

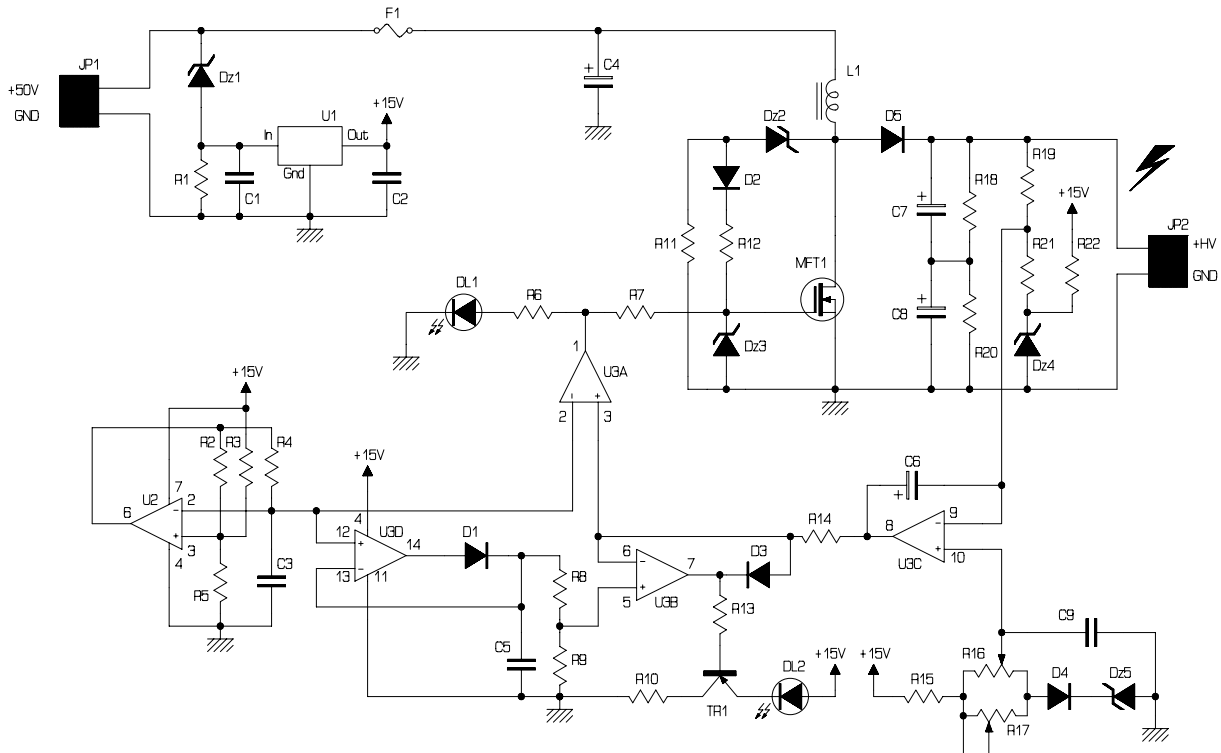
Convertitore DC - DC Switching

A cosa può servire?

Questo circuito è nato semplicemente per disporre di una tensione continua regolabile fra un minimo di 50V e un massimo di 500V, con correnti di uscita anche abbastanza alte (non è così difficile fargli erogare anche 100W). Con essa si può fare di tutto, per esempio io lo uso per giocherellare con un circuito a valvole (senza dover costruire un alimentatore dedicato).

Infatti, vi è mai capitato di terminare un circuito e, ricordandovi che non avete un alimentatore di alta tensione adeguato, di cominciare a rovistare fra gli avanzi per costruirne uno alla meglio? A me è capitato tante volte, così mi sono ritrovato tra le mani una bacchetta di ferrite ... il passo è stato breve ...

Schema elettrico



Il tutto ruota attorno all'Induttore L1 e al Mosfet MFT1; il principio di funzionamento è semplice: il Gate del Mosfet è pilotato da un'onda quadra, di conseguenza, nel momento in cui il transistor si interdice, ai capi di L1 si crea una extratensione che viene raddrizzata da D9 e filtrata da C7 e C8. In questo modo si riescono ad ottenere tensioni di uscita solo superiori alla tensione di

alimentazione. Vi risparmio l'analisi del circuito: si tratta di risolvere un'equazione differenziale (che concettualmente è facile, però si porta dietro due pagine di conti). L'importante è che si scopre che:

$$V_{out} = V_{in} \frac{1}{1 - \partial}$$

dove V_{out} è la tensione di uscita (su JP2), V_{in} è la tensione di ingresso (su JP1) e ∂ è il duty cycle dell'onda quadra che alimenta il Gate di MFT1. Si vede che si ha un vero e proprio effetto di moltiplicazione che teoricamente potrebbe anche non essere limitato, ma in pratica ho rilevato che non conviene eccedere oltre un fattore 10 (è per questo che sono partito proprio dai 50V e non, per esempio, da 12V).

A questo punto si vede che abbiamo bisogno di un generatore di onda quadra con duty cycle regolabile fra 0 e almeno 0.9: serve un generatore di onda triangolare (compito svolto da U2, che genera un'approssimazione di un'onda triangolare a circa 10kHz mediante gli esponenziali di carica e scarica del condensatore C3) ed un comparatore (U3A). Il U3C è l'amplificatore necessario per chiudere un anello di reazione per stabilizzare la tensione di uscita (¹). La cosa che salta subito agli occhi è C6: il suo valore (47µF) è inusitatamente alto, ma serve per introdurre una compensazione a polo dominante che impedisce l'insorgere di autooscillazioni, per cui sconsiglio vivamente di diminuirlo. L'unico "svantaggio" di un simile smorzamento è che la tensione di uscita salirà e scenderà molto dolcemente agendo sul potenziometro R16. In condizioni di funzionamento normale (carico collegato che, seppur variabile, non smette mai di assorbire una certa corrente) non si hanno variazioni della tensione di uscita. Solo nel caso che il carico venga scollegato di colpo (oppure si passi da un funzionamento a vuoto ad uno a pieno carico) si possono avere delle fluttuazioni della tensione di uscita che comunque vengono prontamente smorzate.

Resta da chiarire il compito di U3B e U3D. Semplice, impediscono al circuito di produrre un duty cycle troppo vicino a 1 limitando la tensione in ingresso al comparatore U3A. Infatti, se l'onda quadra assumesse un duty cycle unitario, la tensione di uscita si annullerebbe, di conseguenza il circuito tenderebbe ad un ulteriore (ma impossibile) aumento di duty cycle: il risultato è una situazione di stallo da cui il sistema non sarebbe in grado di uscire (²). E', questo, uno dei motivi che impediscono di realizzare tensioni di uscita molto alte: conviene che la massima tensione di uscita non superi le 10 volte la tensione di ingresso.

Con una alimentazione di 50V (come quella proposta) si riesce ad ottenere un'uscita massima di 500V (in ogni caso consiglio di non superare i 450V a meno di non cambiare tipo di mosfet (³)).

Infine R11, R12, D2, DZ2, DZ3 realizzano una efficiente protezione del mosfet, mentre C4 sopperisce ai picchi di corrente richiesti dall'induttore; lo zener DZ2 è in realtà costruito con una serie di 3 diodi da 160V 1W l'uno.

Il potenziometro R16 regola la tensione di uscita, mentre il trimmer R17 ne imposta il limite massimo.

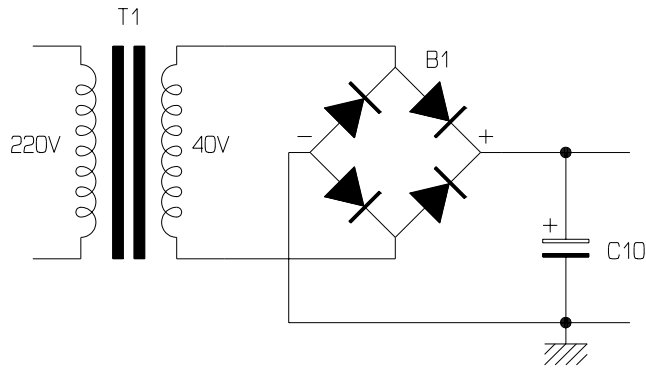
Il circuito accetta tensioni di ingresso di 50 – 60V (ovviamente non è importante che siano stabilizzate), facilmente ricavabili con un classico circuito come il seguente

¹ Infatti l'espressione per la tensione sopra riportata è valida se la corrente nell'induttore non si annulla mai (si verifica se $L \geq \frac{R}{2f}$ dove f è la frequenza di lavoro e R il valore della resistenza di carico collegata in uscita) e se la resistenza

serie dell'avvolgimento è nulla. Questo non si può verificare sempre (se il convertitore lavora a vuoto sicuramente la condizione sulla corrente non è verificata), quindi occorre operare una correzione continua sul duty cycle.

² Nel caso il circuito limiti il duty cycle (situazione peraltro abbastanza improbabile, ma che può essere forzata mettendo in serie all'induttore una resistenza di una centinaia di ohm) si accende il led DL2.

³ Quello prescelto ammette proprio tensione massima di Drain di 500V e corrente massima di 8A.



Lista componenti

<i>Reference</i>	<i>Descrizione</i>
R1	Resistenza 100k Ω 1/4W
R2	Resistenza 10k Ω 1/4W
R3	Resistenza 100k Ω 1/4W
R4	Resistenza 1k Ω 1/4W
R5	Resistenza 100k Ω 1/4W
R6	Resistenza 1k Ω 1/4W
R7	Resistenza 1k Ω 1/4W
R8	Resistenza 1 k Ω 1/4W
R9	Resistenza 100k Ω 1/4W
R10	Resistenza 1k Ω 1/4W
R11	Resistenza 1k Ω 1W
R12	Resistenza 1k Ω 1W
R13	Resistenza 15k Ω 1/4W
R14	Resistenza 10k Ω 1/4W
R15	Resistenza 2.2k Ω 1/4W
R16	Potenziometro 22k Ω
R17	Trimmer 2.2k Ω
R18	Resistenza 47k Ω 2W
R19	Resistenza 1M Ω 1W
R20	Resistenza 47k Ω 2W
R21	Resistenza 10k Ω 1/4W
R22	Resistenza 3.3k Ω 1/4W
C1	Condensatore 1 μ F 100V (poliestere)
C2	Condensatore 1 μ F 100V (poliestere)
C3	Condensatore 22nF (poliestere)
C4	Condensatore 1000 μ F 100V (elettrolitico)
C5	Condensatore 1 μ F 63V (poliestere)
C6	Condensatore 47 μ F 25V (elettrolitico)
C7	Condensatore 47 μ F 250V (elettrolitico)
C8	Condensatore 47 μ F 250V (elettrolitico)
C9	Condensatore 1 μ F 63V (poliestere)
C10	Condensatore 2200 μ F 100V (elettrolitico)
D1	Diodo 1N4148

<i>D2</i>	<i>Diodo 1N4007</i>
<i>D3</i>	<i>Diodo 1N4148</i>
<i>D4</i>	<i>Diodo 1N4148</i>
<i>D5</i>	<i>Diodo P600K</i>
<i>DZ1</i>	<i>Zener 25V 1W</i>
<i>DZ2</i>	<i>Zener 480V 1W (vedi testo)</i>
<i>DZ3</i>	<i>Zener 15V 1W</i>
<i>DZ4</i>	<i>Zener 5.1V 1W</i>
<i>DZ5</i>	<i>Zener 5.1V 1W</i>
<i>DL1</i>	<i>Led</i>
<i>DL2</i>	<i>Led</i>
<i>B1</i>	<i>Ponte raddrizzatore 100V 10A</i>
<i>TR1</i>	<i>BC177</i>
<i>MFT1</i>	<i>IRF840</i>
<i>U1</i>	<i>7815</i>
<i>U2</i>	<i>TL081</i>
<i>U3</i>	<i>TL084</i>
<i>L1</i>	<i>Vedi testo</i>
<i>T1</i>	<i>Trasformatore 220V – 40V</i>
<i>F1</i>	<i>Fusibile 5A</i>

L'induttore

Il valore minimo dell'induttore L1 dipende dal carico e può essere valutato imponendo che la corrente in esso circolante non si annulli mai ⁽⁴⁾. Il problema è che così facendo vengono fuori valori molto grossi. Conviene quindi scegliere un certo valore e lasciare il compito di regolare opportunamente il duty cycle al circuito ⁽⁵⁾. Tenete presente che al crescere dell'induttanza, i picchi di corrente assumono valori più bassi, quindi non montate valori troppo bassi (nel dubbio, in questo caso, è meglio abbondare).

In ogni caso può essere utilizzato il secondario di un comune trasformatore di alimentazione (220V – 30V 60 - 80W) oppure procedere alla costruzione di un componente adeguato.

In questo caso è sufficiente una bacchetta di ferrite del diametro di 10mm, per una lunghezza di 100mm. Su di esso avvolgete 4 strati di 65 spire ciascuno di filo di rame smaltato di diametro 1.2mm. Provvedete all'isolamento di ogni strato con un giro di nastro isolante (o anche nastro di carta per carrozzieri che ha il vantaggio di non allentarsi col tempo).

Costruzione

La costruzione non pone problemi di sorta, occorre solo stare attenti alle alte tensioni che impongono una certa spaziatura fra le connessioni. Considerate inoltre che le relativamente alte correnti impongono sezioni dei conduttori di almeno 1.5mmq. Per questi motivi è consigliabile, almeno per la parte di uscita, realizzare un montaggio su basetta millefori.

E' bene che il C4 sia posto nelle immediate vicinanze dell'induttore e che il mosfet sia convenientemente raffreddato (non scalda molto, ma lo stress elettrico è notevole) e isolato (non

⁴ Non è una condizione di funzionamento necessaria, ma è l'unica che permette uno studio analitico abbastanza semplice che fornisce i risultati discussi nel testo, comprese tutte le formule citate.

⁵ Infatti se la corrente nell'induttore si annulla, la tensione di uscita non ha più l'espressione citata, ma aumenta notevolmente, per cui è necessario ridurre il duty cycle.

dimenticate che il drain, e quindi l'aletta metallica, raggiunge, anche se impulsivamente, la tensione di uscita).

Una volta completato il montaggio, scollegate l'induttore, regolate il potenziometro ed il trimmer tutti verso D4 e alimentate il circuito: si deve accendere il led DL1 e dopo qualche secondo anche DL2 (a segnalare il corretto intervento del limitatore). Togliete l'alimentazione, collegate l'induttore ed un voltmetro sull'uscita (con fondo scala di almeno 500V) e alimentate nuovamente. Dovreste misurare, sull'uscita, una tensione di poco più di 50V. Ora portate R16 tutto verso R15 e agite sul trimmer in modo che l'uscita salga fino a 450 – 480V.

A questo punto il circuito è pronto per funzionare, provate a regolare la tensione di uscita a 220V e collegate un carico (anche una lampadina da 40W a 220V): se tutto va bene, dopo qualche secondo la tensione si stabilizza ai 220V impostati.

Notate che il mosfet si scalda appena durante l'uso, in ogni caso il rendimento misurato sul prototipo è del 95% (come dire che per erogare 10W ne assorbe meno di 11).

Potenza di uscita

In un circuito di questo tipo, la corrente assorbita in ingresso è pari a circa

$$I_{in} = 1.1 \frac{P_{out}}{V_{in}}$$

Ma la corrente che circola nell'induttore (e quindi nel mosfet), si rivela avere un picco massimo di

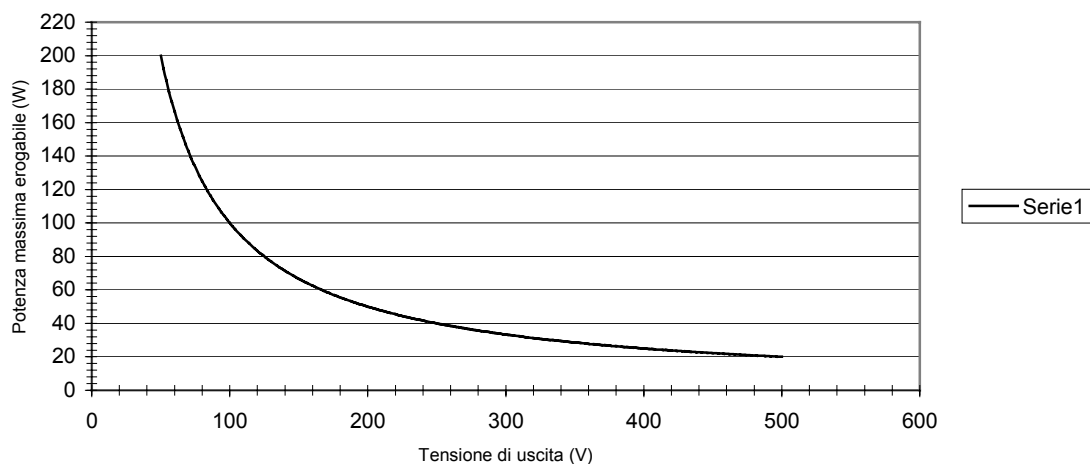
$$I_{picco} = \frac{2}{1-D} I_{in}$$

Occorre quindi stare attenti a non superare mai il limite massimo ammesso dal mosfet (che per il IRF840 risulta essere 8A). Pertanto la curva della potenza erogabile in funzione della tensione di uscita risulta essere

$$P_{out} = \frac{V_{in}^2 I_{MAX}}{2V_{out}}$$

Con il IRF840, essendo $I_{max}=8A$, la curva ha il seguente andamento (per $V_{in}=50V$)

$V_{in}=50V ; I_{max}=8A$



Nel caso si necessitino potenze maggiori occorre sostituire il mosfet con uno capace di reggere correnti di picco maggiori.