Relazione di Elettronica #03

Generalità

Studente Andrea Asta
Classe 4A Informatica

Data della prova Venerdì 10 febbraio 2006

Titolo della prova

Creazione di un alimentatore di tensione continua.

Sommario

Strumentazione utilizzata **2**
Materiale utilizzato **2**
Software utilizzato **2**
Parte teorica **3**
1. Progetto degli alimentatori 3
2. Caratteristiche della tensione di rete 4
3. Tipi di alimentatore 7
4. Schema a blocchi di un alimentatore 7
5. Il Trasformatore 8
6. Il Raddrizzatore 10
7. Filtro 14
8. Stabilizzatori 17
9. Stabilizzatori Integrati 20
10. Stabilizzatori ad uscita variabile 22
11. Dissipazione 24
12. Dissipatori 26
13. Alimentatori positivi e negativi 28

Parte pratica **29**
Progetto assegnato 29
Simulazioni degli utilizzatori 29
Parte 1: Scelte comuni al progetto 30
Parte 2: Uscita Positiva 31
Parte 3: Uscita Negativa 34
Parte 4: Unione dei Circuiti 35
Rilevazione dei Dati 36
Conclusioni **37**
Trafiletto in inglese **37**

Strumentazione utilizzata

- Multimetro digitale (8 MITEK MK 1200)
- 1 saldatore con filo di stagno

Materiale utilizzato

- 1 breadboard
- 1 scheda multifori
- Filo di rame rigido
- Trasformatore a presa centrale 15V - 1A
- 1 I.C. Ponte di Graetz 1A
- 1 I.C. LM117K (stabilizzatore con uscita positiva variabile)
- 1 I.C. LM7905T (stabilizzatore con uscita negativa fissa)
- 1 Dissipatore ML16 (per TO-3)
- 2 Diodi 1N4007
- 1 Condensatore elettrolitico 3300µF – 25V
- 1 Condensatore elettrolitico 470µF – 25V
- 1 Condensatore ceramico 100nF
- 1 Condensatore ceramico 2.2µF
- 2 Condensatori elettrolitici 1µF
- 1 Resistenza E-24 720Ω
- 1 Trimmer resistivo 2KΩ
- 1 Resistenza E-24 240Ω
- Utilizzatori (reostati)

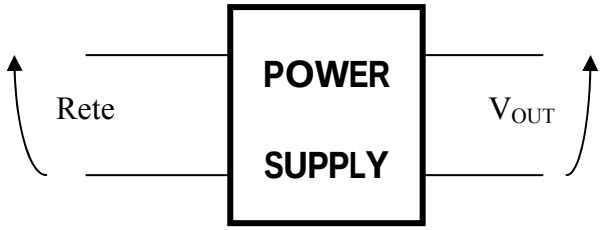
Software utilizzato

- Multisim 2001 from Electronics Workbench
- Protel '99 SE

Parte teorica

1. Progetto degli alimentatori

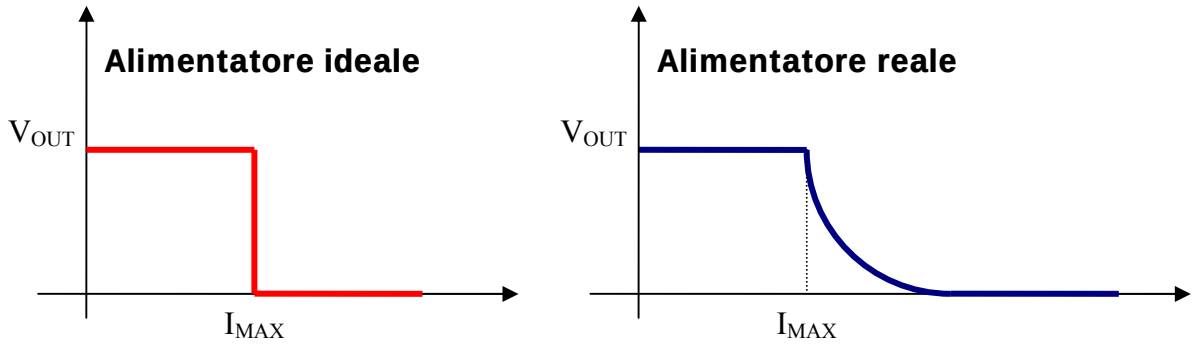
Il nostro obiettivo è quello di costruire un generatore di tensione continua, ossia un dispositivo elettronico in grado di convertire la tensione di rete in un segnale continuo ad un valore prestabilito. La corrente fornita dipenderà dal carico applicato, ma non potrà comunque superare un valore massimo prestabilito, pena la caduta del valore di tensione.



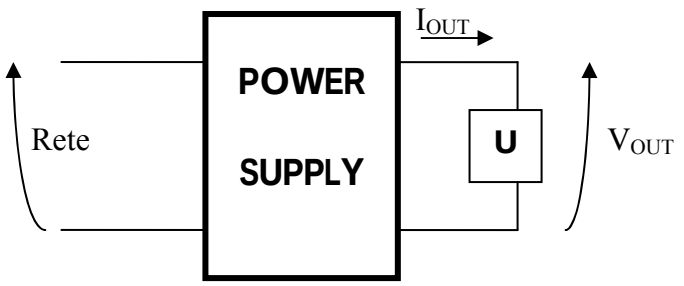
Il comportamento ideale di un alimentatore è il seguente:

- Finché la corrente richiesta è minore o uguale a quella massima prevista, la tensione di uscita avrà il valore richiesto
- Quando la corrente in uscita è superiore a quella massima, la tensione di uscita sarà nulla

Nella realtà, superata la corrente massima, la tensione di uscita non cadrà direttamente a zero, ma andrà pian piano scemando.



E' chiaro che l'alimentatore deve assicurare le sue prestazioni in presenza di un **carico**, ossia un utilizzatore che richiede una particolare tensione e assorbe una particolare corrente. In assenza di carico, il valore della tensione di uscita può essere maggiore di quella prevista; l'importante è che la V_{OUT} sia assicurata in presenza di un carico (sempre se questo non richiede troppa corrente).



Gli alimentatori hanno alcune caratteristiche, di cui due sono particolarmente importanti:

1. Tolleranza dell'uscita
2. Rendimento

Tolleranza dell'uscita

E' un valore, misurato in percentuale, che indica di quanto può variare la tensione di uscita rispetto al valore fisso segnalato come tensione di uscita.

Ad esempio, se un alimentatore fornisce una tensione di uscita a 15V con tolleranza del 5%, il costruttore assicura che la tensione di uscita varierà nell'intervallo

$$[15 - 15*0.05,\ 15 + 15*0.05] = [14.25V\ ,\ 15.75V]$$

Rendimento

E' un valore, misurato in percentuale, espresso dalla formula

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}}$$

Questo valore indica quanta potenza assorbe l'alimentatore. Idealmente questo valore dovrebbe essere molto prossimo al 100% (assorbimento nullo), ma nella realtà gli alimentatori hanno rendimenti che vanno dal 50% al 90% circa.

2. Caratteristiche della tensione di rete

La tensione di rete è fornita, in Italia, dall'**ENEL**. Essa ha delle caratteristiche ben precise, assicurate in qualsiasi momento della giornata, indipendentemente dal numero di utilizzatori. Tuttavia, in momenti di utilizzo molto basso (esempio la sera, quando le fabbriche sono chiuse) è possibile che i valori siano leggermente più alti.

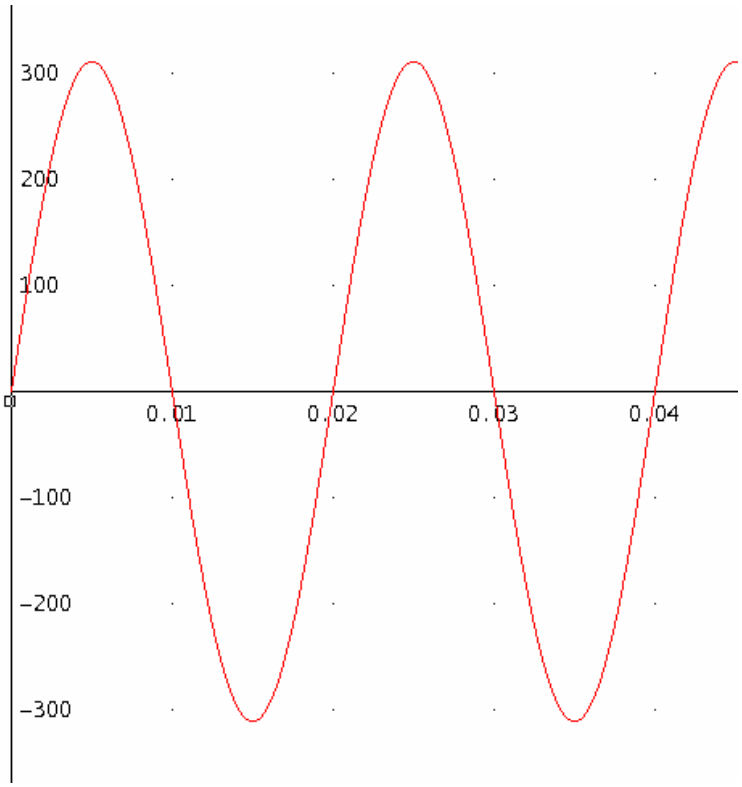
Essa si presenta come un segnale sinusoidale di frequenza 50Hz, e valore efficace di 220V.

Segnale di Rete

f = *50Hz*

V_{eff} = *220V*

Forma d'onda => *sinusoidale*



Possiamo facilmente ricavare i dati mancanti.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50Hz} = 20ms$$

$$V_M = V_{eff} \cdot \sqrt{2} \approx 311V$$

Il valore medio dell'onda è uguale a zero.

Il valore medio è infatti definito come il rapporto tra l'area delimitata dalla curva e dall'asse delle ascisse nel periodo T e il periodo stesso.

$$V_m = \frac{\int_0^T f(x)dx}{T}$$

E' intuitivo determinare che il valore dell'integrale è zero, in quanto le aree comprese tra 0 e T/2 e tra T/2 e T sono uguali ma di segno opposto. Essendo l'area tra 0 e T data dalla somma di questi due valori otteniamo un valore nullo.

Volendo dimostrare matematicamente questa uguaglianza, dobbiamo dapprima determinare l'equazione della funzione che descrive il segnale di rete.

Dalla matematica sappiamo che l'equazione completa della funzione seno

$$y = a\sin(bx + c) + d$$

ha quattro parametri con questi significati:

a → ampiezza della sinusoide
b → $\frac{2\pi}{T}$
c → traslazione orizzontale della sinusoide
d → traslazione verticale della sinusoide

La nostra onda non ha alcuna traslazione, pertanto

$$c = d = 0$$

inoltre sappiamo che l'ampiezza dell'onda è esattamente uguale a

$$a = V_M = V_{eff} \cdot \sqrt{2} \approx 311$$

per determinare il valore di *b* utilizziamo la formula

$$b = \frac{2\pi}{0.02} = 100\pi$$

deduciamo quindi che l'equazione da noi cercata è

$$y = 220\sqrt{2}\sin(100\pi \cdot x)$$

Per calcolare l'integrale definito tra 0 e T, ci serve conoscere l'integrale indefinito della funzione

$$y = a\sin(bx)$$

Utilizzando le regole del calcolo integrale, si ottiene

$$\int a\sin(bx)dx = a\int \sin(bx)dx = a\left(-\frac{\cos(bx)}{b}\right) = -\frac{a}{b}\cos(bx)$$

Siamo adesso in grado di valutare l'integrale definito e, conseguentemente, il valore medio.

$$V_m = \frac{\int_0^T a\sin(bx)dx}{T} = \frac{\left[-\frac{a}{b}\cos(bx)\right]_0^T}{T} = \frac{\left[-\frac{220\sqrt{2}}{100\pi}\cos(100\pi x)\right]_0^{0.02}}{0.02}$$

da cui, sviluppando i conti, si ottiene

$$V_m = \frac{\left(-\frac{220\sqrt{2}}{100\pi}\cos(100\pi \cdot 0.02)\right) - \left(-\frac{220\sqrt{2}}{100\pi}\cos(100\pi \cdot 0)\right)}{0.02} =$$

$$= \frac{-\frac{220\sqrt{2}}{100\pi}\left(\cos(2\pi) - \cos(0)\right)}{0.02} = \frac{-\frac{220\sqrt{2}}{100\pi}(1-1)}{0.02} = \frac{-\frac{220\sqrt{2}}{100\pi}(0)}{0.02} = 0$$

Quindi, come del resto avevamo previsto, il valore medio della tensione di rete è zero.

3. Tipi di alimentatore

Gli alimentatori si possono dividere in due grandi famiglie:

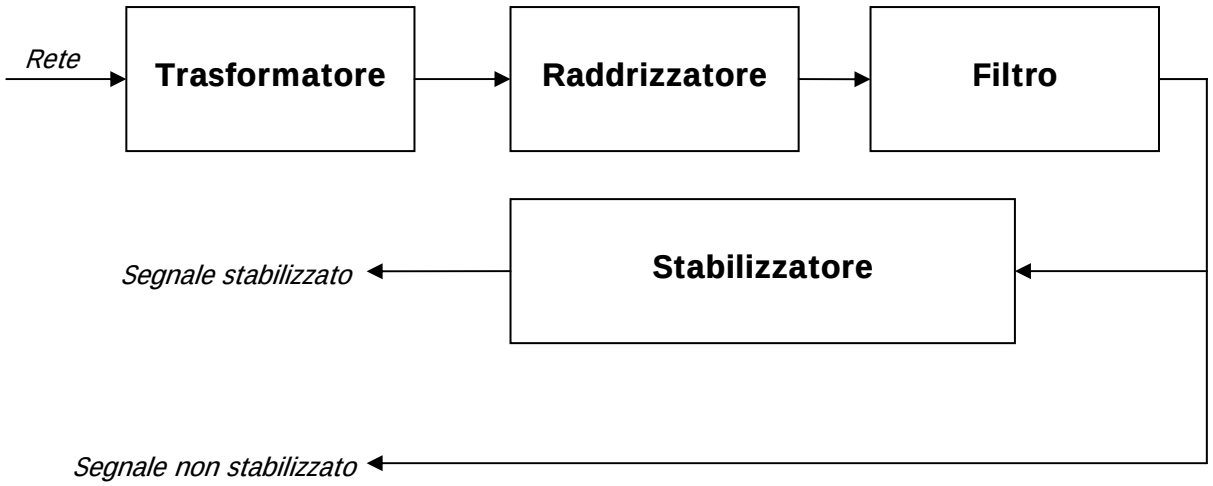
- Alimentatori SMPS (**Switching Mode Power Supply**)
- Alimentatori lineari

Gli alimentatori SMPS sono i più moderni e precisi, possono garantire rendimenti fino al 90%. Tuttavia il loro progetto è molto complesso.

Gli alimentatori lineari, studiati e creati nel corso di questa prova, assicurano rendimenti più bassi, intorno al 50%-55% circa.

4. Schema a blocchi di un alimentatore

La costruzione di un alimentatore è riassumibile mediante uno schema a blocchi, che chiarisca tutti i passaggi da compiere per trasformare la tensione alternata di rete in una tensione continua dal valore da noi stabilito.



Il **trasformatore** ha il compito di ridurre l'ampiezza del segnale di rete, mantenendo costante la potenza.

Il **raddrizzatore** ha il compito di trasformare il segnale con valore medio nullo in uno con valore medio non nullo: in altre parole, trasforma il segnale in uno tutto positivo oppure tutto negativo.

Il **filtro** serve invece per rendere il segnale continuo, anche se vedremo che esso ha una tolleranza abbastanza elevata. In altre parole, il filtro ha il compito di limitare il campo di variazione della tensione che riceve in ingresso.

Arrivati a questo punto il segnale di uscita è quasi continuo. Volendo ci si può accontentare di questo segnale, altrimenti, per renderlo ancora più preciso e accurato, si aggiungerà uno **stabilizzatore**, che renderà le variazioni della tensione talmente piccole da essere trascurabili.

5. Il Trasformatore

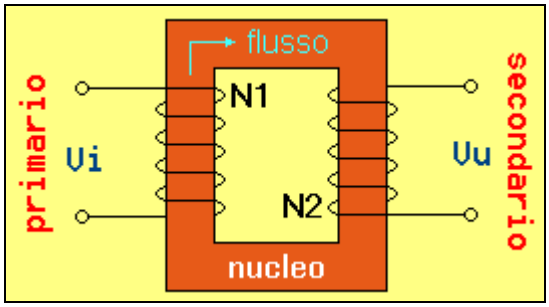
Il trasformatore è una macchina elettrica, statica (perché non contiene parti in movimento) e reversibile, in grado di ridurre o incrementare l'ampiezza di un segnale ricevuto in ingresso.

Il trasformatore basa il suo funzionamento sul fenomeno dell'induzione elettromagnetica. Infatti il circuito di ingresso (**primario**) e quello di uscita (**secondario**) non sono in contatto fisico, ma il primo agisce sul secondo solo tramite il flusso magnetico che genera quando è attraversato dalla corrente.

I due circuiti sono avvolti in spire (avvolgimenti), di numero opportuno, su uno stesso nucleo di materiale ferromagnetico.

L'avvolgimento di ingresso è il circuito induttore, quello di uscita è l'indotto.

La tensione e la corrente in ingresso sul primario generano un campo magnetico, che si trasmette anche sul secondario, dando luogo ad una nuova tensione ed una nuova corrente.



(*Fonte:* http://www.altanet.it/elettro/compo/trasfo.gif)

Tra le caratteristiche dei trasformatori abbiamo:

1. Potenza dissipabile dal secondario
2. Numero di spire nell'avvolgimento del primario (η_1)
3. Numero di spire nell'avvolgimento secondario (η_2)
4. Rapporto di trasformazione

Il **rapporto di trasformazione** è così definito.

$$R_T = \frac{v_o}{v_i}$$

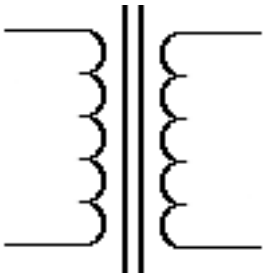
E' inoltre verificata un'importante legge che lega il numero di avvolgimenti e le tensioni di ingresso e uscita.

$$\frac{v_i}{v_o} = \frac{\eta_1}{\eta_2}$$

da cui si ricava che è anche vero che

$$\frac{i_i}{i_o} = \frac{\eta_1}{\eta_2}$$

Esistono due differenti simbologie per indicare un trasformatore.



(*Fonte:* http://it.wikipedia.org/wiki/Immagine:Simbolo-trasformatore.png)

(*Fonte:* http://www.altanet.it/elettro/compo/trasfo3.gif)

In commercio esistono trasformatori in grado di ricevere in ingresso la tensione di rete e di fornire in uscita segnali con valori efficaci pari a 6V, 12V e 24V.

Esistono poi particolari trasformatori: ad esempio ce ne sono alcuni in cui il segnale sul secondario non è prelevato solo alla fine degli avvolgimenti, ma anche a metà, a metà della metà e così via. Così, se il valore del secondario è 24V, è possibile avere contemporaneamente anche i valori di 12V e 6V (prelevando appunto a metà degli avvolgimenti e a metà della metà).

Ci sono anche altri particolari trasformatori chiamati **a presa centrale**, in cui sono disponibili 3 morsetti in uscita: 0, $+V_o$ e $-V_o$.

Va precisato che i valori delle tensioni in uscita sono assicurati in presenza di un carico: se questo non è presente, è possibile ottenere valori leggermente più alti rispetto a quelli previsti. Inoltre i valori specificati si intendono come valori minimi efficaci: ad esempio, prendendo un trasformatore a 12V, sappiamo che l'uscita è pari ad almeno 12V efficaci (quindi un'onda sinusoidale di frequenza 50Hz con valore massimo $12\sqrt{2}$ V) in presenza di un carico.

6. Il Raddrizzatore

La tensione in uscita dal trasformatore ha un'ampiezza minore rispetto al valore della tensione di rete: tuttavia essa è ancora un'onda sinusoidale, di frequenza 50Hz, con valore medio 0.

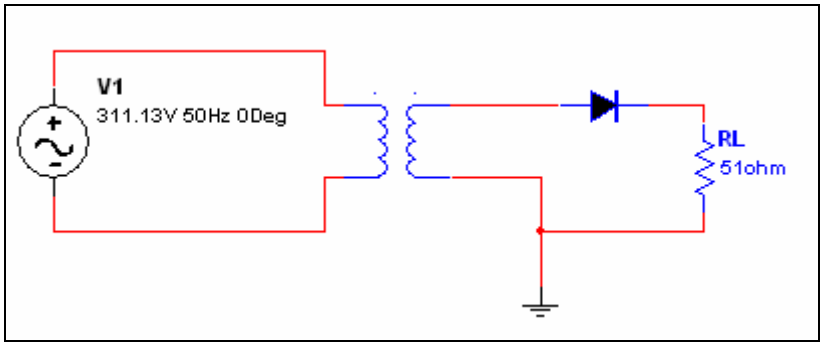
I raddrizzatori, comunemente, sono realizzati mediante l'utilizzo di diodi, disposti in varie modalità. Esistono almeno tre tipi di raddrizzatore:

1. Raddrizzatore a 1 diodo
2. Raddrizzatore a 4 diodi con ponte di Graetz
3. Raddrizzatore a 2 diodi

Il **raddrizzatore ad un diodo** prevede, come si intuisce dal nome, l'aggiunta di un solo diodo, posto tra il segnale di uscita del trasformatore e il carico.

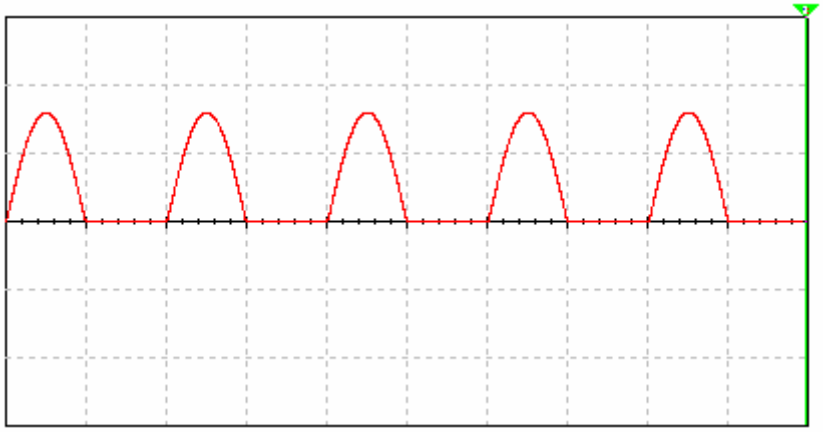
Il segnale di uscita è invariato (a meno di circa 0.7V, la caduta fissa di un diodo) per la parte positiva dell'onda, mentre è nullo per la parte negativa.

Il segnale ottenuto ha frequenza pari a quella originale, ma il valore medio è positivo. Esso è detto *segnale unidirezionale pulsante*. Questo tipo di raddrizzatore è detto anche **raddrizzatore ad una semionda**.



Schema elettrico del raddrizzatore ad un diodo

La forma dell'onda è rappresentata invece dal grafico seguente.



Onda generata dal raddrizzatore ad un diodo

E' possibile calcolare il valore medio dell'onda in modo molto semplice, ricorrendo come sempre al calcolo integrale.

$$V_m = \frac{\int_0^T f(x)dx}{T}$$

L'equazione della nostra curva non ci è però del tutto nota, infatti non conosciamo il valore massimo dell'onda, che dipende dal trasformatore utilizzato. Scriveremo allora che la nostra onda ha equazione

$$y = V_M \sin(100\pi \cdot x)$$

tenendo quindi il parametro dell'ampiezza in forma letterale.

Per calcolare l'integrale, possiamo semplificarci i conti osservando che, nell'intervallo [T/2 , T] l'onda è costantemente a zero, quindi anche l'integrale sarà 0. Possiamo quindi limitare il nostro studio all'intervallo [0, T/2].

$$V_m = \frac{\int_0^{\frac{T}{2}} a\sin(bx)dx}{T} = \frac{\left[-\frac{a}{b}\cos bx\right]_0^{\frac{T}{2}}}{T}$$

sostituendo e sviluppando i conti, si ottiene

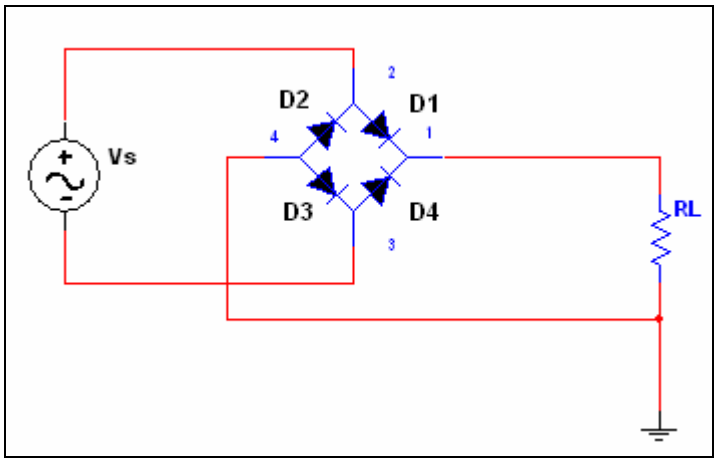
$$V_m = \frac{\left[-\frac{V_M}{100\pi}\cos(100\pi \cdot x)\right]_0^{\frac{0.02}{2}}}{0.02} = \frac{-\frac{V_M}{100\pi}\left((\cos\pi)-(\cos 0)\right)}{0.02} = \frac{-\frac{V_M}{100\pi}(-1-1)}{0.02} =$$
$$= \frac{2V_M}{100\pi \cdot 0.02} = \frac{V_M}{\pi}$$

Ricordando appunto che la caduta su un diodo è circa 0.7V, il valore di V_M è pari a

$$V_M = V_s\sqrt{2} - V_D$$

dove V_S è il valore efficace dichiarato per il trasformatore, e V_D è la caduta su un diodo.

Il secondo tipo di raddrizzatore, forse il più comune e conosciuto, è quello che prevede l'utilizzo di 4 diodi in configurazione a **ponte di Graetz**.

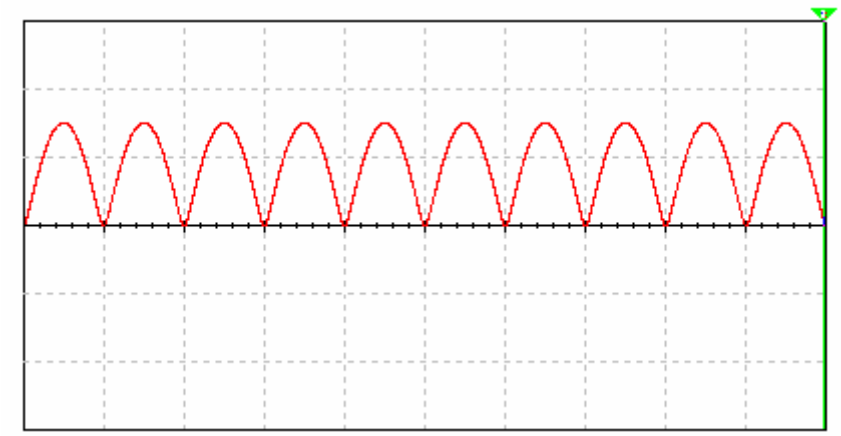


Schema elettrico del raddrizzatore a 4 diodi in ponte di Graetz

I diodi vanno in conduzione a due a due, a seconda che l'onda si trovi in fase positiva o negativa: nel primo caso il segnale in ingresso è positivo, quindi entrano in conduzione D1 e D3.

Nel caso dell'onda negativa, saranno invece D4 e D2 a essere in conduzione.

In questo modo si ha l'effetto che sul carico è applicata sempre un'onda positiva, di frequenza doppia rispetto all'originale.


Onda generata con raddrizzatore a 4 diodi in ponte di Graetz

Il fatto che la parte negativa dell'onda sia convertita in positiva ha appunto l'effetto di rendere doppia la frequenza rispetto a quella originale. Il raddrizzatore è detto anche **a doppia semionda**.

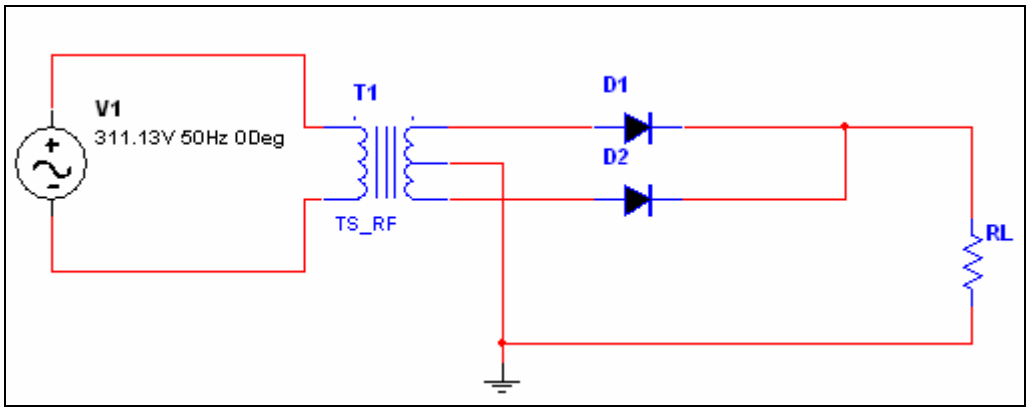
Intuitivamente, il valore medio di quest'onda è esattamente doppio rispetto a quello ottenuto con un solo diodo.

$$V_m = 2\frac{V_M}{\pi}$$

Anche in questo caso va fatta un'osservazione riguardante il valore di picco della tensione. Con questo raddrizzatore, sono sempre due diodi ad entrare in conduzione, quindi il valore massimo sarà quello del secondario a meno della caduta su due diodi.

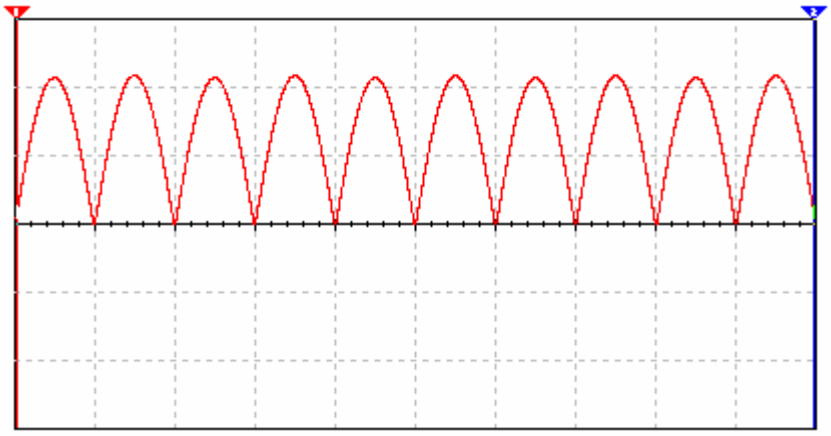
$$V_M = V_s\sqrt{2} - 2 \cdot V_D$$

Esiste anche un terzo tipo di raddrizzatore, a **2 diodi**, utilizzabile nel caso si stia lavorando con un trasformatore a presa centrale.



Onda generata con raddrizzatore a 2 diodi

In questo tipo di raddrizzatore, uno solo dei due diodi entra in conduzione, a seconda che la tensione sia positiva (D1) o negativa (D2). La tensione applicata al carico sarà comunque sempre positiva e la frequenza del segnale risulterà doppia rispetto a quella originale.



Onda generata con raddrizzatore a 2 diodi

Come nel caso precedente, avremo che

$$V_m = 2\frac{V_M}{\pi}$$

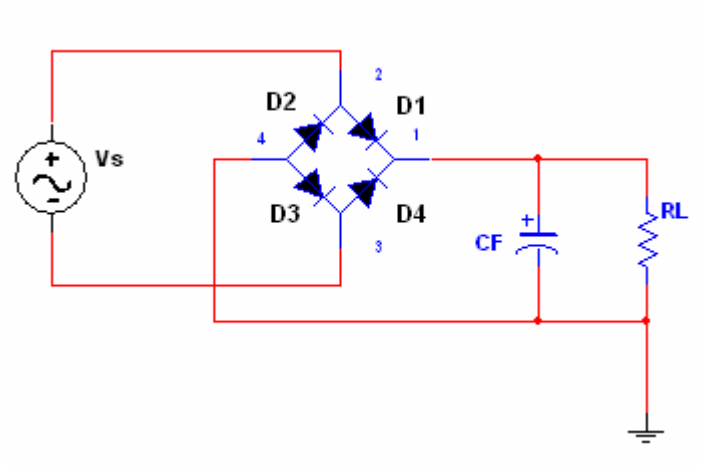
Tuttavia, nell'analisi del valore massimo, dobbiamo ricordare che c'è sempre 1 solo diodo in conduzione, quindi questo valore sarà il valore massimo in uscita sul secondario del trasformatore a meno della caduta su un diodo.

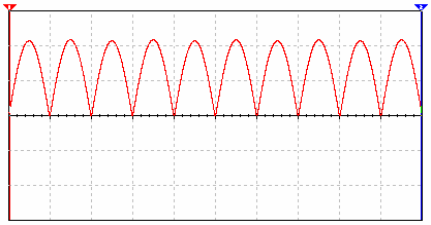
$$V_M = V_s\sqrt{2} - V_D$$

7. Filtro

All'uscita del raddrizzatore abbiamo un segnale con valore medio non nullo, ma esso è ancora molto lontano dall'essere continuo. Una prima approssimazione del risultato voluto si ottiene con un filtro, nel nostro caso di tipo **capacitivo**. Esso è infatti formato da un semplice condensatore che, se opportunamente dimensionato, rende la tensione in uscita ai suoi capi molto meno variabile rispetto a quella che ottenevamo utilizzando semplicemente un raddrizzatore.

Per ottenere questo risultato è sufficiente porre un condensatore (di solito elettrolitico, visto che, come vedremo, sono richieste capacità elevate) in parallelo al carico.





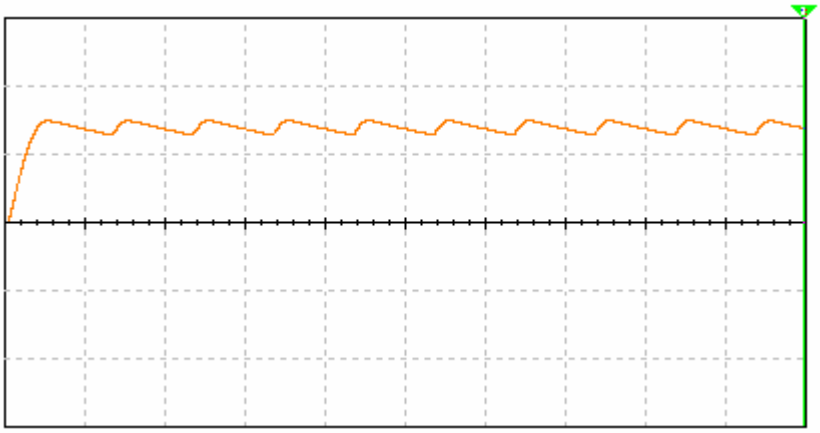
Per analizzare il circuito partiamo dalla situazione precedente, quella senza filtro. In questo caso l'uscita è formata da un segnale pulsante sempre positivo.

Finché il segnale continua a crescere, esso fornirà la tensione necessaria a caricare il condensatore.

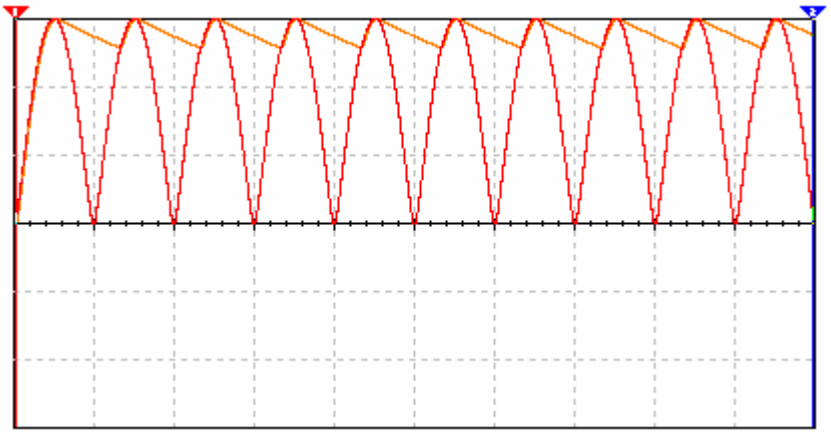
Quando questo inizia a scendere, il condensatore non potrà più caricarsi, ma anzi fornirà lui una tensione al carico, scaricandosi verso massa.

Nel momento in cui la tensione fornita dal raddrizzatore supera quella fornita dal condensatore, quest'ultimo riprenderà a caricarsi.

Il risultato è un segnale meno variabile di quello precedente, sempre positivo.



Per capire meglio il funzionamento del filtro si possono sovrapporre i grafici del raddrizzatore e quello del filtro.



Come si vede, quando il segnale del raddrizzatore è maggiore della tensione ai capi del condensatore, quest'ultimo si carica, quando è minore il condensatore si comporta invece da generatore fornendo tensione al carico, mentre si scarica verso massa.

Il segnale di uscita sul filtro ha alcune caratteristiche degne di nota:

- La frequenza di uscita è uguale a quella di ingresso.
- Il segnale varia tra V_{max} e V_{min}, dove V_{max} è il valore massimo in uscita dal raddrizzatore. La differenza tra queste due tensioni è detta **tensione di Ripple**, indicata come V_{RPP}.

$$V_{RPP} = V_{\max} - V_{\min}$$

Se la tolleranza richiesta per l'alimentatore è elevata, questo segnale può essere già considerato sufficiente: in questo caso si parla di **alimentatore non stabilizzato**.

Nel caso in cui sia necessaria maggiore precisione, si provvede all'aggiunta di uno stabilizzatore, una rete in grado di rendere ancora meno variabile il segnale di uscita.

E' possibile dimostrare che sussiste una relazione matematica che permette di calcolare il valore del condensatore di filtro.

$$C_F = \frac{I_{L_{MAX}}}{f \cdot V_{RPP}}$$

I => Corrente massima prevista sul carico
V_{RPP} => Tensione di Ripple
f => Frequenza del segnale di ingresso

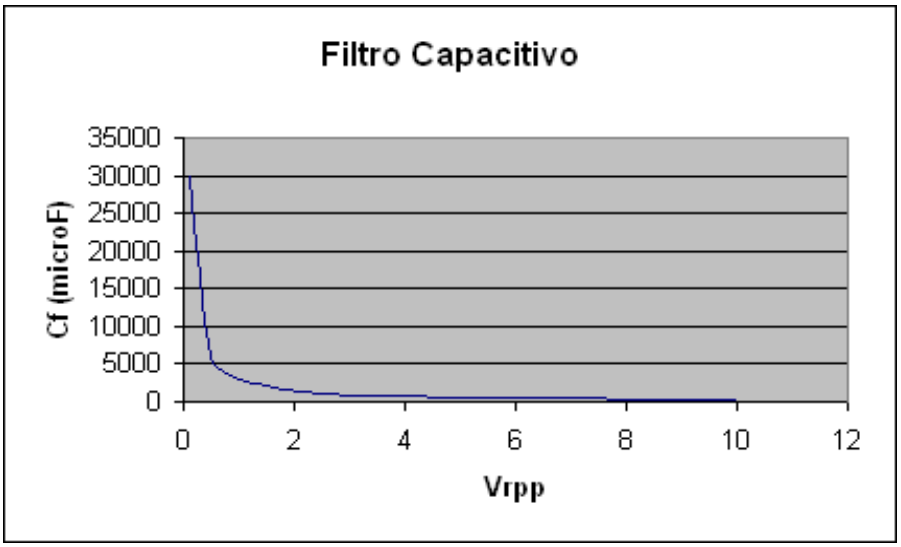
Sul valore di f è bene prestare attenzione, perché la frequenza interessata è quella di ingresso al filtro. Utilizzando un raddrizzatore a due diodi o con ponte di Graets, questo valore sarà 100Hz (2 *

frequenza del segnale di rete). Utilizzando invece il raddrizzatore ad un diodo, il valore di *f* rimane 50Hz. Per averne la conferma basta osservare le forme dei diversi segnali di uscita sui raddrizzatori.

Va notato subito che, al diminuire della tensione di Ripple (all'aumentare quindi della stabilità del segnale) il condensatore di filtro aumenta.

IMAX	0,3 A
f	100 Hz

Vrpp (V)	Cf (microF)
0,1	30000
0,5	6000
1	3000
1,25	2400
2,5	1200
3,75	800
5	600
10	300



Come si nota, al diminuire della precisione richiesta anche la capacità (e conseguentemente la dimensione) del condensatore di filtro diminuisce.

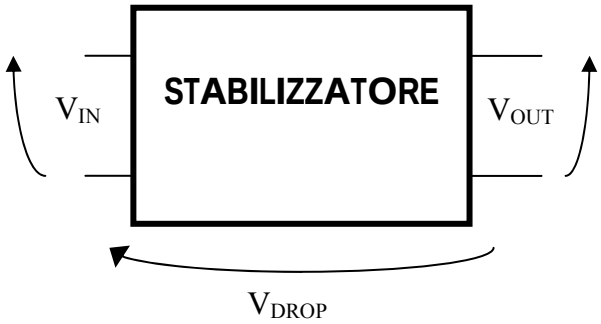
8. Stabilizzatori

Lo stabilizzatore è una rete elettrica in grado di rendere continuo un segnale di ingresso variabile, ma comunque superiore a quello previsto in uscita. E' possibile creare i propri stabilizzatori oppure utilizzare quelli integrati disponibili in commercio.

Generalmente, ogni stabilizzatore prevede in ingresso una tensione superiore di circa 3V rispetto all'uscita prevista.

Rimanendo all'interno del nostro progetto, è fondamentale che l'onda generata dal filtro abbia un valore minimo comunque superiore di 3V rispetto al valore previsto in uscita dall'alimentatore.

$$V_{\min} \geq V_{out} + 3$$



La V_{DROP} è definita come la differenza tra la tensione di ingresso e la tensione di uscita, ed indica, in pratica, la tensione che cade sul dispositivo (e la relativa potenza da dissipare).

Come detto, deve essere

$$V_{drop} \geq 3\,\mathrm{V}$$

Un parametro importante nello studio e nell'utilizzo degli stabilizzatori è la **potenza dissipabile**, che indica il valore massimo che è in grado di dissipare lo stabilizzatore prima di rompersi.

La potenza dissipata dal dissipatore è ovviamente

$$P_{diss} = V_{drop} \cdot I_{out}$$

Il valore massimo della potenza dissipabile dipende dalla circuiteria utilizzata per la costruzione del dissipatore, e dal contenitore utilizzato nel caso di stabilizzatori integrati.

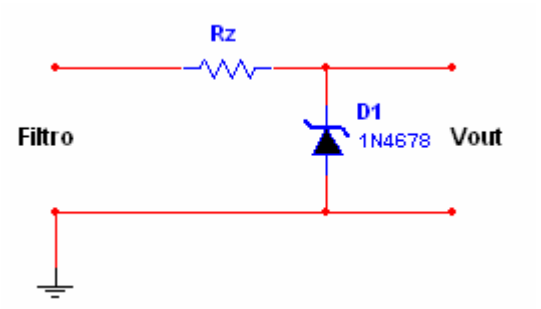
Altra caratteristica importante è la **corrente assorbita** dal dispositivo, che deve essere la più bassa possibile (ossia, la corrente che entra nel dispositivo deve essere circa uguale a quella che ne esce). Ne consegue appunto che, se la corrente rimane uguale ma la tensione diminuisce, anche la potenza diminuisce, e quella in eccesso ($V_{DROP} \bullet I_{OUT}$) deve essere dissipata.

Un primo esempio di stabilizzatore può essere un semplice **diodo Zener**. Questo componente discreto si comporta come un normale diodo, con la particolarità che riesce a funzionare correttamente anche quando è polarizzato inversamente, e lavora in breakdown: in questa modalità la caduta ai suoi capi è abbastanza costante, ed esistono Zener che hanno cadute di tensione con vari valori. Nella pratica il funzionamento dello Zener non è perfettamente lineare (la sua caratteristica è leggermente inclinata), quindi la sua applicazione come stabilizzatore non è generalmente sufficiente.

Generalmente, si utilizza semplicemente ponendolo in parallelo al filtro ed al carico. Lo studio del valore dello Zener e della resistenza (che deve limitare la corrente in circolo) deve essere fatto con elevata precisione, per evitare la rottura dei componenti.

Studio dello Zener a vuoto

In questo studio verifichiamo quali valori devono avere i componenti del circuito quando al nostro alimentatore non è applicato alcun carico.

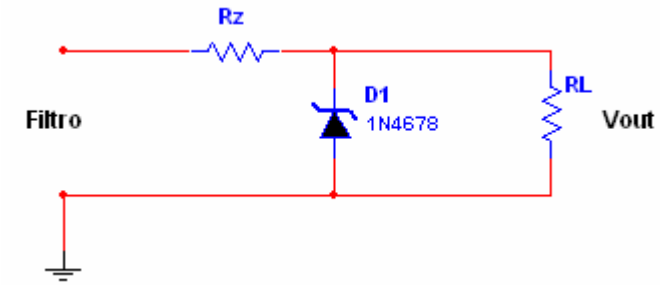


Lo Zener ha una tensione Vz, ossia la caduta fissa che si ha quando esso lavora in breakdown. Inoltre esso richiede una corrente di almeno Iz A per poter funzionare correttamente. In questo caso abbiamo che

$$V_{IN} = R_Z \cdot I_{RZ} + V_Z$$
$$V_{OUT} = V_Z$$

Studio dello Zener con carico

Vediamo ora cosa succede aggiungendo un carico, che richiede una corrente I_O al nostro alimentatore.



Utilizzando sempre le leggi di Kirchhoff, abbiamo

$$I_{RZ} = I_Z + I_O$$
$$V_{OUT} = V_Z$$
$$V_{IN} = R_Z \cdot I_{RZ} + V_Z$$

In pratica, abbiamo che con un carico la corrente I_{RZ} si deve dividere tra lo Zener (che ne richiede almeno 10mA, di solito) e il carico.

Ne consegue che la resistenza va dimensionata in modo da farsi attraversare da una corrente uguale alla somma della corrente richiesta dal carico più i 10mA dello Zener.

$$R_Z = \frac{V_{RZ}}{I_{RZ}} = \frac{V_{IN} - V_Z}{I_Z + I_O}$$

L'ultima questione, importante, è quella sulla potenza dello Zener: quando l'alimentatore funziona a vuoto, la corrente che normalmente è richiesta dal carico viene completamente assorbita dallo Zener. Ne consegue che lo Zener deve avere una potenza di almeno

$$P_Z \geq V_Z \cdot I_{ZZ} = V_{OUT}\left(I_O + I_Z\right)$$

La potenza della resistenza è invece

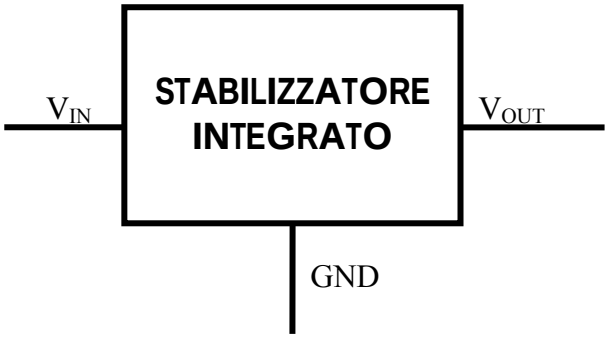
$$P_Z \geq V_{RZ} \cdot I_{RZ} = \left(V_{IN} - V_Z\right)\left(I_O + I_Z\right)$$

Come detto, lo stabilizzatore che utilizza solo lo Zener non è sufficientemente preciso: gli stabilizzatori più precisi, generalmente, si servono di informazioni di feedback ricavate dal confronto con piccole tensioni di riferimento (**voltage reference**) e utilizzano le caratteristiche di trasferimento dei transistor per aumentare o diminuire la tensione in uscita.

Tuttavia, l'analisi di questi stabilizzatori non è nel nostro intento, visto che per la prova ci siamo serviti esclusivamente di stabilizzatori integrati.

9. Stabilizzatori Integrati

Lo stabilizzatore integrato si presenta come un contenitore a 3 pin: ingresso, uscita, scarico verso massa.



Sul datasheet dei componenti si trovano tutte le caratteristiche termico – elettriche per il corretto utilizzo.

Gli integrati più diffusi in commercio sono i seguenti:

	Uscita Fissa	Uscita Variabile
Tensione positiva	78xx	LM317
Tensione negativa	79xx	LM337

Gli stabilizzatori ad uscita fissa sono quelli in cui è il costruttore a decidere quale sarà l'uscita, quindi chi lo utilizza non potrà modificare questo valore (ad esempio, utilizzando il 7805 avremo sempre l'uscita a 5V).

Negli stabilizzatori variabili, invece, è possibile scegliere il valore dell'uscita in base al valore di alcune resistenze che vanno inserite nel montaggio dello stabilizzatore.

L'utilizzo di stabilizzatori integrati ha diversi vantaggi, quali:

- Costi generalmente più ridotti
- Prestazioni elevate
- Risparmio fisico di spazio
- Protezioni dai corto – circuiti

Gli stabilizzatori hanno diverse caratteristiche a seconda di questi due parametri:

- Destinazione
- Contenitore

La **destinazione** indica l'utilizzatore a cui è rivolto lo stabilizzatore:

- Commerciale
- Industriale
- Militare

Ciò che varia è la temperatura di lavoro dello stabilizzatore (e, ovviamente, il costo).

Il **contenitore**, invece, ci fornisce importanti informazioni, quali la massima corrente erogabile dallo stabilizzatore, la massima potenza dissipabile e così via.

Contenitori in commercio	
Immagine	**Nome**
	TO92
	TO220
	TO3P
	TO126
	TO237
	TO3
	TO18
	TO39
	TO72
	TO254
Fonte: http://www.topline.tv/TO.html	

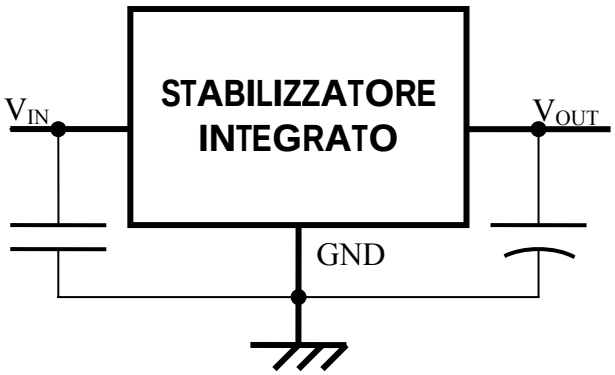
I contenitori più usati per gli stabilizzatori sono:

- TO-3 (K)
- TO-220 (T)
- TO-92 (L)

La lettera tra parentesi è l'identificativo del componente ed è riportata nella sigla dello stabilizzatore (ad esempio, il 7805T indica il 7805 in TO-220).

Una precisazione importante sugli stabilizzatori è quella che riguarda i **condensatori** che devono essere aggiunti per una maggiore stabilità del sistema: nel caso non fossero specificati i valori sul datasheet del componente utilizzato, i valori standard sono:

- Condensatore ceramico da 100nF tra l'ingresso e massa
- Condensatore elettrolitico da 1µF tra l'uscita e massa

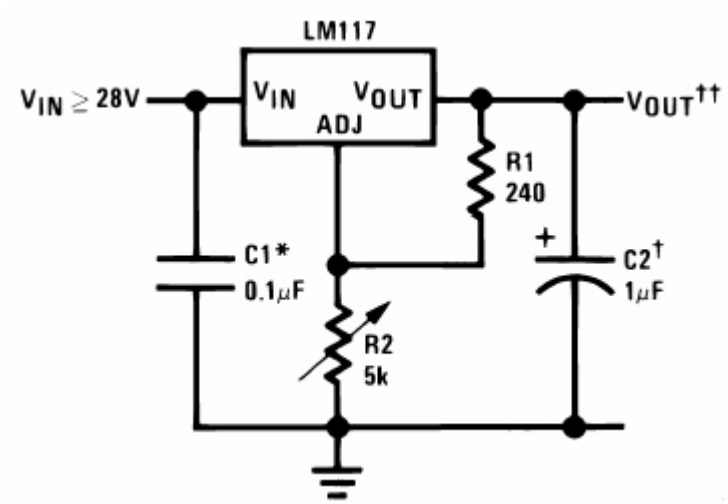


Va precisato che spesso viene posto un diodo di protezione tra l'ingresso e l'uscita dello stabilizzatore: in questo modo si previene il fatto che eventuali tensioni e correnti nel verso sbagliato possano danneggiare il dispositivo. E' chiaro che questi diodi saranno polarizzati in modo opposto rispetto al normale andamento della corrente, altrimenti corto-circuiterebbero lo stabilizzatore.

10. Stabilizzatori ad uscita variabile

Il montaggio di stabilizzatori ad uscita fissa non comporta alcun problema, basta aggiungere i condensatori per la maggiore stabilità e tutto funziona senza problemi (salvo problemi di dissipazione, si intende). Per gli stabilizzatori ad uscita variabile, invece, è necessaria una fase di progettazione, che richiede il dimensionamento di una resistenza.

Sul datasheet dell'LM117 è riportato il seguente schema:



E' inoltre mostrata la formula che lega input, output e parametri del sistema:

$$V_{OUT} = 1.25V\left(1+\frac{R2}{R1}\right) + I_{ADJ} \cdot R2$$

Questo integrato può fornire tensioni di uscita che variano da 1.25V a 25V.

Osserviamo la formula: precisiamo che, per la maggior parte delle applicazioni, il secondo addendo del secondo membro può essere considerato nullo, visto che la I_{ADJ} (corrente assorbita dal dispositivo) è molto bassa e quindi trascurabile per la maggior parte della applicazioni.

Lasciando i parametri forniti dallo schematico, otteniamo l'uscita che varia in tutto il range possibile.

Se vogliamo una tensione di uscita che vari da 1.25V a V_{MAX}, è necessario dimensionare correttamente il valore del trimmer. Si tratta di lasciare invariata R1 (240Ω) e ricavare la R2.

Discorso diverso riguarda invece la generazione di un'uscita che varia tra V_{MIN} e V_{MAX}, dove ovviamente sono rispettate le condizioni

$$\begin{cases} V_{MIN} \leq V_{OUT} \leq V_{MIN} \\ V_{MIN} \in [1.25,25] \\ V_{MAX} \in [1.25,25] \end{cases}$$

In questo caso è necessario "spezzare" il trimmer in una resistenza fissa e un trimmer: in questo modo otteniamo due equazioni distinte:

$$V_{OUT} = 1.25V\left(1 + \frac{R2_{trimmer} + R2_{fissa}}{R1}\right) + I_{ADJ} \cdot R2$$

utilizzata per determinare la V_{MAX}, e

$$V_{OUT} = 1.25V\left(1 + \frac{R2_{fissa}}{R1}\right) + I_{ADJ} \cdot R2$$

utilizzata per la V_{MIN}.

Per convincersi della validità delle formule, è sufficiente pensare che la resistenza fissa agirà sempre, mentre il trimmer viene fatto agire del tutto (uscita massima) o non viene fatto agire per niente (uscita minima, dettata comunque dalla resistenza fissa che non può essere posta uguale a zero).

Nella pratica può essere difficile trovare resistenze o trimmer commerciali con valori molto precisi: si è soliti quindi creare delle reti resistive appropriate, che permettano di ottenere le resistenze equivalenti volute. Una nuova resistenza R_{par} può essere posta in parallelo alla serie R2 (trimmer e fissa) per ottenere nuovi valori equivalenti da sostituire nella formula della tensione di uscita. A seconda del progetto a cui si sta lavorando, il progettista valuterà l'eventualità della creazione della rete.

11. Dissipazione

Quando si lavora con gli alimentatori è molto importante analizzare e risolvere in modo appropriato il problema termico: se la potenza che i dispositivi devono dissipare è troppo elevata, si rischia la rottura dell'intero sistema. Per questo motivo è importante valutare l'inserimento di un dissipatore.

Esiste una analogia tra grandezze elettriche e grandezze termiche:

R → Resistenza termina (Rth)
ΔV_{AB} → Differenza di temperatura tra i punti A e B (ΔT_{AB})
I → Potenza da dissipare (P_D)

Da queste analogie si deducono le leggi della termica

$V = RI$ → $T = Rth \bullet P_D$
$\Delta V_{AB} = V_A - V_B$ → $\Delta T_{AB} = T_A - T_B$

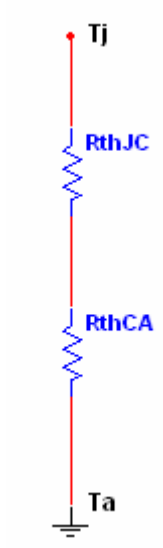
La resistenza termina indica la capacità di disperdere temperatura nell'ambiente. Tanto più questo valore è basso, tanto più la temperatura potrà essere dispersa.

In un normale dissipatore, la potenza da dissipare parte dalla giunzione e arriva fino all'ambiente, passando per il case (contenitore) del componente.

A questo punto è facile ricavare l'equazione che lega tutti questi parametri:

$$T_J - T_A = Rth_{J-A} \cdot P_D$$

ed il circuito analogo



E' evidente che

$$Rth_{J-A} = Rth_{J-C} + Rth_{C-A}$$

A questo punto è necessario trovare il valore di tutti questi parametri: generalmente essi dipendono dal tipo di contenitore e dalla destinazione dello stabilizzatore (commerciale, industriale, militare).

In genere si ha

$$T_J \cong 150°C$$

La temperatura ambiente è intesa come quella massima di funzionamento del nostro dispositivo. Generalmente si vuole che esso funzioni fino ad almeno 40°C/W (temperatura difficilmente superata in Europa).

$$T_A \geq 40°C$$

Per i contenitori TO-3 e TO-220 si hanno inoltre questi valori

Parametro	TO-3	TO-220
Rth_{JC}	4°C/W	4°C/W
Rth_{CA}	35°C/W	50°C/W

Utilizzando questi valori, è facile ricavare la potenza dissipabile dai due contenitori.

Contenitore TO-3

$$T_J - T_A = (Rth_{J-C} + Rth_{C-A})P_D$$

$$150\frac{°C}{W} - 40\frac{°C}{W} = \left(4\frac{°C}{W} + 35\frac{°C}{W}\right)P_D$$

$$110\frac{°C}{W} = 39\frac{°C}{W} \cdot P_D$$

$$P_D = \frac{110\frac{°C}{W}}{39\frac{°C}{W}} = \frac{110}{39}W \cong 2.82W$$

Abbiamo quindi dimostrato che, con un contenitore TO-3, possiamo dissipare una potenza massima di 2.82W.

Contenitore TO-220

$$T_J - T_A = (Rth_{J-C} + Rth_{C-A})P_D$$

$$150\frac{°C}{W} - 40\frac{°C}{W} = \left(4\frac{°C}{W} + 50\frac{°C}{W}\right)P_D$$

$$110\frac{°C}{W} = 54\frac{°C}{W} \cdot P_D$$

$$P_D = \frac{110\frac{°C}{W}}{54\frac{°C}{W}} = \frac{110}{54}W \cong 2.04W$$

Abbiamo quindi dimostrato che, con un contenitore TO-3, possiamo dissipare una potenza massima di 2.04W.

Ricordando che

$$P_{diss} = V_{drop} \cdot I_{out}$$

ricaviamo che, nella migliore delle ipotesi (V_{DROP} = 3V, contenitore TO-3), la corrente massima che possiamo fornire senza rischi per il nostro sistema è:

$$I_{out} \leq \frac{P_{diss}}{V_{drop}} = \frac{2.82W}{3V} = 940mA$$

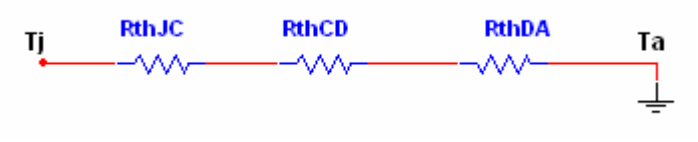
12. Dissipatori

Quando necessitiamo di disperdere una quantità elevata di potenza, non dissipabile con i metodi prima mostrati, è necessario aggiungere un dispositivo chiamato dissipatore.

I dissipatori sfruttano i fenomeni della convezione e dell'irradiamento per disperdere nell'ambiente il calore.

Sono costruiti in alluminio e quindi verniciati per aumentare l'irradiamento del calore. Inoltre i costruttori raccomandano di montarli in posizione eretta e non in posizione verticale: questo perché l'aria calda si muove con traiettoria verticale dal basso verso l'alto, e montando il dissipatore in posizione eretta si facilita questo movimento.

Dal punto di vista dei calcoli, il dissipatore fa sì che la temperatura che arriva al case non debba essere smaltita direttamente nell'ambiente, ma debba passare dal dissipatore e solo alla fine all'ambiente. Avremo quindi una nuova relazione ed un nuovo circuito equivalente.



$$Rth_{J-A} = Rth_{J-C} + Rth_{C-D} + Rth_{D-A}$$

La resistenza termica tra case e dissipatore dipende dal tipo di connessione che viene realizzata tra lo stabilizzatore e il dissipatore.

Generalmente si stende uno strato di grasso tra i due dispositivi, per migliorare la dispersione del calore (la resistenza termica viene dimezzata).

Nel caso fosse necessario, si può porre inoltre un foglio di mica isolante, per evitare corti circuiti o disturbi elettrici.

La tabella seguente mostra i valori tipici della resistenza termica tra case e dissipatore nelle varie condizioni:

Contenitore	Metallo - Metallo		Isolante Mica	
	Diretto	Con grasso	Diretto	Con grasso
TO-3	0.05 - 0.02	0.005 - 0.1	0.5 - 0.8	0.3 - 0.4
TO-220	1.2 - 2	0.60 - 1.2	3 - 3.5	2.1 - 2.6

(Fonte: http://www.dei.unipd.it/~ieeesb/journal/num6/pag4.html)

A questo punto si può risolvere la classica equazione

$$T_J - T_A = Rth_{J-A} \cdot P_D$$

per determinare il valore **massimo** della resistenza termina tra dissipatore ed ambiente.

$$Rth_{D-A} \leq \frac{T_J - T_A}{P_D} - Rth_{JC} - Rth_{CD}$$

Trovato questo valore, si va a cercare in commercio un dissipatore con quella resistenza termica e, naturalmente, con la forma tale da supportare la connessione con il contenitore del nostro stabilizzatore.

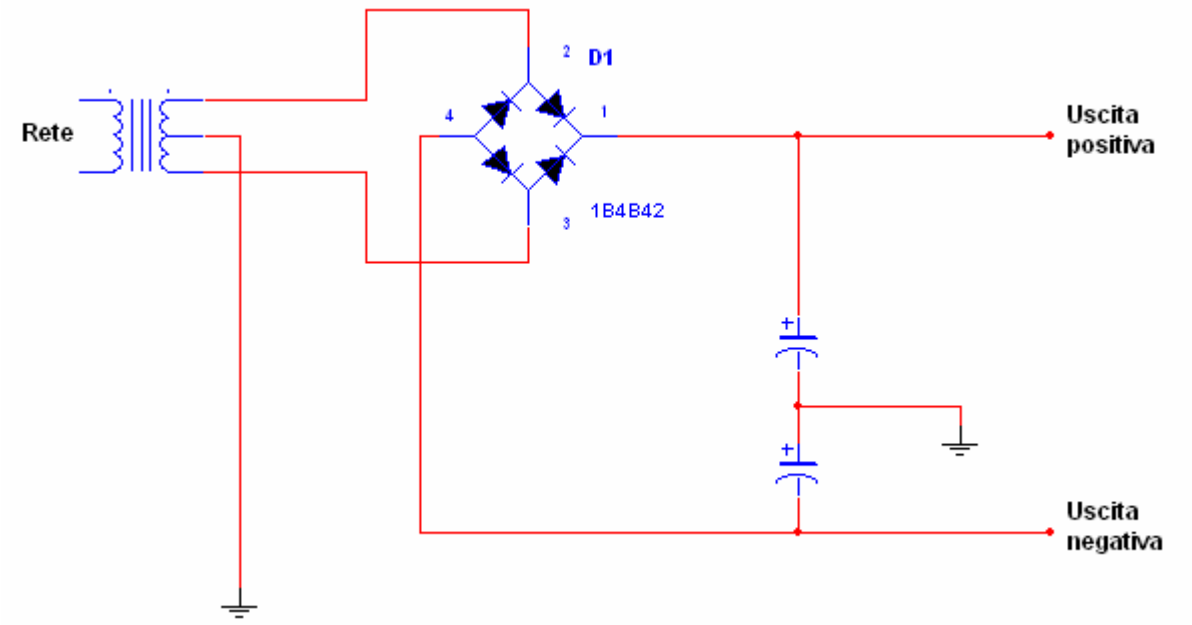
Va precisato che, al diminuire della resistenza termina, aumenta la dimensione fisica (ed il costo) del dissipatore.

13. Alimentatori positivi e negativi

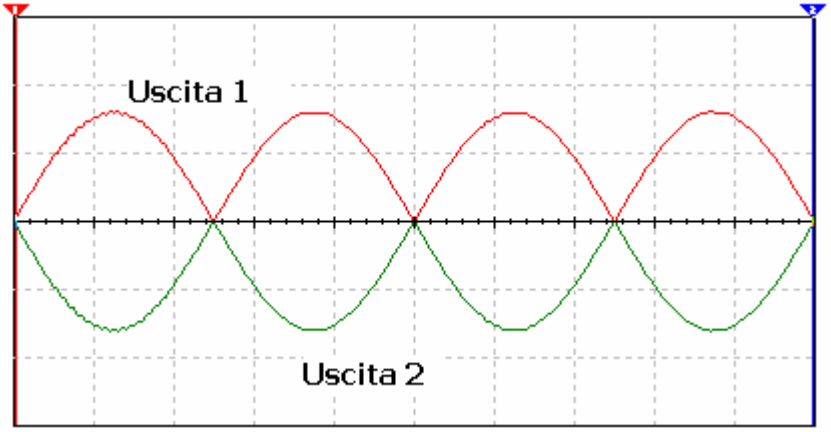
Dal punto di vista progettuale, si hanno poche differenze per la creazione di un alimentatore con uscita negativa: è sufficiente invertire la polarità delle uscite dal ponte di Graetz e conseguentemente variare l'orientamento dei condensatori elettrolitici.

Se si dispone di un trasformatore a presa centrale, inoltre, è possibile rendere disponibili due uscite: una negativa e una positiva.

Il circuito per ottenere l'effetto desiderato è il seguente:



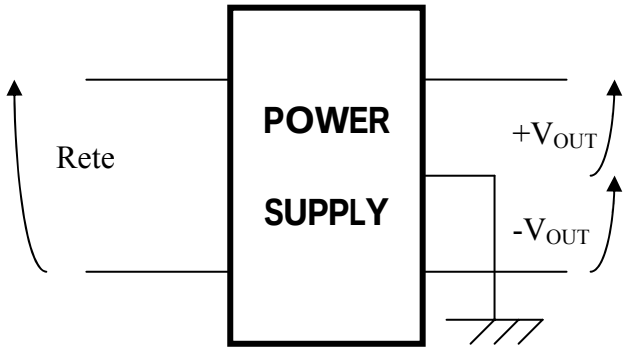
Collegando infatti le uscite del trasformatore al ponte di Graetz, avremo un segnale unidirezionale da entrambi i pin di uscita: in uno un segnale positivo, negativo nell'altro.



Parte pratica

Progetto assegnato

Il progetto studiato e realizzato durante la prova è la creazione di un alimentatore stabilizzato di tensione costante, con due uscite, una positiva ed una negativa.



Caratteristiche prestazionali desiderate			
Parametro / Uscita	**Tensione** (V)	**Tolleranza** (%)	**Corrente Max** (mA)
Uscita positiva	5 – 15	±5	600
Uscita negativa	-15	±5	80

Simulazioni degli utilizzatori

Per simulare gli utilizzatori ci serviamo di normali resistenze variabili, che assumono nomi diversi a seconda della potenza: dal piccolo trimmer, al potenziometro fino ad arrivare ai reostati che hanno una potenza di parecchi Watt.
Per determinare il valore Ohmico del carico ricorriamo banalmente alla legge di Ohm.

$$R = \frac{V}{I}$$

Parte 1: Scelte comuni al progetto

Come detto, per creare un alimentatore con uscita sia positiva che negativa ci serviamo di un solo trasformatore a presa centrale. Tuttavia dobbiamo calcolare la tensione richiesta alla sua uscita, in modo che sia sufficiente per entrambe le parti del circuito.

Notiamo subito che il valore massimo in uscita +15V (o -15V, ma il discorso è analogo), quindi dobbiamo garantire 18V in entrata agli stabilizzatori.

Utilizzando una trasformatore da 15V efficaci, avremo un'uscita massima di

$$V_S = 15V\sqrt{2} \cong 21.21V$$

più che sufficienti per garantire 18V in entrata allo stabilizzatore (l'unica caduta in più sarà quella sul ponte di Graetz).

Considerando l'utilizzo di un ponte, avremo una caduta di 1.4V (visto che vengono attraversati due diodi da 0.7V l'uno).

Abbiamo quindi:

$$V_S - 2V_D - V_{RPP} = V_{MIN}$$

Dove

Vs → Tensione di uscita del secondario del trasformatore
Vrpp → Tensione di Ripple del filtro
Vd → Caduta su un diodo
Vmin → Tensione minima in ingresso allo stabilizzatore

Dalla formula si ricava che:

$$V_{RPP} = V_S - 2V_D - V_{MIN} =$$
$$= 21.2V - 1.4V - 18V = 1.8V$$

Quindi la tensione di Ripple del filtro deve essere 1.8V.

Possiamo inoltre ricavare la tensione massima che avremo dopo il ponte:

$$V_{MAX} = V_S - 2V_D = 21.21V - 1.4V = 19.81V$$

Parte 2: Uscita Positiva

Le specifiche del progetto dicono che l'uscita positiva dovrà essere variabile tra +5V e +15V (il valore sarà settato per mezzo di un trimmer), con una corrente massima di 600mA.

Utilizzando queste informazioni e i dati ricavati in precedenza, possiamo passare al calcolo del filtro:

$$C = \frac{I_{MAX}}{2f \cdot V_{RPP}} = \frac{600mA}{100Hz \cdot 1.8V} \cong 3333\mu F$$

Considerando le tolleranze dei condensatori commerciali, ho scelto quello da 3300µF. Con questo condensatore otteniamo:

$$C = \frac{I_{MAX}}{2f \cdot V_{RPP}} \Rightarrow V_{RPP} = \frac{I_{MAX}}{2f \cdot C} = \frac{600mA}{100Hz \cdot 3300\mu F} \cong 1.82V$$
$$V_{MIN} = 21.21V - 1.4V - 1.82V = 17.99V$$

Come detto, considerando le tolleranze dei componenti commerciali (fino al 20% per i condensatori), ho deciso di utilizzare comunque questo filtro.

A questo punto passiamo ai calcoli necessari per lo stabilizzatore, partendo dalla massima potenza che sarà necessario dissipare (nel caso peggiore).

Il caso peggiore è quando l'ingresso è massimo (19.81V) e l'uscita minima (5V): in questo caso abbiamo una

$$V_{DROP} = 19.81V - 5V = 14.81V$$

Se ne ricava che la potenza da dissipare nel caso peggiore è

$$P_{DISS} = V_{DROP} \cdot I_{MAX} = 14.81V \cdot 600mA = 8.89W$$

La potenza da dissipare è molto elevata: in precedenza avevamo ricavato che la massima potenza dissipabile, pur utilizzando un contenitore di tipo TO-3, è 2.82W, decisamente inferiore a quella che dobbiamo dissipare. E' necessario quindi l'ausilio di un dissipatore.

Ricaviamo innanzitutto la resistenza termica totale, tra giunzione e ambiente.

$$T_J - T_A = Rth_{J-A} \cdot P_D$$
$$150°C - 40°C = Rth_{J-A} \cdot 8.89W$$
$$Rth_{J-A} = \frac{110°C}{8.89W} \cong 12.37\frac{°C}{W}$$

Supponendo di collegare il dissipatore senza isolante ma con il grasso, avremo che il valore della resistenza termica del dissipatore è

$$Rth_{D-A} \leq \frac{T_J - T_A}{P_D} - Rth_{JC} - Rth_{CD}$$

$$Rth_{D-A} \leq 12.37\frac{°C}{W} - 2.3\frac{°C}{W} - 0.1\frac{°C}{W} = 9.97\frac{°C}{W}$$

Sul mercato è disponibile il dissipatore **ML16**, che ha una resistenza termina di 7.7°C/W: un ottimo valore per il progetto.

L'ultima questione da risolvere è il dimensionamento delle resistenze per lo stabilizzatore utilizzato (LM117). Il valore di R1 è consigliato dal costruttore (240Ω), mentre il calcolo di R2 deve essere spezzato in un trimmer e una resistenza, visto che la tensione deve essere compresa tra 5V e 15V.

$$V_{MIN} = 1.25V\left(1 + \frac{R2_{fissa}}{R1}\right)$$

$$5V = 1.25V\left(1 + \frac{R2_{fissa}}{240\Omega}\right)$$

$$R2_{fissa} = \frac{3.75}{1.25}240\Omega = 720\Omega$$

Utilizzando le resistenze della serie E-24 (resistenze di precisione, con tolleranza 1%), è possibile ottenere il valore desiderato.

$$V_{MAX} = 1.25V\left(1 + \frac{R2_{fissa} + R2_{trimmer}}{R1}\right)$$

$$15V = 1.25V\left(1 + \frac{720\Omega + R2_{trimmer}}{240\Omega}\right)$$

$$R2_{trimmer} = \frac{13.75}{1.25}240\Omega - 720\Omega = 1920\Omega$$

Il trimmer commerciale con valore più vicino a quello desiderato è quello da 2kΩ. Del resto, in questo caso, nel caso peggiore la nostra uscita sarà:

$$V_{MAX} = 1.25V\left(1 + \frac{R2_{fissa} + R2_{trimmer}}{R1}\right) =$$

$$= 1.25V\left(1 + \frac{720\Omega + 2000\Omega}{240\Omega}\right) = 1.25V\left(1 + \frac{2720}{240}\right) =$$

$$= 1.25V \cdot 12.33 = 15.42V$$

Considerando che nelle specifiche del progetto abbiamo specificato una tolleranza sull'uscita del 5%, il nostro errore è tollerabile. Infatti, il nostro range "consentito" è

$$15 \pm 5\% = (14.25 \div 15.75)$$

e il nostro valore è abbondantemente all'interno dell'intervallo.

A questo punto non ci resta che fornire agli utilizzatori una tabella contente i valori minimi del carico per non richiedere più corrente di quanto previsto. E' chiaro che ogni carico è calcolato con la legge di Ohm:

$$R_L \geq \frac{V_{OUT}}{I_{MAX}}$$

Tensione di uscita	Carico minimo	Potenza carico
(Volt)	(Ohm)	(Watt)
5	8,33	3,00
6	10,00	3,60
7	11,67	4,20
8	13,33	4,80
9	15,00	5,40
10	16,67	6,00
11	18,33	6,60
12	20,00	7,20
13	21,67	7,80
14	23,33	8,40
15	25,00	9,00

Viste le elevate potenze necessarie, ho utilizzato dei reostati.

Parte 3: Uscita Negativa

Il procedimento per la parte negativa è del tutto analogo a quello della parte positiva: si tratterà in fase di cablaggio del circuito di sistemare le polarità nel modo giusto. I calcoli possono essere fatti assumendo sempre l'uscita positiva (si lavora quindi con il valore assoluto).

Per prima cosa determiniamo il filtro:

$$C = \frac{I_{MAX}}{2f \cdot V_{RPP}} = \frac{80mA}{100Hz \cdot 1.8V} \cong 442\mu F$$

in questo caso ho scelto un condensatore da 470µF: avrei potuto ottenere il valore esatto ponendo in parallelo alcuni condensatori di dimensioni minori, ma ho preferito utilizzare quello da 470µF per questi motivi:

- Dal punto di vista fisico, lo spazio occupato da un condensatore da 470µF è indubbiamente minore di quello che richiedono due o più condensatori più piccoli in parallelo.

- Scegliere un valore di filtro più grande rispetto a quello calcolato porta solo ad un incremento della precisione (diminuzione della tensione di Ripple), quindi non avrò problemi con il valore minimo in entrata allo stabilizzatore.

L'uscita della parte negativa è fissa, quindi la V_{DROP} è in ogni caso

$$V_{DROP} = 19.81V - 15V = 4.81V$$

Ne consegue che la potenza da dissipare è, nel caso peggiore,

$$P_{DISS} = V_{DROP} \cdot I_{MAX} = 4.81V \cdot 80mA = 0.38W$$

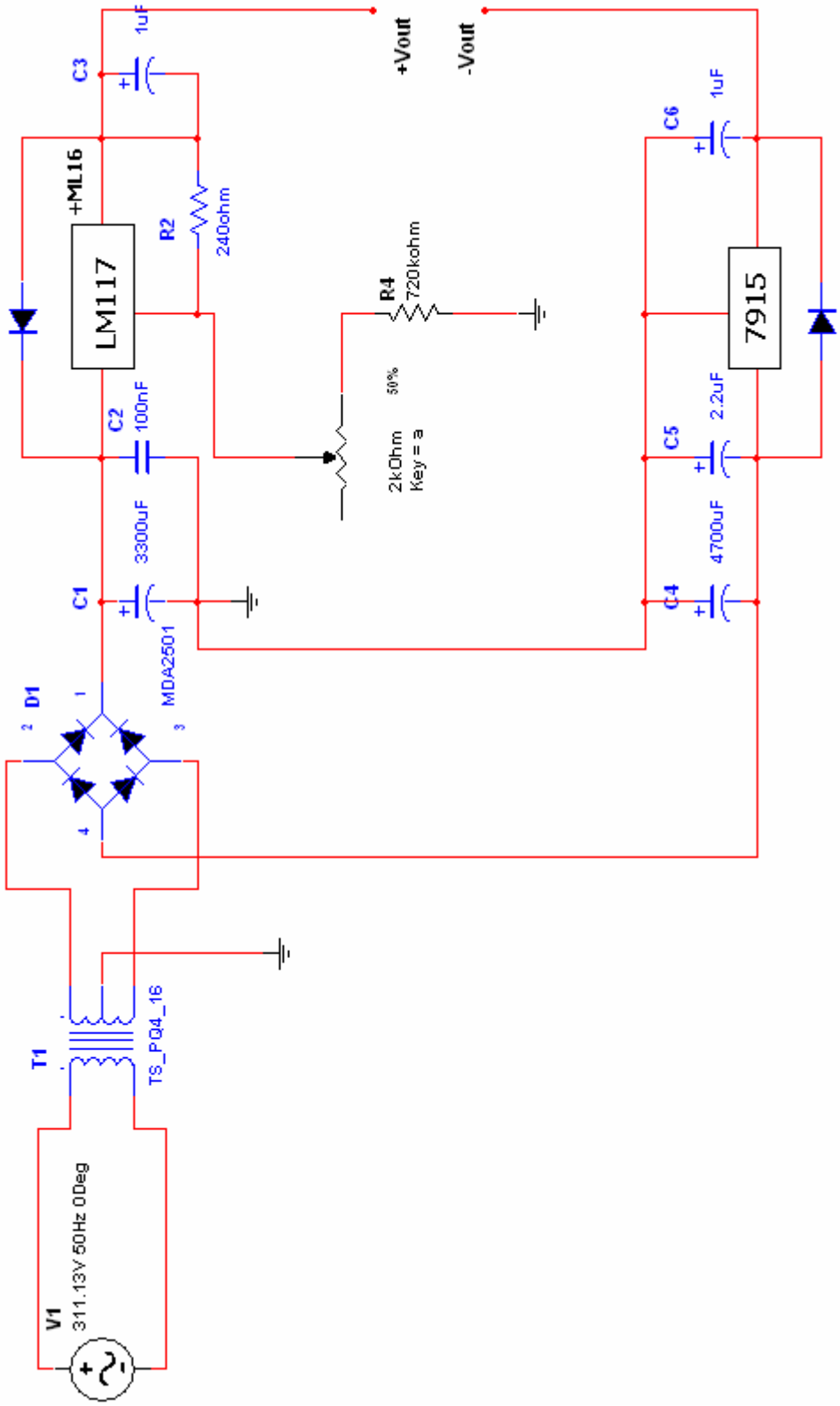
La potenza da dissipare è così piccola che ci possiamo servire (con larga sufficienza) di un contenitore TO-220 senza utilizzo del dissipatore.

In questo caso il carico minimo è

Tensione di uscita	Carico minimo	Potenza carico
(Volt)	(Ohm)	(Watt)
15	187,50	1,20

Parte 4: Unione dei Circuiti

Svolti tutti i calcoli, è sufficiente fondere i due circuiti e procedere al montaggio: per alcune parti è necessario il supporto di schede millefiori e saldature, visto che i reofori dei grossi condensatori di filtro e degli stabilizzatori sono troppo grandi per la breadboard.



Rilevazione dei Dati

Una volta montato il circuito, sono stati rilevati i dati di tensione e corrente con i carichi consigliati. Superati questi valori, si aveva una progressiva diminuzione della tensione (come previsto inizialmente). I valori ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

	$+Vout_{MIN}$ (V)	$+Vout_{MAX}$ (V)	-Vout (V)
Con carico	5.03	15.68	-15.21
Senza carico	5.03	15.70	-15.22

Tutti i valori ottenuti sono pertanto all'interno dei range consentiti (tolleranza 5%).

Fino ai valori riportati in tabella era possibile ottenere una corrente entro il 5% di quella prevista.

In particolare, abbiamo ottenuto queste correnti massime, dopodichè i valori della tensione iniziavano a calare:

V_{out} (V)	I_{max} (mA)
5.03	619
15.68	612
-15.21	82

Per misurare queste correnti massime, ci siamo posti nelle condizioni estreme (tensioni massime o minime), quindi abbiamo progressivamente diminuito il valore ohmico del reostato, per vedere la corrente massima erogabile prima di avere un decadimento della tensione.

Anche i valori di corrente ottenuti sono all'interno del range permesso (5%). Infatti la corrente massima per restare nel range è

$$600 + (600 \cdot 5\%) = 600 + 30 = 630$$
$$80 + (80 \cdot 5\%) = 80 + 4 = 84$$

Possiamo quindi notare che i valori ottenuti sono all'interno del range permesso.

Conclusioni

La progettazione di un alimentatore stabilizzato si è rivelata decisamente complessa e a tratti ostica: i calcoli da svolgere non sono molti, ma la comprensione del funzionamento di tutti i blocchi coinvolti non è stata semplice.

Con questo circuito siamo stati in grado di studiare a fondo il comportamento di alcuni componenti analogici e discreti (quali i condensatori), nonché di grandezze elettriche (la potenza) e termiche (il calore), con il fenomeno della dissipazione ad esse collegato.

In particolare, abbiamo dovuto analizzare le problematiche relative alla potenza da dissipare, che spesso non è garantita dal normale contenitore del dispositivo integrato, e le problematiche della potenza dei componenti discreti, che deve essere sufficiente per evitare la rottura dello stesso.

Grazie a questa esperienza abbiamo inoltre dovuto imparare a leggere con attenzione e scrupolosità di datasheet dei componenti, per valutare i limiti del componente e i valori massimi supportati. Non ci siamo più limitati alla pedinatura degli integrati ed alle informazioni di base, ma ci siamo dovuti addentrare in tutti i dettagli relativi al componente, a partire dalle temperature di giunzione, passando per la precisione, le richieste per l'input e le tolleranze degli output.

Inoltre abbiamo migliorato le nostre abilità di saldatura, grazie ad alcuni cablaggi che erano irrealizzabili su breadboard.

Alla fine siamo riusciti a realizzare correttamente il nostro progetto, e le uscite risultanti erano buone, ovviamente nel campo di tolleranza che era stato concesso all'inizio.

Trafiletto in inglese

Creating a power supply has not been as simple as we believed at the begin. In fact we had lots of problems to understand all the problems related to the project and the solution adopted to resolve them.

We studied very hardly the behaviours of analogue circuits and we analyzed with accuracy the behaviour of capacitors.

We had to read very very precisely all the datasheet, to find and understand each information reported: how input must be, how output will be, thermal and electric properties, like junction temperature, maximum dissipable power

We also learned how to resolve problems related to electric power: it has to be big enough for components to prevent damages.

Another important phenomena we worked on is power dissipation: some integrated circuits produce heat: if it's so much, it must be dissipated thanks to a dissipator, or our integrated circuit will get broken.

At the end we succeed in our intentions and the result was very good, which each value inside the permitted interval.