NACHHALTIGE TECHNOLOGIEN

AUF TOUREN

BLCDs - BÜRSTENLOSE GLEICHSTROMMOTOREN

Bild: RS Components

at.rs-online.com

Auf Touren

BLCDs - Bürstenlose Gleichstrommotoren

In der EU sind etwa 8 Milliarden Elektromotoren im Einsatz, die fast 50% des in der EU erzeugten Stroms verbrauchen. 70% davon werden für Antriebe in der Industrie benötigt. Für den Einsatz in diesem Bereich aber auch im Automobilbau werden zunehmend bürstenlose Gleichstrommotoren eingesetzt.

Bürstenlose Gleichstrommotoren oder BLDCs (Brushless DC) sind zuverlässig, ermöglichen eine bessere Steuerung einer Vielzahl ihrer Funktionen und haben üblicherweise einen um 15 - 20% höheren Wirkungsgrad als zum Beispiel die weit verbreiteten Bürstenmotoren (Bild 1). Sie sind durch Wegfall der verschleißenden Bürsten weniger wartungsintensiv und haben ein höheres Drehmoment. Sie sind kleiner, leichter und verfügen über ein besseres Leistungsgewicht. Außerdem fällt eine Funkenbildung wie bei Bürstenmotoren weg. Alles fast schon zwingende Gründe für ihren Einsatz.

BLDC-Motoren konnten sich lange Zeit nicht auf breiter Ebene durchsetzen, weil sie relativ komplizierte Steuerkreise und Feedback-Schaltungen erfordern. Fortschritte in der Halbleitertechnologie, bessere Dauermagnete sowie die steigende Nachfrage nach höheren Wirkungsgraden haben aber dazu geführt, dass Bürstenmotoren in vielen Anwendungen von BLDC-Motoren abgelöst wurden. BLDC-Motoren werden unter anderem in der Weißwarenindustrie, der Automobiltechnik, der Luft- und Raumfahrtindustrie, der Verbrauchertechnik, der Medizinbranche und der industriellen Automatisierungstechnik eingesetzt.

Abgebürstet

Bei bürstenlosen Gleichstrom-Elektromotoren bzw. BLDC-Motoren handelt es sich um elektrisch kommutierte Motoren, die über eine externe Motorsteuerung von einer DC-Stromquelle angetrieben werden. Im Gegensatz zu Bürstenmotoren kommen bei BLDC-Motoren zum Erreichen der Kommutierung (Umschalten der Motorphasen, um eine Bewegung zu erzeugen) externe Steuerungen zum Einsatz.

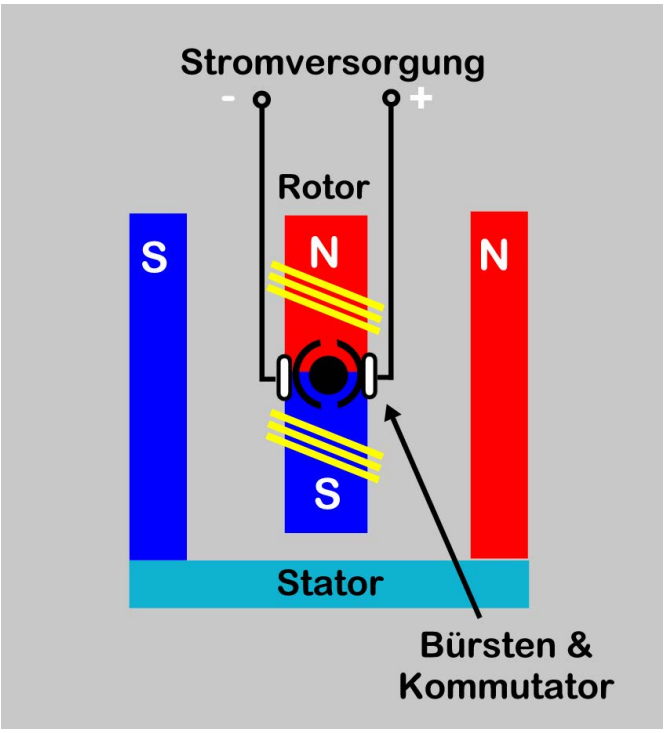
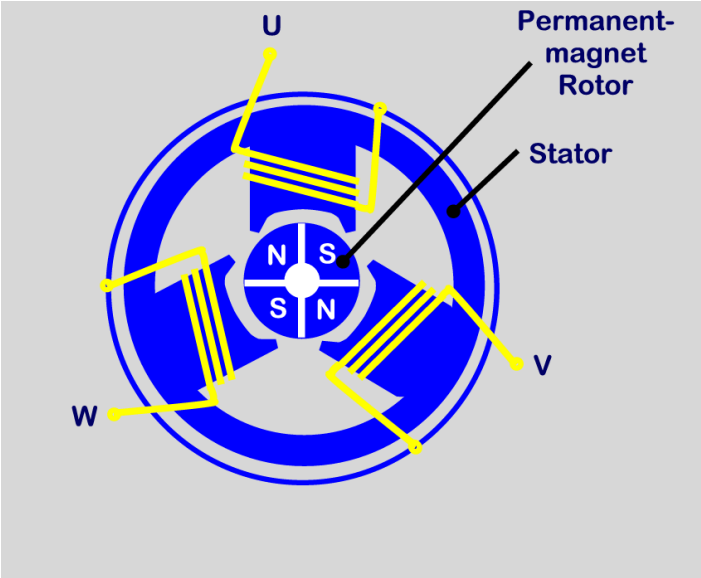


Bild 1. Das Bürstenmotor-Prinzip

In einem BLDC-Motor ist der Rotor ein Dauermagnet, während der Stator ein rotierendes elektromagnetisches Feld aufbaut, das den Rotor zum Drehen bringt (Bild 2). Die Erfassung der Rotorposition und die damit verbundene Abstimmung des Stromflusses in den Statorwicklungen sind Grundlage der Drehbewegung. Dies ist die größte Herausforderung beim Einsatz von BLDC-Motoren im Vergleich mit bürstenbehafteten Motoren, da der elektromechanische Schaltkontakt fehlt. Zur Regelung der Stromzufuhr durch einen Mikrocontroller wird der Stromfluss beispielsweise mit Hall-Sensoren überwacht und durch Schalten in der richtigen Folge eine Spannung an die Statorwicklungen des Motors angelegt.



	U	V	W
1	+	-	off
2	+	off	-
3	off	+	-
4	-	+	off
5	-	off	+
6	off	-	+

Bild 2. Bei BLDC-Motoren kommen zum Umschalten der Motorphasen für die Erzeugung der Drehbewegung externe Steuerungen zum Einsatz.

Die Positionserkennung und Statoransteuerung können auch durch eine feldorientierte Regelung (FOC) erfolgen. Die feldorientierte Regelung liefert das höchstmögliche Drehmoment pro Ampere oder die Feldschwächung für verschiedene Arten von Motoren, darunter auch kleine bürstenlose Gleichstrommotoren. Das Konstruieren in dieser Produktklasse ist alles andere als eine leichte Aufgabe. Es setzt Erfahrungen mit FOC oder einer anderen erweiterten und anspruchsvollen Motor-Regelungstechnik, zum Beispiel der direkten Drehmomentsteuerung (Direct Torque Control, DTC), sowie Kenntnisse in der Bedienung spezialisierter Software-Entwicklungssysteme voraus. Um einen “kleinen” Eindruck über die Komplexität einer FOC-Entwicklung zu bekommen, hier eine Todo-Liste des Simulink-Herstellers Mathworks:

- Entwicklung einer Regelungsarchitektur mit zwei PI-Reglern für den Stromregelkreis
- Entwicklung von PI-Reglern für die optionalen äußeren Geschwindigkeits- und Positionsregelkreise
- Optimierung der Verstärkungen aller PI-Regler, um Leistungsanforderungen zu erfüllen
- Entwurf eines Raumzeigermodulators zur PWM-Steuerung
- Entwurf eines Beobachteralgorithmus zur Schätzung der Rotorposition und -geschwindigkeit, falls eine Regelung ohne Sensoren verwendet wird
- Entwurf von Regelungsalgorithmen für die Ausschöpfung des Drehmoments pro Ampere oder für die Feldschwächung zur Generierung optimaler Werte für id_ref und iq_ref
- Implementierung recheneffizienter Park-, Clarke- und inverser Park-Transformationen
- Entwurf der Logik für Fehlererkennung und -absicherung
- Verifikation und Validierung der Reglerleistung bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen
- Implementierung einer Regelung mit Fest- oder Gleitkomma-Darstellung auf einem Mikrocontroller oder einem FPGA

Wie man sieht, ist der Entwurf eines vollständigen, funktionstüchtigen FOC-basierten Motor-Regelungssystems von Grund auf anspruchsvoll. Halbleiterfirmen, darunter Texas Instruments haben deshalb Entwicklungstools geschaffen, die einen Großteil der Komplexität aus dem Entwurfs- und Implementierungsprozess nehmen und die FOC-Implementierung erleichtern.

Die IC-Anbieter haben sich generell auch für einen Schutz ihres geistigen Eigentums entschieden, indem sie die von den Entwicklungstools verwendeten Software-Bibliotheken im ROM speichern und diese nur auf ausgewählten MCUs verfügbar machen. So ist beispielsweise die InstaSPIN-FOC-Lösung von Texas Instruments nur in Varianten der TI C2000 Piccolo 32-Bit MCU-Serie verfügbar.

Wo bin ich?

Bei BLDC-Motoren werden Hall-Sensoren für die Rückmeldung des Standes der Kommutierung eingesetzt. Für eine 3-Phasen-Regelung werden drei Sensoren benötigt, die idealerweise schon im Motor integriert sind. Die Sensoren sind in den Stator des Motors integriert und ermitteln die Position des Rotors. Sie wird verwendet, um die Schaltelemente der 3-Phasen-Brücke zu steuern und den Motor anzutreiben. Die Ausgänge der Hall-Sensoren werden üblicherweise mit U-, V- und W bezeichnet.

Bild 3. Dieser Inkremental Drehgeber aus der RS-Pro-Reihe liefert 5000 Impulse/U (Bild: RS Components)

Bei einem 3-Phasen-Motor können Hall-Sensoren nur die Position innerhalb der einzelnen elektrischen Zyklen ausgeben. In vielen Anwendungen ist aber eine exakte Positionsermittlung erforderlich. Für die Bereitstellung genauer Echtzeit-Positionsdaten wird oft zusätzlich ein inkrementaler Drehgeber eingesetzt, der zusätzlich in den Regelkreis integriert wird.

Die Hall-Sensoren werden zur Motor-Kommutierung verwendet und der Drehgeber verfolgt mit sehr viel höherer Genauigkeit Position, Rotation, Drehzahl und Richtung. Hall-Sensoren liefern nur bei jeder Statusänderung Positionsdaten - das heißt, ihre Genauigkeit ist auf sechs “Meldungen” pro elektrischer Umdrehung beschränkt. Inkrementale Drehgeber, deren Auflösungen im Tausender-Impuls-Bereich pro Umdrehung liegen, haben deshalb bei der Positionsbestimmung die Nase vorn.

Schrittmotoren - BLDCs mit eingebauter Positionserkennung

Der Aufbau eines Schrittmotors (Bild 4) ähnelt dem eines BLDCs, hat jedoch viel mehr Pole, um ein sehr präzises "Schrittmachen" des Motors zu ermöglichen. Stepper sind für aufeinander folgende „Schritte" ausgelegt, während ein herkömmlicher BLDC kontinuierlich rotiert.

Bild 4. Ein Schrittmotor aus der RS-Pro-Reihe (Bild: RS Components)

Ein Schrittmotor kann mit hohem Drehmoment seine Position halten. Durch den schrittweisen Betrieb können diese Schritte mitgezählt und so exakt die Positionen bestimmt werden.

BLDC für Wechselstrom - der Induktionsmotor

Auch ein Induktionsmotor (Bild 5) ist einem BLDC sehr ähnlich. Er hat aber anstelle von Permanentmagneten im Rotor Spulenwicklungen, die ein Magnetfeld induzieren und dann wie Magnete wirken. Die Steuerung des Induktionsmotors erfolgt normalerweise mit Wechselstrom und liefert eine feste Drehzahl.

Bild 5. ABB Induktionsmotor (Bild: RS Components)

Bild 6. Frequenzumrichter von Mitsubishi (Bild: RS Components)

Ist eine Drehzahlregelung erforderlich, kann ein Regler verwendet werden, der als Frequenzumrichter (Bild 6) bezeichnet wird. Dieser Controller moduliert die Ausgangsfrequenz, wodurch die Spannung an den Wicklungen variiert wird. AC-Induktionsmotoren sind einfach anzusteuern, aber normalerweise schwerer und größer als BLDCs, sie erfordern in der Regel größere Getriebe und haben eine höhere Trägheit.