

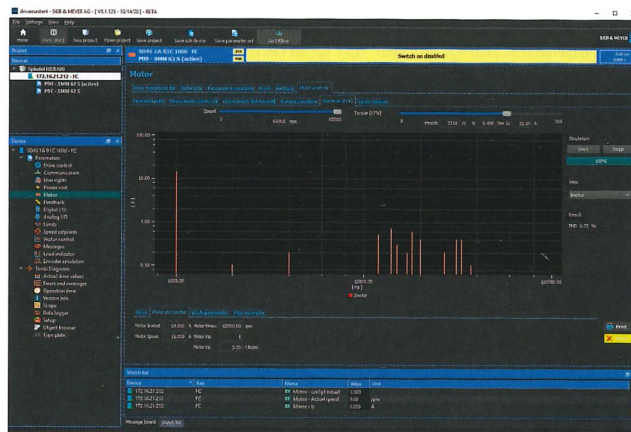
MAXIMUM AN EFFIZIENZ UND DREHMOMENT

Die zentralen Vorteile der SD4x-Produktfamilie von Sieb & Meyer sind die optimierte Performance, höhere Drehzahlen sowie die geringe Motorerwärmung ohne Sinusfilter. Zusätzlich hat der Hersteller die jetzt zur Verfügung stehende Prozessorleistung für neue Regelungsfunktionen genutzt. So ist es nun möglich, Synchronmotoren mit „vergrabenen“ Magneten, auch Interior Permanent Magnet Motor (IPM-Motor) genannt, optimal zu betreiben. **» VON TORSTEN BLANKENBURG**

Der permanenterrregte 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, maximales 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 permanenterrregten Synchronmotor die Magnete im Rotor integriert und im Rotorblechpaket eingebettet oder vergraben.

Viele Vorteile, mehr Abhängigkeiten

Der IPM-Motor erreicht topologiebedingt – verglichen mit dem SPM-Motor – deutlich höhere Motorinduktivitäten, was für den Betrieb an modernen Frequenzumrichtern sehr vorteilhaft ist. Aufgrund der höheren Motorinduktivität lässt sich über den Frequenzumrichter auch der in vielen Applikationen erforderliche Feldschwächebereich besser darstellen (Drehzahlbereich an maximal verfügbarer Spannung). Zudem werden umrichterbedingte Zusatzverluste in



Die drivemaster4-Software ist die Schaltzentrale der Frequenzumrichter-Familie SD4x.

den Magneten stark reduziert, 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 beim IPM-Motor hingegen ungleich, sättigungsabhängig und somit nicht linear und veränderlich in Abhängigkeit des Motorstromes aber auch der Frequenz. Darüber hinaus ist der Winkel zwischen den vom Umrichter einzupragenden Strömen I_d und I_q 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 bei einem externen magnetischen Feld, sich 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 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.



Die zentralen Vorteile der SD4x-Produktfamilie sind die optimierte Performance, höhere Drehzahlen sowie die geringe Motorerwärmung ohne Sinusfilter.

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 Feldschwächebereichs) hingegen immer konstant 90° , da $L_q = L_d$ ist.

ROLF GERHARDT:
**„UNSERE NEUE REGELSTRATEGIE
ERMÖGLICHT MOTORHERSTELLERN
UND -BETREIBERN EINEN OPTIMALEN
BETRIEB VON IPM-MOTOREN.
DAS IST AUF DEM MARKT BISLANG
ÄUSSERST SELTEN.“**

Motorenhersteller benötigen Regelstrategie

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. Denn Fehler in den Motordaten sind aufgrund der vielfältigen Abhängigkeiten der einzelnen Parameter voneinander ansonsten nicht oder fast nicht identifizierbar.

„Für uns als Motorenhersteller ist es essenziell, dass bei unseren IPM-Motoren der Stromwinkel in Abhängigkeit des Betriebs-

punktes 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 zusammenarbeitet. „Damit verfolgen wir das Ziel, in jedem Betriebspunkt das maximal mögliche Drehmoment, bei gleichzeitigen minimalen Verlusten, für unsere Kunden herauszuholen.“ Der Hintergrund: Die heutigen Anforderungen an Wirkungsgrad, Bauraum und Drehmomentdichte können nur erreicht werden, wenn die Maschine optimal bestromt und ausgenutzt wird. „Dabei sind neue Reglerstrukturen, wie die von Sieb & Meyer, der nächste unverzichtbare Technologieschritt in Richtung Zukunft“, so Schierl.

Umrichterbaureihe SD4S bietet optimale Voraussetzungen

„Um den IPM-Motor optimal zu regeln, bedarf es einer ausgeklügelten Strategie“, bestätigt Rolf Gerhardt, Leiter Vertrieb Antriebselektronik bei Sieb & Meyer. „Nur so lässt sich in jedem Arbeitspunkt ein Maximum an Effizienz und Drehmoment erreichen.“ Viele Standardumrichter begnügen sich damit, den notwendigen Winkel für einen Arbeitspunkt bei Volllast zu ermitteln, der dann auch im Teillastbetrieb aufrechterhalten wird. Das jedoch führt zu deutlich erhöhten Motorströmen bzw. nicht optimalen Stromwinkeln. So wird zu viel Phasenstrom für das gleiche Drehmoment benötigt, was sich wiederum in einer erhöhten Statortemperatur auswirkt. Alternativ wird weniger Drehmoment erzeugt, als der IPM-Motor bei



Die SD4x-Geräte ermöglichen den optimalen Betrieb von IPM-Motoren. Bilder: Sieb & Meyer AG

diesem umrichtergestellten Phasenstrom real leisten könnte.

„Nicht zuletzt sollte die Abhängigkeit der Motorinduktivität von Strom und Frequenz bedacht werden“, erläutert Rolf Gerhardt. „Insbesondere die Induktivitäten L_d und L_q stehen dabei im Fokus.“ Nur die Berücksichtigung dieser Abhängigkeit optimiert den Wirkungsgrad und verhindert Fehlwinkel sowie unnötige Verlustleistungen. Die neue Umrichterbaureihe SD4S von Sieb & Meyer berücksichtigt alle genannten Anforderungen. Die beschriebenen Abhängigkeiten werden durch spezielle Regelstrukturen genau erfasst und im jeweiligen Arbeitspunkt optimal geregelt, sodass sich immer das optimale Moment bei gleichzeitig geringstem Motorstrom ergibt. « TB

Torsten Blankenburg ist CTO der Sieb & Meyer AG.