

Corrente di fase e di linea negli inverter BLDC

perché non sono la stessa cosa e non vanno confuse

Sui vari forum di autoconstruzione di mezzi a trazione elettrica mi capita a volte d'imbattermi in discussioni in cui c'è estrema confusione sulle correnti che circolano all'interno delle centraline (inverter) usate per i motori brushless. C'è chi dice che la corrente che circola nel motore sarebbe uguale a quella prelevata dalla batteria, secondo altri invece sarebbe più grande o più piccola. Ho deciso quindi di stendere questa piccola guida per permettere a chiunque abbia una minima cognizione dell'argomento di comprendere come si comportano i nostri inverter. Partirò da alcune premesse, forse per alcuni di voi scontate, forse per altri no.

Induttore

L'induttore è un elemento elettrico, costituito da avvolgimenti di filo conduttore, che ha una ben precisa proprietà: accumulare energia sotto forma di campo magnetico per poi rilasciarla sotto forma di corrente elettrica.

Questa proprietà porta l'induttore a opporsi alle variazioni di corrente; nel momento in cui gli applico una tensione inizierà a caricarsi e permetterà a una corrente sempre più elevata (teoricamente infinita, ma limitata dalla resistenza parassita presente in ogni induttore reale) di attraversarlo, al contrario nel momento in cui gli tolgo la fonte di alimentazione, questo continuerà a far scorrere al suo interno una corrente sempre minore fino al momento in cui si scaricherà.

Questa spiegazione molto spicciola è ciò che basta per comprendere i concetti esposti in seguito, per chi invece volesse approfondire suggerisco la lettura di “ <http://it.wikipedia.org/wiki/Induttore>”.



Fig. 1: Il tipico induttore utilizzato nelle nostre applicazioni

Mosfet

Il mosfet, caninamente tradotto transistor ad effetto di campo, è un dispositivo elettronico che permette di chiudere un contatto di potenza a fronte di un piccolo comando in tensione, in maniera simile a un relè ma senza che ci siano parti meccaniche in movimento e a una velocità estremamente superiore. Nella figura 2 lo vediamo rappresentato: i “contatti” di potenza sono drain e source, quelli di comando gate e source.

In stato di riposo - cioè con una tensione di 0V in ingresso - c'è un' elevatissima resistenza elettrica sull'uscita, ma nel momento in cui applico una tensione tra gate e source di una decina di volt circa, la resistenza tra drain e source scende in pochi microsecondi a valori anche inferiori alla decina di milliohm, permettendo alla corrente di scorrere dal drain verso il source e di conseguenza nel carico che va a comandare.

Per chi volesse approfondire, può leggersi “ <http://it.wikipedia.org/wiki/Mosfet> ”.

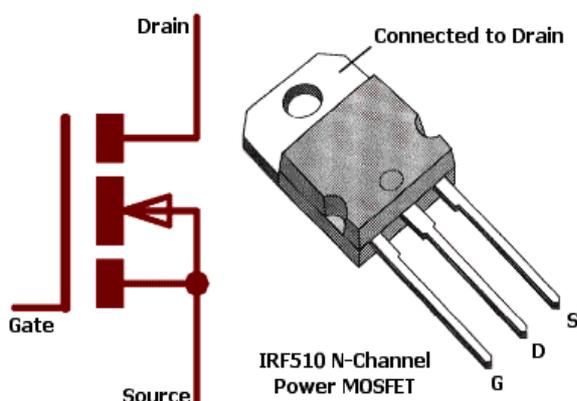


Fig. 2: Illustrazione di un mosfet e relativo simbolo elettrico

Diodo

Il diodo, il primo e più semplice semiconduttore mai realizzato, è un dispositivo elettronico che permette alla corrente di scorrere al suo interno in una sola direzione. Se all'anodo applico una tensione positiva rispetto al catodo, il diodo permetterà il passaggio degli elettroni (polarizzazione diretta). Se invece all'anodo applico una tensione negativa, il diodo bloccherà il passaggio degli elettroni al suo interno (polarizzazione inversa). Spesso i diodi sono integrati all'interno dei mosfet con il catodo collegato al drain e l'anodo collegato al source: questo è importante per la nostra applicazione. Anche qui per chi volesse approfondire l'argomento consiglio la lettura di [" http://it.wikipedia.org/wiki/Diodo "](http://it.wikipedia.org/wiki/Diodo)

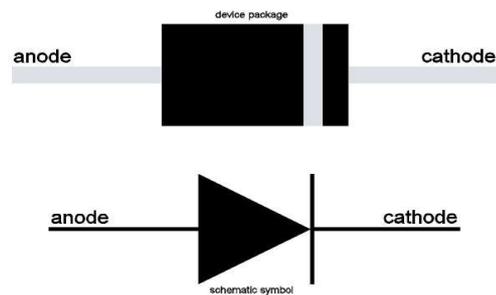


Fig. 3: Illustrazione di un diodo e relativo simbolo elettrico

PWM

Pulse width modulation, o modulazione a larghezza di impulso, è una particolare modulazione sfruttata per variare il valore efficace di una grandezza elettrica e si basa sulla variazione del tempo in cui è presente questa grandezza, piuttosto che variandone il valore assoluto.

Ad esempio, se dispongo di una tensione continua di 10V e devo alimentare una lampadina da 5V che consuma 1A ho due possibilità: o inserisco in serie alla lampadina una resistenza che mi permetta di ridurre la tensione di 5V (legge di ohm: $5V/1A = 5\Omega$) sprecando così potenza, oppure inserisco un dispositivo che mi fornisca i 10V alla lampadina soltanto per la metà del tempo (ad esempio per 1 ms in un periodo di 2ms) ottenendo una tensione efficace di 5V sulla lampadina e senza aver sprecato potenza nella riduzione. Su questa tecnica si basa ormai il 90% della regolazione di potenza dei dispositivi che usiamo quotidianamente, dallo smartphone alla lavatrice. Spesso si usa indicare il valore percentuale della modulazione, dato dalla durata dell'impulso divisa per il periodo totale e il tutto moltiplicato per cento. Sempre per i più virtuosi suggerisco [" http://it.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation "](http://it.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation)

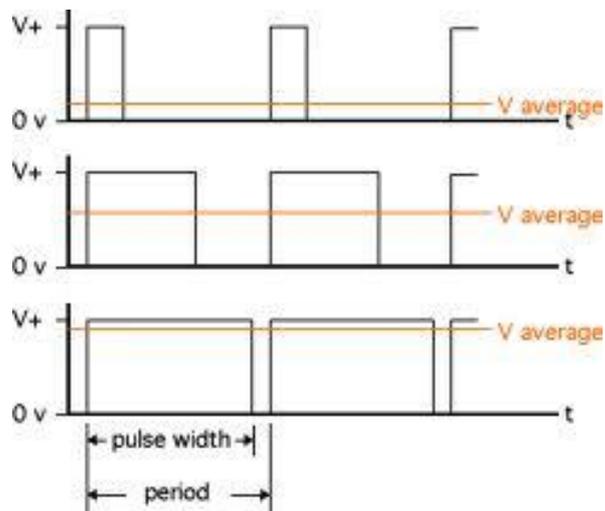


Fig. 4: Alcuni esempi di PWM e valore efficace risultante

Inverter

Finite le premesse fondamentali, passiamo al sodo e analizziamo il funzionamento del nostro inverter, tralasciando le parti che non c'interessano e concentrandoci esclusivamente su come viene gestita la corrente al suo interno.

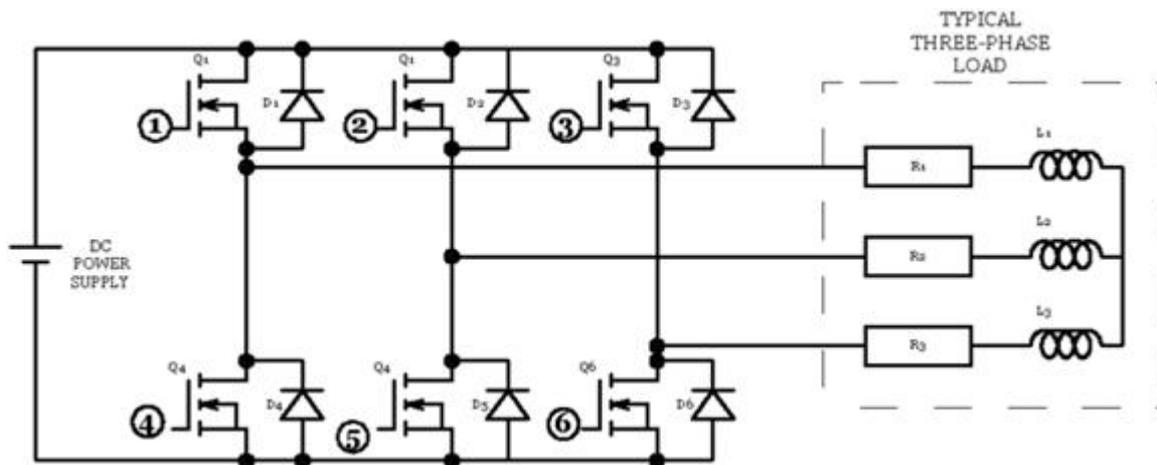


Fig. 5: Lo stadio di potenza di un inverter trifase con il suo carico (motore)

Come possiamo vedere nella Fig. 5 l'inverter è costituito da 6 mosfet (e) con i (loro) relativi diodi, di cui tre permettono di collegare la fase del motore al positivo e tre al negativo. Durante il normale funzionamento, al massimo due di questi saranno in conduzione: uno negativo su una fase, uno positivo su un'altra fase. Il mosfet negativo in genere viene tenuto in conduzione continua per tutta la durata del ciclo, mentre il mosfet positivo viene comandato con un segnale PWM al fine di regolare la corrente assorbita dal motore. Fatta questa premessa, eliminiamo tutto ciò che non entra in gioco durante il singolo ciclo: eliminiamo i mosfet aperti e i diodi che non andranno mai in conduzione e sostituiamo il mosfet in conduzione per tutto il ciclo con un filo, ottenendo lo schema di Fig. 6.

Come potete vedere, è rimasto ben poco da analizzare. Ora immaginate che il circuito si trovi in stato di riposo: il mosfet aperto, nessuna corrente che scorre all'interno del circuito, soltanto la tensione di alimentazione sul drain, il positivo della batteria per capirci. Vediamo ora le fasi di funzionamento del circuito:

1. Il mosfet si chiude e inizia a scorrere una corrente sempre maggiore nella batteria e nell'induttore fino a quando il valore non raggiunge quello di regolazione e la centralina inizia a modulare.
2. A questo punto il mosfet si riapre, la corrente assorbita dalla batteria diventa nulla, ma come abbiamo detto l'induttore si oppone alla variazione della corrente e per far ciò la tensione ai suoi capi s'inverte, diventando leggermente negativa, inizia quindi a scorrere corrente nel diodo (che finora era rimasto aperto essendo polarizzato inversamente) e la corrente inizia a decrescere leggermente.
3. Ora il mosfet però si richiude, forzando la tensione della batteria sull'induttore facendo nuovamente aumentare leggermente la corrente nell'induttore fino alla prossima riapertura del mosfet.

Analizzando i punti sopradescritti si può facilmente notare che nell'induttore scorre sempre una corrente pressoché costante, mentre nella batteria scorre la stessa corrente soltanto nei momenti di conduzione del mosfet. Questo ci porta a intuire che la corrente efficace nella batteria sarà sempre minore o al massimo uguale a quella di fase, più precisamente sarà legata dalla seguente espressione: $I_{batt} = (I_{fase} * \%PWM)/100$. Ovviamente la potenza non si crea dal nulla e di conseguenza la tensione efficace ai capi dell'induttanza sarà sempre inferiore o al massimo uguale a quella della batteria e seguirà una proporzionalità analoga a quella della corrente.

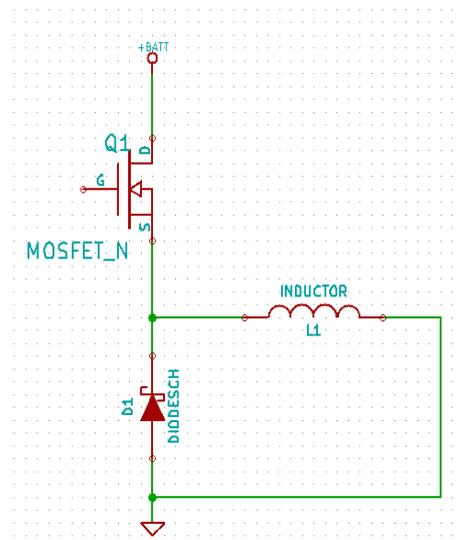


Fig. 6: L'inverter semplificato di tutto ciò che non ci interessa

Conclusioni

Spero che con questa guida molti di voi si sian chiariti un po' le idee sul funzionamento dei nostri inverter e che nel motore spesso circolano correnti molto più elevate che nella batteria.

In ogni caso questo non vuole essere un manuale tecnico, che richiederebbe approfondimenti teorici di altro genere, ma solo uno spunto di ragionamento sull'argomento. Chiunque abbia idee e consigli per migliorare questo testo può mandarmi un'e-mail all'indirizzo “ iv3ugy@iv3ugy.net “.

Distribuzione

Il documento è rilasciato con licenza Creative Commons BY-SA, da Daniele Coretti, IV3UGY 2013.