

## Eliminare gli spike di commutazione nei motori in continua di tipo brushless

Laurence Armstrong  
Senior design engineer  
Zetex Semiconductors

*Una tecnica brevettata da Zetex consente di eliminare l'eccessiva corrente che si rileva alla fine del periodo di commutazione dei motori in continua di tipo brushless*

L'eliminazione di una sovracorrente e della conseguente forza controelettrica presente alla fine del periodo di commutazione di un motore in continua di tipo brushless assicura significativi vantaggi in termini di rendimento, riduzione del numero di componenti richiesti e diminuzione del rumore acustico. Una tecnica di controllo della corrente messa a punto da Zetex e utilizzata da un circuito pre-driver di recente introdotto sul mercato rappresenta una valida soluzione per i circuiti

di controllo della velocità in configurazione a semiponte e a ponte intero.

### Le radici del problema

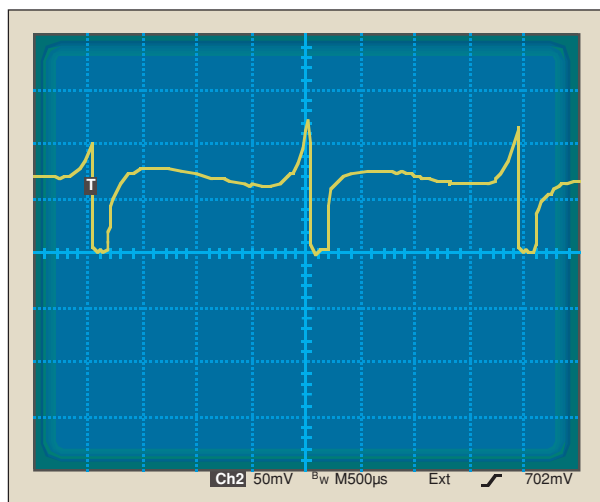
La figura 1 evidenzia chiaramente il ruolo svolto da una corrente di elevato valore alla fine del periodo di commutazione. All'inizio del ciclo di commutazione, quando le correnti vengono per la prima volta commutate sulla bobina, il rotore e lo statore hanno la medesima polarità per cui si respingono l'uno con l'altro nella direzione di rotazione desiderata. In questo tempo la corrente nella bobina aumenta velocemente e si stabilizza a un picco (impiegando un tempo pari a circa 1/4 dell'intero periodo di commutazione) dopodiché per i restanti 3/4 del ciclo inizia a diminuire leggermente fino a un valore pari a circa il 90% di quello

di picco. Dopo di che si assiste a una brusca impennata del flusso di corrente a un livello superiore rispetto a quello raggiunto durante il primo picco.

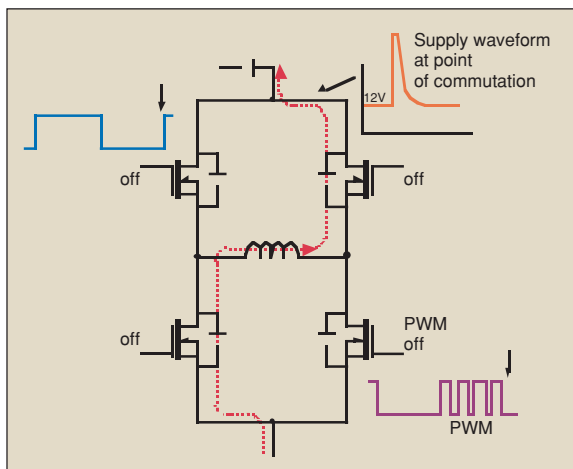
La commutazione ha quindi luogo nel momento in cui la corrente raggiunge il proprio valore di picco. La commutazione della bobina produce una tensione imputabile alla forza controelettrica di ampie dimensioni ai capi della bobina che in questo caso si comporta come un circuito aperto, che dà luogo a numerosi effetti indesiderati sia nel motore sia nelle componenti elettroniche. Il più rimarchevole è l'effetto pompa di carica della tensione all'interno del motore quando è presente un diodo di protezione inversa. Questo fenomeno viene rappresentato in figura 2 nel caso di una configurazione di ponte ad H per un motore BLDC monofase.

### Tecniche tradizionali

Per compensare gli effetti appena descritti è possibile adottare parecchie metodologie. Una tecnica prevede il sovradimensionamento dei dispositivi di commutazione di potenza che pilotano la bobina. In questo modo essi sono in grado di resistere agli elevati valori di



**Fig. 1 - Tipica forma d'onda della corrente di alimentazione di un motore BLDC**



**Fig. 2 - Percorso della corrente ed effetto di pompa di carica risultante sull'alimentazione**

**Fig. 3 - Un condensatore permette di eliminare gli effetti della forza controelettrica**

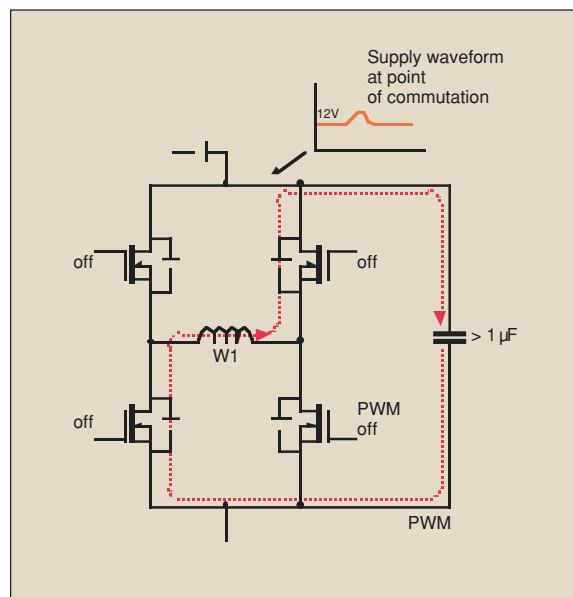
corrente e di tensione provocati dalla forza controelettrica.

Naturalmente l'impiego di componenti di questo tipo si traduce in un aumento del costo della soluzione.

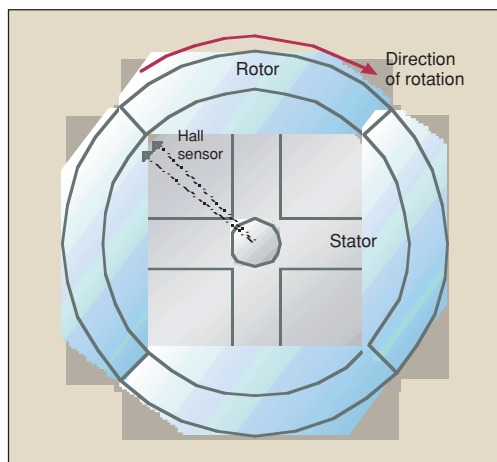
Uno svantaggio legato all'imposizione di specifiche più severe per quel che concerne la tensione nominale dei dispositivi di potenza è rappresentato dal fatto che il raddoppio di tale parametro comporta, nel caso dei Mosfet, un raddoppio della RDS(on) che dà luogo a un aumento della dissipazione di potenza nei dispositivi.

Al fine di ridurre gli spike di tensione è possibile includere un condensatore ai capi del circuito di pilotaggio della potenza che ha il compito di smorzare le sovratensioni. Un accorgimento di questo tipo da una parte ha un effetto benefico in quanto l'energia viene immagazzinata nel condensatore con conseguente aumento dell'efficienza ma dall'altro si traduce in un costo aggiuntivo. L'effetto di smorzamento viene riportato nella figura 3.

Un altro metodo impiegato per limitare l'eccessivo flusso di corrente nella fase finale di commutazione prevede l'anticipo dell'entrata in funzione del dispositivo a effetto Hall, come visibile nella figura 4, prevedendo nel contempo un ritardo del tempo di commutazione di ampiezza tale da consentire la commutazione prima che la corrente possa raggiungere un valore troppo elevato. Un anticipo troppo spinto comporterebbe



**Fig. 4 - Topografia di un motore Bldc a quattro poli che mostra l'anticipo dell'azione del dispositivo a effetto Hall**



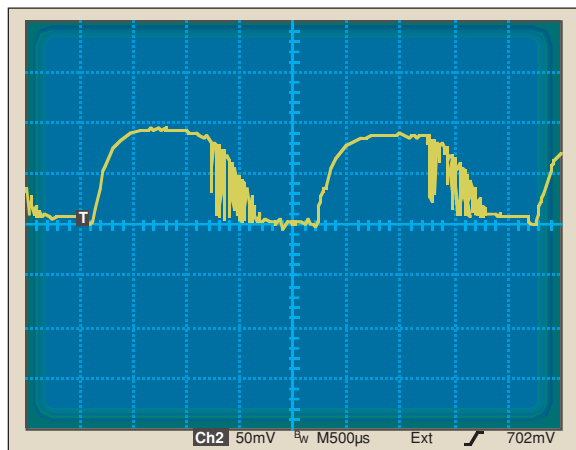
l'insorgere di difficoltà nella fase di avviamento del motore, il che rappresenterebbe una limitazione.

Un altro metodo prevede l'introduzione di una forma di controllo della corrente nel motore per limitare il picco di corrente. Anche questa tecnica non è esente da svantaggi, in quanto potrebbe limitare il picco di corrente iniziale dove viene generata la maggior parte della coppia. Sebbene sia possibile utilizzare una qualsiasi combinazione dei metodi appena descritti, si può notare che nes-

suno di loro è in grado di rimuovere la radice del problema della commutazione delle correnti di valore elevato al termine del ciclo di commutazione.

### Controllo di corrente alla fine del ciclo

Nella fase iniziale del ciclo di commutazione, quanto i poli del rotore e dello statore hanno la medesima polarità, viene svolto un lavoro considerevole in quanto i due poli si respingono reciprocamente e sono attratti verso i poli contigui. In questa fase viene appunto generata la maggior parte della coppia. Verso la fine del ciclo di commutazione, poiché i poli opposti tendono ad allinearsi sempre di più e quindi ad attrarsi, l'intensità della coppia generata va scemando per cui il flusso della corrente nella bobina tende ad assumere valori eccessivi. Tale corrente deve essere mantenuta sotto controllo al fine di migliorare l'efficienza e ridurre la necessità di utilizzare componenti sovra-



**Fig. 5 - Forma d'onda della corrente revisionata che evidenzia la formatura introdotta alla fine del ciclo di commutazione**

Pwm varia dallo 0 al 100% quando la tensione assume rispettivamente valori alti e bassi. Variando i valori della tensione tra questi due estremi è possibile graduare il pilotaggio in modalità

dimensionati. Al fine di controllare la velocità dei motori c.c. brushless viene utilizzata in misura sempre maggiore la modulazione di tipo Pwm (Pulse Width Modulation) per attivare o disattivare la bobina ad alte frequenze. Ciò produce una variazione della quantità di energia della bobina. La modulazione Pwm viene anche impiegata per il controllo della corrente di picco come descritto in precedenza. Questo circuito di controllo in modalità Pwm è già integrato nel controller per espletare compiti di regolazione della velocità e si propone quindi come una soluzione ideale per il controllo della corrente che fluisce nella bobina verso la fine del ciclo di commutazione. Questa tecnica prevede di utilizzare il circuito Pwm per far diminuire lentamente la corrente, che passa dal valore che assume quando si trova al 75% del proprio ciclo di commutazione al valore nullo alla fine del ciclo stesso.

### Principio di funzionamento

Il circuito Pwm all'interno del controller del motore è stimolato da un segnale di controllo della tensione. La modulazione

Pwm in misura proporzionale alla tensione di controllo di ingresso.

Quando un motore è in azione, al fine di applicare un segnale per la riduzione della corrente alla fine del ciclo, è necessario conoscere innanzitutto la velocità del motore. Un integratore rappresenta dunque uno dei primi blocchi base del nuovo sistema. Questa tecnica prevede anche la generazione di una forma d'onda triangolare sotto forma di tensione.

Le forme d'onda integrate e triangolare vengono alla fine opportunamente combinate al fine di generare un terzo segnale utilizzato per modulare la tensione di controllo Pwm.

### Risultati sperimentali

La forma d'onda della corrente risultante viene riportata in figura 5: mediante il confronto tra questo grafico e quello di figura 1 è possibile vedere chiaramente la rimozione degli spike ad alta corrente alla fine del ciclo di commutazione. Con questa tecnica è anche possibile rimuovere il disturbo sull'alimentazione. Questa prova è stata condotta su un ventilatore operante a una velocità di circa 7500 rpm che assorbe una corrente di

0,8 A. Nella tabella 1 vengono riportati i risultati ottenuti utilizzando il medesimo motore per la ventola, dapprima senza modifiche e quindi con l'integrazione del controllo di corrente alla fine del ciclo di commutazione. Dalla tabella è possibile vedere che la corrente è diminuita del 16%, contro una riduzione di velocità pari a solo il 6%, il che si traduce in un significativo aumento dell'efficienza complessiva del motore.

Le verifiche condotte su un altro motore hanno evidenziato una diminuzione della corrente in misura pari al 10%, a fronte di una riduzione della velocità di appena il 2%. Questa lieve diminuzione della velocità è ampiamente compensata dal fatto che è possibile utilizzare Mosfet a bassa tensione caratterizzati da un valore estremamente ridotto di RDS(on).

### Un gran numero di vantaggi

Poiché la metodologia appena descritta permette di ridurre il flusso di corrente eccessivo che si verifica nella fase finale del ciclo di commutazione, gli effetti positivi sull'efficienza sono immediati. Come accennato in precedenza, è stato possibile ottenere una riduzione della corrente del 10% con una penalizzazione minima (in alcuni casi addirittura nulla) della velocità. Questa tecnica può essere ulteriormente perfezionata per garantire risultati ancora migliori. La possibilità di utilizzare un valore realistico di tensione nominale per i componenti contribuisce a ridurre la dissipazione interna del motore. Senza dimenticare che la forma d'onda della corrente generata per mezzo di questa nuova tecnica ha un andamento che ricorda da vicino quello sinusoidale, per cui il movimento delle piastre dello statore è più uniforme, con conseguente riduzione del rumore di commutazione ad alta velocità.

Questa tecnica, coperta da brevetto, viene utilizzata da ZXBM1016, un pre-driver per motori in continua monofase di tipo brushless già disponibile in campioni da Zetex.

**TABELLA 1 - RISULTATI CHE SI OTTENGONO ADOTTANDO O MENO IL CONTROLLO DI CORRENTE NELLA FASE FINALE DEL CICLO DI COMMUTAZIONE DI ZETEX**

|   | Velocità (rpm) | Corrente di alimentazione media (A) |
|---|----------------|-------------------------------------|
| Senza controllo di corrente<br>(Forma d'onda di figura 1) | 7780           | 0,76                                |
| Con controllo di corrente<br>(Forma d'onda di figura 5)   | 7300           | 0,64                                |
| Variazione percentuale                                    | 6%             | 16%                                 |

**Zetex Semiconductors**  
www.zetex.com