

Fabio Sacchetto

578161-IAM

Anno accademico 2010/2011

TESINA

ANALISI DEL RADDRIZZATORE VALLEY FILL

INDICE

0. Prefazione	Pag.03
1. Introduzione	Pag.04
2. Il raddrizzatore a ponte di diodi	Pag.13
3. Circuiti Valley Fill	Pag.16
1. Valley Fill a due condensatori	Pag.17
2. Valley Fill a tre condensatori	Pag.23
3. Modifica del Valley Fill a due condensatori originale	Pag.27
4. Modifica del Valley Fill a tre condensatori originale	Pag.40
5. Confronto tra i vari circuiti	Pag.47
4. Conclusioni	Pag.50
5. Bibliografia	Pag.51

0. Prefazione

L'energia elettrica viene prodotta e trasmessa nelle abitazioni e industrie in corrente alternata. Questa scelta non è casuale, di fatti essa promette efficienza grazie all'uso di trasformatori elettrici per innalzare o abbassare la tensione a seconda degli usi specifici. La sua funzione di alimentare lampade a filamento e motori asincroni però è oramai superata: con l'avvento dell'elettronica molti dispositivi necessitano di basse tensioni e soprattutto di un'erogazione lineare della corrente. Per questo motivo oggi trova largo impiego il **raddrizzatore** o **rettificatore**, cioè un dispositivo atto a raddrizzare un segnale bipolare (bidirezionale), e quindi a trasformarlo in un segnale unipolare (monodirezionale). Il raddrizzatore, collegato ad altri componenti, è usato per trasformare la corrente alternata in corrente continua. Non a caso ho detto "largo impiego" difatti ovunque ci sia elettronica è presente questo particolare circuito: basti pensare agli alimentatori per personal computer, ai circuiti di una stampante, ai caricabatterie e alle schede di automazione di cancelli, porte ed in molti altri automatismi.

In questo testo viene analizzato un particolare circuito denominato "raddrizzatore valley fill", un circuito di semiconduttori che negli ultimi anni ha trovato largo impiego nei circuiti di alimentazione delle lampade a scarica di gas e le lampade fluorescenti. Il suo principale compito risulta quindi stabilizzare la tensione e correggere il fattore di potenza. Il suo campo d'impiego varia normalmente dai 5-7 Watt fino ai 120 Watt.

Prima di entrare nel focus dell'argomento conviene discutere riguardo il settore ove il circuito in questione trova applicazione.

1. Introduzione

La **lampada a scarica** è un tipo di lampadina basata sull'emissione di radiazione elettromagnetica da parte di un plasma di gas ionizzato. La ionizzazione del gas è ottenuta per mezzo di una scarica elettrica (da cui il nome) attraverso il gas stesso. È costituita da una ampolla e/o un tubo di vetro o quarzo contenente il gas e almeno due elettrodi tra cui avviene la scarica. Possono essere presenti elettrodi supplementari per l'innesco.

Per alimentare una lampada a scarica (come le comuni lampade fluorescenti) non basta una connessione alla semplice rete elettrica (in corrente alternata a tensione sinusoidale) come succede per le lampade alogene o ad incandescenza. E' necessario provocare (con l' ausilio di circuiti esterni alla lampada) una prima ionizzazione del gas; questo può essere ottenuto provocando un momentaneo aumento della tensione di alimentazione per mezzo di trasformatori e starter, oppure applicando un impulso di alta tensione (migliaia di volt) ad un elettrodo posto sulla superficie esterna del tubo. Solitamente il campo elettrico generato è sufficiente ad avviare la ionizzazione, ma in alcuni tubi è necessaria la presenza di un elettrodo di innesco a brevissima distanza da uno dei due elettrodi ordinari. Questo elettrodo viene brevemente alimentato con la normale tensione di rete, in tal modo si innesca un piccolo arco che riscalda la zona circostante inoltre l' emissione di ioni e radiazioni provoca l' innesco del restante gas del contenitore (bulbo della lampada).

Una volta innescata la scarica, questa si propaga a valanga a tutto il gas, il quale si mantiene ionizzato indefinitamente, in condizioni di regime la tensione ai capi del tubo si mantiene a valori più bassi della tensione di rete e non è più necessario l'intervento dei circuiti accenditori.

Si comprende perciò che per alimentare una di queste lampade serve un dispositivo denominato alimentatore.

Alimentatore elettromagnetico

L'alimentatore tradizionale (o reattore) ed il primo ad esser presente commercialmente è quello elettromagnetico (induttivo), che è un componente passivo che ha due diverse funzioni:

1. durante la fase di accensione, in combinazione con lo starter, consente di ottenere una sovratensione che innesca la scarica nel gas;
2. nel funzionamento a regime esso funge da limitatore di corrente; ciò è importante perché, a scarica avvenuta, il tubo diviene un percorso a bassissima impedenza che potrebbe causare assorbimenti eccessivi.

Poiché il reattore è avvolto su nucleo di materiale ferromagnetico (laminato per limitare la dispersione di energia per riscaldamento da correnti parassite), durante il funzionamento regolare si originano delle vibrazioni alla frequenza di rete (50 Hz in Italia) che causano il caratteristico ronzio delle lampade fluorescenti.

Reattore elettrico

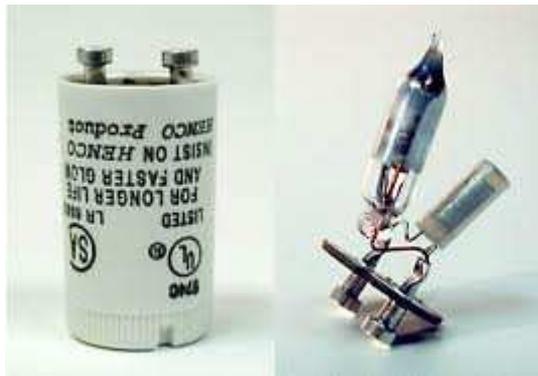


La tensione di rete a 230 volt non è sufficiente per innescare a freddo la scarica, per cui occorrono circuiti ausiliari che intervengano all'accensione. Per questo gli elettrodi dei tubi sono spesso costituiti da un filamento con le due estremità riportate su contatti elettrici esterni. Un dispositivo, lo *starter*, alimenta i filamenti per breve tempo fino all'innescamento della scarica. I filamenti incandescenti emettono elettroni avviando la ionizzazione del gas. Lo starter è sostanzialmente un interruttore in cui il contatto mobile è costituito da una lamina bimetallica che si deforma riscaldandosi. La sequenza di accensione del tubo è la seguente:

1. inizialmente (starter freddo) il suo contatto interno è chiuso e i filamenti sono connessi in serie tra loro ed in serie al reattore.
2. i filamenti si riscaldano ed emettono delle "nubi di elettroni" nel tubo;

3. la stessa corrente che attraversa il circuito e lo starter provoca il riscaldamento della lamina bimetallica interna a quest'ultimo che dopo qualche istante si apre.
4. l'apertura del circuito causata dallo starter provoca, per effetto dell'autoinduzione sul reattore, una sovratensione che favorisce ulteriormente l'innesco.

Starter



Il funzionamento di tipo induttivo degli alimentatori elettromagnetici comporta un fattore di potenza basso, che raggiunge spesso valori tra 0,3 e 0,6. È necessario, quindi, installare un condensatore di rifasamento per riportare il fattore di potenza a 0,9. Questo tipo di alimentatore quindi, sebbene molto diffuso in ambito commerciale, non risulta il più tecnologico ed efficiente, basti pensare che applicato ad una lampada da 58 Watt ne consuma ulteriori 17-18 Watt solo per la presenza del reattore; ciò si traduce in spreco di energia. Da notare che anche lo starter risulta un componente debole: a confronto di una durata del tubo fluorescente di 8000 ore lo starter ha una vita stimata a sole 4000 ore, sempre con l'inconveniente dello sfarfallio e lentezza di accensione della lampada.

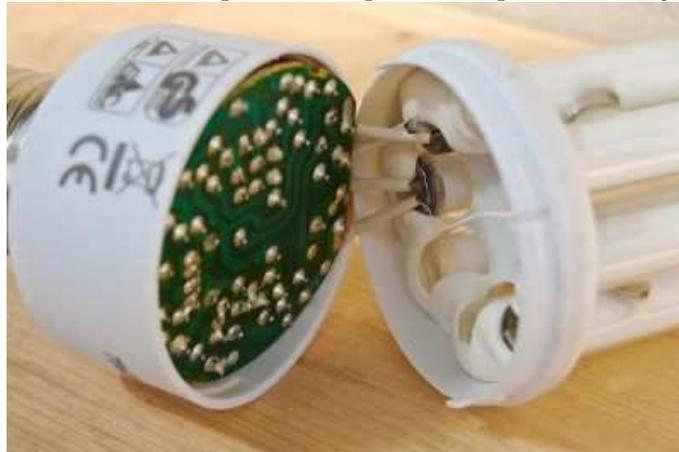
Alimentatore elettronico autoscillante

L'alimentatore elettronico autoscillante semplifica notevolmente la gestione delle lampade fluorescenti rispetto ad un alimentatore elettromagnetico. Grazie ad una tensione di innesco interna l'impiego dello starter diviene superfluo, inoltre non è necessario alcun rifasamento, poiché il fattore di potenza è già superiore a 0,95.

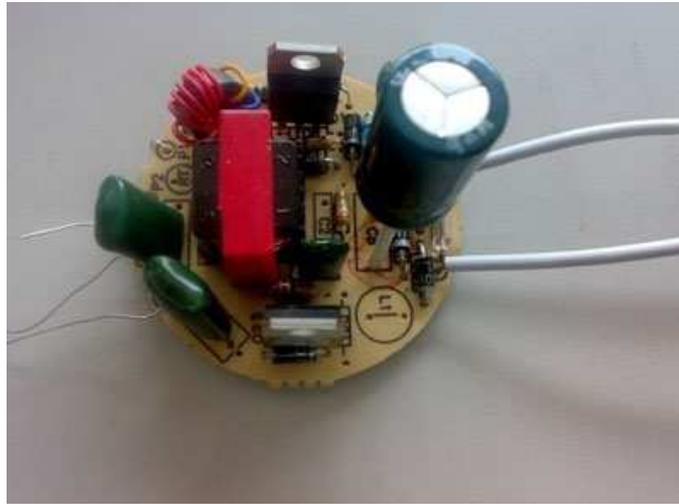
Gli apparecchi che montano un alimentatore elettronico consentono un funzionamento più economico, poiché necessitano di un assorbimento di potenza del sistema decisamente minore rispetto alle applicazioni tradizionali con alimentatori induttivi a parità di illuminazione.

Alimentatore elettronico autoscillante

Ad esempio, una lampada da 18 W con alimentatore ferromagnetico in classe C richiede una potenza di circa 28 W, mentre con alimentatore elettronico 19-20 W. Il risparmio è evidente, bisogna tuttavia porre una certa attenzione nel dimensionamento dell'interruttore automatico di protezione. In un circuito composto da reattore induttivo/starter le lampade si accendono in tempi diversi, in uno con alimentatore elettronico tutte le lampade fluorescenti si inseriscono contemporaneamente. I condensatori antidisturbo contenuti nell'alimentatore generano un impulso di corrente elevato, che, anche se di durata estremamente breve, potrebbe far scattare l'interruttore automatico. Alcuni costruttori di alimentatori forniscono il numero massimo di alimentatori collegabili in funzione del tipo di interruttore di protezione utilizzato.

particolare di una lampada “compatta a risparmio energetico”

Molto diffuse sono anche le lampade dette **fluorescenti compatte a risparmio energetico**, costituite da un tubo fluorescente di piccolo diametro abbinato ad un circuito elettronico di alimentazione. Il tutto è montato su uno zoccolo a vite simile a quello delle normali lampadine, al cui posto possono essere montate.

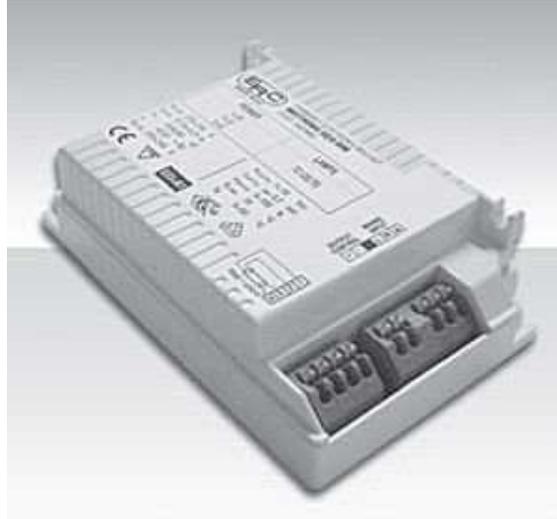
Particolare del circuito interno alla lampada

Questo alimentatore elettronico può quindi vantare di una struttura molto più compatta, più leggera, un rendimento superiore e tempi d'accensione ridotti correlati ad un sfasamento della corrente assorbita attorno il 0.95. Tuttavia un inconveniente è il tempo con cui la lampada applicata impiega a raggiungere la miglior performance luminosa. Facile è accorgersi che sebbene la lampada sia "nuova" ci vogliono anche 60-90 secondi per raggiungere la massima efficienza.

Alimentatore elettronico a componenti integrati

Questo alimentatore utilizza circuiti integrati (compreso un oscillatore programmabile) per il controllo della lampada. Basandosi sul fatto che una lampada fluorescente richiede una tensione alternata con duty cycle 50% e il circuito di pilotaggio è un circuito risonante (L, C), è semplice generare una forma d'onda quadrata in ingresso a questo circuito. Il circuito risonante la trasforma in un'onda dall'andamento sinusoidale. Poiché un circuito costituito da una L e una C ha un picco di risonanza ad una frequenza ben definita, risulta chiaro che variando la frequenza della forma d'onda quadra creata ci si può avvicinare al picco di risonanza e pilotare la lampada con una tensione sempre più alta. Inoltre lavorando ad alte frequenze è possibile far scorrere nei catodi di lampada una corrente abbastanza bassa da non far accendere la lampada ma sufficiente per riscaldare i filamenti ed evitare che si danneggino all'accensione, aumentando così il tempo di vita della lampada.

*Particolare alimentatore elettronico a componenti
integrati con funzioni di accensione separata*



Ecco come funziona, in breve, una lampada con circuito di controllo elettronico. Inizialmente la lampada viene alimentata con una forma d'onda sinusoidale (grazie al circuito risonante che riceve un'onda quadra in ingresso) ad alta frequenza (es. 70kHz) e una piccola corrente scalda i filamenti per circa 1 secondo. Poi la frequenza viene abbassata (35kHz) in un tempo pari a qualche decina di millisecondi finché non si arriva molto vicino al picco di risonanza dove la tensione raggiunge qualche kV. La scarica nel gas presente nella lampada la fa accendere, la curva di risonanza si modifica, perché la lampada accesa costituisce un carico diverso e la tensione si stabilizza intorno ai 100V. A questo punto si può facilmente variare l'intensità luminosa aumentando la frequenza della forma d'onda di controllo. Generalmente tutto questo viene ottenuto con un circuito integrato che può essere nascosto facilmente nella base delle lampade compatte, le cosiddette CFL.

Scheda di alimentazione elettronica con componenti

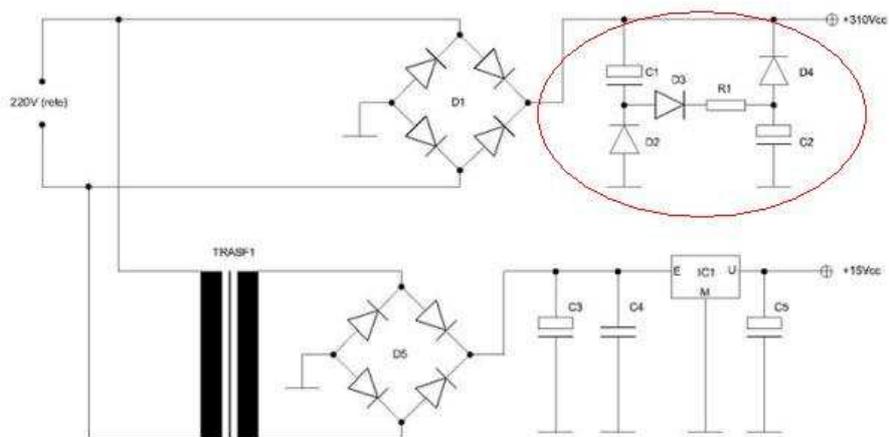


I vantaggi di questo circuito sono evidenti: risparmio energetico, accensione rapida, immediato raggiungimento della massima efficienza luminosa, maggior rendimento sia da parte della lampada che dal circuito, maggior durata della lampada.

Veniamo al dunque. Negli schede degli alimentatori elettronici è comune la presenza del nominato circuito “valley fill”. Prendiamo come riferimento lo schema della pagina seguente: nella scheda elettronica di un alimentatore si possono denotare due circuiti: uno di alimentazione e l’ altro di gestione della tensione e corrente erogata alla lampada.

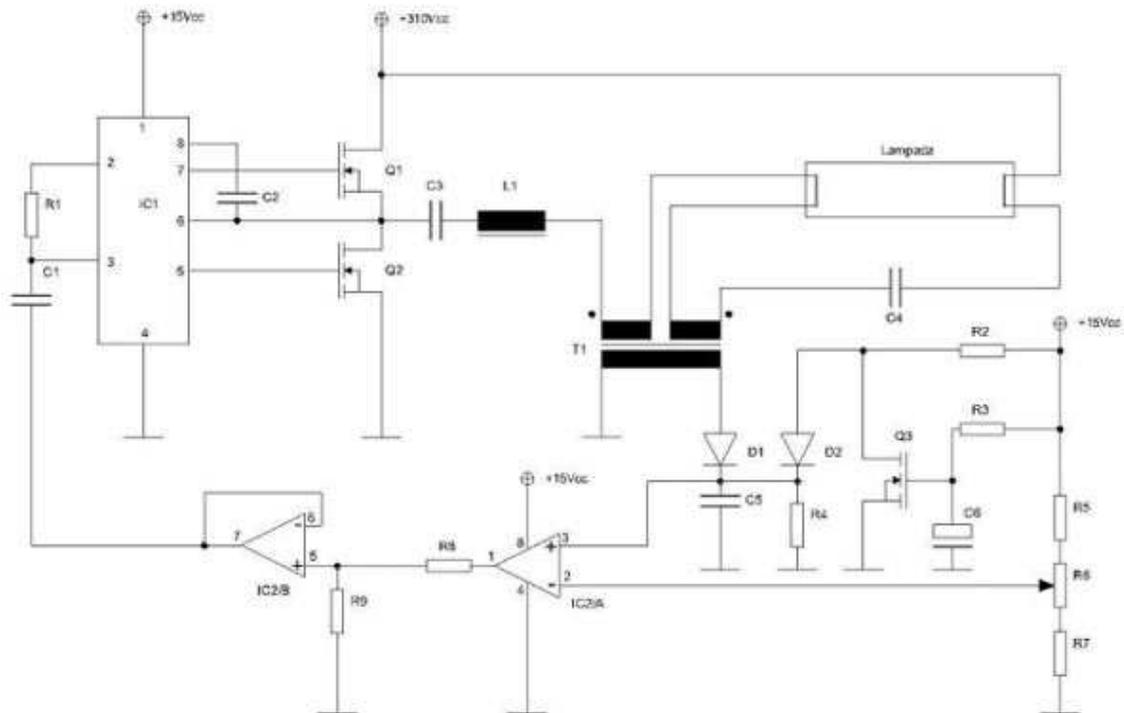
Il raddrizzatore dunque gestisce una tensione d’ uscita di +310 Vcc, che non è altro la tensione di picco di una comune linea elettrica a 220 V~ , allo scopo di fornire “energia” alla lampada; mentre l’ altra linea di +15 Vcc svolge il compito di alimentare i circuiti integrati, che hanno lo scopo di gestire la funzione di accensione della lampada, riscaldamento dell’ elettrodo interno, funzione anti-sfarfallio ecc.

Circuito primario (di alimentazione) di una comune lampada fluorescente



- *in evidenza un Valley Fill a due condensatori modificato*

Circuito secondario di una comune lampada fluorescente



Standard IEEE 519:1992

Lo scopo della normativa IEEE 519 è di fornire una metodologia per la mitigazione delle armoniche di tensione e di corrente nelle reti elettriche attraverso una cooperazione tra ente elettrico e utenti. Infatti l'ente elettrico è responsabile della limitazione della distorsione della corrente, mentre l'utente deve limitare queste armoniche nelle linee di alimentazione (ciò deve essere fatto attraverso la connessione di carichi poco distortenti, l'installazione di filtri passivi o attivi, ecc.).

Definendo $SCR = I_{CC}/I_L$ dove I_L è la corrente al carico e I_{CC} rappresenta la corrente di corto circuito, la normativa riporta la tabella della pagina successiva.

(Facile notare che i limiti dipendono fortemente dal rapporto tra la potenza di corto circuito e la potenza nominale dell'apparecchio)

IEEE 519: Limiti per le armoniche di corrente (responsabilità utente)

Esempio:
 $U_n \leq 69 \text{ kV}$

SCR	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4

Standard IEC 1000-3-2 (EN 61000-3-2):

L' IEC (Commissione Elettrotecnica Internazionale) è un'organizzazione per la definizione di standard in materia di elettricità, elettronica e tecnologie correlate. Molti dei suoi standard sono definiti in collaborazione con l'ISO e la CEI.

La normativa IEC 1000 3-2 definisce i limiti per le armoniche di corrente dei dispositivi elettrici connessi alla rete di distribuzione pubblica non superanti i 16 A di consumo. In particolare la sezione C definisce i limiti per le apparecchiature dedite all'illuminazione. La tabella seguente fornisce la tabella riportata nella stessa normativa (aggiornata nel 2005)

Table 2 – Limits for Class C equipment

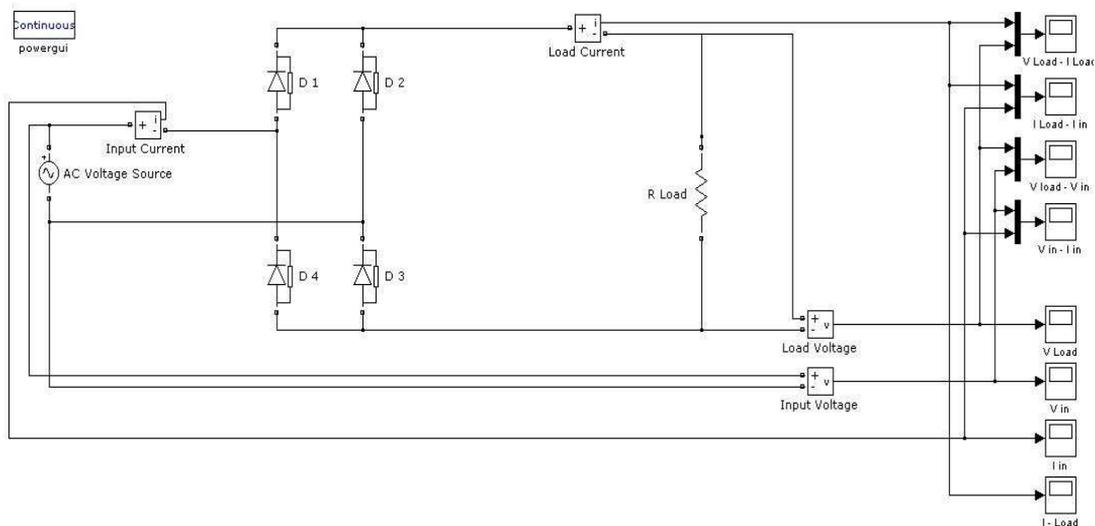
Harmonic order n	Maximum permissible harmonic current expressed as a percentage of the input current at the fundamental frequency %
2	2
3	$30 \cdot \lambda^*$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (odd harmonics only)	3

* λ is the circuit power factor

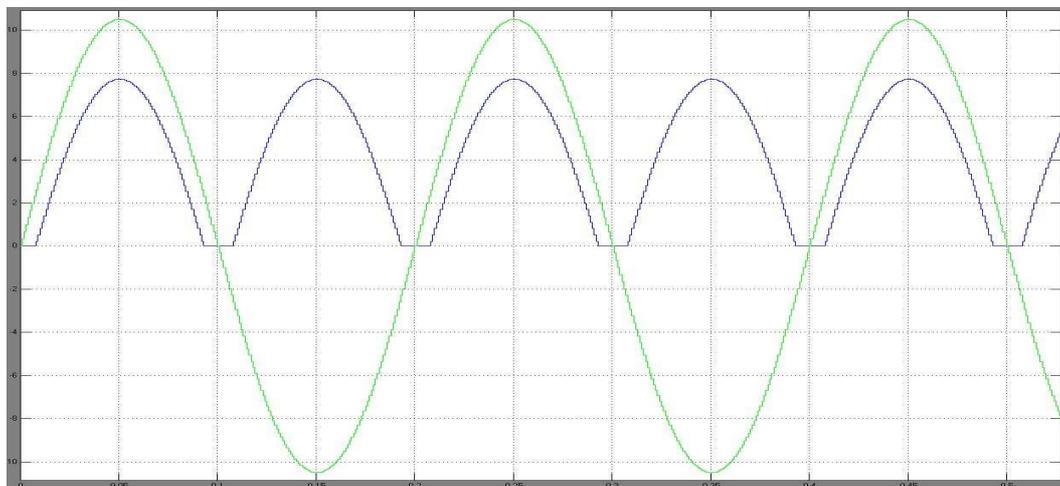
2. Il raddrizzatore a ponte di diodi

Uno dei più semplici raddrizzatori adotta quattro diodi disposti in configurazione a ponte di Graetz (dal nome del suo inventore, il fisico tedesco Leo Graetz). Così facendo è possibile ottenere un segnale che è la somma di una semionda positiva più la semionda negativa capovolta (doppia semionda). Questa soluzione, molto usata negli alimentatori, rende molto più semplice il successivo filtraggio e livellamento della tensione fino ad ottenere una corrente continua, non richiedendo peraltro un trasformatore con doppio avvolgimento a presa centrale. Principale svantaggio di questo metodo è di avere una caduta di tensione pari a quella di due diodi in serie, quindi anche oltre 2 Volt. Nel raddrizzare tensioni molto piccole si ha quindi una perdita e una distorsione eccessive.

Schema Simulazione Matlab Simulink - raddrizzatore a ponte di Graetz con carico resistivo



Il suo funzionamento può essere facilmente descritto dal seguente grafico:



In verde è rappresentata la tensione in ingresso (in questo caso 10.5 Volt) mentre in blu viene descritta la tensione in uscita. Come si può notare tale circuito permette di ottenere una tensione unipolare e quindi sempre positiva nel nostro caso.

I diodi in commercio hanno solitamente cadute di tensione che vanno dai 0.7 ai 1.8 V. Per questo motivo, considerando la caduta di tensione sul diodo $V_d = 0.7$ si denotano tre zone di funzionamento:

$$V_{in} > 1.4 \text{ V} \rightarrow D1 \text{ e } D3 \text{ conducono} \rightarrow V_{out} = V_{in} - 1.4 \text{ V}$$

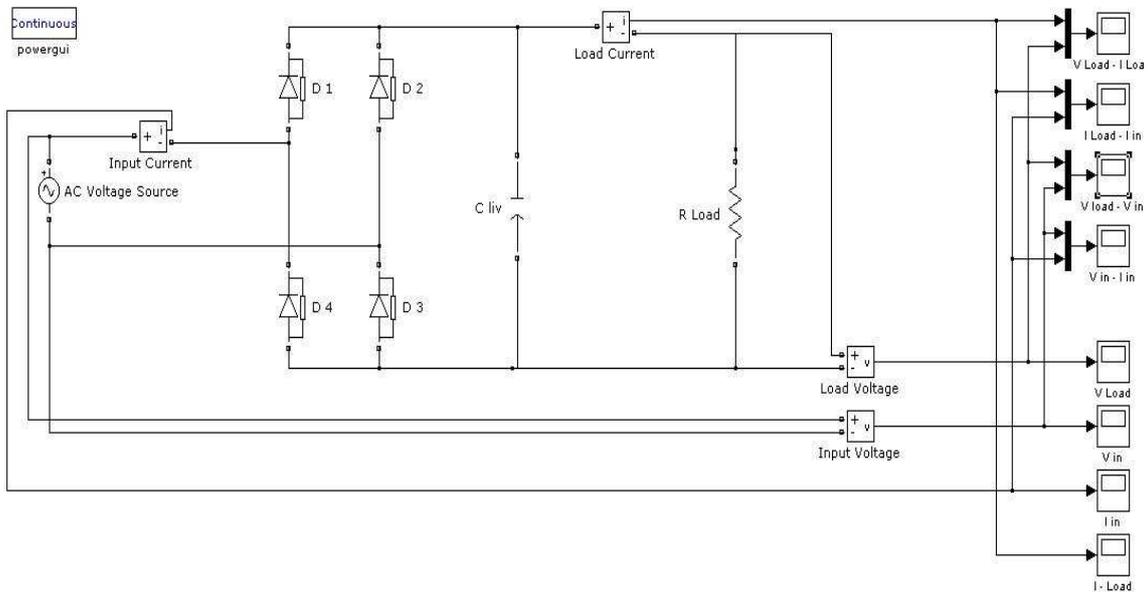
$$-1.4 \text{ V} < V_{in} < 1.4 \text{ V} \rightarrow \text{nessun diodo conduce} \rightarrow V_{out} = 0 \text{ V}$$

$$V_{in} < -1.4 \text{ V} \rightarrow D2 \text{ e } D4 \text{ conducono} \rightarrow V_{out} = -V_{in} - 1.4 \text{ V}$$

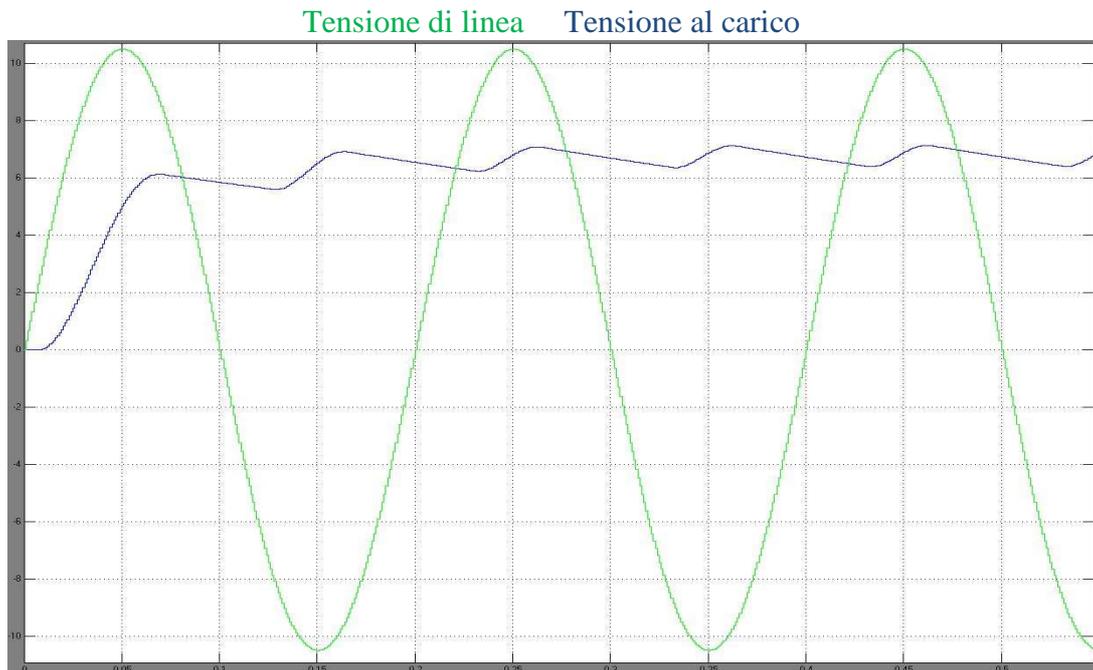
La tensione in uscita è sempre oscillante con un elevato fattore di cresta.

Supponiamo ora di voler ottenere costante la tensione al carico. La soluzione più semplice (con l' utilizzo del minor numero di dispositivi) risulta l' inserimento di un condensatore elettrolitico di adeguata capacità dopo il ponte di Graetz.

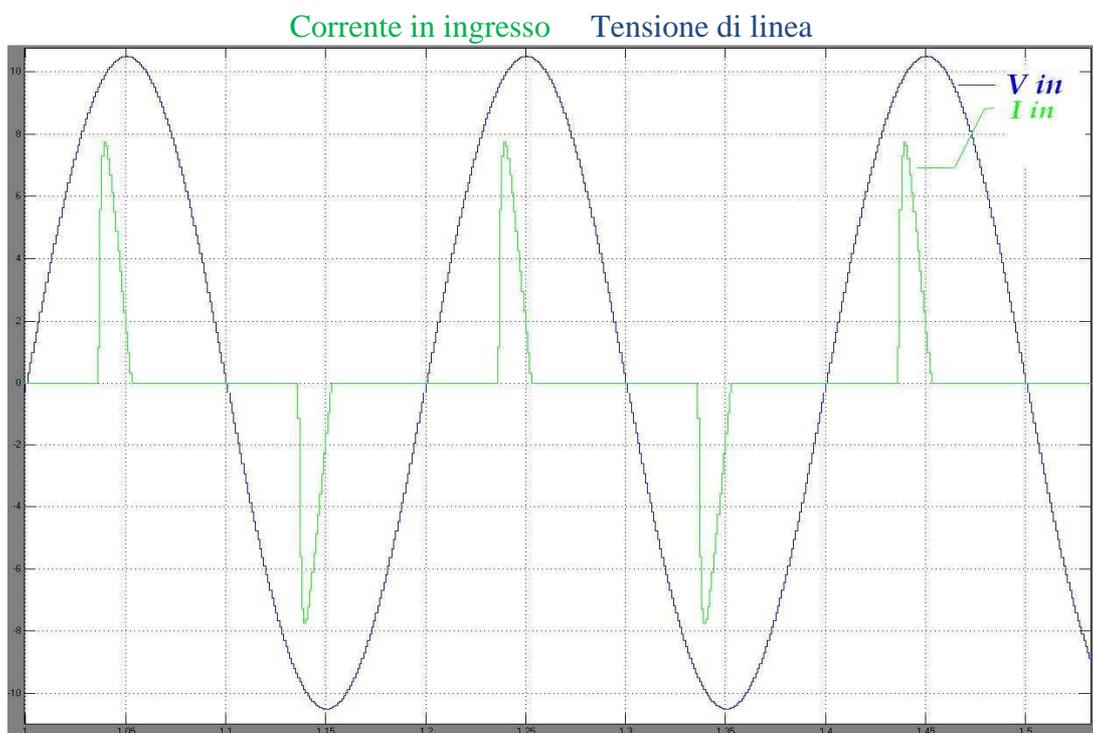
Modello Simulink per lo studio di un raddrizzatore a ponte di diodi con condensatore



Il condensatore avrà l' effetto di immagazzinare energia durante i picchi di tensione positiva per poi erogarla al carico. L' effetto è quello rappresentato nella figura seguente, dove in verde è la tensione d' ingresso, in blu quella del carico resistivo.



Come si può notare, la tensione risulta discretamente “livellata”. Aumentando ulteriormente la capacità del condensatore si potrebbe ottenere teoricamente una tensione perfettamente costante. Insorge però un problema, ovvero la corrente presenta un alto fattore di distorsione dovuto alla carica del condensatore.



Circuiti come questo hanno un fattore di potenza < 0.60 e un THD $> 130\%$.

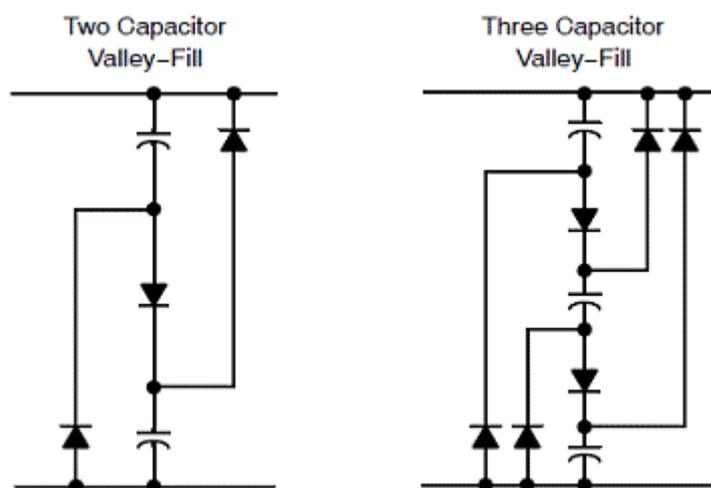
Una corrente in ingresso di questo tipo non può essere accettata nella rete di distribuzione pubblica. Data la componente resistiva della linea di trasmissione della corrente elettrica, una corrente di questo tipo modifica facilmente la tensione in ingresso abbassandone il valore di picco e quindi la forma d'onda.

Per ovviare a questo problema e quindi al fattore di potenza analizziamo un metodo passivo, ovvero il circuito di raddrizzamento con il filtro Valley Fill.

3. Circuiti Valley Fill

Il circuito "Valley Fill" viene solitamente utilizzato negli alimentatori elettronici per lampade fluorescenti ed a scarica di gas citate nell'introduzione (cap.1). Anche se la vera "invenzione" risale agli anni novanta, la maggior parte delle pubblicazioni a tale riguardo sono degli ultimi dieci anni, ovvero il periodo in cui le lampade fluorescenti e CFL hanno instaurato il predominio commerciale nel settore.

Qui sotto sono rappresentate due configurazioni del circuito Valley Fill:



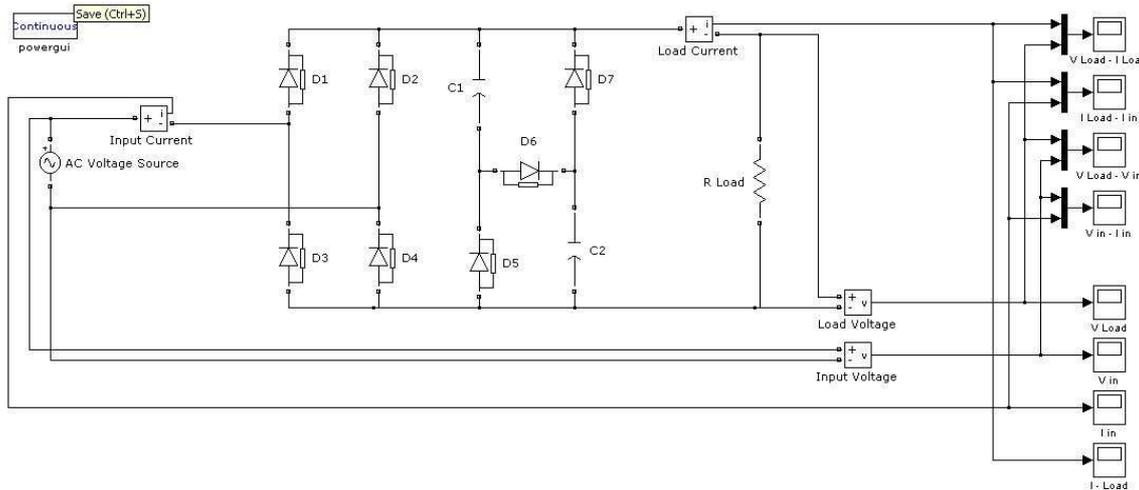
La particolarità di questo circuito permette di caricare i due (o tre) condensatori in serie per poi scaricarli in parallelo. Più precisamente, in prossimità della tensione di picco avviene la fase di carica mentre, quando la tensione in ingresso è minore della tensione di ciascun condensatore, essi forniranno potenza al carico. L'obiettivo di un circuito Valley Fill è fornire un basso fattore di cresta, una minor possibile distorsione della corrente d'ingresso ed un fattore di potenza prossimo ad 1.

Nei prossimi circuiti la resistenza finale rappresenta il carico di tipo resistivo (che negli utilizzi pratici del Valley Fill è una lampadina).

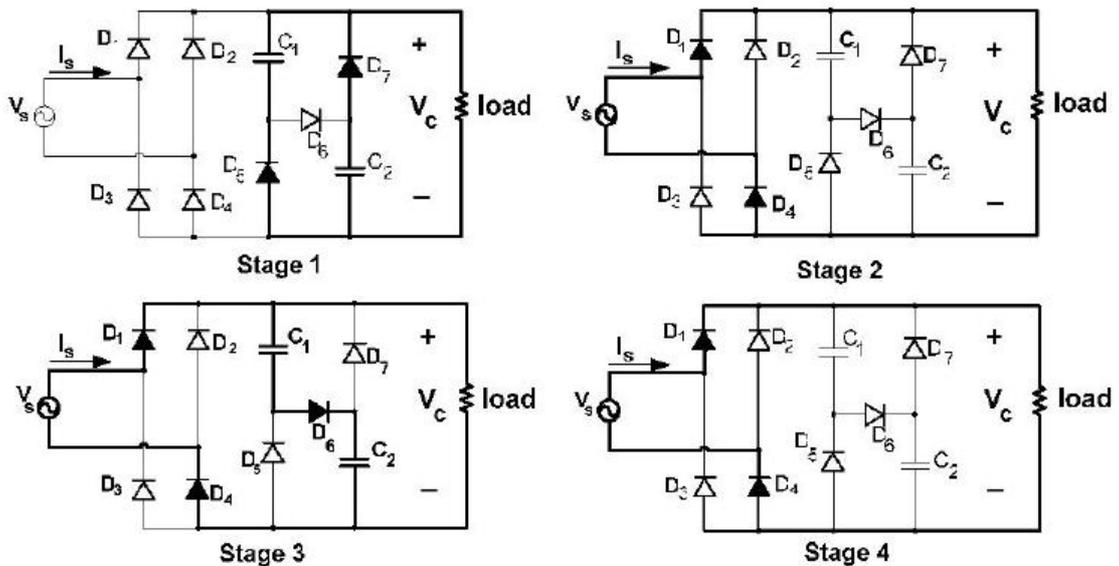
3.1. Valley Fill a due condensatori

Questa configurazione permette un uso limitato di componenti. In particolare, dopo il ponte di diodi vengono accostati due condensatori e altri tre diodi come nello schema seguente:

schema di simulazione Simulink per il Valley Fill a due condensatori



Stadi di funzionamento del Valley Fill a due condensatori



*per l' analisi del circuito si suppone che i sette condensatori siano elettricamente identici

Fase 1:

La tensione V_S è di poco superiore al valore nullo e non è tale da superare le tensioni di soglia dei diodi D_1, D_2, D_3, D_4 (che, quindi, non conducono e non ce passaggio di corrente). Quindi la Fase 1 rappresenta il periodo di tempo in cui $I_S = 0$.

Considerando il ponte di Graetz, la condizione risulta essere questa:

$$V_S < V_{D1} + V_{D2}$$

In realtà i condensatori C_1 e C_2 limitano l'angolo di conduzione poiché, per avere una corrente in ingresso non nulla, deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$V_S - V_{D1} - V_{D2} > V_{C1//C2} - V_{D5}$$

$$V_S > V_{C1//C2} - V_{D5} + V_{D1} + V_{D2}$$

Quindi la condizione per la Fase 1:

$$V_S < V_{C1//C2} - V_{D5} + V_{D1} + V_{D2}$$

Supponendo $V_{D1} = V_{D2} = V_{D5} = V_{D7} = V_D$ e volendo estendere la formula anche per tensioni negative, la condizione per la Fase 1 risulta la seguente:

$$|V_S| < V_{C1//C2} + V_D$$

Supposti i condensatori C_1 e C_2 già carichi positivamente ad una eguale tensione $V_{C1//C2}$, essi erogheranno una corrente diretta verso il carico (load) ad una tensione iniziale:

$$V_C = V_{C1//C2} - V_D.$$

La durata di questa fase dipende dal dimensionamento del circuito e, quindi, dalle cadute di tensione nei diodi, dalle capacità dei due condensatori e dall'entità del carico. Notasi che i due condensatori risultano connessi in parallelo al carico, quindi la capacità totale sarà data da $C_{TOT} = C_1 + C_2$ mentre l'energia immagazzinata in essi è:

$$E = \frac{1}{2}C_1V_{C1//C2}^2 + \frac{1}{2}C_2V_{C1//C2}^2 = C_{TOT}V_{C1//C2}^2$$

Quindi l'energia rilasciata al carico:

$$E_C = C_{TOT}\Delta V_{C1//C2}^2$$

Questa fase si colloca dai -30° ai 30° e dai 150° ai 210° dell'onda sinusoidale.

Fase 2:

Durante questa fase V_S si trova nell' onda positiva ma la sua tensione non è ancora tale da ricaricare i condensatori. Quindi il carico sarà alimentato esclusivamente dal generatore ad una tensione:

$$V_C = V_S - (V_{D1} + V_{D2})$$

Estesa all' onda negativa di tensione:

$$V_C = |V_S| - 2V_D$$

In questa fase i due condensatori si trovano ad una carica minima e la tensione V_S è superiore alla tensione $V_{C1/C2}$ ma non superiore alla tensione della serie, più precisamente (considerando i diodi ed estendendo ai 4 quadranti):

$$V_{C1/C2} - V_D < |V_S| - 2V_D < V_{C1} + V_{C2} + V_D$$

$$V_{C1/C2} + V_D < |V_S| < V_{C1} + V_{C2} + 3V_D$$

Fase 3:

In questo caso è rispettata la condizione di carica dei condensatori C1 e C2:

$$V_S - (2 * V_D) > V_{C1} + V_{C2} + V_{D6}$$

ovvero :

$$V_S > V_{C1} + V_{C2} + V_{D6} + (2 * V_D)$$

supponendo $V_{d1}, V_{d2}, \dots, V_{d7} = V_D$:

$$V_S > V_{C1} + V_{C2} + 3V_D$$

Ovviamente anche il carico sarà alimentato, dunque la corrente assorbita sarà la massima delle quattro fasi e verrà a crearsi una cresta nell' onda sinusoidale dovuta alla carica dei condensatori (la loro corrente di carica va a sommarsi alla corrente diretta al carico).

$$I_S = I_{C1-C2} + I_C$$

Questi ultimi, in assenza di resistenza in parallelo, vengono caricati in modo istantaneo e la tensione ai loro capi sarà:

$$V_{C1} = V_{C2} = \frac{V_P - 3V_D}{2}$$

Da notare che in questa situazione i condensatori risultano collegati in serie. Dunque la capacità risultante sarà la metà di uno di essi.

$$C_{TOT} = C_{C1-C2} = (C_1 * C_2) / (C_1 + C_2) = C_1/2$$

Fase 4:

La durata di quest' ultima fase va dalla fine del caricamento dei condensatori fino a che la tensione in ingresso è :

$$V_S - V_{D1} - V_{D4} > V_{C1//C2} - V_D$$

Quindi, in modo analogo alla Fase 2:

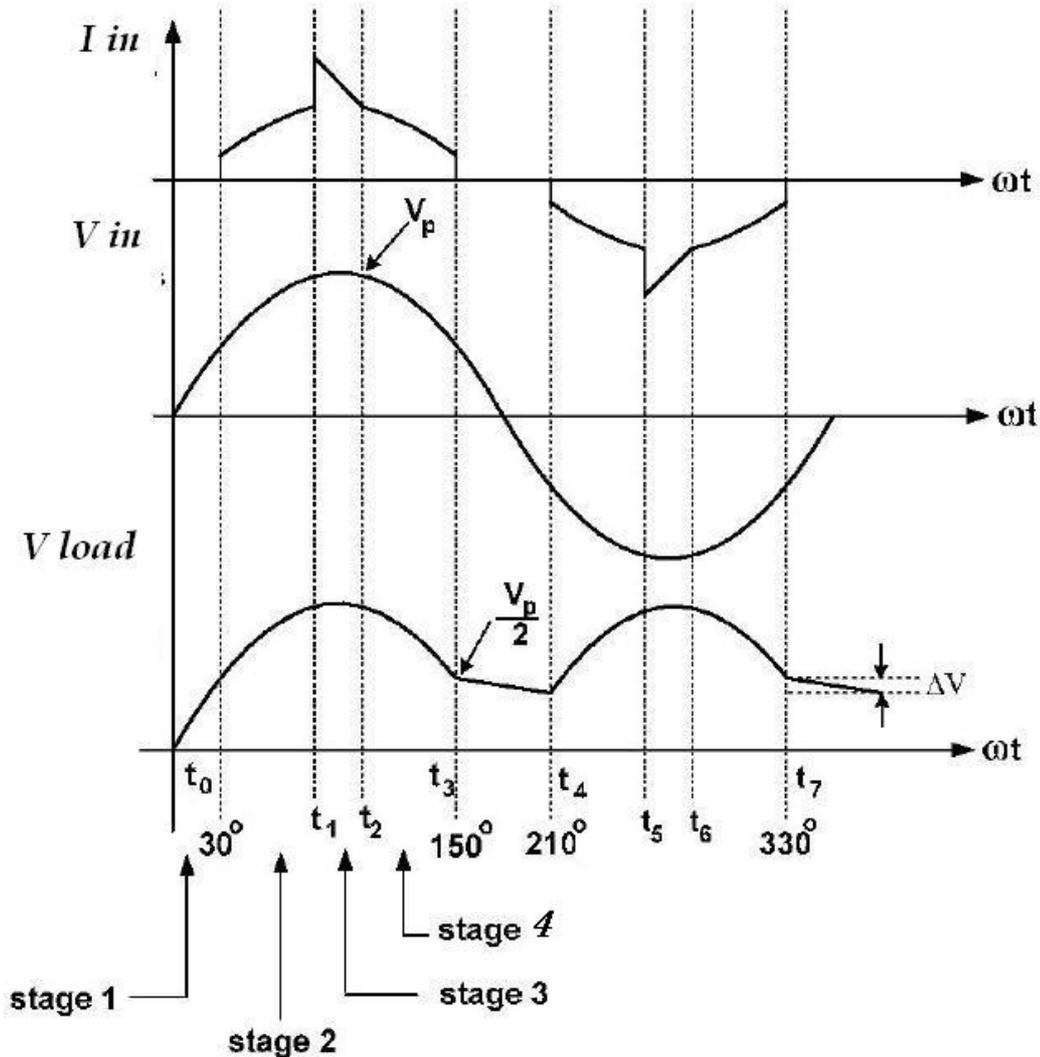
$$V_{C1} + V_{C2} + 3V_D > |V_S| > V_{C1//C2} + V_D$$

Anche in questo stage il carico viene alimentato direttamente dalla tensione di rete diminuita delle due perdite di tensioni nei diodi D1 e D4. I condensatori sono caricati ma non possono ne assorbire energia elettrica né erogarla a causa dei diodi D5, D6, D7.

Fasi successive:

Nelle successive fasi (stage 5, 6 , 7, 8) si ripete quando appena descritto con la differenza che i diodi D1 e D4 risultano polarizzati inversamente, al contrario D2 e D3 vengono polarizzati direttamente. Ne perviene dunque una simmetria di funzionamento.

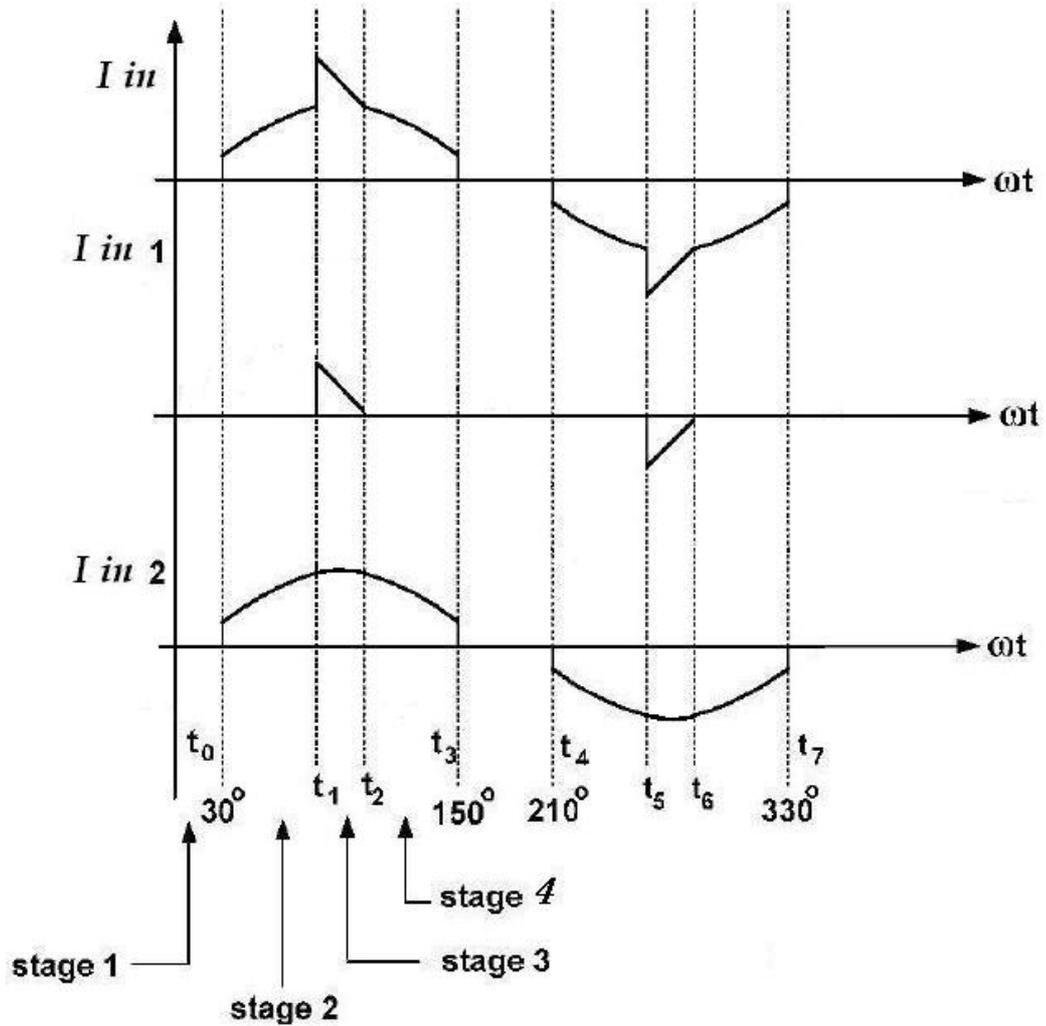
Andamento tensioni e corrente d'ingresso di un Valley Fill a due condensatori



Nel circuito a 2 condensatori la corrente di linea attraversa il ponte di diodi solo in 2/3 del periodo d'impiego (dai 30° ai 150° e poi dai 210° ai 330°), ciò si traduce con un fattore di cresta elevato a causa della carica dei condensati a metà della tensione di linea.

Per ovviare a tale inconveniente è preferita l'applicazione del Valley Fill a tre condensatori.

La corrente in ingresso I_{in} può essere scomposta in due componenti come in figura:

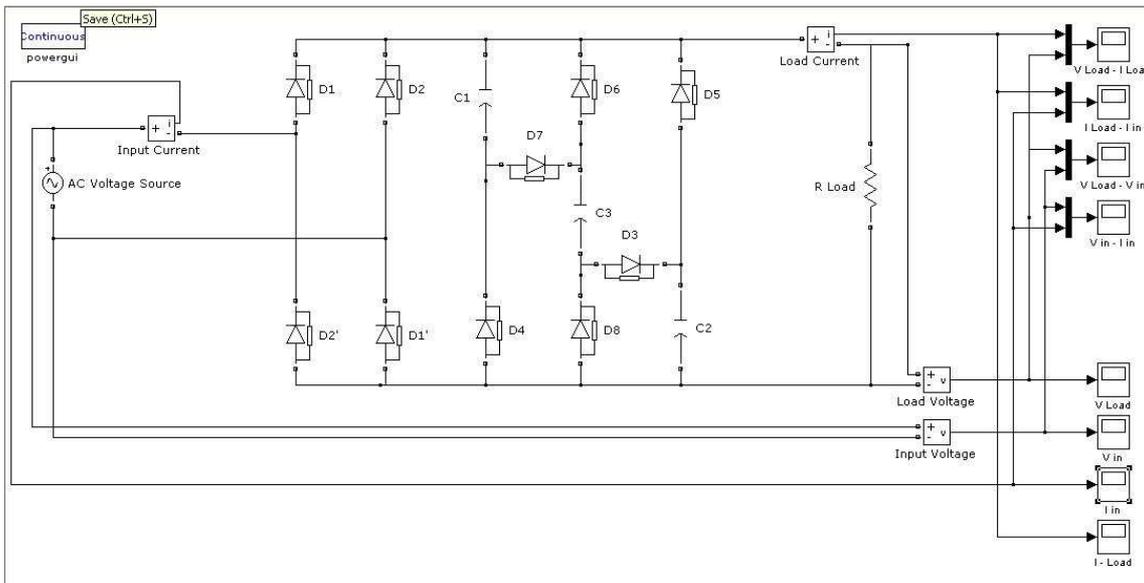


I_{in1} definisce la corrente assorbita per la carica di condensatori $C1$ e $C2$ in serie, mentre I_{in2} è la corrente assorbita dal carico di tipo resistivo.

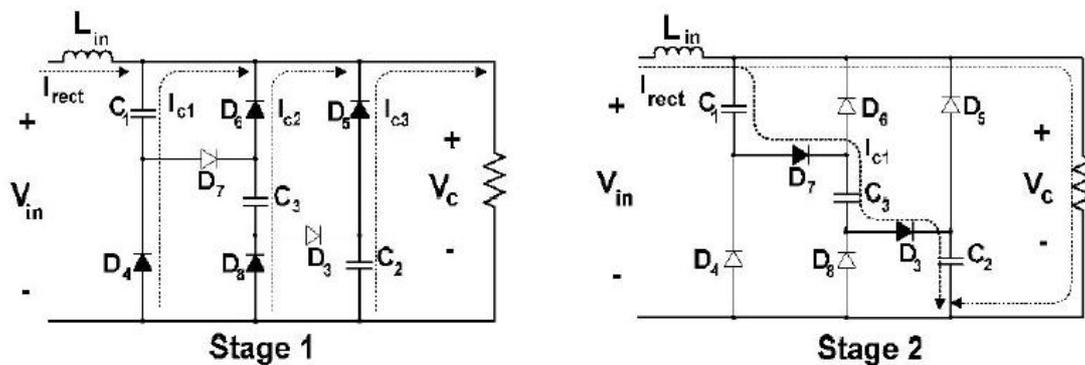
3.2. Valley Fill a tre condensatori

Rispetto al Valley Fill a due condensatori il seguente circuito vede l'aggiunta di tre diodi e un condensatore.

Schema Simulink di un Valley Fill a tre condensatori



Il funzionamento di questo circuito risulta simile al precedente. I condensatori C1, C2 e C3 hanno il ruolo di immagazzinare energia elettrica mentre i diodi D3, D4, D5, D6, D7, D8 hanno il compito di far circolare la corrente solo nei versi desiderati. Possiamo individuare due principali fasi qui sotto rappresentate:



Fase 1:

Stage 1 può essere individuato come il periodo di tempo in cui V_{in} risulta minore di V_c , ovvero minore della tensione al carico (che dipende dallo stato di carica dei condensatori), più precisamente la condizione è questa:

$$V_S - V_{D1} - V'_{D1} < V_C = V_{C1} - V_{D4} = V_{C2} - V_{D5} = V_{C3} - V_{D6} - V_{D8}$$

estendendo la formula per valori negativi di V_S , ottengo:

$$\begin{aligned} |V_S| < V_{C1} - V_{D4} + V_{D1} + V'_{D1} &= V_{C2} - V_{D5} + V_{D1} + V'_{D1} \\ &= V_{C3} - V_{D6} - V_{D8} + V_{D1} + V'_{D1} \end{aligned}$$

Quindi, assumendo i diodi eguali elettricamente:

$$|V_S| < V_{C1} + V_D = V_{C2} + V_D = V_{C3}$$

perciò il ponte di diodi non conduce ed, al contrario, i diodi D4, D5, D6, D8 conducono. Le capacità C1, C2 e C3 risultano quindi in parallelo tra di esse ed erogano corrente al carico tali che:

$$I_{C1} + I_{C2} + I_{C3} = I_C$$

La capacità totale risulterà quindi $C_{TOT} = C_1 + C_2 + C_3 = 3C_1$ essendo le tre capacità uguali. Sarà ovvio che il carico sarà alimentato ad una tensione all'incirca uguale ad un terzo della tensione di rete ed assorbirà in questa fase questa energia:

$$E_C = C_{TOT} \Delta V_{C1}^2$$

Fase 2:

In questo caso la tensione di linea V_S arriva al suo valore di picco e, solo quando essa supera la tensione totale delle tre capacità in serie, comincia la carica. Da notare la presenza dei diodi:

$$V_S - V_{D1} - V'_{D1} > V_{C1} + V_{C2} + V_{C3} + V_{D3} + V_{D7}$$

Quindi, con le note semplificazioni:

$$|V_S| > V_{C1} + V_{C2} + V_{C3} + V_{D3} + V_{D7} + V_{D1} + V'_{D1}$$

$$|V_S| > V_{C1} + V_{C2} + V_{C3} + 4V_D$$

Questa volta sono i diodi D_1 , D_1' , D_3 e D_7 a condurre corrente, mentre D_2 , D_4 , D_5 , D_6 , D_8 risultano polarizzati inversamente.

Le capacità risultano in serie, quindi rappresentabili come un unico condensatore di capacità $\frac{1}{3}C_1$ e di tensione $3V_{C1} \approx V_P$. Facile quindi intuire che $V_{C1} \approx \frac{1}{3}V_P$; più precisamente:

$$V_{C1} = \frac{1}{3} (V_S - (V_{D1} + V_{D1'} + V_{D3} + V_{D7}))$$

Da notare che nel Valley Fill a due condensatori la capacità totale era $\frac{1}{2}C_1$, quindi più elevata e necessitava di una maggiore energia per la carica, traducibile in una maggior corrente.

Fasi intermedie:

Anche in questo caso, negli intervalli di tempo intermedi tra *Fase 1* e *Fase 2* la tensione di linea V_S alimenta solamente il carico. Questi stage sono definiti in questo intervallo di valori di V_S :

$$V_{C1} + V_D = V_{C2} + V_D = V_{C3} < |V_S| < V_{C1} + V_{C2} + V_{C3} + 4V_D$$

Quindi, in linea teorica, le fasi intermedie (che delimitano gli estremi della zona di conduzione di corrente I_S) sono più estese rispetto al Valley Fill a due condensatori.

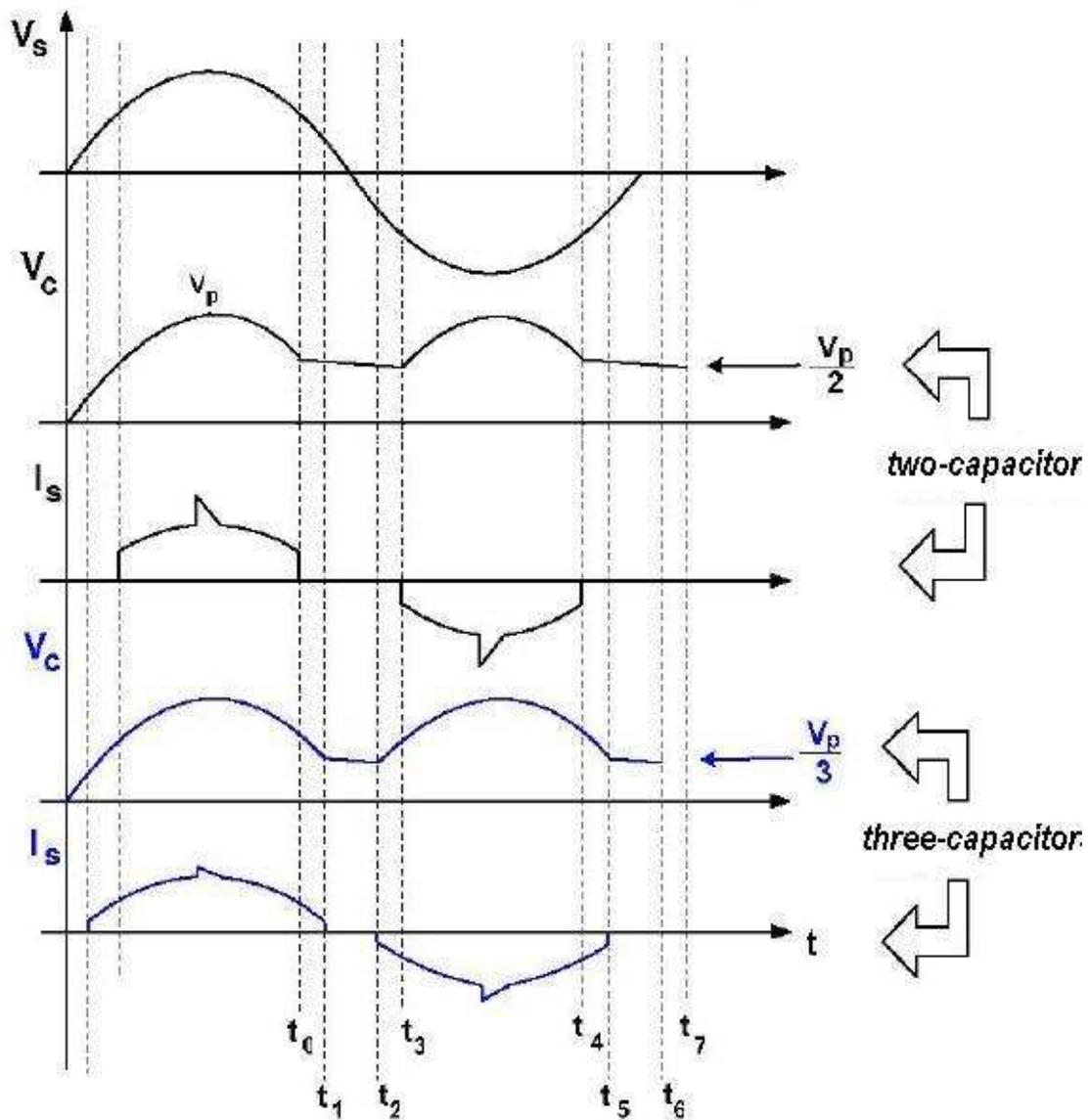
La soglia di tensione da superare è pari alla tensione V_{C3} che, nella peggiore delle ipotesi (ovvero assorbimento minimo dal carico) è:

$$V_{C3max} = \frac{V_P - 4V_D}{3} - \varepsilon \approx V_P / 3$$

(nel caso del Valley Fill a due condensatori la soglia era $\approx V_P / 2$)

Essendo poi $\arcsin \frac{1}{2} = 30^\circ$ e $\arcsin \frac{1}{3} \approx 19.5^\circ$ l'angolo di conduzione passa dai 240° ai 282° . L'angolo di conduzione varia anche in funzione del carico e del dimensionamento dei condensatori.

diagramma temporale delle tensioni e correnti in gioco nelle due configurazioni Valley Fill



Grazie alla minor capacità di carica il picco di corrente sarà quindi in questo caso minore. Inoltre, grazie ad una minore V_{C1} il tempo di conduzione della corrente è più esteso (+17.5%). Ciò si traduce in un disturbo minore alla linea cui il circuito è applicato e un THD (*Total Harmonic Distortion* - Distorsione Armonica Totale) minore.

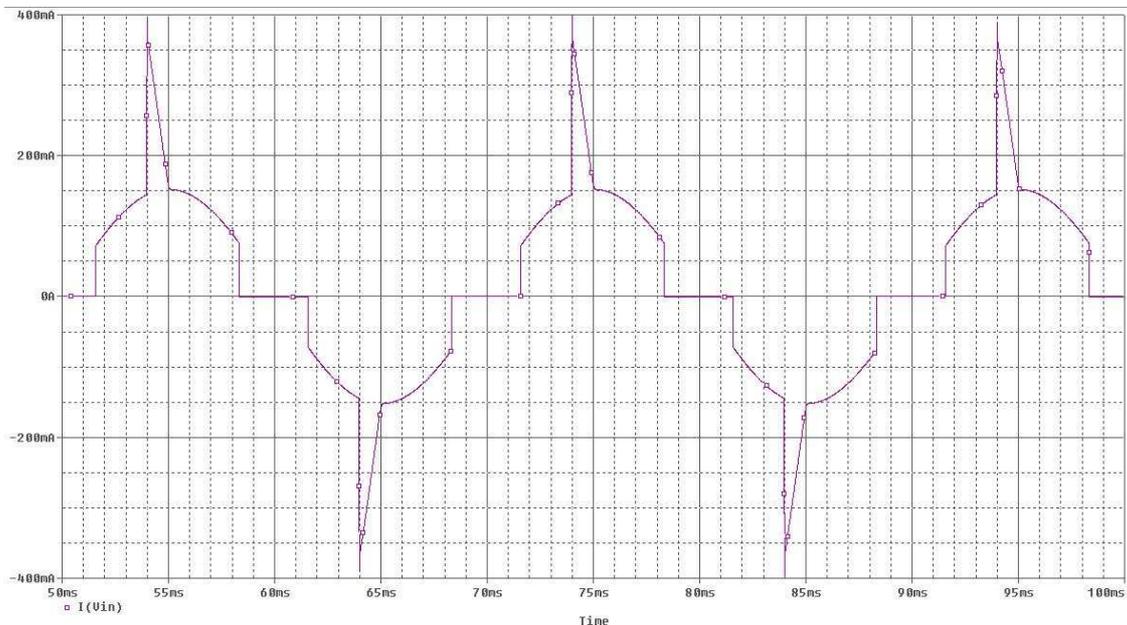
3.3. Modifica del Valley Fill a due condensatori

Il circuito Valley Fill a due condensatori presenta problematiche legate alle discontinuità dovute in parte all'angolo di conduzione relativamente basso (esso conduce dai 30° ai 150° , dai 210° ai 330° ; vedi figura sottostante), in parte dal picco di corrente di carica dei condensatori. In questo capitolo si analizzano pari passo le modifiche fatte al fine di abbassare il THD ed aumentare l'angolo di conduzione.

Il primo passo consiste nell'analizzare un possibile circuito Valley Fill composto dai seguenti elementi:

V_{in}	Tensione alternata 230Vac 50Hz
$D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7$	Diodi di potenza ($R_S = 0.01$, $C_{JO} = 100$ pF)
$C1, C2$	Condensatori di capacità 20 μ F
R_{load}	Resistenza 1500 Ohm

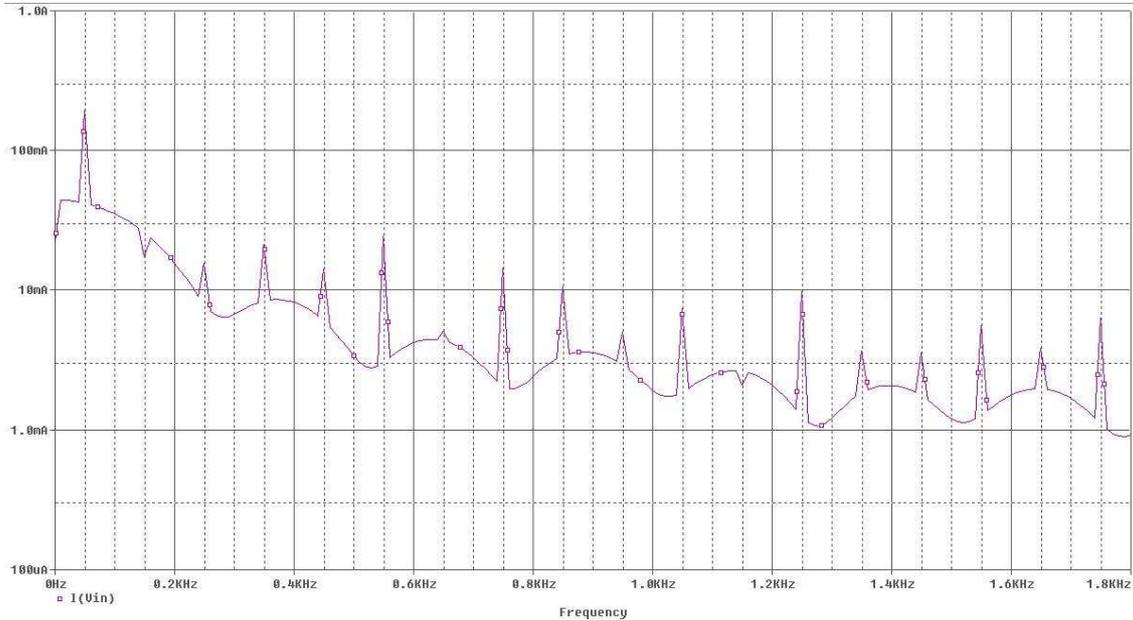
Corrente in ingresso al circuito Valley Fill a due condensatori



Si nota la distorsione dell'onda sinusoidale: il picco di corrente infatti raggiunge i 400mA.

Un' analisi più approfondita può essere fatta attraverso lo studio delle armoniche di corrente come nella seguente figura:

Trasformata di Fourier del segnale di corrente



Le specifiche IEC impongono dei limiti per quanto riguarda le varie armoniche di corrente. Più specificatamente devono essere analizzate le prime 39 armoniche rispettando il limite per ognuna. Nella seguente tabella non vengono riportate le armoniche superiori alla 13° (esse hanno un limite imposto del 3% del valore della componente fondamentale a 50Hz)

Analisi delle armoniche di corrente (con limiti IEC 1000 3-c)

armonica	2°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	THD (%)
Limite IEC (%)	2	27	10	7	5	3	3	32.28
Valley Fill	0.165	25.56	13.63	16.48	12.17	14.15	5.72	38.62

Come si può notare solo la 2° e la 3° armonica rispettano i limite imposto. Le armoniche superiori alla 5° fino alla 39° non rispettano le specifiche IEC. Inoltre la distorsione

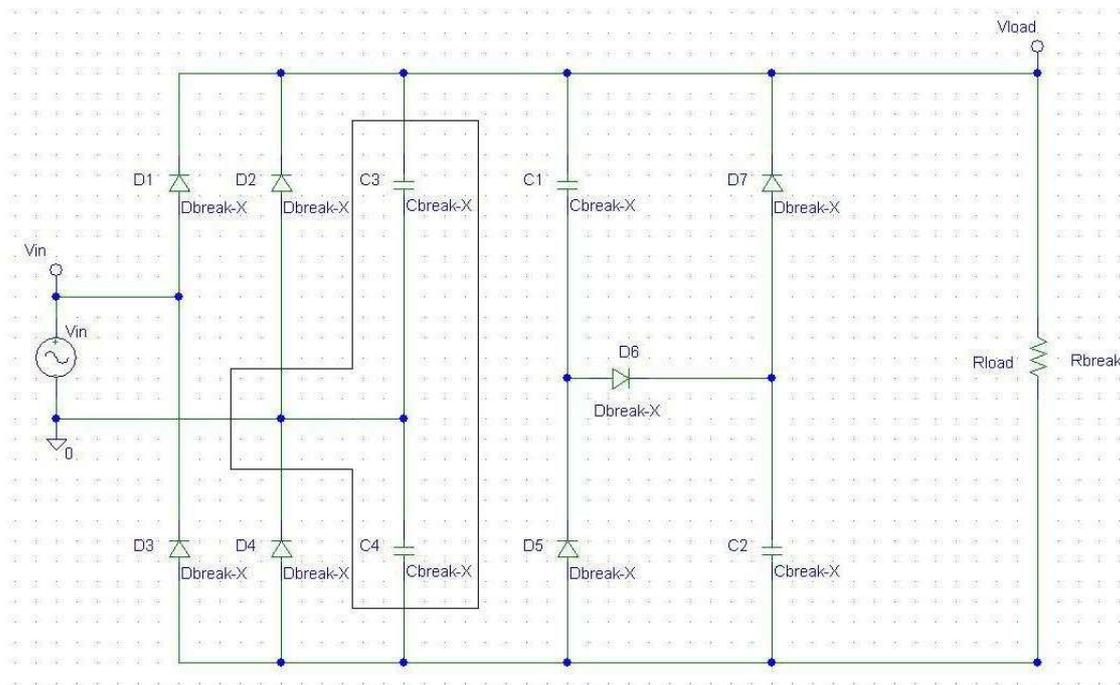
armonica totale è del 38.62%. Risulta necessario quindi migliorare la forma d'onda della corrente I_s .

La tensione durante i periodi di scarica dei condensatori non deve mai essere minore di metà della tensione di picco V_p . Notasi che l'energia per riempire i gap dei periodi di cross-over è irrilevante rispetto all'energia fornita al carico ma importante al fine di innalzare l'angolo di conduzione.

3.3.a Valley Fill e Duplicatore di tensione

Lo scopo del “duplicatore di tensione” nel circuito in questione è l'aumento dell'angolo di conduzione. Esso è configurato in modo da assorbire solo una piccola parte di energia rispetto il circuito principale, quindi i due condensatori del “duplicatore di tensione” hanno capacità minore rispetto a quelli del Valley Fill (circa ≈ 60 volte inferiore). Nei periodi di cross-over essi assorbono corrente alternativamente.

Schema PSpice del circuito Valley Fill con duplicatore di tensione

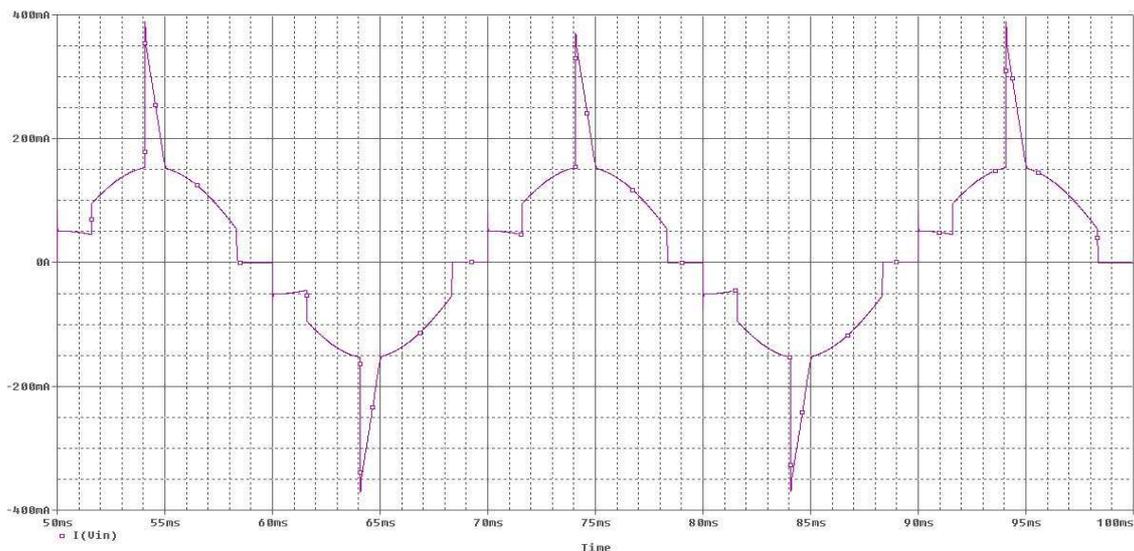


La particolare conformazione del duplicatore di tensione in figura permette di far sì che C3 si carichi in presenza di una semionda positiva della tensione in ingresso, mentre C4 durante la semionda negativa. Se i due condensatori fossero dimensionati per il funzionamento come “duplicatori di tensione” avrebbero una elevata capacità tale da permettere ad ognuno di loro di mantenere una tensione prossima a V_p per tutta la durata di una semionda. Conseguentemente, durante la semionda successiva la tensione al carico risulterebbe duplicata (infatti risulterebbe $V_{load} = V_{C3} + V_{C4}$). Nel caso in questione essi devono allargare la zona di conduzione, quindi la loro capacità limitata permette solo di accumulare energia per poi rilasciarla entro la stessa semionda.

Qui di seguito viene riportata una simulazione al calcolatore eseguita con i seguenti dati:

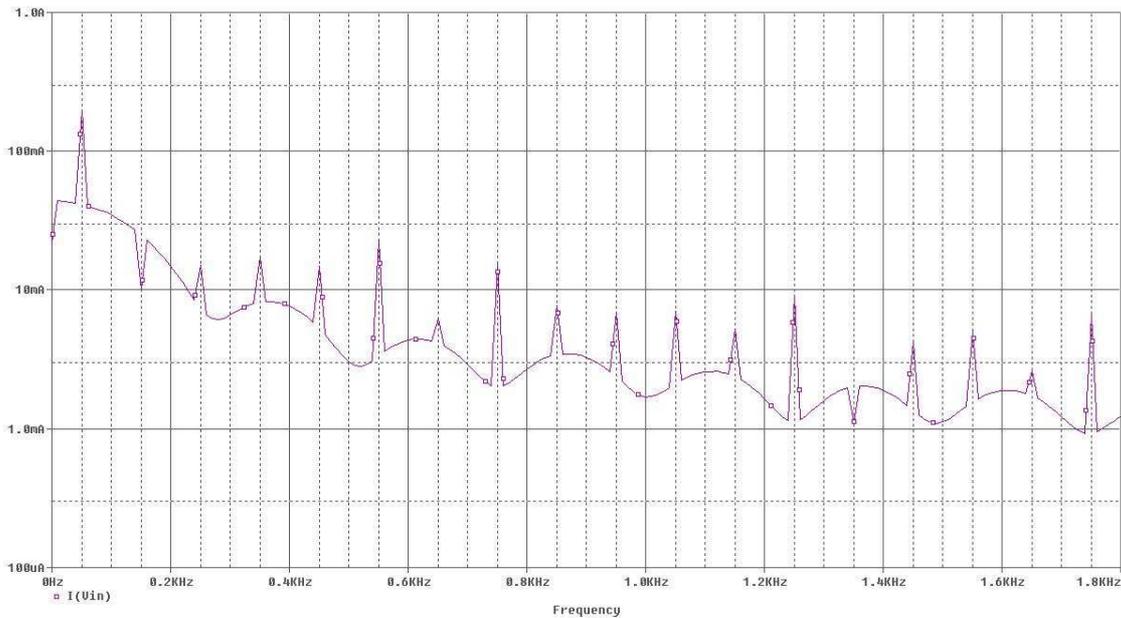
Vin	Tensione alternata 230Vac 50Hz
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7	Diodi di potenza (RS = 0.01 , CJO = 100 pF)
C1, C2	Condensatori 20 uF
R load	Resistenza 1500 Ohm
C3, C4	Condensatori 0.35uF

Andamento nel tempo della corrente in ingresso Iin



Come si può notare al cambio di polarità la corrente assume un andamento più simile al sinusoidale. La presenza dei due condensatori C3 e C4 permette un' ampliamento dell' angolo di conduzione nonché una riduzione dei picchi di corrente. Come nel caso precedente è utile analizzare le armoniche al fine di rilevare il THD.

Trasformata di Fourier del segnale di corrente



Le componenti risultano minori. Ma il circuito non risulta ancora ottimale; necessita di un livellamento della forma d' onda: il picco dovuto alla carica dei condensatori C1 e C2 non è stato ancora limitato. La tabella di seguito raggruppa i valori raggiunti.

Analisi delle armoniche di corrente (con limiti IEC 1000 3-c)

armonica	2°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	THD (%)
Limite IEC (%)	2	27	10	7	5	3	3	32.28
Valley Fill	10.49	15.67	7.89	10.86	9.42	10.66	6.46	26.02

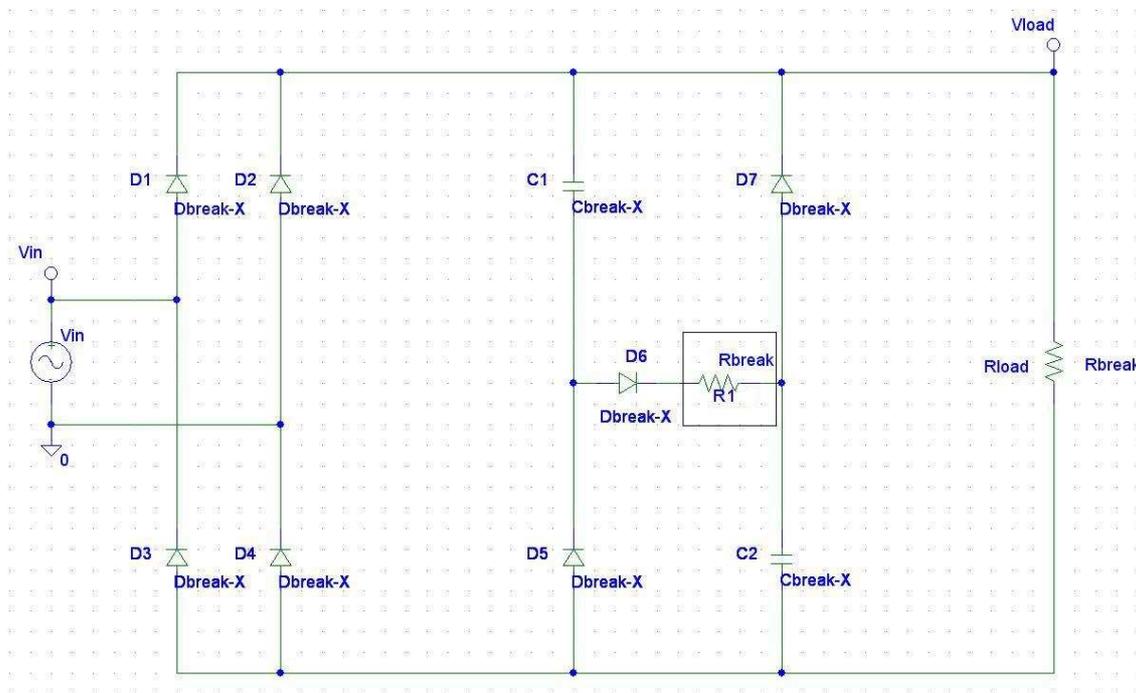
Tutte le componenti superiori alla seconda armonica sono diminuite: la distorsione totale risulta difatti minore del limite imposto.

3.3.b Valley Fill e resistenza R1

Rispetto al circuito Valley Fill originale, viene inserita una resistenza R1 (del valore di 1500Ohm) in serie al diodo D6, mentre gli altri componenti rimangono invariati.

Lo scopo di questa modifica è di abbassare il picco di corrente dovuto alla carica dei condensatori C1 e C2 senza stravolgere il funzionamento del circuito. In fase di carica infatti la resistenza R1 è in serie ai due condensatori del Valley Fill, mentre durante la loro scarica sono i diodi D5 e D7 ad essere in conduzione (D6 e R1 non sono attraversati dalla corrente).

Schema PSpice del circuito Valley Fill con R1



Alla prima connessione del circuito alla rete con condensatori scarichi le correnti I_S e $I_{C1,C2}$ risultano avere picchi elevati:

$$I_{C1,C2 \max} \simeq \frac{(V_P - 3V_D)}{R_1} = \frac{230 * \sqrt{2} - 3 * 0.7}{1500} = 0.215 \text{ A}$$

$$I_{in \max} \simeq \frac{(V_P - 3V_D)}{R_1 // R_{load}} = 0.430 \text{ A}$$

Con circuito già avviato (dopo $\approx 50\text{ms}$) la corrente di carica dei condensatori C1 e C2 ha un valore massimo di:

$$I_{C1,C2 \max} \approx \frac{(V_P - 3V_D) - V_{C1} - V_{C2}}{R_1}$$

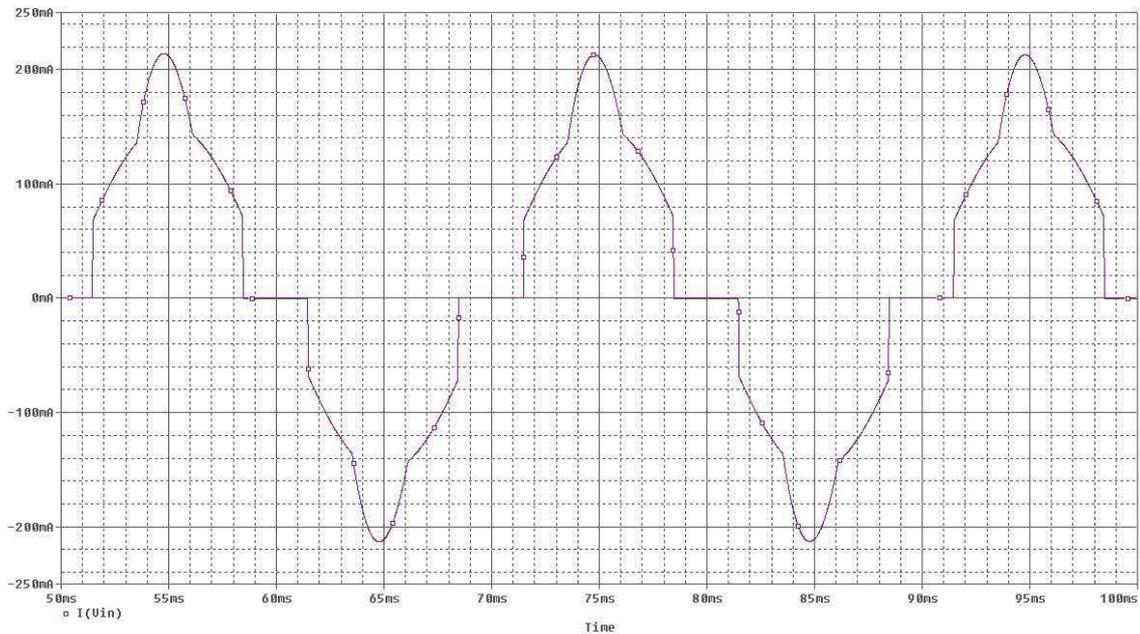
E la corrente in ingresso al circuito:

$$I_{in \max} \approx \frac{(V_P - 3V_D) - V_{C1} - V_{C2}}{R_1} + \frac{V_P}{R_{load}}$$

La scarica dei condensatori invece non subisce alcuna modifica rispetto al circuito originario: durante questa fase infatti D5 e D7 conducono mentre il diodo D6 non è in conduzione.

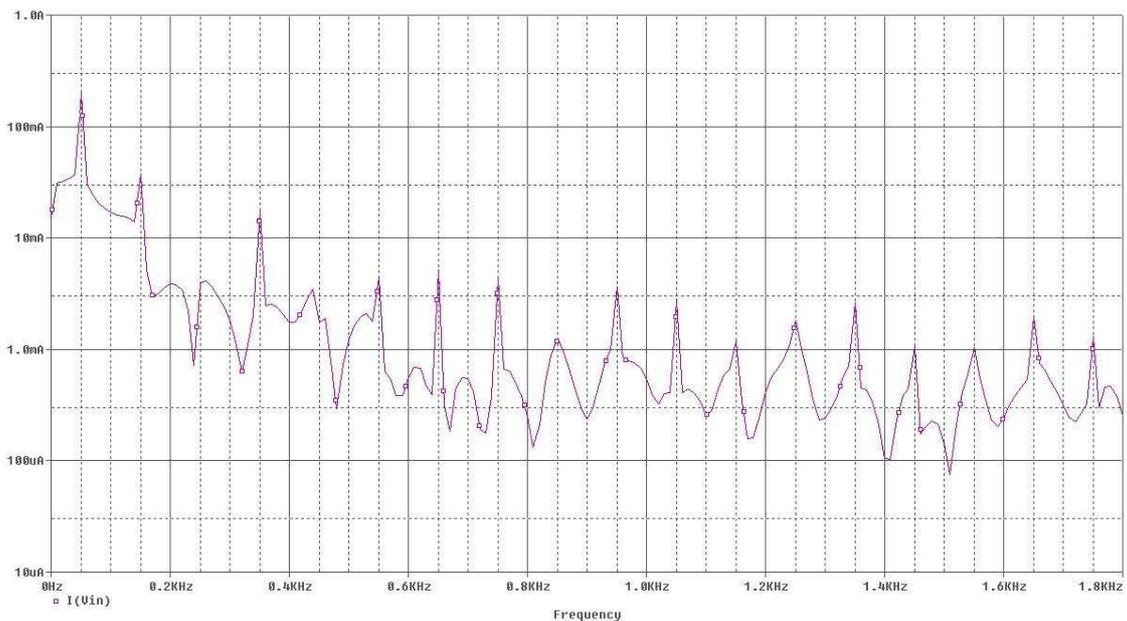
Quindi la resistenza limita le armoniche di corrente dovute all' usuale picco di carica dei condensatori.

Andamento corrente assorbita I_{in}



Come si può notare, il picco di carica dovuto ai condensatori C1 e C2 non compromette la forma d' onda come prima: mentre nel Valley Fill originale la corrente raggiungeva picchi di 400mA, ora essi sono moderati a 215mA.

Trasformata di Fourier del segnale di corrente



Dall' analisi in frequenza del circuito proposto si rileva che le armoniche superiori alla 9° hanno un valore percentuale superiore al 3%. Questi valori non rispettano pertanto l' IEC 61000 3-2 C .

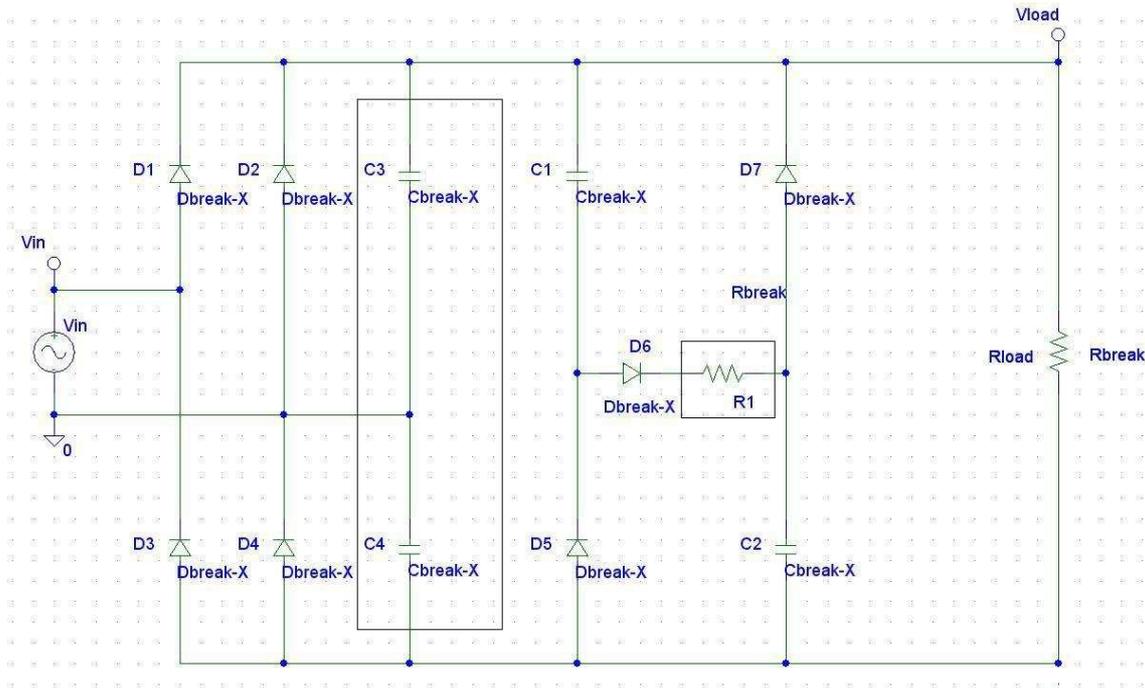
Analisi delle armoniche di corrente

armonica	2°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	THD (%)
Limite IEC (%)	2	27	10	7	5	3	3	32.28
Valley Fill	0.01	20.53	7.09	1.97	1.39	3.10	5.88	25.41

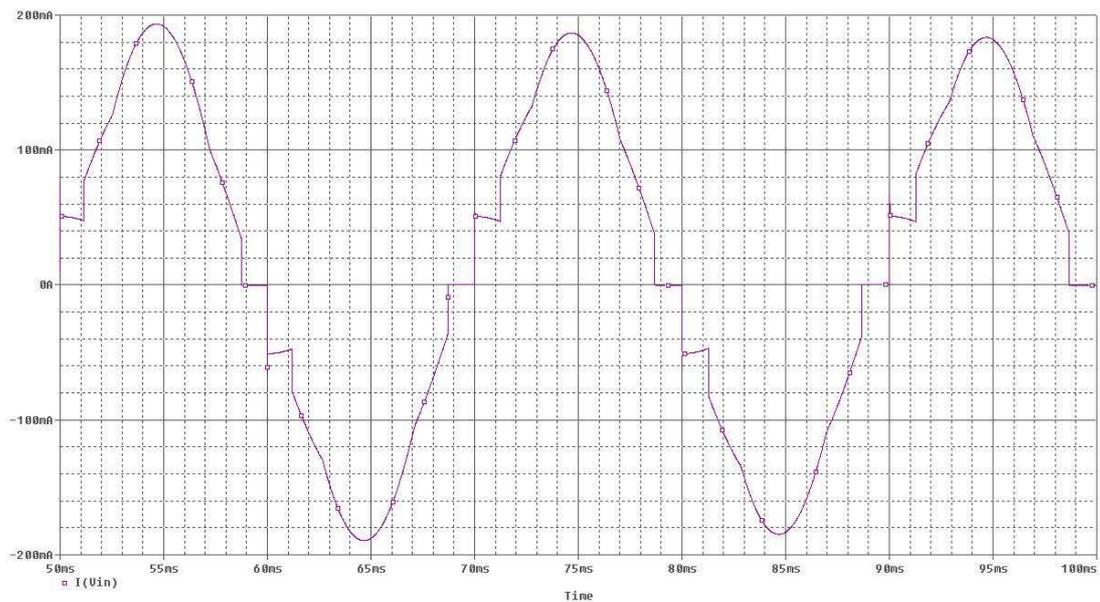
3.3.c Duplicatore di tensione e resistenza R1

In questo paragrafo viene proposta l'analisi di un circuito Valley Fill avente sia la resistenza "R1" posta in serie al diodo D6, sia il circuito duplicatore di tensione (come evidenziato in figura).

Schema PSpice del circuito Valley Fill con duplicatore di tensione e R1



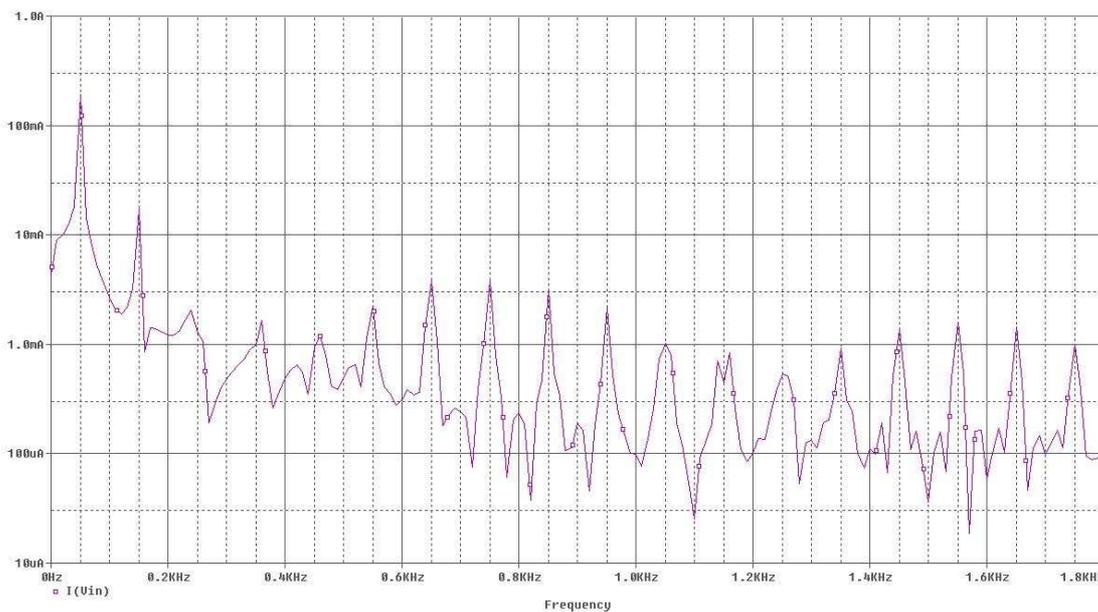
Andamento corrente assorbita I in



Il circuito beneficia degli effetti della resistenza R1 e del duplicatore in maniera separata; mentre R1 agisce sulla forma d' onda in prossimità del picco, il duplicatore allarga la zona di conduzione nella zona di inversione del flusso di corrente.

Si può notare come la corrente abbia un aspetto più simile al sinusoidale. La componente causante il picco di tensione è scomparsa e lo si può notare anche dall' analisi delle armoniche:

Trasformata di Fourier del segnale di corrente



Analisi delle armoniche di corrente

armonica	2°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	THD (%)
Limite IEC (%)	2	27	10	7	5	3	3	32.28
Valley Fill	0.12	9.30	3.54	1.85	0.80	2.37	3.41	11.47

In questo caso l' unica armonica non superante le specifiche è la 13°: le armoniche successive restano nei limiti previsti. Di conseguenza la distorsione armonica totale è del 11.5%.

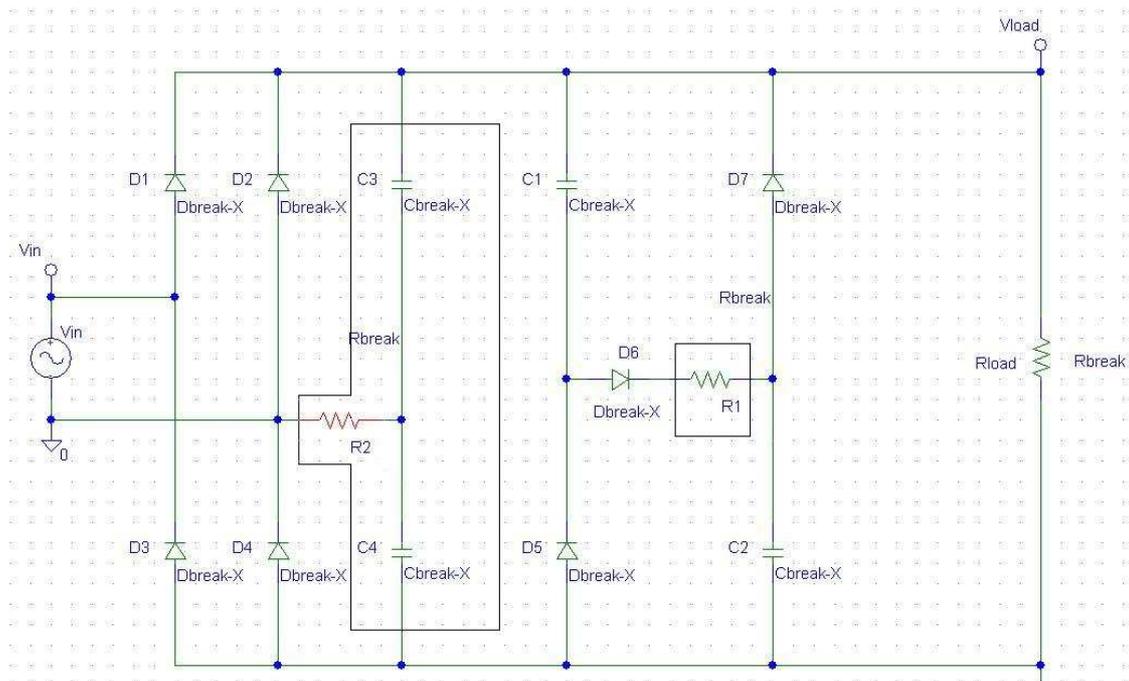
3.3.d Duplicatore di tensione e resistenze R1 R2

Il circuito seguente rappresenta il miglior perfezionamento del Valley Fill a due condensatori.

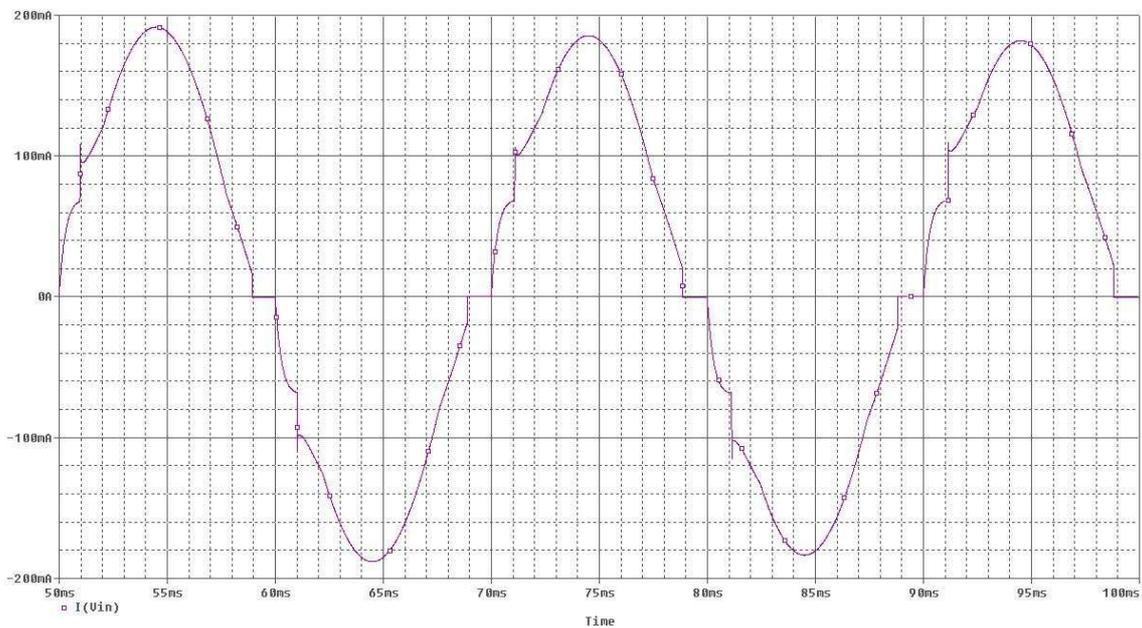
Il valore di R1 è stato aumentato a 2500Ohm mentre al *duplicatore di tensione* è stata inserita una resistenza R2. Pertanto i dati del circuito sono questi:

Vin	Tensione alternata 230Vac 50Hz
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7	Diodo di potenza (RS = 0.01 , CJO = 100 pF)
C1, C2	Condensatore 20 uF
R load	Resistenza 1500 Ohm
C3, C4	Condensatore 0.5 uF
R 1	Resistenza 2500 Ohm
R 2	Resistenza 300 Ohm

Schema PSpice del circuito Valley Fill con duplicatore di tensione e R1 R2



Andamento corrente assorbita I in

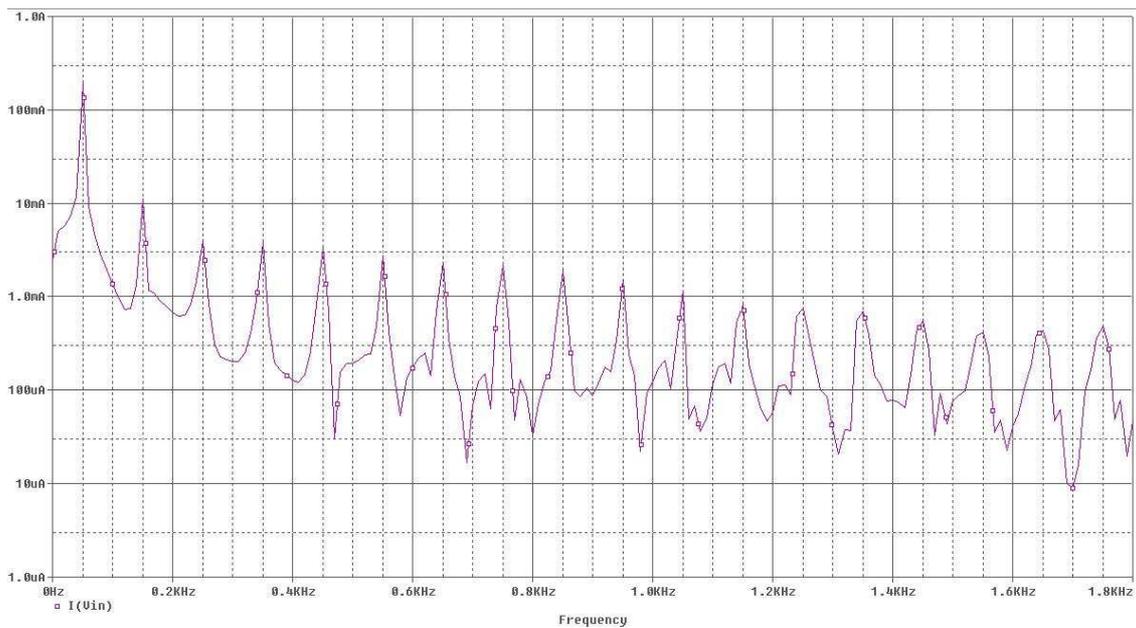


La presenza della resistenza R2 limita la corrente massima di carica dei condensatori C3 e C4:

$$I_{C3,C4 \max} = \frac{V_{in} - V_D}{R_2}$$

In questo modo risulta “livellato” il fronte di salita dell’ onda positiva e negativa.

Trasformata di Fourier del segnale di corrente



Dalla trasformata di Fourier si nota come le armoniche con frequenze superiori della portante siano ridotte. La distorsione armonica totale è $THD = 8.6\%$ ed i limiti imposti dall' IEC (fino alla 39°) sono rispettati.

Analisi delle armoniche di corrente

armonica	2°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	THD (%)
Limite IEC (%)	2	27	10	7	5	3	3	32.28
Valley Fill	0.19	6.12	2.48	2.54	2.37	1.62	1.57	8.56

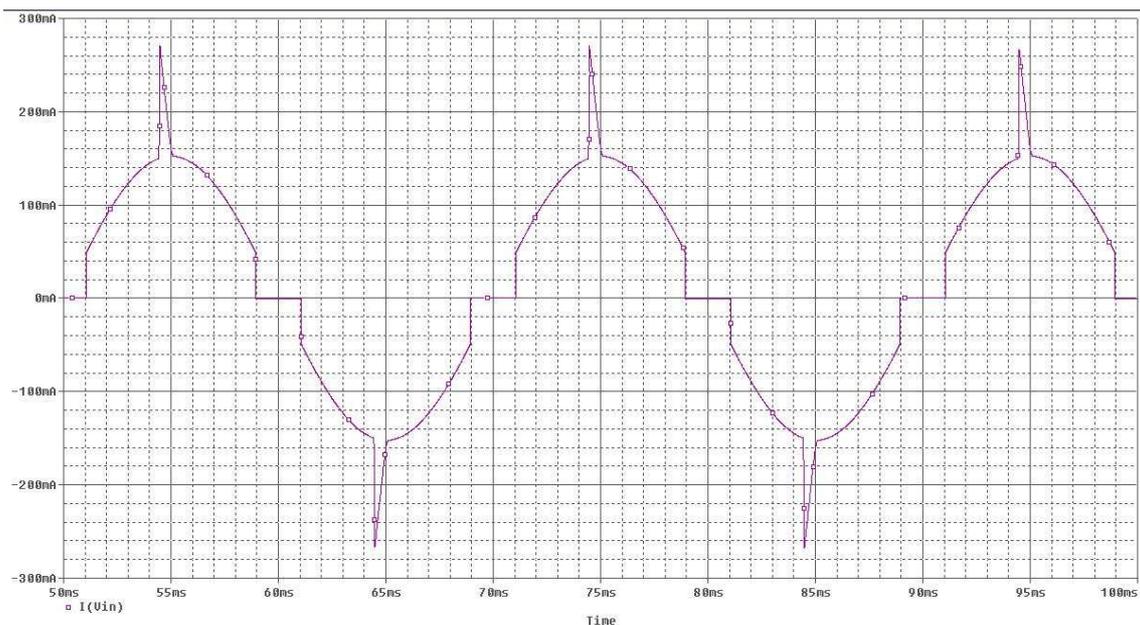
3.4 Modifica del Valley Fill a tre condensatori

In questo capitolo verranno riproposte le modifiche fatte a Valley Fill precedente sfruttando la configurazione a tre condensatori. Di seguito viene analizzato un semplice Valley Fill a tre condensatori con i seguenti dati:

V_{in}	Tensione alternata 230Vac 50Hz
D1, D., ..., D., D10	Diodi di potenza ($R_S = 0.01$, $C_{JO} = 100$ pF)
C1, C2, C3	Condensatori 30 uF
R load	Resistenza 1500 Ohm

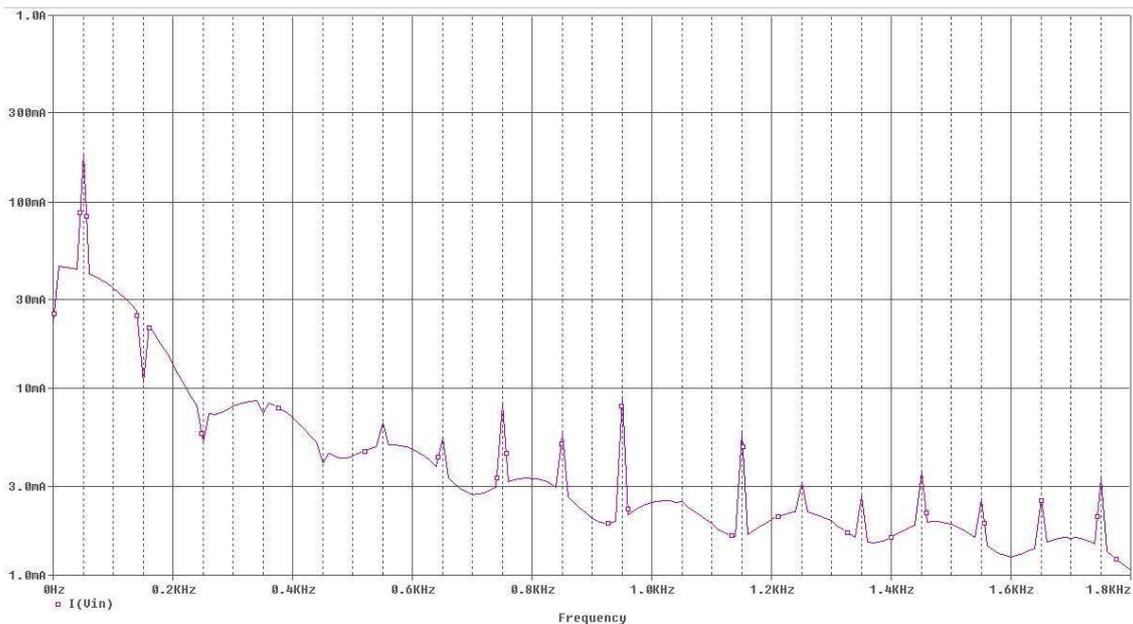
Rispetto al Valley Fill a due condensatori sono stati posti tre condensatori di capacità 30uF in modo da far si che in fase di carica la capacità risultante della serie sia sempre uguale, ovvero 10uF.

Andamento corrente assorbita I_{in}



Nel grafico è evidente il miglioramento rispetto il Valley Fill a due condensatori. Il picco di corrente è limitato a 270mA (da notare che il carico R load è rimasto invariato ed il picco relativo al Valley Fill originale era di ben 400mA).

Trasformata di Fourier del segnale di corrente



La distorsione armonica generata da questo circuito è minore rispetto al precedente (18.04% < 38.62%) ; nonostante ciò le armoniche analizzate non rispettano i limiti IEC.

Analisi delle armoniche di corrente

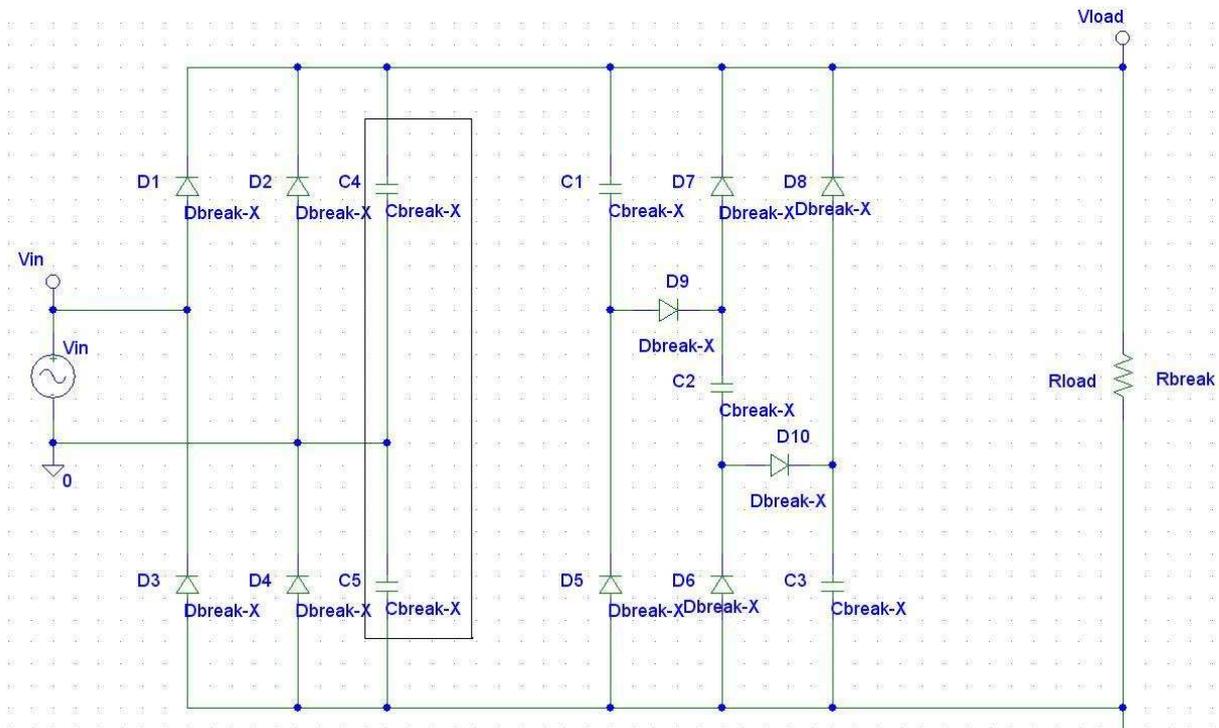
armonica	2°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	THD (%)
Limite IEC (%)	2	27	10	7	5	3	3	32.28
Valley Fill	0.00	8.44	3.38	9.39	3.77	5.18	3.40	18.04

3.4.a Valley Fill a tre condensatori e duplicatore di tensione

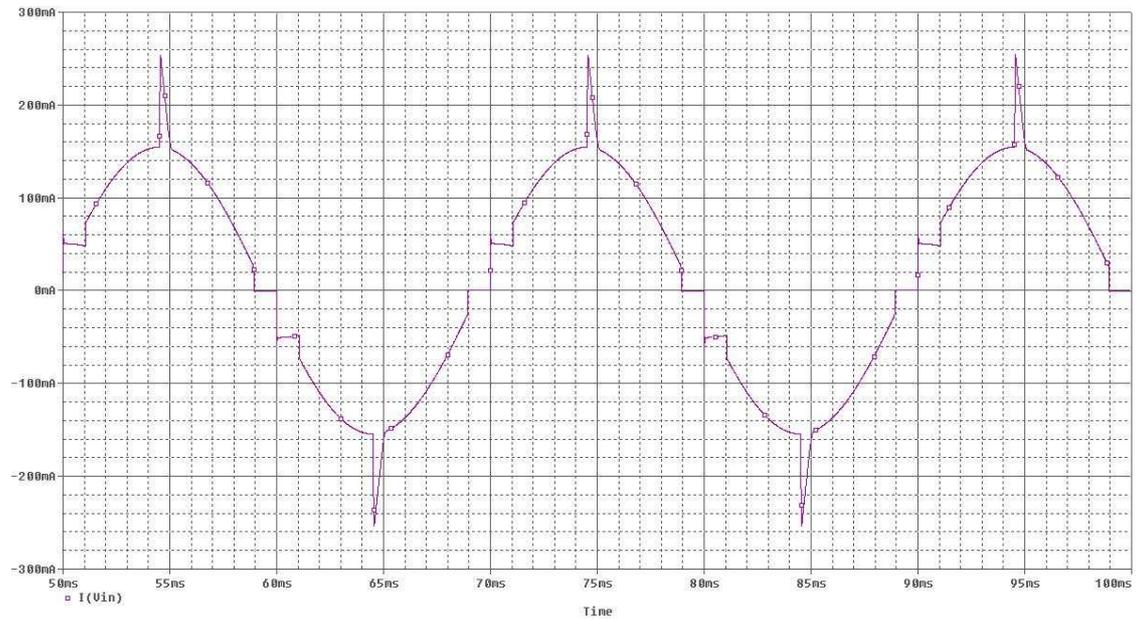
Il dimensionamento del duplicatore di tensione fa fede al precedente (ovvero ai due condensatori C3 e C4 del Valley Fill a due condensatori). Quindi anche in questo caso i due condensatori vantano una capacità di 0.35uF (rinominati C4 e C5). Pertanto i dati del circuito saranno i seguenti:

Vin	Tensione alternata 230Vac 50Hz
D1, D..., ..., D..., D10	Diodi di potenza (RS = 0.01 , CJO = 100 pF)
C1, C2	Condensatori 30 uF
R load	Resistenza 1500 Ohm
C3, C4	Condensatore 0.35 uF

Schema PSpice del circuito Valley Fill 3C con duplicatore di tensione

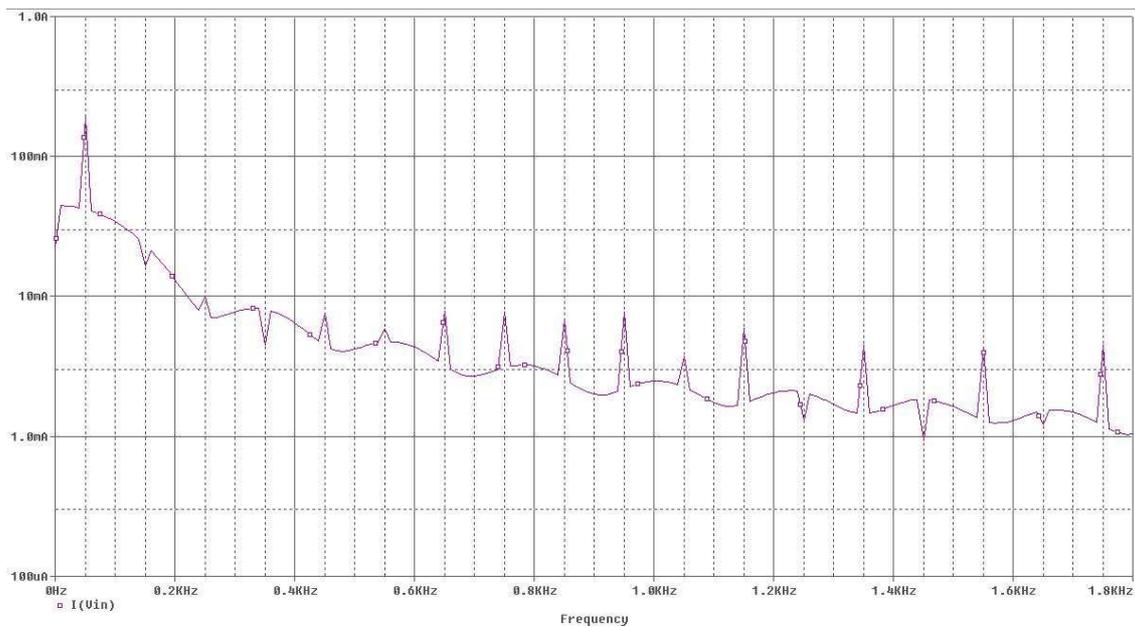


Andamento corrente assorbita I in



Come già analizzato, l'applicazione del duplicatore di tensione allarga la zona di conduzione (l'angolo di conduzione è ora prossimo a 325°).

Trasformata di Fourier del segnale di corrente



Dall' analisi in frequenza risulta ancora una volta che le armoniche la di sopra della nona sono troppo elevate per le specifiche IEC. Risultato aspettato visto il segnale di corrente in ingresso sopra raffigurato.

Analisi delle armoniche di corrente

armonica	2°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	THD (%)
Limite IEC (%)	2	27	10	7	5	3	3	32.28
Valley Fill	0.48	5.05	2.56	4.50	3.48	3.01	4.30	13.73

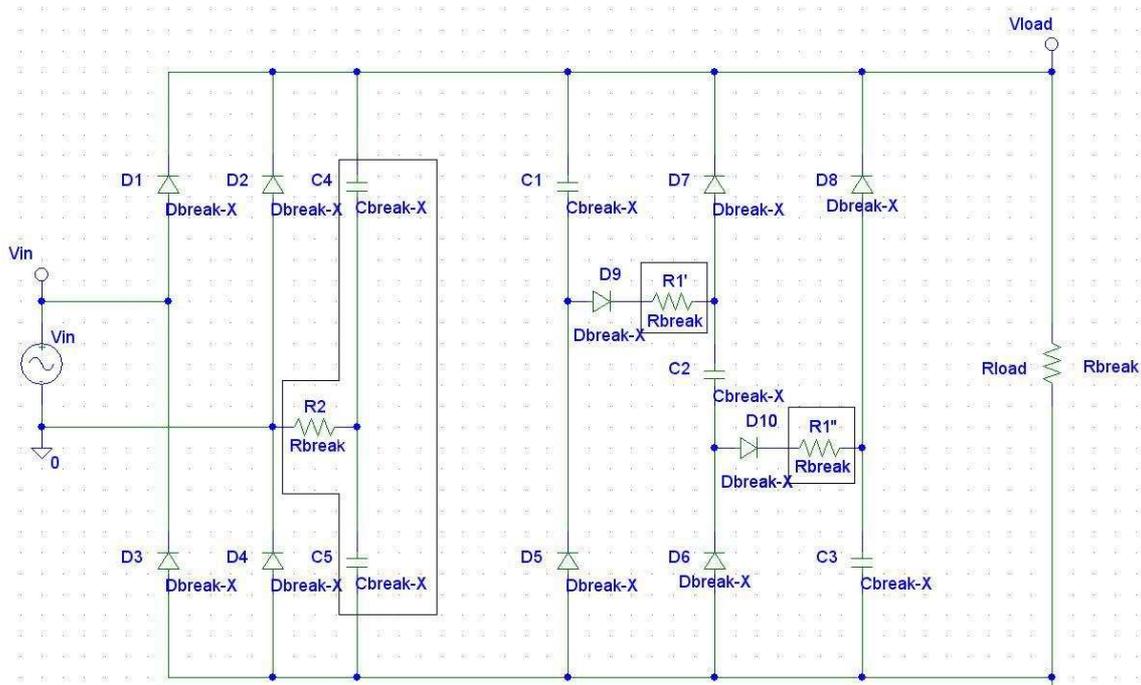
3.4.b Valley Fill a tre condensatori e duplicatore di tensione con R1',R1'', R2

La corrente di carica dei condensatori compromette la forma d' onda del segnale di corrente se non ci sono limitazioni. Per tale motivo nel circuito del paragrafo precedente sono state inserite tre resistenze. R2 permette di limitare la corrente di carica dei condensatori C4 e C5 alternativamente (uno in presenza di tensioni positive e l'altro a tensioni negative).

Gli elementi del circuito sono dunque questi:

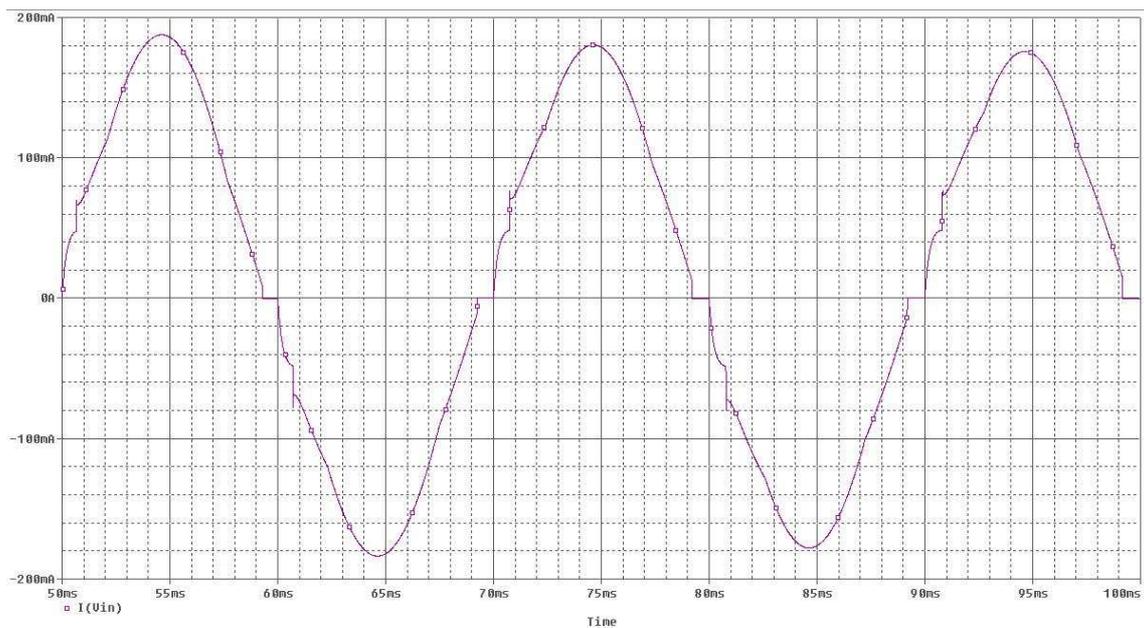
Vin	Tensione alternata 230Vac 50Hz
D1, D., ... , D., D10	Diodi di potenza (RS = 0.01 , CJO = 100 pF)
C1, C2	Condensatori 30 uF
R load	Resistenza 1500 Ohm
C3, C4	Condensatore 0.35 uF
R 1 ' , R 1 ''	Resistenze 1250 Ohm
R 2	Resistenza 300 Ohm

Schema PSpice del circuito Valley Fill 3C con duplicatore di tensione, R1',R1'',R2

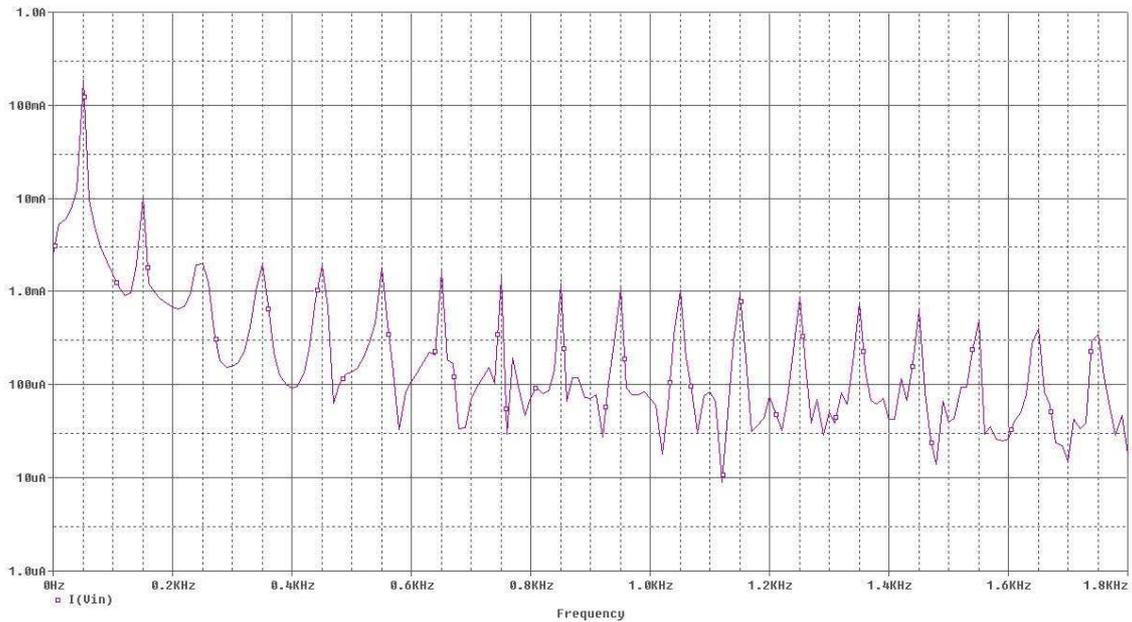


Nel caso in questione si è voluto mantenere un' analogia con il circuito Valley Fill a due condensatori. Nella fase di carica dei tre condensatori del Valley Fill, R1' e R1'' si trovano connessi in serie. Quindi, volendo mantenere una capacità serie e resistenza serie medesima, le due resistenze sono state poste $R'_1 = R''_1 = \frac{R_1}{2} = \frac{2500}{2} = 1250 \Omega$.

Andamento corrente assorbita I in



Trasformata di Fourier del segnale di corrente



Dei vari circuiti proposti in questo testo, il circuito analizzato in questo paragrafo evidenzia un comportamento migliore : la corrente assorbita ha un andamento simile al sinusoidale e la trasformata di Fourier non evidenzia componenti rilevanti.

Analisi delle armoniche di corrente

armonica	2°	3°	5°	7°	9°	11°	13°	THD (%)
Limite IEC (%)	2	27	10	7	5	3	3	32.28
Valley Fill 3C modificato	0.21	5.37	1.56	1.26	1.67	1.32	1.15	6.83

Dall' analisi delle armoniche risulta rispettato il limite IEC fino alla 39° armonica. Qui sotto viene proposto un confronto tra il corrispettivo circuito Valley Fill a due condensatori :

Analisi delle armoniche di corrente

Valley Fill 2C modificato	0.19	6.12	2.48	2.54	2.37	1.62	1.57	8.56
---------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

3.5. Confronto tra i vari circuiti Valley Fill a due condensatori

In questo capitolo vengono rappresentati dei test effettuati dal gruppo di ricerca sugli alimentatori elettronici del GEDRE* . I circuiti precedentemente proposti sono ora analizzati non più in presenza di un carico puramente resistivo ma bensì con un carico composto da lampada fluorescente e circuito di gestione dell' accensione.

Per definire la bontà e quindi le caratteristiche tecniche dei circuiti in questione è utile rilevare :

- CF ovvero il fattore di cresta della corrente al carico;
- THD ovvero la distorsione armonica totale della corrente in ingresso;
- PF cioè il fattore di potenza.

Al fine di rendere uniforme il confronto sono stati fissati i seguenti valori:

- carico di circa 32 W;
- tensione di linea di 220 V~ alla frequenza di 40Hz ;
- filtro in ingresso al circuito: filtro passa basso del primo ordine con frequenza di taglio di 10kHz.

* (gruppo di ricerca sugli alimentatori elettronici dell'università di Santa Maria – Brasile).

RISULTATI DELLA SIMULAZIONE AL CALCOLATORE (fonte: GEDRE)

Tipologia di circuito	THD (%)	PF	CF	η (%)
Valley Fill a due condensatori	42.7	0.92	2.05	----
Valley Fill a due condensatori e duplicatore di tensione	27.9	0.96	2.0	----

Valley Fill a due condensatori e R1	26.8	0.96	2.2	----
Valley Fill a due condensatori e R1 + duplicatore di tensione e R2	16.4	0.98	2.14	----

I risultati ottenuti con i componenti reali (qui sotto proposti) evidenziano come la distorsione armonica totale sia nella realtà superiore a quella stimata. Il circuito con resistenze R1 ed R2 vanta di un rendimento migliore rispetto al circuito senza duplicatore ma con R1, mentre, a causa delle resistenze di limitazione di corrente, ha un rendimento minore del Valley Fill originale. La tabella denota quindi che l' applicazione del duplicatore di tensione migliora il rendimento di tal circuito.

RISULTATI SPERIMENTALI

(fonte: GEDRE)

CIRCUITO	THD (%)	PF	CF	η (%)
Valley Fill a due condensatori	28.3	0.95	1.74	90.4
Valley Fill a due condensatori e duplicatore di tensione	30.5	0.91	1.91	91.2
Valley Fill a due condensatori e R1	27.9	0.95	1.81	85.56
Valley Fill a due condensatori e R1 + duplicatore di tensione e R2	25.4	0.95	1.98	88.64

Sempre il GEDRE ha analizzato i 4 circuiti allo scopo di determinare quali armoniche rispettassero i limiti IEC. La tabella seguente pone con \checkmark e \times i risultati soddisfacenti o no la normativa.

ANALISI DELLE ARMONICHE DI CORRENTE

(fonte: GEDRE)

armonica	2°	3°	5	7°	9°	11°	13°	15°	17°-29°	31°-39°	THD (%)
Valley Fill a due condensatori	√	√	√	X	√	X	X	X	X	√	28.3
armonica	2°	3°	5	7°	9°	11°	13°	15°	17°-29°	31°-39°	THD (%)
Valley Fill a due condensatori e duplicatore di tensione	√	√	√	X	X	X	X	X	X	√	30.5
Valley Fill a due condensatori e R1	√	√	√	X	√	X	X	X	√	√	27.9
Valley Fill a due condensatori e R1 voltage doubler e R2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	25.4

Solamente il circuito 4, ovvero il Valley Fill a due condensatori e R1 con duplicatore di voltaggio e R2 è adeguato per le specifiche IEC (risultato medesimo ottenuto nei test sperimentali di cap.3).

4. Conclusioni

VANTAGGI

Circuito a basso costo
Buon PF
Basso fattore di cresta della corrente
Circuito leggero e compatto rispetto ai tradizionali alimentatori
Controllo (passivo) del fattore di potenza

SVANTAGGI

Potenze limitate
Adatto solo a carichi costanti
Potenza al carico condizionata dal tipo di corrente in ingresso

ALTRE CONSIDERAZIONI

Il Valley Fill viene proposto nel 1988 come circuito di correzione del fattore di potenza. Oggi sono presenti decine di configurazioni possibili: dalle più semplici formate da tre diodi e due condensatori alle più sofisticate con Valley Fill a tre condensatori, duplicatore di tensione e resistenze di limitazione di corrente. Applicazioni recenti consentono rendimenti superiori al 90% e fattore di potenza prossimi al 99%. Si può quindi affermare che i risultati ottenuti in virtù della semplice componentistica ed economicità di questo circuito siano notevoli.

Al giorno d' oggi si dà molta importanza al risparmio energetico e, di conseguenza, al rendimento dei dispositivi di uso quotidiano. Come visto nel paragrafo precedente, senza l'ausilio di resistenze (per limitare le correnti di carica dei condensatori) il circuito proposto vanta di una maggior efficienza (rendimento prossimo al 91%) ma anche di un THD elevato (causato da una forte distorsione della forma d'onda della corrente in ingresso). Si pensi ora ad un uso massiccio di questi dispositivi, per esempio in ambito industriale (illuminazione): ciò porterebbe ad avere forti picchi di corrente soprattutto in fase di accensione.

Per questo motivo tal circuito non soddisfa la normativa IEC 61000; per il medesimo motivo nel testo sono state riportate altre alternative ottenute modificando il Valley Fill a due e a tre condensatori.

La soluzione al problema risulta quindi un circuito con *duplicatore di tensione e resistenze di limitazione* : in tal modo il rendimento si assesta all'88-89% e viene rispettata la normativa IEC 1000 3-c.

5. Bibliografia

Marco Bonoro:

“Teoria e tecnica dell’ illuminazione d’ interni” - Mavioli Editore (2008)

Manuale Cremonese di Elettrotecnica – Parte specialistica - Edizioni Cremonese (2002)

K. Kit Sum:

Improved Valley-Fill Passive Current Shaper (1997)

John Lam and Praveen K. Jain:

A New Passive Valley Fill Dimming Electronic Ballast with Extended Line Current Conduction Angle (2010)

Alysson R. Seidel - Marco A. Dalla Costa - Alexandre Campos - Ricardo N. do Prado:

An analysis about Valley Fill filters applied to electronic ballasts ()

Cecilia Contenti, Peter Green and Tom Ribarich:

new Circuit for Low-Cost Electronic Ballast Passive Valley Fill with additional Control Circuits for Low Total Harmonic Distortion and Low Crest Factor (2004)

IEEE:

Standard IEEE 516:2003 : IEEE Guide for Maintenance Methods on Energized Power Lines

IEC :

Standard IEC 1000-3-2 (EN 61000-3-2):
Limits – Limits for harmonic current emissions
(equipment input current 16 A per phase)

Prof. Luigi Malesani:

Dispense del corso di Elettronica per l 'energia (a.a. 2008/2009)
