

Riduzione delle perdite negli inverter

I circuiti per la riduzione delle perdite devono essere dimensionati considerando le diverse condizioni operative che possono presentarsi durante l'apertura e la chiusura del Transistor.

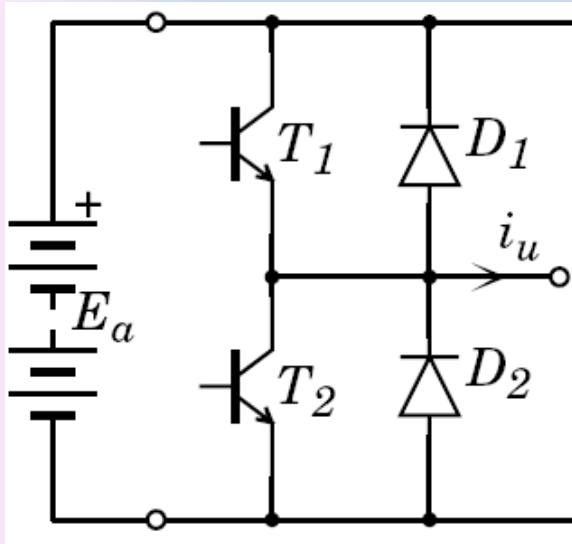
Per caratterizzare queste condizioni, si fa in genere riferimento alle due distinte situazioni, che possono presentarsi quando l'inverter funziona ad onda quadra:

- *commutazione induttiva (carico induttivo);*
- *commutazione capacitiva (carico capacitivo).*

Quando l'inverter funziona ad onda quadra tutte le commutazioni sono dello stesso tipo mentre quando la tensione di uscita è modulata, i due tipi di commutazione si presentano alternativamente.

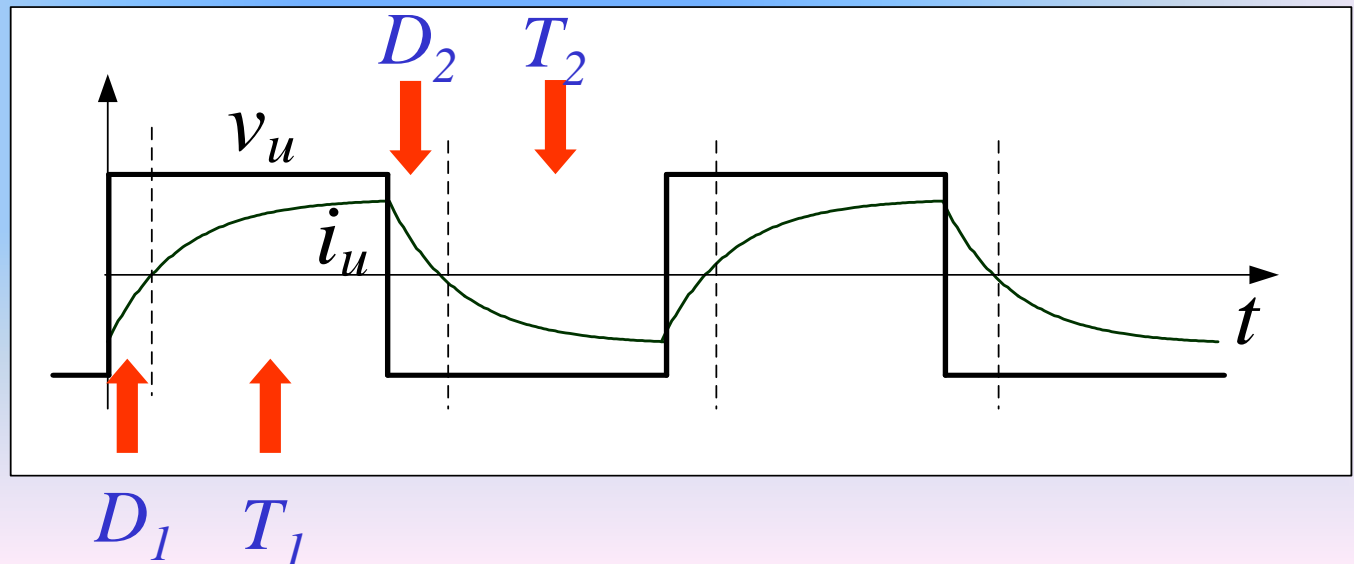
Riduzione delle perdite negli inverter

commutazione induttiva



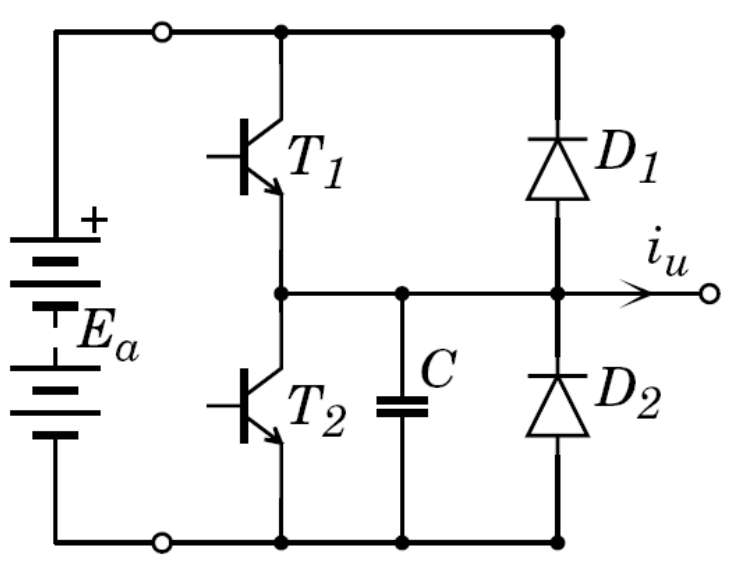
Apertura. La corrente fornita dall'inverter risulta sfasata in ritardo rispetto alla tensione; pertanto, all'atto dello spegnimento, ogni Transistor si trova a condurre la corrente assorbita dal carico (stessa situazione dei c.c.-c.c.).

Circolazione di corrente



Riduzione delle perdite negli inverter

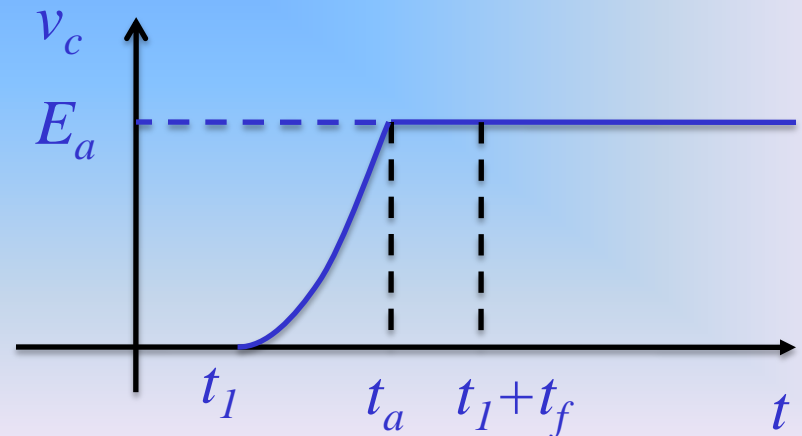
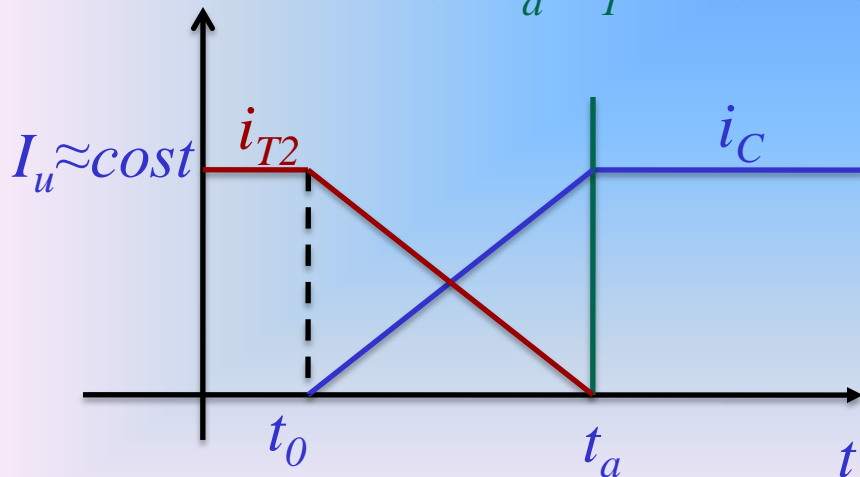
commutazione induttiva



Apertura. Occorre inserire un condensatore in parallelo a T_2 per ridurre le perdite.

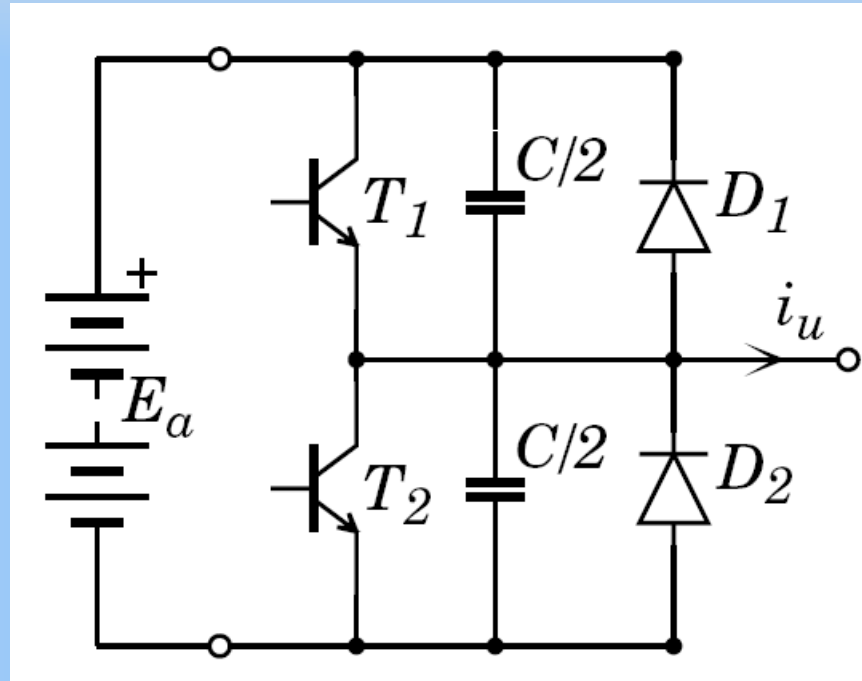
Supponiamo che T_2 sia in conduzione ($i_u < 0$) e si voglia commutare su T_1 .

In $t = t_a$ D_1 entra in conduzione



Riduzione delle perdite negli inverter

commutazione induttiva



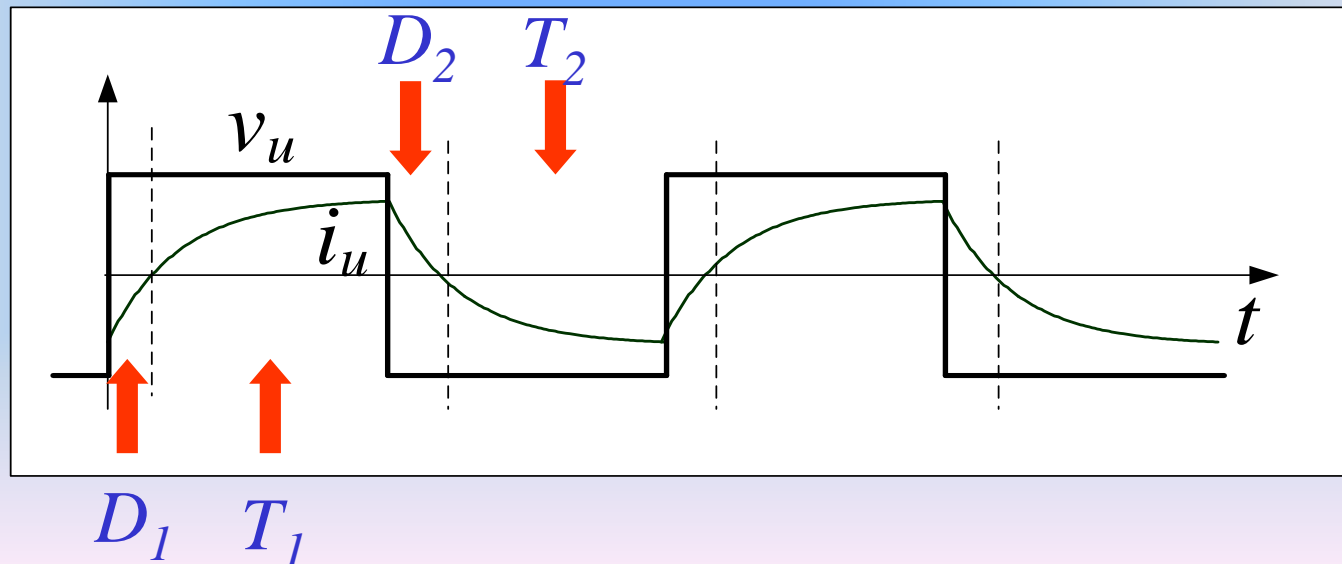
Per motivi di simmetria e per ridurre l'effetto delle induttanze disperse, è conveniente impiegare due condensatori (di capacità $C/2$) posti direttamente in parallelo ai due Transistor.

Riduzione delle perdite negli inverter

commutazione induttiva

Chiusura. se tra l'apertura di un Transistor (ad esempio T_2) e la successiva chiusura dell'altro Transistor dello stesso ramo (T_1) viene fatto intercorrere un intervallo di tempo sufficientemente lungo, all'atto della chiusura di quest'ultimo tutta la corrente di carico circola nel Diodo omonimo (D_1).

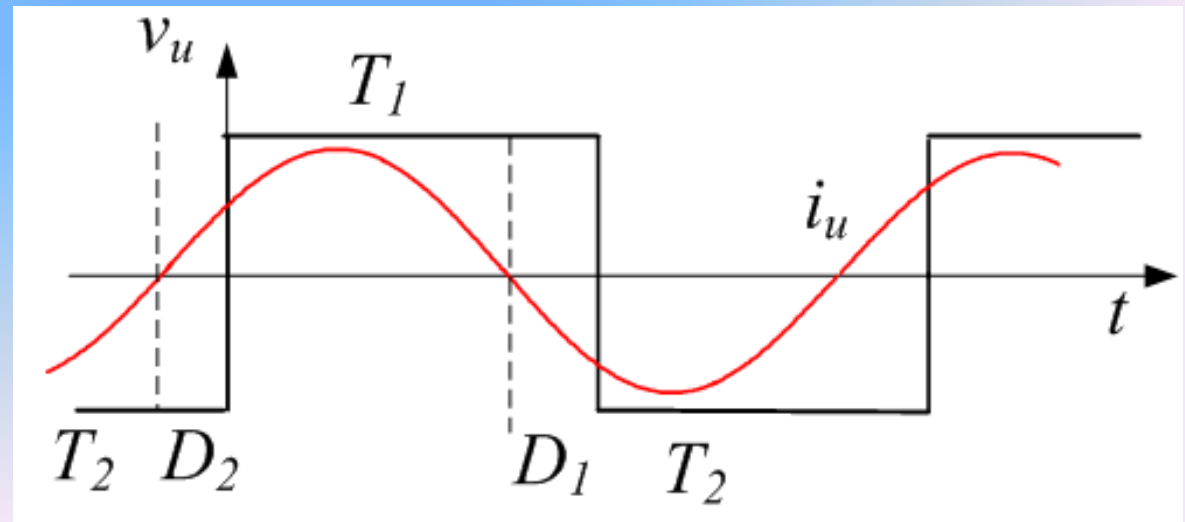
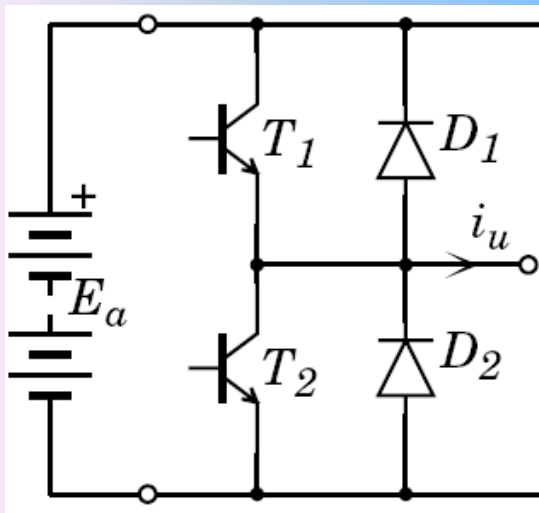
Non occorre introdurre alcuna induttanza per limitare il di/dt



Riduzione delle perdite negli inverter

commutazione capacitiva

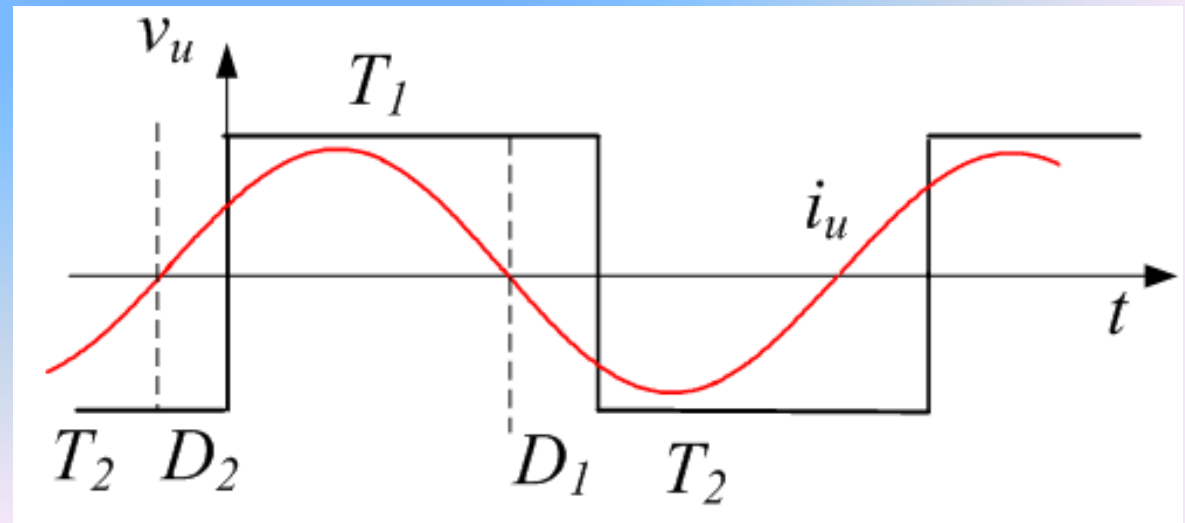
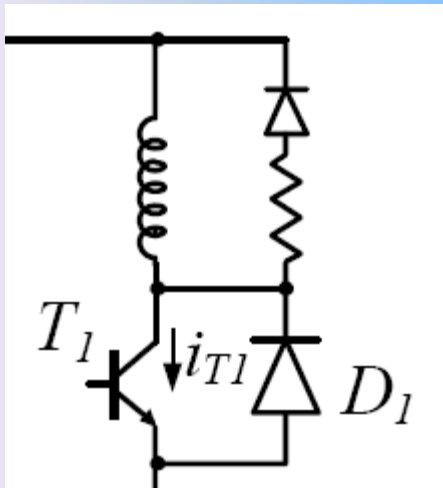
Analogamente al caso di carico induttivo, quando l'inverter funziona ad onda quadra con commutazioni tutte di tipo capacitivo, il problema della riduzione delle perdite di commutazione risulta semplificato rispetto al caso dei convertitori c.c.-c.c. Infatti, in tali condizioni operative, all'atto della apertura, i Transistor si trovano a condurre una corrente nulla e, di conseguenza, **non si hanno perdite di apertura.**



Riduzione delle perdite negli inverter

commutazione capacitiva

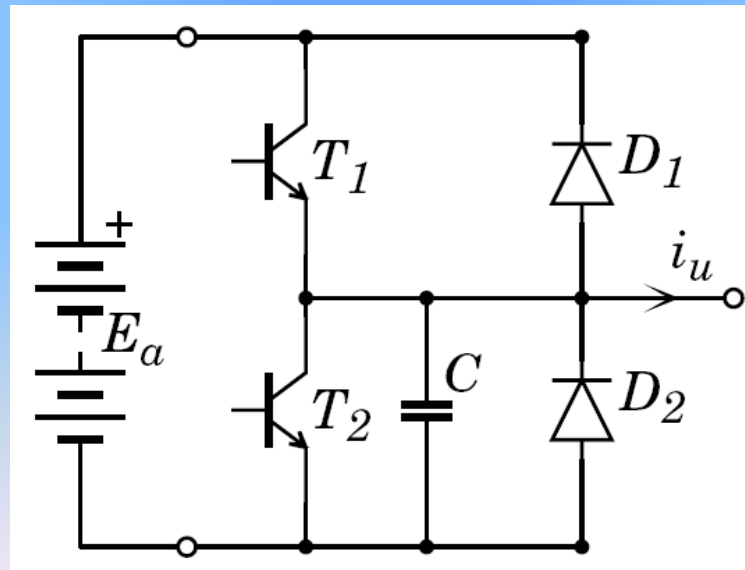
Viceversa occorre inserire il circuito induttivo, idoneo a ridurre le perdite di chiusura.



Riduzione delle perdite negli inverter

Funzionamento con onda modulata

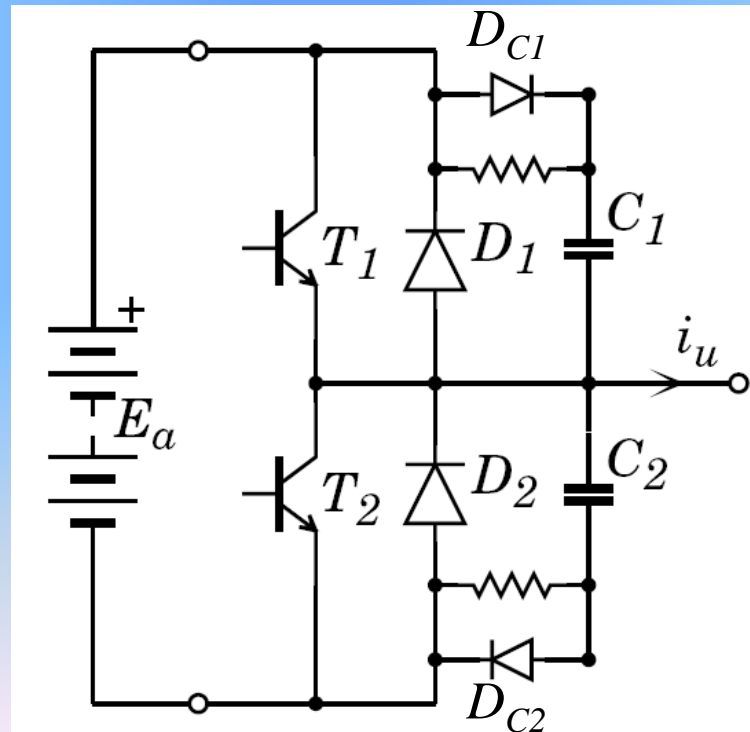
Si consideri il comportamento del circuito in presenza di una commutazione capacitiva. Nell'istante in cui T_1 viene aperto la corrente $i_u < 0$ e, pertanto, circola in D_1 . Quando T_2 viene chiuso, l'energia immagazzinata nel condensatore, carico ad E_a , viene dissipata sul Transistor stesso.



Riduzione delle perdite negli inverter

Funzionamento con onda modulata

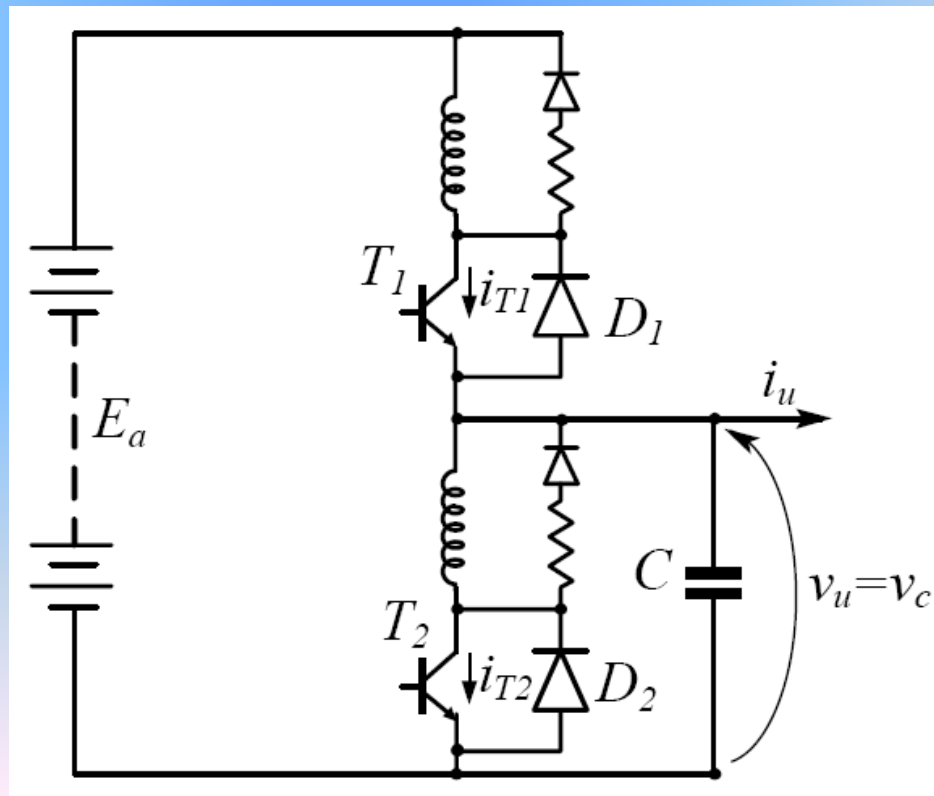
Un funzionamento analogo si avrebbe anche se si fossero utilizzate le resistenze di dissipazione. Infatti, impiegando questo circuito, solo l'energia immagazzinata nel condensatore C_2 viene dissipata sulla relativa resistenza, mentre, a causa della presenza del Diodo D_{C1} il condensatore C_1 si scarica senza alcuna resistenza in serie.



Riduzione delle perdite negli inverter

Funzionamento con onda modulata

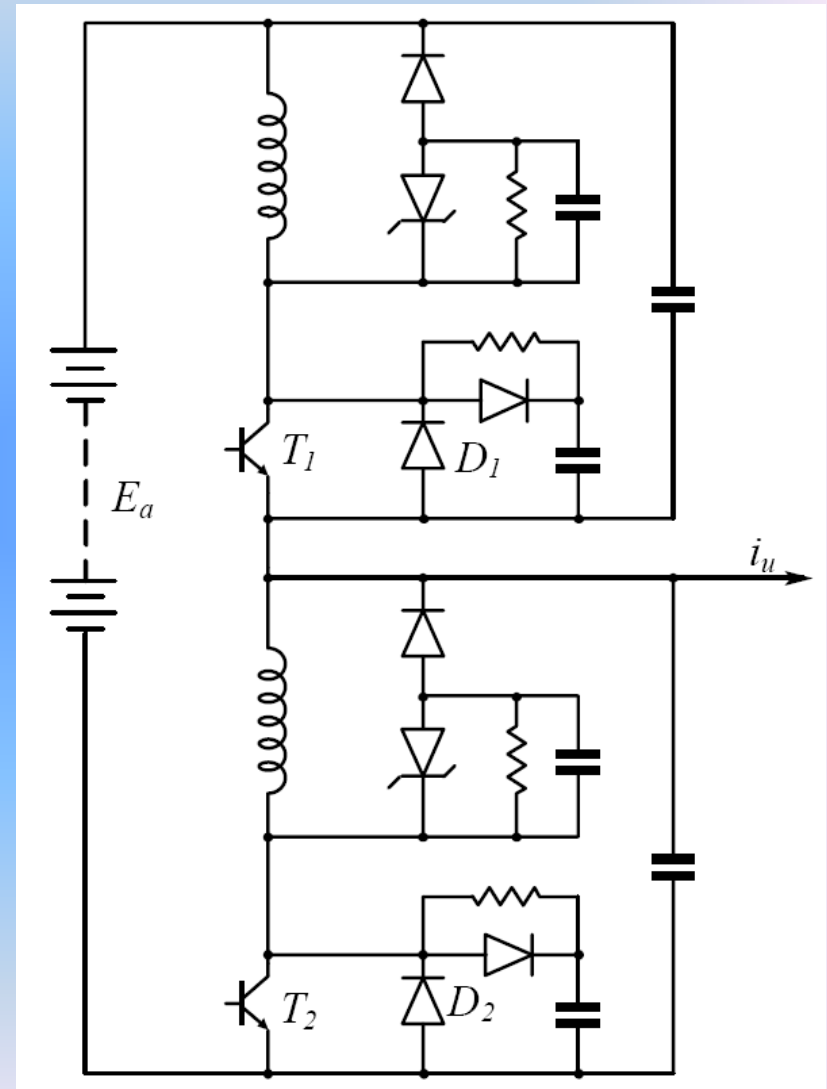
Per limitare il valore della corrente di carica e scarica delle capacità occorre inserire, in serie a ciascun Transistor, una induttanza che ha il duplice scopo di rendere trascurabili le perdite localizzate nei Transistor durante la loro chiusura e di limitare il valore di picco della corrente che circola nelle capacità.



Riduzione delle perdite negli inverter

Funzionamento con onda modulata

Se il valore della capacità venisse scelto dello stesso ordine di grandezza del valore C_a , il valore di L necessario per limitare a valori accettabili il picco di corrente che circola nei Transistor, risulterebbe alquanto maggiore di quello necessario per rendere trascurabili le perdite localizzate nei Transistor durante la loro accensione.

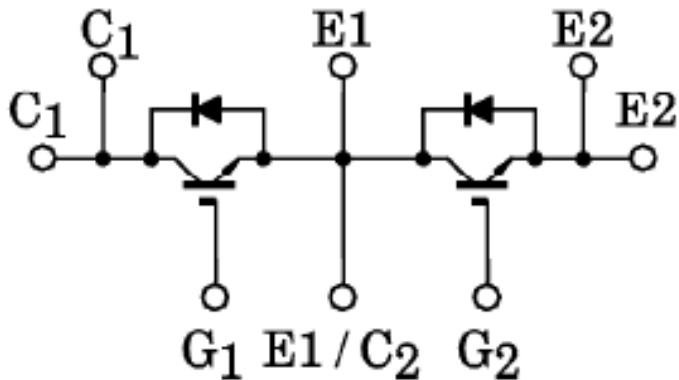


Riduzione delle perdite negli inverter

Funzionamento con onda modulata

Il circuito per la riduzione delle perdite è normalmente impiegato solo in inverter di grossa potenza, quando si desidera impiegare una frequenza di commutazione elevata.

Quando l'inverter è realizzato con **IGBT assemblati nello stesso package**, in genere **non si introduce alcun circuito**, né capacitivo né induttivo, atto a ridurre le perdite di commutazione, ma ci si limita all'impiego di circuiti idonei a limitare le sovratensioni sull'intero modulo.



Serie di Fourier

Un segnale periodico $s(t)$ può essere scomposto nella somma di infinite componenti sinusoidali di ampiezza e frequenza che dipendono dal segnale stesso.

Si definisce serie di Fourier a coefficienti reali del segnale $s(t)$:

$$s(t) = A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \sin i\omega t + B_i \cos i\omega t$$

Serie di Fourier

$$s(t) = A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \sin i\omega t + B_i \cos i\omega t$$

La funzione $f_i(t) = A_i \sin i\omega t + B_i \cos i\omega t$

rappresenta l' i -esima armonica o armonica di ordine i .

La funzione f_1 viene detta **prima armonica** o **armonica fondamentale**.

Serie di Fourier

$$s(t) = A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \sin i\omega t + B_i \cos i\omega t$$

I coefficienti A_i e B_i , detti **coefficienti di Fourier**, sono definiti come:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt$$

$$A_i = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \sin i\omega t dt$$

$$B_i = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cos i\omega t dt$$

Serie di Fourier

La serie di Fourier può essere scritta anche:

$$s(t) = A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \sin i\omega t + B_i \cos i\omega t$$

$$= A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} C_i \sin(i\omega t + \varphi_i)$$

$$C_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2} \quad \varphi_i = \operatorname{arctg} \frac{B_i}{A_i}$$

dove C_i è l'ampiezza della i -esima armonica e φ_i la sua fase.

Proprietà della Serie di Fourier

$$s(t) = A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \sin i\omega t + B_i \cos i\omega t$$

1) Se $s(t)$ è una funzione dispari ($s(t) = -s(-t)$), ovvero la forma d'onda si ripete ogni semiperiodo con segni opposti, le armoniche di ordine pari risultano nulle.

2) Se $s(t)$ è una funzione pari ($s(t) = s(-t)$), ovvero la forma d'onda è simmetrica rispetto all'origine, le armoniche di ordine dispari risultano nulle.

Proprietà della Serie di Fourier

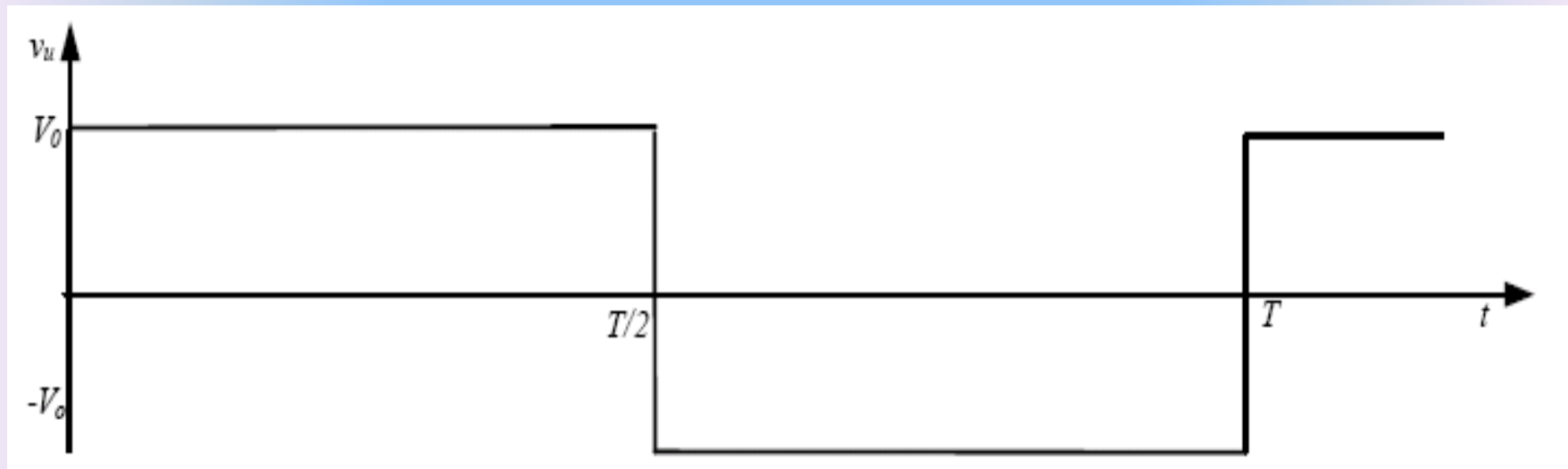
$$s(t) = A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} A_i \sin i\omega t + B_i \cos i\omega t$$

3) Se $s(t)$ presenta una simmetria pari rispetto al quarto di periodo, allora le componenti in coseno sono nulle, ovvero $B_i = 0$ per ogni i .

4) Se $s(t)$ presenta una simmetria dispari rispetto al quarto di periodo, allora le componenti in seno sono nulle, ovvero $A_i = 0$ per ogni i .

Contenuto armonico dell'onda quadra

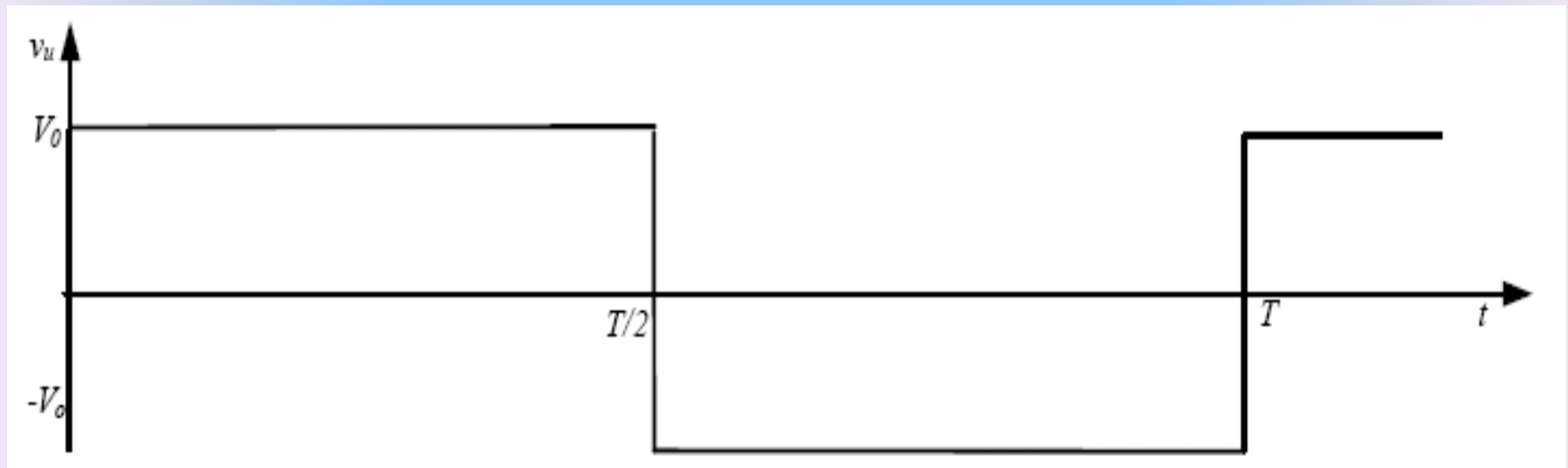
Come si è visto, il più semplice andamento della tensione fornita da un inverter è rappresentato dall'onda quadra.



Per la **proprietà 1** della Serie di Fourier tale forma d'onda, essendo dispari, presenta **solo armoniche di ordine dispari**.

Contenuto armonico dell'onda quadra

Come si è visto, il più semplice andamento della tensione fornita da un inverter è rappresentato dall'onda quadra.



Per la **proprietà 1** della Serie di Fourier tale forma d'onda, essendo dispari, presenta **solo armoniche di ordine dispari**.

Inoltre, presentando una simmetria pari rispetto a $T/4$, per la **proprietà 3** i coefficienti $B_i = 0$ per ogni i .

Contenuto armonico dell'onda quadra

Indicata con V_0 l'ampiezza dell'onda rettangolare, l'ampiezza A_i della i -esima armonica risulta:

$$A_i = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} V_0 \sin(i\omega t) d(\omega t) = \frac{4V_0}{\pi i}$$

in cui V_0 può essere pari ad E_a oppure ad $E_a/2$, a seconda che si utilizzi, rispettivamente, un inverter a ponte oppure a semiponte.

Per contenuto armonico si intende l'insieme delle ampiezze delle armoniche, di valore significativo, di una forma d'onda.

In generale, il numero di armoniche che si considera dipende dall'applicazione e dalla frequenza di commutazione.