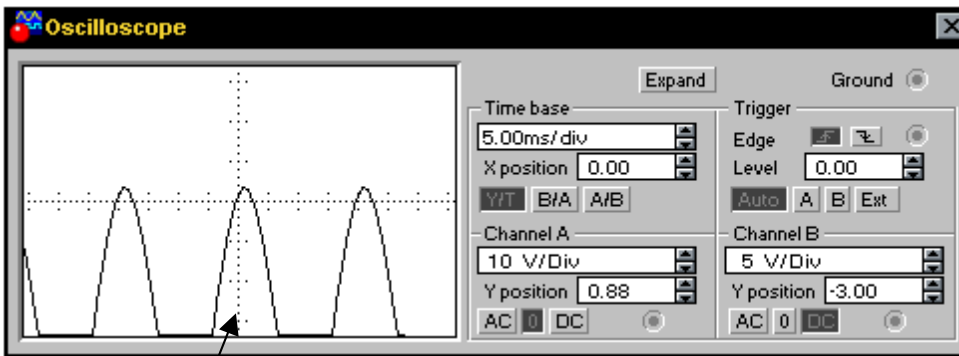
Utilizzando un oscilloscopio visualizziamo le più significative forme d'onda nei vari punti del circuito:

V1 tensione alternata sul secondario del trasformatore

V2 tensione dopo il raddrizzatore in assenza di condensatore di filtro



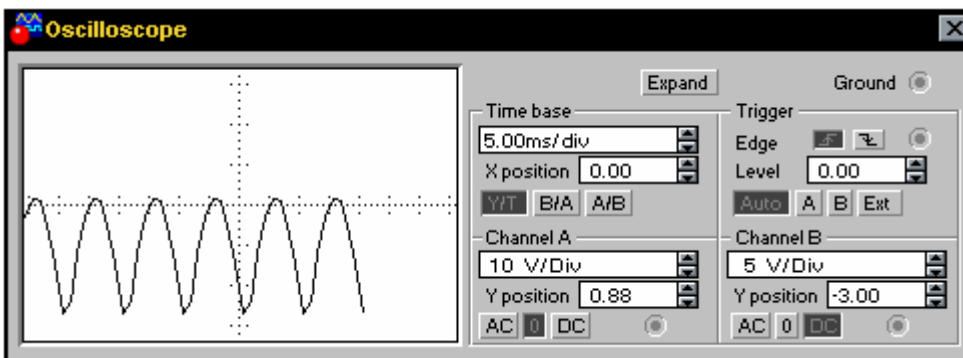
Fissiamo il riferimento in basso sullo schermo dell'oscilloscopio e misuriamo con precisione V1:



V/Div=5V
(secondo canale)
Si leggono
3 divisioni intere e 2/5
da cui $V_{1max}=17V$

Riferimento di massa

Misuriamo con precisione V2: considerando lo stesso riferimento di massa in basso allo schermo: si noti che la tensione e' tutta positiva.

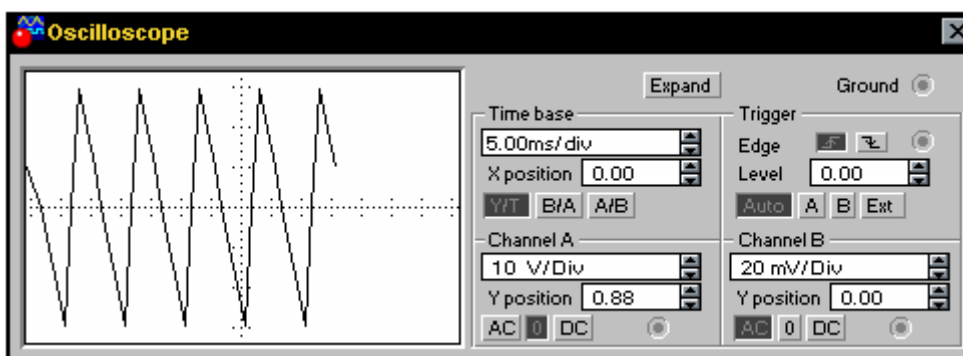


Si leggono 3 divisioni intere e un quinto da cui V_{2max} e' 16V: $17V-0,7$ sono circa 16V

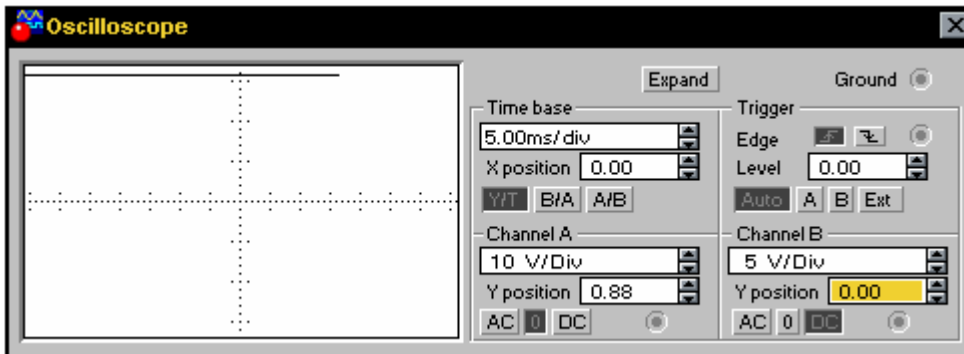
Visualizziamo la tensione dopo il Condensatore, solo per la parte alternata: il riferimento e' al centro dello schermo.

Si noti che l'oscilloscopio e' in AC per visualizzare e ingrandire la sola componente alternata e quindi solo l'ondulazione.

Essendo Volt/div= 20mV ed avendo 3 divisioni intere, si misura $V_{rmax}=60mV$



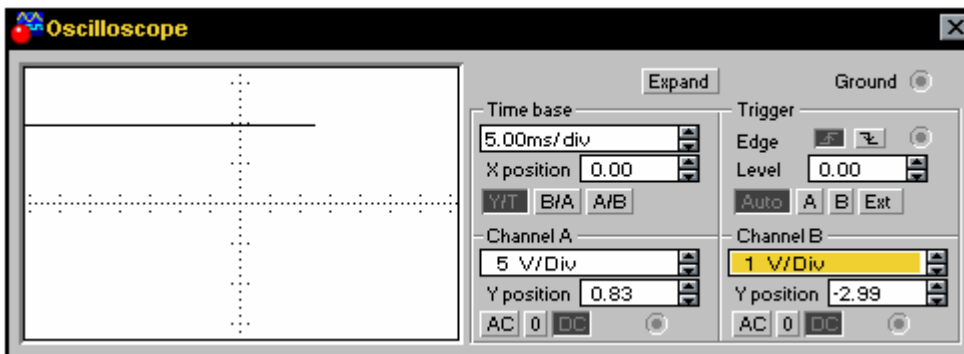
Visualizziamo la tensione dopo il condensatore con la componente sia continua che alternata: essendo Volt/div=5V si ha $V_{medio}=16V$



In questo caso il ripple non e' distinguibile essendo molto piccolo rispetto ai 5V di ogni divisione.

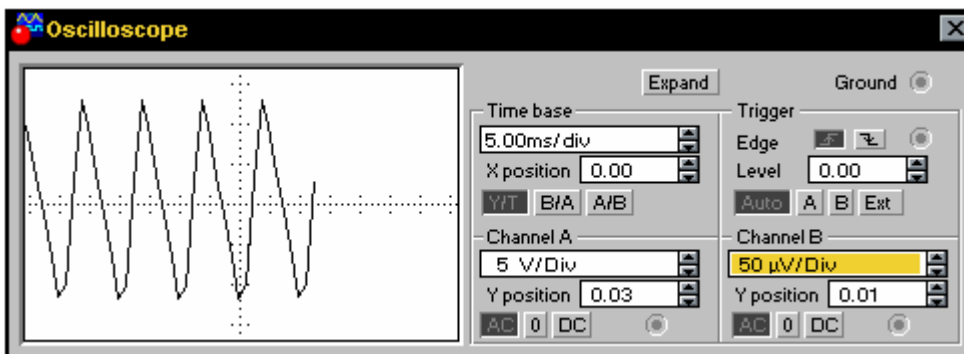
$$r\% = \frac{V_{rpp}}{2 * \sqrt{3} * V_m} * 100 = \frac{120mV}{2 * \sqrt{3} * 16} * 100 = 0,2\%$$

Tensione V_u all'uscita del circuito: V/Div=5V; il riferimento e' in basso sullo schermo; Si leggono 5 divisioni, da cui $V_u=5V$



Si visualizza la componente di ripple all'uscita del circuito: V/Div=20μV; il riferimento e' al centro dello schermo.

Si leggono 4 divisioni e 3/5 da cui $V_{rpp}=92\mu V$: una notevole riduzione rispetto a quella misurabile dopo il condensatore.



Misure sugli alimentatori

Ci sono tre tipi di curve che sono tipiche per valutare la bontà di un alimentatore.

Esse esprimono le tre relazioni seguenti:

$V_u=f(I_u)$ detta curva di regolazione che esprime la variazione della tensione di uscita in funzione della corrente di uscita e quindi del carico;

$V_u=f(V_r)$ che esprime la variazione della tensione di uscita in funzione della tensione di rete ;

Ripple= $f(I_u)$ che esprime la variazione del ripple in funzione della corrente di uscita e quindi del carico.

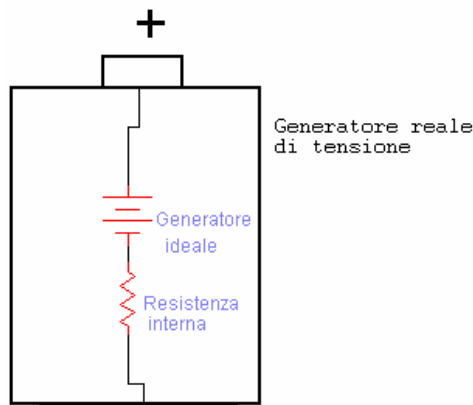
Curva di regolazione

La curva di regolazione esprime la variazione di V_u in funzione del carico e quindi della corrente di carico.

In teoria V_u dovrebbe rimanere costante e avere una caratteristica del tipo:



Studiando un alimentatore non stabilizzatore, quale potrebbe ad es. essere una comune “pila”, si ha che la caratteristica e' invece del tipo:



cioè la V_u diminuisce all'aumentare di I_u : e' come se il generatore fosse formato da un generatore di tensione ideale con in serie una resistenza: studiando un circuito così fatto si otterrebbe proprio una caratteristica come quella indicata.

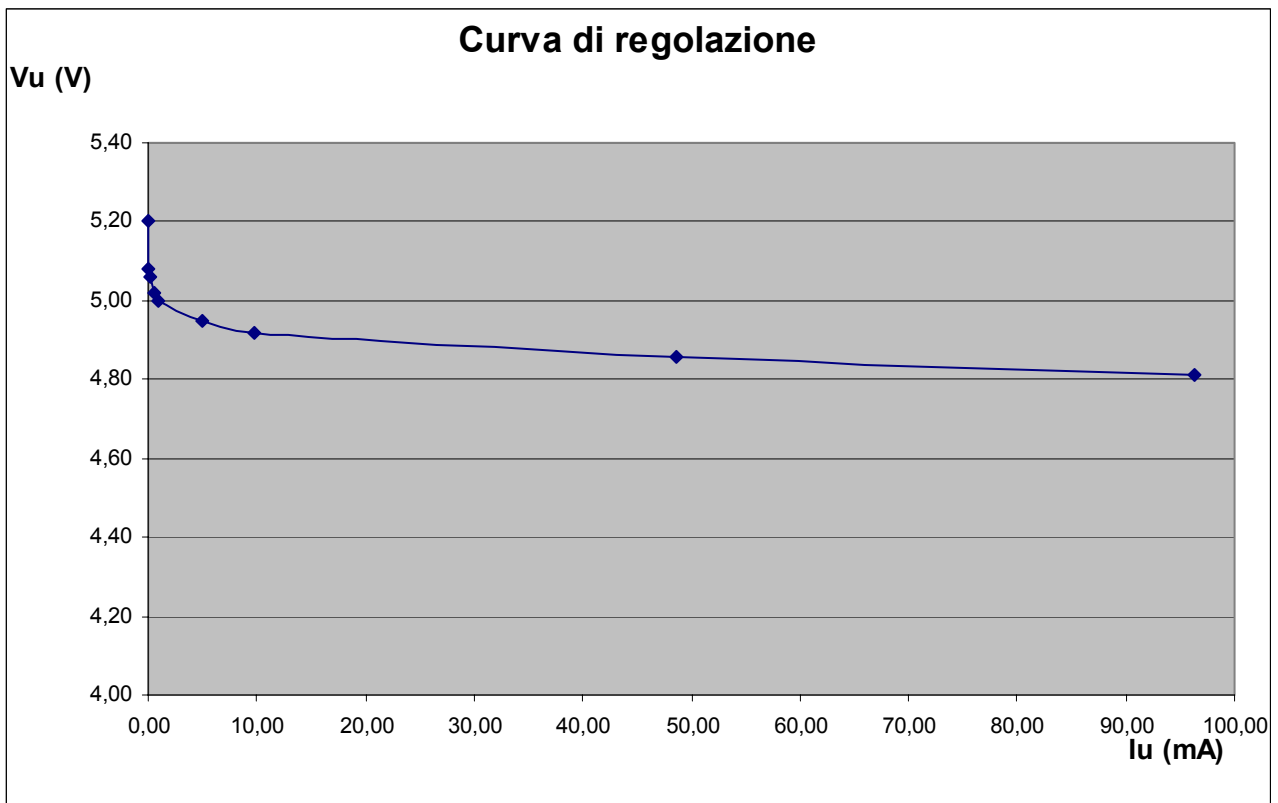
L'alimentatore stabilizzato si avvicina molto al caso di generatore ideale di tensione e la variazione di V_u con I_u e' molto piccola: si e' eseguita la misura nel caso dell'alimentatore che si sta studiando, e si sono ottenuti i seguenti risultati:

RL (KW)	Iu (mA)	Vu (V)
Vuoto	0	5,2
100,00	0,05	5,08
50,00	0,10	5,06
10,00	0,50	5,02
5,00	1,00	5,00
1,00	4,95	4,95
0,50	9,85	4,92
0,10	48,56	4,86
0,05	96,30	4,81

Si e' supposta fissa la tensione V_1 a 17V valore massimo, che equivale ad una tensione efficace di rete pari a circa 220V.

Partendo dalla situazione a vuoto, si e' variato il carico ottenendo così la variazione di I_u e si e' misurata, con un voltmetro in continua, il valore di V_u .

Riportando i risultati ottenuti su un grafico si e' ottenuta la curva:



Variazione di Vu al variare della tensione di rete

Un altro studio che può essere fatto per valutare la bontà dello stabilizzatore e' verificare come varia Vu al variare della tensione di rete.

Invece di variare la tensione applicata al primario del trasformatore, utilizziamo un generatore di funzioni con cui applicare una tensione sinusoidale a 50Hz di cui variamo l'ampiezza: simuliamo in questo modo la tensione sul secondario del trasformatore.

Un altro modo potrebbe essere quello di utilizzare un alimentatore stabilizzato con cui applicare diversi valori di tensione V2 direttamente all'ingresso del regolatore.

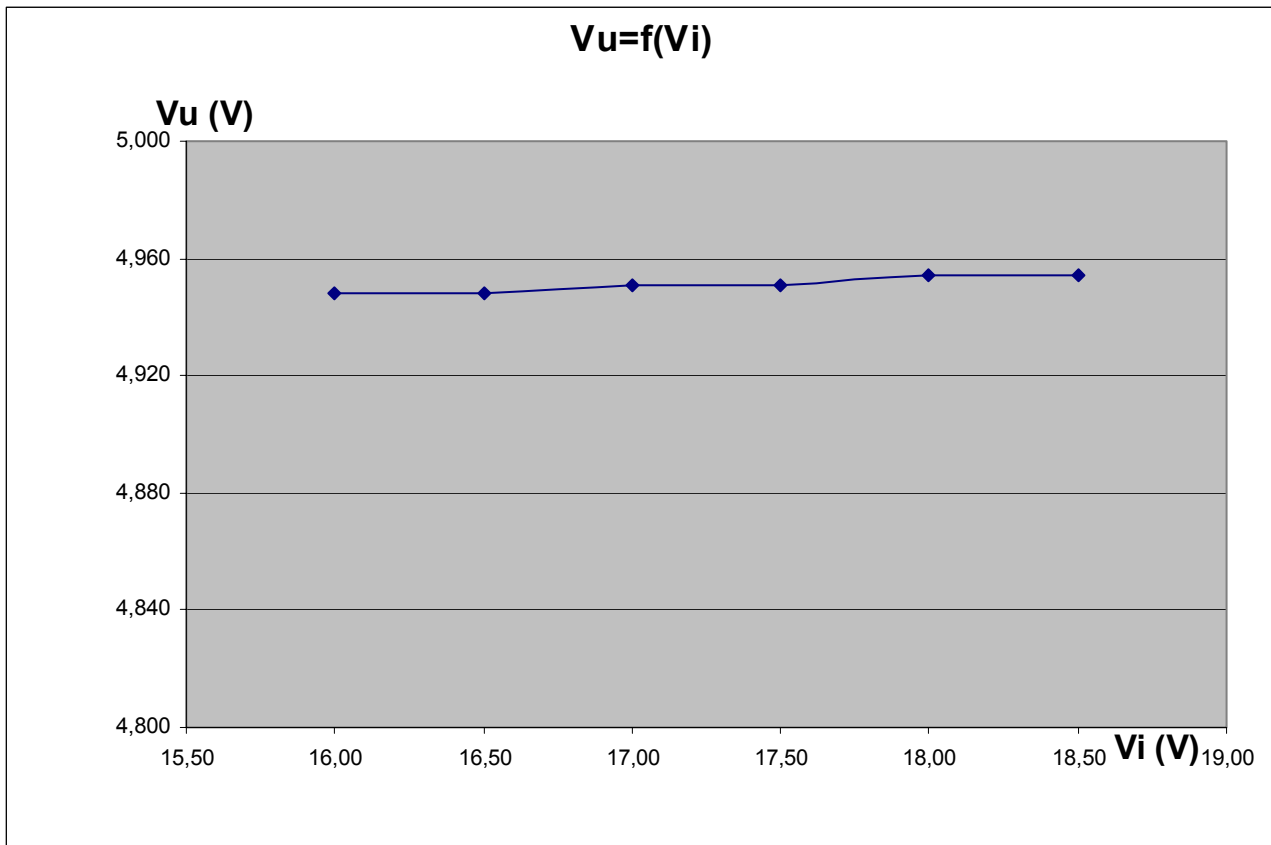
Abbiamo utilizzato il primo metodo variando così V1 e rilevando i valori di Vu.

Si e' utilizzata una resistenza di carico di 1K ohm.

Vr (V)	V1max (V)	Vu (V)
204,26	16,00	4,948
210,64	16,50	4,948
217,02	17,00	4,951
223,40	17,50	4,951
229,79	18,00	4,954
236,17	18,50	4,954

Come si vede abbiamo anche indicata la corrispondente tensione di rete considerando un rapporto spire pari a 18: $220V/12V \approx 18$.

I risultati ottenuti sono stati riportati su un grafico ottenendo curva in figura:



Variazione del ripple in funzione di Iu

Anche in questo caso si e' variato il carico rilevando con un amperometro il valore di Iu.

Il ripple viene visualizzato su un canale di un oscilloscopio settato in "AC" in modo da eliminare la componente continua e studiare solo quella alternata che può in questo modo essere amplificata molto e così misurata regolando la manopola "Volt/Div"

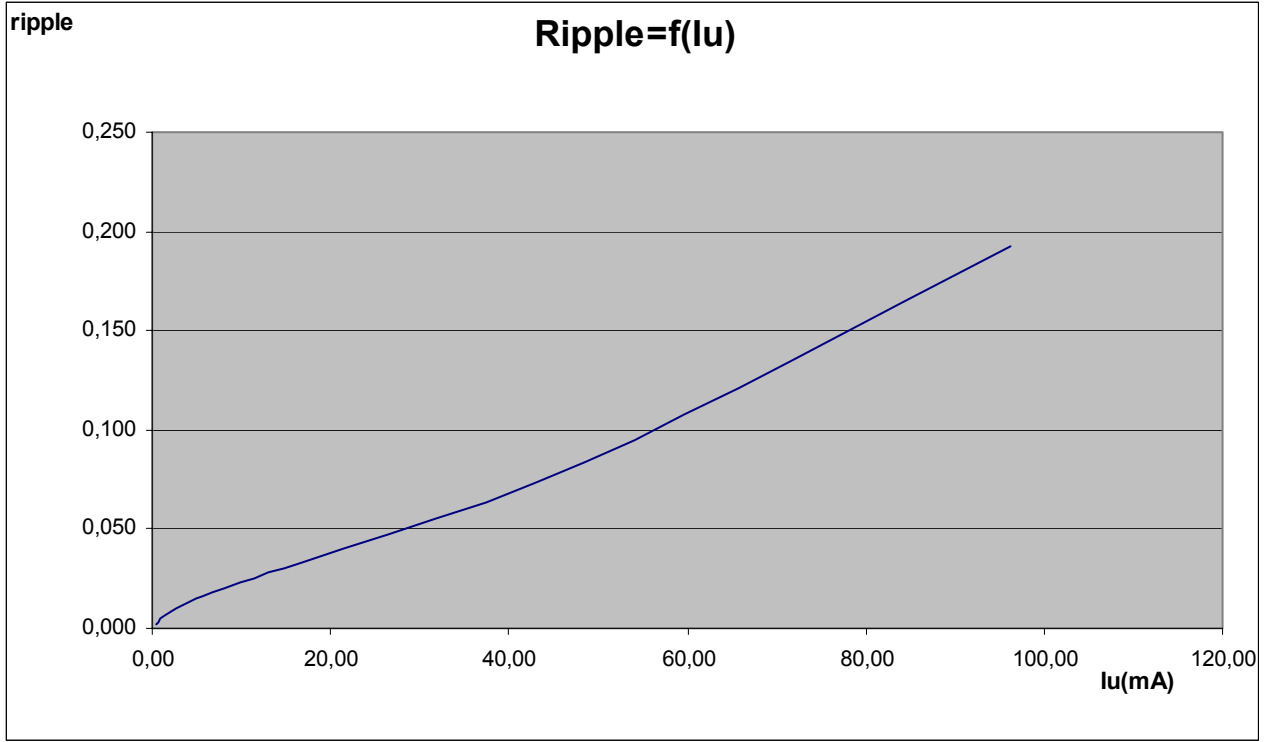
Si sono ottenuti i seguenti risultati:

RL (K \bar{W})	Iu (mA)	Vrpp (μ V)	Vu (V)	r $\%$
10,00	0,50	40,00	5,02	0,002
5,00	1,00	84,00	5,00	0,005
1,00	4,95	260,00	4,95	0,015
0,50	9,85	400,00	4,92	0,023
0,10	48,56	1400,00	4,86	0,083
0,05	96,30	3200,00	4,81	0,192

Si e' calcolato il ripple utilizzando la formula $r\% = \frac{Vrpp}{2 * \sqrt{3} * Vm} * 1000$

Notare che anziché moltiplicare il ripple per cento, lo si e' moltiplicato per mille essendo molto piccolo.

Riportando i risultati su un grafico si e' ottenuto il seguente:



Conclusioni

1. Dalla curva di regolazione considerando la zona lineare della caratteristica, cioè dal grafico gli ultimi tre valori, possiamo calcolare la variazione di V_u in funzione di I_u , cioè la R_u .

$$R_u = \frac{\Delta V_u}{\Delta I_u} = \frac{4,92V - 4,81V}{(96,30 - 9,84) * 10^{-3} A} = \frac{0,11V}{86,46 * 10^{-3} A} = 1,27\Omega$$

Come si vede la R_u è molto piccola e ciò indica la poca influenza delle variazioni del carico Z_L sulla tensione di uscita V_u .

Infatti $V_u = V_o - R_u * I_u$ dove V_o è la tensione a vuoto; essendo R_u molto piccola la V_u praticamente non varia al variare di I_u .

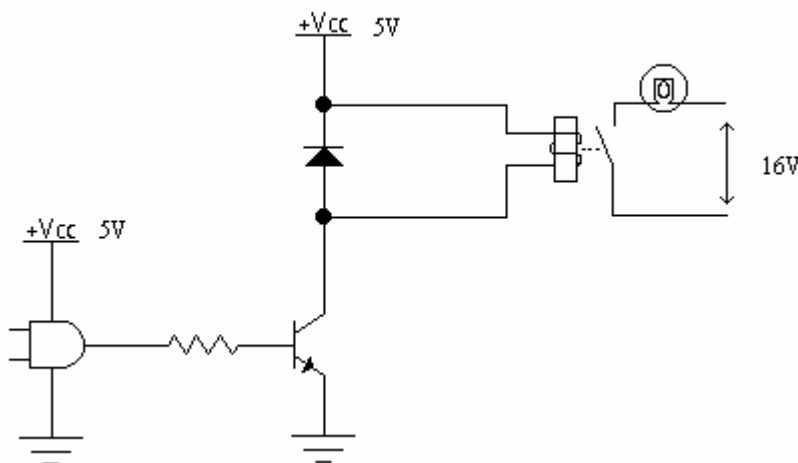
2. Calcoliamo il coefficiente di regolazione cioè la variazione di V_u in funzione della tensione d'ingresso allo stabilizzatore (cioè la tensione V_1 sul secondario del trasformatore)

$$S_v = \frac{\Delta V_u}{\Delta V_1} = \frac{4,954V - 4,948V}{18,50V - 16V} = \frac{0,006V}{2,5V} = 0,0024 \quad \text{corrispondente allo } 0,24\%$$

3. Nell'ultimo grafico si noti che il ripple aumenta all'aumentare di I_u ma siamo su valori dello 0,0192% quindi estremamente basso, soprattutto confrontato allo 0,2 % dell'alimentatore non stabilizzato.

Questo valore è ottenuto al limite delle condizioni di funzionamento di questo alimentatore che è di 100mA per cui è un ripple massimo.

Da questi risultati si può concludere che l'alimentatore presenta delle buone caratteristiche e potrebbe ad esempio essere utilizzato per alimentare un circuito logico a 5V: tensione stabilizzata. La tensione non stabilizzata a 16V potrebbe invece ad es. alimentare un carico attraverso un relè pilotato da un transistor che è, a sua volta, comandato dal circuito logico con una struttura del tipo in figura.



Distante Carmelo