



Hier geht's rund

DSR, Vector Control, NFO, U/f-Steuerung, DTC – Begriffe über Begriffe der Antriebstechnik verdichten sich zu einem Dschungel aus Fachchinesisch und Techniker-Englisch. Um Klarheit in die verwirrende Vielfalt der Bezeichnungen und Abkürzungen zu bringen, beleuchtet G. Mau grundlegende Eigenschaften dieser Regelverfahren.

Bis in die 70er Jahre bildete der Gleichstrommotor praktisch die einzige Möglichkeit, in Industrie-Anwendungen Drehzahl und Drehmoment zu regeln. Aus regelungstechnischer Sicht ist er eigentlich der ideale Antrieb – ja, wenn da der mechanische Kommutator nicht wäre. Der klassische Gleichstrommotor ist verschleiß-

anfällig. Er zieht somit nicht nur mechanische Lasten, sondern auch Servicekosten nach sich.

Wesentlich robuster – und praktisch wartungsfrei – zeigt sich dagegen der Asynchronmotor. Aber er lässt sich bei weitem nicht so einfach regeln. Das war vor allem so, als die (Drehstrom-)Regelungstechnik und Leistungselektronik noch in den Kinderschuhen steckten: Zu einer Zeit, als es noch keine digitalen Signalprozessoren gab und Power-MOSFETs sowie IGBTs bestenfalls als Gedanken auf dem Papier existierten. Heute sind gesteuerte und geregelte Drehstromantriebe nicht mehr wegzudenken. Nach wie vor weisen sie die höchsten Zuwachsraten auf.

quenz. So bleibt der Fluss in der Maschine konstant und das maximale Moment erhalten. Weil der Nennfluss das höchste Drehmoment je kg Maschine entwickelt, kommen die eingesetzten Rohstoffe – Stahl, Kupfer, Isoliermaterialien – am effektivsten zur Geltung. Aus Sicht des Motors erscheint der scalargesteuerte Umrichter als eine 'verstellbare Steckdose'. Dank ihres einfachen Prinzips und ihrer leichten Handhabbarkeit sind Frequenzumrichter mit dieser Steuerung schon nach kurzer Zeit einsatzbereit. Genügt die Verstellung der Drehzahl für die Antriebsaufgabe nicht, weil die Dynamik oder das Drehmoment zu niedrig sind, kommt die

Frequenzumrichter mit fortgeschrittenen Regelverfahren – nur eine kleine Auswahl:

ABB (ACS 600)
<http://www.abb.de/>

Berges (UD 7000)
<http://www.berges.de/electron/ud7000.html>

Emotron (Vectorflux VFB/VFX)
<http://www.emotron.de/products/vfbvfx.htm>

NFO Drives (NFO Sinus)
<http://www.nfodrives.se/representation.htm>

Siemens (Micromaster)
http://www.ad.siemens.de/sd/html_00/invert/produkt/index.htm

Spannung oder Frequenz verstellen – einfach (oder) genial?!

Einfache Antriebe, z. B. für Pumpen oder Lüfter, bilden die Domäne der Spannungs-Frequenz-Steuerung, auch Scalarsteuerung genannt. Die U/f-Steuerung ist das traditionelle Verfahren zum Antreiben von Drehstrommotoren mit mittlerer Dynamik. Ihr Kerngedanke ist die proportionale Verstellung von Spannung und Fre-



Dipl.-Ing. Gunt-hart Mau ist Redakteur der IEE. Dieser Beitrag entstand nach Unterlagen von ABB Industry Oy (FIN-Helsinki), Emotron AB (S-Helsingborg), NFO Drives AB (S-Svängsta) und der Siemens AG

(Erlangen). Für ihre Unterstützung danken wir sehr herzlich Dr. Hubert Schierling und Roelof Timmer.

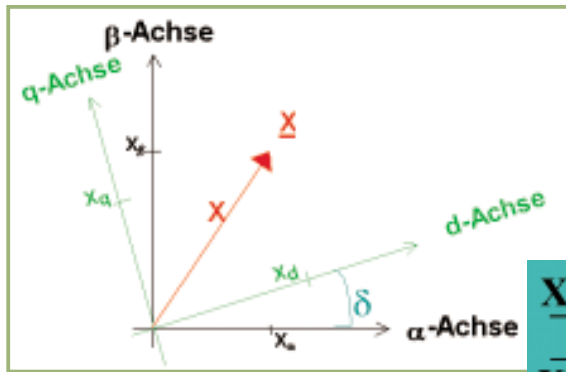
Feldorientierte Regelung bzw. Vektorregelung in Betracht. Dieses, Ende der 60er Jahre entwickelte Verfahren ist eine Drehmomentregelung, die über eine Berechnung des Flusses realisiert wird. Zu ihrem Verständnis muss man nicht unbedingt das vollständige Gleichungssystem des Asynchronmotors verinnerlicht haben. Das Drehmoment von elektrischen Maschinen verhält sich proportional zum Strom und zum Fluss. Weil jede Änderung der in einem Magnetfeld gespeicherten Energie Zeit benötigt, erhält man das schnellste Momenten-Anregelverhalten wenn man den Fluss konstant hält und nur den momentbildenden Strom verändert. Die Flusskonstanz verlangt einen unveränderlichen Erregerstrom sowie einen Winkel von 90° zwischen Drehmoment und Fluss. Das gilt ebenso für Gleichstrom- wie für



Wenn man bei der U/f-Steuerung Spannung und Frequenz proportional verstellt, bleibt der Fluss konstant; Mehrmotorenbetrieb ist möglich

Drehstrommotoren. Weil das Rechnen mit komplexen Ausdrücken der Form $e^{j2/3\pi}$ nicht jedermanns Sache ist, lässt sich ein Drehstrom-System mit drei um 120° versetzten Wicklungen (a, b und c) auch als zweiphasiges orthogonales Ersatzschaltbild mit α - und β -Koordinaten darstellen.

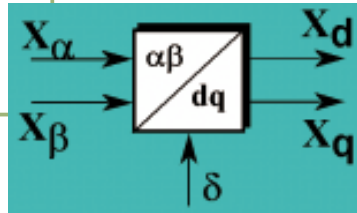
Derart kann man den im Motor rotierenden Ständerstrom(vektor) I_s in seine Komponenten I_α und I_β zerlegen. Wenn man ihn α -bezogen auf das Drehfeld – in Feldkoordinaten darstellt, lässt er sich aufspalten in die Komponenten I_d und I_q , auch D(irekt)- bzw. Q(uer)-Achse genannt. Weil sie – wie Mitfahrer auf



Die Feldorientierte Regelung ist im Prinzip recht einfach: Wenn man die rotierenden Ständergrößen (α, β) – unter Berücksichtigung des Drehwinkels – in feststehende Feldgrößen (d, q) transformiert, lassen sich Fluss und Moment fast so leicht regeln wie beim Gleichstrommotor.

tion und der dadurch verursachten Zusatzkosten praktisch zum Scheitern verurteilt.

Babylonische Begriffsvielfalt stiftet Verwirrung



Diverse Regelverfahren, die auf dem Prinzip der Feldorientierung aufbauen, verfolgen keinen gravierend verschiedenen Lösungsansatz. Sie tragen mehr oder weniger verwirrende Namen wie Transvektorregelung, Vector-

einem Karussell – in Bezug zum rotierenden System still stehen, liegen ähnlich gut regelbare Verhältnisse wie bei Gleichstrommotoren vor. Wie man sieht ist ein Drehgeber – zunächst – für feldorientierte Regelverfahren zwingend erforderlich. Die Anschaffungs- und Installationskosten der Encoder sowie die EMV-gerechte Verdrahtung bereiten aber vielen Anwendern Bauchschmerzen, die in der Forderung nach einfach zu handhabenden Lösungen resultieren. Daher gibt es zahlreiche Ideen, die Winkelmessung durch eine modellgestützte Berechnung zu ersetzen. Trotz vieler Ansätze zur sensorlosen Ermittlung der Drehzahl, weisen die meisten prinzipbedingt

schlechte Leistungen bei niedrigen Drehzahlen und im Stillstand auf. Erst in den letzten Jahren wurde der sensorlose Betrieb durch neu entwickelte Verfahren bei den meisten Industrie-Anwendungen möglich. Grundsätzlich bleibt aber festzuhalten: am genauesten ist – bei allen Regelverfahren – der Betrieb mit einem Drehgeber.

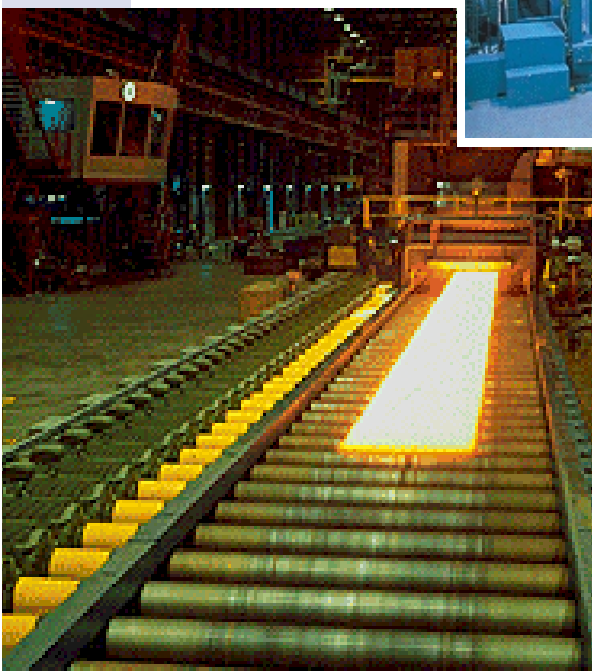
Es lässt sich zeigen, dass I_d (in Flussrichtung) dem Erregerstrom der Gleichstrommaschine entspricht und I_q (orthogonal dazu) dem momentbildenden Ankerstrom. Ge-

steuerung, Fluss-Vektor-Regelung, Current mode Flux Control, Feldvektorregelung usw. Ihre Unterschiede liegen meist in technischen Details begründet: sei es die Art der Flussberechnung oder die Methode, mit der der Strom bzw. der Fluss geregelt werden. Übrigens spielt in diesem Zusammenhang auch die Patentlage eine wichtige Rolle!

Natürlich geht's auch ohne Drehzahlmessung

Eines dieser Verfahren ist die 'Natural Field Orientation', eine genaue und unempfindliche Methode (bei $n > 10\% n_n$) zur feldorientierten Steuerung. Mit Hilfe der verfügbaren Messdaten – Strom und Spannung – kann sie die Betriebszustände im Motor berechnen, ohne ein Drehzahlensignal zu benötigen. Die Bezeichnung 'Natürliche Feldorientierung' wurde gewählt, weil sich das Steuerungssystem einfach und natürlich an die dem Motor innewohnenden Eigenschaften

Hochwertige Maschinen wie Wickler und Rollgänge erfordern feldorientierte oder direkte Regelverfahren



lingt es I_d konstant zu halten und I_q nach Vorgabe des gewünschten Drehmoments zu variieren, lässt sich die ASM ähnlich gut regeln wie ein fremderregter Gleichstrommotor.

Jetzt benötigt man noch eine Information über die Lage des Feldes im Motor (Drehwinkel δ); dann kann man I_d und I_q aus den Ständerkoordinaten i_α und i_β berechnen. Somit lässt sich das Feld indirekt über die Klemmengrößen, d. h. den Strom beeinflussen. Zu den Feldkoordinaten im Inneren des Motors besteht kein direkter Zugriff. Sämtliche Versuche in dieser Richtung, wie der Einbau zusätzlicher Messwicklungen, waren bislang wegen der aufwändigen Konstruk-

anpasst. Das Regelverfahren sorgt für ein volles Moment bei den meisten Drehzahlen. Allerdings macht sich die Parameterabhängigkeit des Ständerwiderstands vor allem bei kleinen Drehzahlen bemerkbar.

Direkt oder indirekt – wie sag ich's meinem Umrichter?

Die indirekte Methode der Fluss- und Drehmomentregelung wurde schon diskutiert. Die meisten der heutigen Verfahren beruhen auf diesem Prinzip, weil sie den Strom regeln, um den gewünschten Fluss zu erreichen. Ihre Nachteile sind eine hohe Empfindlichkeit gegen Änderungen der Motorparameter und die

zeitverzögerte Flussregelung. Folgerichtig drängt sich die Frage auf, ob es auch direkte Methoden gibt. Die Antwort lautet: ja, Sie sind dynamisch sogar besonders hochwertig. Die ständerflussorientierte Direkte Selbstregelung (DSR) wurde in den späten 80er Jahren entwickelt. Sie zählt zu den prädiktiven (voraus-berechnenden) Regelverfahren, die zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Berechnung der Schaltzustände für ein bestimmtes Optimierungsziel erfolgt online, setzt also leistungsfähige Digitale Signalprozessoren voraus. Statt einer indirekten Regelung über den Strom, beeinflusst jeder Schaltvorgang im Umrichter direkt den elektromagnetischen Zustand des Motors. Über eine Zweipunktregelung werden Fluss oder Drehmoment direkt geregelt, auch bei diesem Verfahren ohne Drehzahl-signal. Die hervorragenden dynamischen Eigenschaften der DSR begründen ihre Eignung für die elektrische Traktion. Während frühere Entwicklungsziele darin be-

standen, die Schaltfrequenz von (GTO-Hochleistungs-)Umrichtern zu minimieren, richtet sich das heutige Forscherinteresse eher auf minimale elektromagnetische Abstrahlungen u. a. Kriterien.

Praktisch mit vollem Moment – momentan schon in der Praxis

Mitte der 90er Jahre kamen Umrichter mit 'Direct Torque Control' auf den Markt. Diese Regelmethode beruht auf den Theorien der Feldorientierten Regelung sowie der Direkten Selbstregelung. DTC-Frequenzumrichter führen eine Hystereseregulierung von Drehmoment und Fluss durch. Auch hier kann prinzipiell auf die Impulsgeberrückführung verzichtet werden. Im Unterschied zu anderen prädiktiven Regelverfahren, die bisher nicht über ein Entwicklungsstadium hinauskamen, wird die DTC schon seit Jahren industriell angewandt.

Heutzutage sind meist mehrere Regelverfahren in einem Pulswechselrichter implementiert, zum einen ein feldorientiertes oder ein direktes Regelverfahren (jeweils mit oder ohne Drehgeber) sowie andererseits eine einfache U/f-Steuerung. Mit ihr verhält es sich ähnlich wie mit der DOS-Box unter Windows. Für Standardanwendungen – Pumpen und Lüfter wurden bereits erwähnt – reicht diese U/f-Verstellung meistens aus. Auch für den gleichzeitigen Betrieb mehrerer kleinerer Motoren an einem Umrichter sollte man besser die Scalar-Steuerung verwenden. Die Inbetriebnahme anspruchsvollerer Verfahren erfordert trotz zahlreicher Hilfsfunktionen ein gewisses Know-how. Die Praxis zeigt immer wieder, dass unsachgemäßes Vorgehen auch zur Zerstörung von Motoren führen kann: Die Transistoren pressen den eingestellten Strom in die Wicklung, ob ihn der Motor verkräftet oder nicht! Schuld daran tragen nicht die Umrichterhersteller, sondern das großzügige Ignorieren von Handbüchern und Inbetriebnahme-Anleitungen. □