



Quelle: Sieb & Meyer AG

Frequenzumrichter der SD4x-Produktfamilie

IPM-Motoren optimal betreiben

Zusätzliche Prozessorleistung macht es jetzt möglich: Mit den SD4x-Umrichtern von Sieb & Meyer können nun auch Synchronmotoren mit »vergrabenen« Magneten – sogenannte IPM-Motoren – betrieben werden (Interior Permanent Magnet Motor). Wie dies erreicht wurde, lesen Sie hier.

Der permanenterregte Synchronmotor mit Oberflächenmagneten, auch SPM-Motor (Surface Permanent Magnet Motor) genannt, hat in den letzten Jahrzehnten in vielen Bereichen der Automatisierung den Asynchronmotor erfolgreich verdrängt. Wesentliche Gründe dafür sind bessere Eigenschaften unter anderem in Bezug auf Leistungsdichte, Wirkungsgrad, Rotortemperatur, max. Drehmoment und Gewicht.

Verhältnismäßig neu ist der Siegeszug des IPM-Motors. Im Gegensatz zum SPM-Motor, bei dem die Permanentmagnete auf der Rotoroberfläche montiert sind, werden bei diesem permanenterregten Synchronmotor die Magnete im Rotor integriert bzw. im Ro-

torblechpaket eingebettet bzw. »vergraben« (Bild 1).

Viele Vorteile, mehr Abhängigkeiten

Der IPM-Motor erreicht – topologiebedingt und verglichen mit dem SPM-Motor – deutlich höhere Motorinduktivitäten, was für den Betrieb an modernen Frequenzumrichtern von großem Vorteil ist. Aufgrund der höheren Motorinduktivität lässt sich über den Frequenzumrichter auch der in vielen Applikationen erforderliche Feldschwäcbereich besser darstellen (Drehzahlbereich an maximal verfügbarer Spannung).

Zudem werden umrichterbedingte Zusatzverluste in den Magneten stark redu-

ziert, was in einem kühleren Rotor und einem erhöhten Wirkungsgrad resultiert.

Sind beim SPM-Motor die beiden für die Regelung entscheidenden Induktivitäten L_d und L_q gleich und über weite Frequenz- und Strombereiche als konstant anzusehen, verhält sich das beim IPM-Motor durchaus anders ($L_d < L_q$). L_d und L_q sind die im Synchronmotor bestimmenden Induktivitäten, um bei optimaler Auslegung möglichst viel Drehmoment an der Motorwelle zu erreichen, aber auch um umrichterbedingte Verluste im Rotor zu minimieren. Diese Induktivitäten sind beim IPM-Motor hingegen ungleich, sättigungsabhängig und somit nicht linear und veränderlich in Abhängigkeit des Motorstromes aber auch der Frequenz

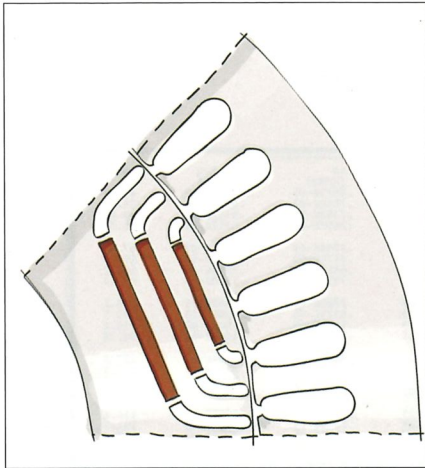


Bild 1: Beim IPM-Motor werden die Magnete im Rotor integriert bzw. im Rotorblechpaket eingebettet

(Bild 2). Darüber hinaus ist der Stromwinkel arbeitspunktabhängig.

Zusätzliches Drehmoment durch ungleiche Induktivitäten

Der Induktivitätsunterschied $L_d < L_q$ birgt einen topologischen Vorteil: Dabei kann ein zusätzliches Drehmoment genutzt werden, mit Hilfe gezielt eingebrachter Aussparungen im Rotorblech.

Diese Aussparungen sorgen dafür, dass sich – bei einem externen magnetischen Feld – der Rotor in die Position mit der höchsten magnetischen Leitfähigkeit dreht.

Das zusätzliche Drehmoment ist das sogenannte Reluktanzmoment und kann ohne eine Phasenstromerhöhung oder Magnete gewonnen werden – »kostenlos« sozusagen. Gleichzeitig lässt sich hierdurch ebenfalls teures Magnetmaterial einsparen. Um dieses Reluktanzmoment nutzen zu können, wird nach der folgenden Drehmomentformel

$$M = \frac{m}{2} p \cdot [\psi_{PM} \cdot I_q + (L_d - L_q) \cdot I_d \cdot I_q]$$

ein zusätzlicher negativer d-Strom (I_d) benötigt, der sich lediglich aus dem Verdrehen des Phasenstromzeigers (I_s) ergibt. Durch eine orthogonale Zerlegung des Phasenstromzeigers I_s können die Ströme I_d und I_q errechnet werden.

Durch die negative Induktivitätsdifferenz ($L_d < L_q$) ergibt sich mit dem negativen d-Strom ein positives Drehmoment. Hierdurch bleiben die strombedingten Kupferverluste durch den Statorstrom I_s konstant, wobei das Drehmoment in der Maschine steigt. Bei den SPM-Motoren beträgt der Stromwinkel (außerhalb des Feldschwächbereichs) hingegen immer konstant 90° , da $L_d = L_q$ ist.

Allerdings erfordert der IPM-Motor gegenüber dem SPM-Motor regelungstechnisch deutlich mehr Aufwand im Frequenzumrichter. Die vielen Abhängigkeiten des IPM-Motors können nur dann optimal geregelt und ausgenutzt werden, wenn vom Motorhersteller exzellente betriebspunktabhängige Motordaten vorliegen (Bild 3). Denn Fehler in den Motordaten sind aufgrund der vielfältigen Abhängigkeiten der einzelnen Parameter voneinander ansonsten nicht oder fast nicht identifizierbar.

Motorenhersteller benötigen Regelstrategie

»Für uns als Motorenhersteller ist es essenziell, dass bei unseren IPM-Motoren der Stromwinkel in Abhängigkeit des Betriebspunktes optimal in die Maschine eingepreßt wird«, erläutert Walter Schierl, Entwicklungsleiter bei der ATE Antriebstechnik und Entwicklungs GmbH & Co. KG – ein Unternehmen, das seit langem eng mit Sieb & Meyer zusam-

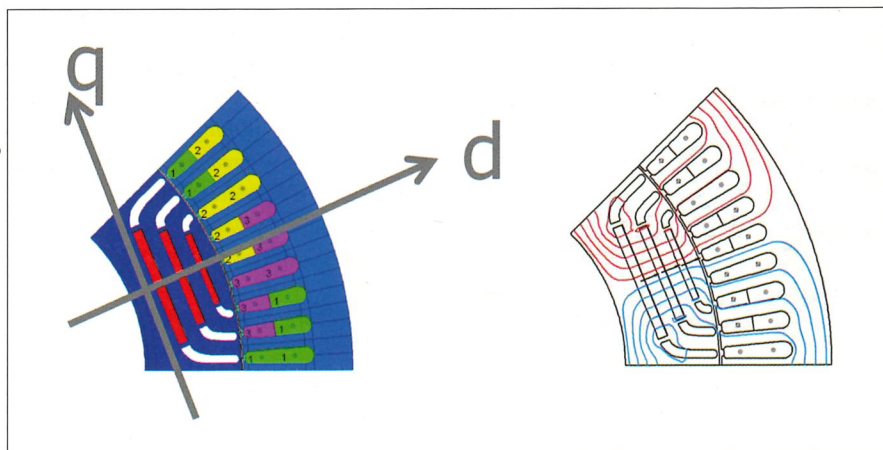


Bild 2: Beim IPM-Motor sind die Induktivitäten L_d und L_q ungleich, sättigungsabhängig vom Phasenstrom und somit nicht linear – der Regelungsaufwand ist somit höher

Quelle: Sieb & Meyer

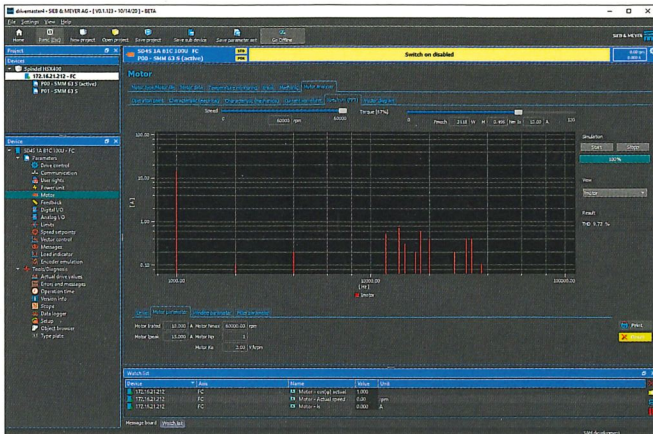


Bild 5: Die Software »drivemaster4« ist die Schaltzentrale der Frequenzumrichter-Familie SD4x

und auch die Ausweitung der maximalen Drehfeldfrequenz der sensorlosen Regelung auf bis zu 4000 Hz bedingten eine Optimierung der internen Signalverarbeitung. Hier können bereits geringe Abweichungen die Motorperformance negativ beeinflussen.

»ema«: Für wen ist die Umstellung auf die neuen Frequenzrichter sinnvoll?

T. Blankenburg: Im ersten Ansatz ist die Umstellung für Anwender sinnvoll, die IPM-Motoren beziehungsweise SPM-Motoren mit Drehfeldfrequenzen oberhalb 2000 Hz einsetzen wollen. Zusätzlich bietet die SD4x-Produktfamilie die zukünftig immer wichtigeren Kommunikationsschnittstellen auf Ethernet-Basis.

»ema«: Man denkt ja oft, dass sich Motoren und Antriebe kaum noch verbessern lassen. Wo sehen Sie für die Zukunft noch das größte Potenzial?

T. Blankenburg: Der Fokus liegt aus unserer Sicht auf der Optimierung des Systems in Bezug auf die Gesamteffizienz. Der Frequenzumrichter kann hierbei einen signifikanten Beitrag leisten. Zum einem durch einen effizienteren Betrieb des Motors und zum anderen durch einen möglichst hohen Eigenwirkungsgrad.

»ema«: Herr Blankenburg, vielen Dank für Ihre Ausführungen.



Quelle: Sieb & Meyer

Bild 6: Die neue SD45-Produktfamilie von Sieb & Meyer für höhere Drehzahlen und geringer Motorerwärmung ohne Sinusfilter

FÜR SCHNELLESER

Gegenüber dem permanentmagneterregten Synchronmotor hat der IPM-Motor »vergrabene« Magnete, die im Rotor integriert sind

Die für eine Regelung wichtigen Induktivitäten sind beim IPM-Motor ungleich, sättigungsabhängig und somit nicht linear und veränderlich in Abhängigkeit des Motorstromes aber auch der Frequenz

Sieb & Meyer ist es gelungen, diese ungleichen Induktivitäten in ein neues Regelkonzept zu integrieren

Autor:
Torsten Blankenburg, CTO der Sieb & Meyer AG, Lüneburg