



Dario Di Turi (dadituri)

SEMPLICE ANALISI DI UN PONTE INTERO (FULL BRIDGE)

24 February 2015

Premessa

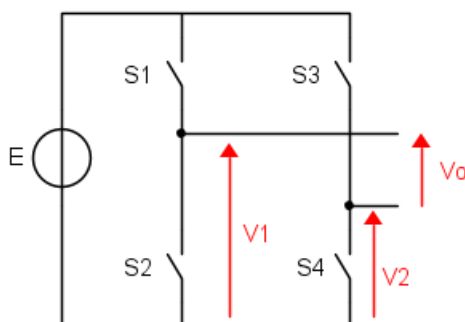
La presente piccola trattazione scaturisce a seguito di un post [PWM e calcolo del valore medio](#) nel quale una studentessa, in verità presa dal panico del giorno prima dell'esame, cercava aiuto in riferimento alla possibilità di generare una tensione negativa a partire da una positiva sfruttando una modulazione PWM.

Non avendo dei dati precisi da cui partire, e presi dallo spirito di aiutare uno studente in difficoltà, si sono susseguiti dei post (compresi il mio....) che forse, hanno generato l'effetto contrario a quello voluto, che era quello di chiarire le idee; questo mi ha portato a riprendere i miei appunti di **elettronica di potenza** per dare una rinfrescata ad argomenti che non toccavo da svariati anni. Nel seguito si analizzerà il funzionamento del **ponte intero** con **modulazione asimmetrica a due livelli**; si trascureranno le cadute di tensioni sugli interruttori (che nella realtà sono dispositivi a semiconduttore) ed i tempi di commutazione degli stessi.

Analisi del circuito

A livello circuitale possiamo descrivere il ponte intero composto da tre parti principali, ovvero un generatore di tensione continua E , le due "gambe" formate rispettivamente da $S1$ ed $S2$ e $S3$ ed $S4$, ed i due capi ai quali è collegato il carico.

Si definiscono anche i due semiponti quelli formati dagli interruttori $S1$ ed $S4$ e $S2$ ed $S3$.



$S1$, $S2$, $S3$ ed $S4$, disegnati nello schema come semplici interruttori, sono nella realtà dei dispositivi a semiconduttore controllati da segnali che assumono due livelli logici e che portano il

semiconduttore dallo stato di interdizione a quello di conduzione, ovvero interruttore aperto, interruttore chiuso.

La tensione di uscita sul carico sarà sempre data da:

$$V_O(t) = V_1(t) - V_2(t)$$

Analizziamo le possibili combinazioni degli switch scartando subito quelle non possibili ovvero S1 ed S2 entrambi ON, S3 ed S4 entrambi ON, e quelle che non servono a niente ovvero S1 ed S2 entrambe OFF, S3 ed S4 entrambi OFF. In pratica ci deve essere sempre un interruttore chiuso ed uno aperto, mai due chiusi o aperti contemporaneamente sulla stessa "gamba".

Rimangono quattro combinazioni possibili:

1. S1=ON S2=OFF S3=OFF S4=ON VO=E
2. S1=OFF S2=ON S3=ON S4=OFF VO=-E
3. S1=ON S2=OFF S3=ON S4=OFF VO=0
4. S1=OFF S2=ON S3=OFF S4=ON VO=0

Analizzando la prima condizione ovvero S1 ed S4 chiusi avremo che la tensione erogata dal primo semiponte (V1) sarà pari a E mentre quella del secondo semiponte (V2) sarà zero per cui sul carico sarà:

$$V_O = V_1 - V_2 = E - 0$$

Analizzando la seconda condizione ovvero S2 ed S3 chiusi avremo che la tensione erogata dal primo semiponte (V1) sarà pari a zero mentre quella del secondo semiponte (V2) sarà pari a E per cui sul carico sarà:

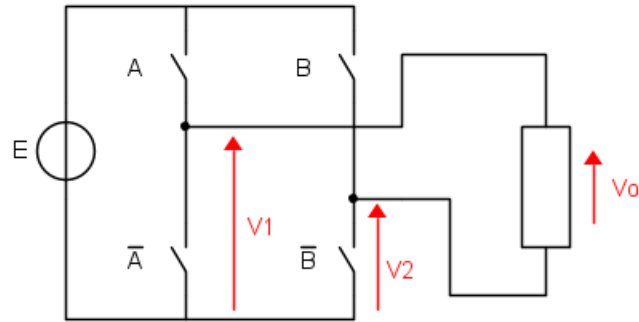
$$V_O = V_1 - V_2 = 0 - E$$

Nella terza e quarta combinazione la tensione di uscita è sempre zero ed il carico in cortocircuito se di natura induttiva.

In realtà sfruttando una modulazione PWM a due livelli possiamo generare tutte le tensioni comprese fra -E e E; in pratica quindi useremo esclusivamente le combinazioni 1 e 2 ed un tipo di modulazione che viene chiamata asimmetrica.

Anche il segnale di comando degli interruttori sarà a due livelli.

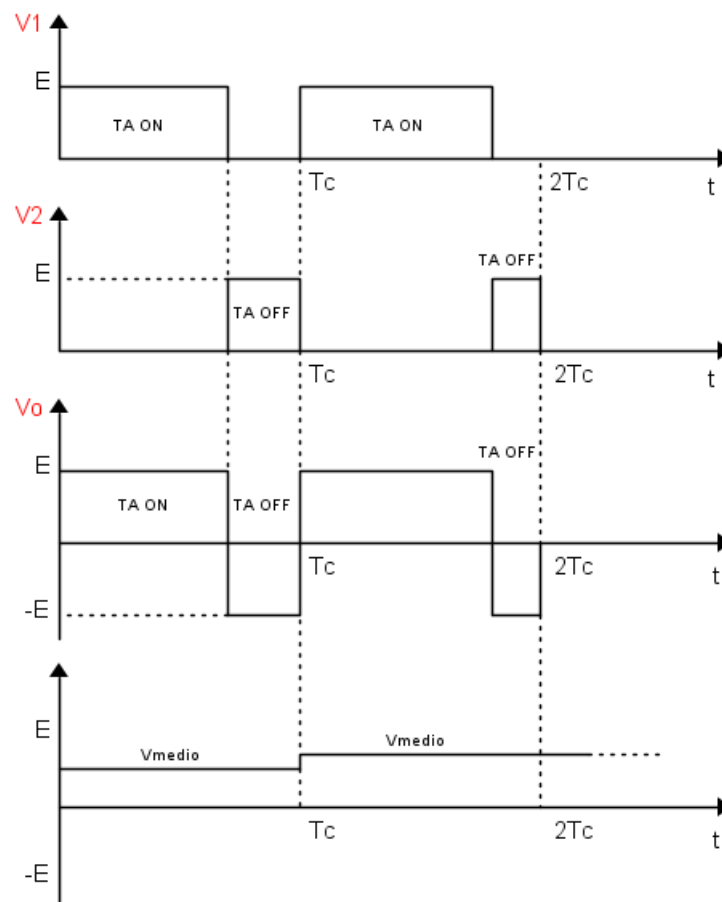
In questo caso quindi possiamo ridisegnare il circuito e definiamo l'interruttore A ed il suo complemento, ovvero se A è chiuso, A negato è aperto e viceversa e l'interruttore B ed il suo negato.



Chiamiamo con T_c il periodo di commutazione.

Nella modulazione asimmetrica non vengono considerate le condizioni per cui la tensione in uscita V_O è uguale a zero ma solo le prime due condizioni viste cioè quelle in cui $V_O = E$ o $V_O = -E$.

Di seguito è riportato l'andamento temporale per due periodi di campionamento delle tensioni V_1 , V_2 , V_O ed il valore medio sul carico.



In particolare calcolo la tensione media sul carico nel periodo T_c ovvero:

$$\begin{aligned}
 V_{Oave} &= V_{1ave} - V_{2ave} = \frac{T_{AON}}{T_C} E - \frac{T_{AOFF}}{T_C} E = \\
 &= \left(\frac{T_{AON}}{T_C} - \frac{T_{AOFF}}{T_C} \right) E = \left[\frac{T_{AON} - (T_C - T_{AON})}{T_C} \right] E = \\
 &= \left(\frac{2T_{AON} - T_C}{T_C} \right) E = \left(\frac{2T_{AON}}{T_C} - 1 \right) E
 \end{aligned}$$

dove:

$$T_{AOFF} = T_C - T_{AON}$$

Posto:

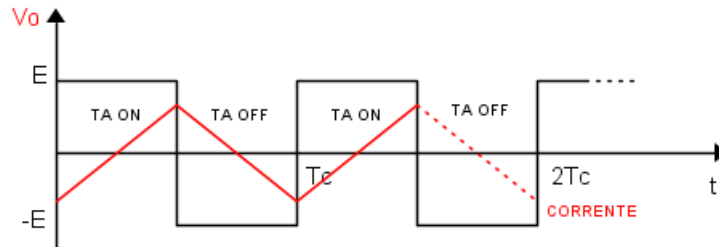
$$D = \frac{T_{AON}}{T_C} \text{ che varia fra 0 e 1 possiamo ricavare } \rho = (2D - 1) \text{ che varierà tra -1 ed 1.}$$

Per esempio per $D = \frac{1}{2}$ sarà $\rho = 0$ e conseguentemente $V_{Oave} = 0$.

Per $D = 1$ sarà $\rho = 1$ e conseguentemente $V_{Oave} = E$.

Per $D = 0$ sarà $\rho = -1$ e conseguentemente $V_{Oave} = -E$.

Il problema di questa modulazione è che per avere una tensione pari o prossima a zero sul carico dovrò avere $\rho_A = \frac{1}{2}$ e conseguentemente $\rho = 0$, ovvero un $T_{AON} = \frac{T_C}{2}$.



In caso di carico induttivo, nonostante la tensione prossima a zero, avrò la variazione di corrente con massima pendenza positiva nel primo semiperiodo e la variazione di corrente con massima pendenza negativa nel secondo semiperiodo, ovvero il massimo ripple sulla corrente. E' bene ricordare che il valore efficace di un'onda quadra a due livelli, $+E$ e $-E$ vale E , indipendentemente dal duty cycle.

Quindi, se per esempio usassimo la modulazione a due livelli per alimentare una lampadina, questa rimarrebbe sempre alla luminosità massima.

Cenni sulla modulazione simmetrica

Nella modulazione simmetrica l'impulso di comando sarà simmetrico per i due semiponti rispetto al semiperiodo T_c . In questo modo si riesce a ridurre la pendenza della variazione della corrente e conseguentemente il ripple della stessa. Se l'articolo susciterà interesse descriverò dettagliatamente questa modalità in un prossimo articolo.

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale ad IsidoroKZ per aver riletto e corretto in tempi da record questo articolo e per avermi fatto voglia di rispolverare appunti e concetti che avevo dimenticato.

Bibliografia

[1] Prof. A. Dell'Aquila - Appunti del corso di elettronica di potenza

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Dadituri:semplice-analisi-di-un-ponte-intero-full-bridge>"