

Gens, Wolfgang :

Schwerpunkte der künftigen Entwicklung der elektrischen Antriebstechnik

Zuerst erschienen in:

31. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Vortragsreihe A4: Automatisierte Elektroantriebe und Leistungselektronik / Technische Hochschule Ilmenau. - Ilmenau : Techn. Hochsch., ISSN 0374-3365, Bd. 31 (1986), 2, S. 19-22

Schwerpunkte der künftigen Entwicklung der elektrischen Antriebstechnik

0. Einleitung

Die wachsenden Forderungen, die mit dem Einsatz elektrischer Antriebe in den unterschiedlichsten technologischen Prozessen zukünftig zu erfüllen sind, sowie die Innovation der Bauelementebasis bilden die Triebkräfte für deren Weiterentwicklung. Die Analyse dieser Forderungen und der zu erwartenden Innovation deutet auf folgende fünf Schwerpunkte hin.

1. Elektrische Antriebe für Maschinenkomplexe der rechnergesteuerten Produktion

Die verstärkte Hinwendung auf die rechnergestützte Produktion (CAM) verlangt in absehbarer Zeit den Einsatz präzise steuerbarer elektrischer Antriebe in großer Zahl und Vielfalt, vorzugsweise im Leistungsbereich bis etwa 30 kW. Die dem ersten Schwerpunkt zordenbaren Antriebe werden vorwiegend benötigt

- zur Ausführung von Bewegungen, d. h. zum punktförmigen oder fortlaufenden Positionieren von Werkzeugen oder Werkstücken
- zur Ausführung von Transportaufgaben, d.h. zur Übergabe von Werkstücken und zur Beförderung von festen, flüssigen und gasförmigen Medien, häufig gekoppelt mit der verlustarmen Steuerung der Durchsatzmenge

- zur Bereitstellung mechanischer Energie für unterschiedliche formgebende Bearbeitungen.

Die genannten Funktionen: Positionieren, Transport und Bearbeitung sind vielfach zeitlich parallel und seriell gekoppelt. Zur Ausführung der prozessbedingten Aufgaben und zur Gewährleistung der Kopplungen sind elektronische Steuerungen erforderlich, wobei zunehmend höhere Forderungen an den Umfang und die Präzision der Reproduzierbarkeit ihrer Funktionen, an ihre Dynamik, ihre Zuverlässigkeit sowie ihre Handhabbarkeit und Überschaubarkeit bei der Montage, Wartung und Reparatur gestellt werden. Neben der Forderung nach minimalen Verlusten bei der Energiewandlung tritt bei dieser Klasse von Antrieben die nach angemessener Flexibilität der Anpaßbarkeit der Steuerung an unterschiedliche und zeitlich sich verändernde Steueraufgaben immer mehr in den Vordergrund. Daraus folgt zwangsläufig, daß frei-programmierbare Steuerungen mit selbsttätiger oder mit äußerer Parameter- und/oder Strukturanpassung, u. U. während des Betriebes, große Aufmerksamkeit verdienen. Die Forderung nach kurzfristiger Ausrüstung von Robotern, Manipulatoren und anderen Mechanismen mit geeigneten, zunehmend rechnergesteuerten Antrieben kleiner Leistung (≤ 3 kW) wirft für den Anwender die Frage nach kurzfristiger Beschaffbarkeit auf. Die sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Konstruktion, insbesondere der Steuerung, sowie an die Funktion bedingen eine große Vielfalt der bereitstellenden Antriebe, wobei relativ kleine Stückzahlen pro An-

triebsvariante zu erwarten sind. Es ist Überlegenwert, wie ein bezüglich Hard- und Software modulares System von Antriebskomponenten gestaltet sein muß, damit ein Anwender aus einem solchen Angebot an Modulen die benötigte Antriebsvariante mit einem Minimum an Anpassungsarbeiten, folglich mit geringen Kosten, selbst aufbauen und einsetzen kann. Ein derartiges Konzept sollte unbedingt Schrittmotoren, permanenterregte Gleichstrommotoren und Drehstromasynchronmotoren kleiner Leistung, die zugehörigen leistungselektronischen Stellglieder einschließlich ihres Netzanschlusses, Zustandsgeber sowie Steuerungsbaugruppen einschließlich zugeschnittener Rechner, die mit den gebräuchlichen Steuerungssystemen im Hinblick auf die Konstruktion und Kopplung kompatibel sind, enthalten. Es sollte geeignet sein zum Aufbau unterschiedlich anspruchsvoller Drehzahl-, Lage- und Drehmomentregelungen einschließlich Schutz und Überwachung. Es muß ihre autonome Führung oder die von einer übergeordneten Steuerebene aus möglich sein.

2. Elektrische Antriebe großer Leistung

Den zweiten Schwerpunkt bilden elektrische Antriebe im oberen kW- und MW-Bereich für die chemische und metallurgische Industrie, den Bergbau, den Schiffbau und die Traktion. Bei diesen Antrieben stehen die energetisch optimale Betriebsführung einschließlich Begrenzung der Netzrückwirkungen, der zuverlässige Schutz und die Diagnose der momentanen Betriebsfähigkeit, gekoppelt mit der Erfassung des Lebensdauerverbrauchs, die Minimierung des Aufwandes für die Gestaltung und den Betrieb des Gesamtsystems sowie die Nutzung der Verlustenergie im Vordergrund. Das Gesamtsystem umfaßt hierbei den Motor, die Arbeitsmaschine, das Stellglied sowie die vorgelagerte Schalt- und ggf. Kompensationsanlage. Im internationalen Maßstab werden gegenwärtig verstärkt Aufwandsvergleiche für direkt einschaltbare Antriebe mit drehzahlsteuerbaren Antrieben durchgeführt. Es sind im Vergleich zum zuerst genannten erhebliche Einsparungen bei der dem drehzahlstellbaren Antrieb zugeordneten Schaltanlage sowie beim Motor zu erwarten, die, sofern die Drehzahlsteuerbarkeit zusätzlich Vorteile für den Prozeßablauf bringt, den Aufwand für das Stellglied in einer ökonomisch in-

teressanten Größenordnung übersteigen. Infolge der erheblich verringerten elektrodynamischen Beanspruchungen ist eine längere Lebensdauer des Motors zu erwarten oder eine weniger aufwendige Auslegung desselben möglich. Auch an der Ablösung von kommutatorbelasteten elektrischen Maschinen im Grenzleistungsbereich durch kommutatorlose Drehstrommaschinen wird intensiv gearbeitet. Es sind wirtschaftliche Vorteile zu erwarten, die aus der geringeren Empfindlichkeit gegenüber mechanischen, elektrischen und thermischen Überlastungen, dem konstruktiv einfach möglichen größeren Bereich in Richtung sehr kleiner und sehr hoher Drehzahlen, der mit einem geringeren Energieumsatz erreichbaren Dynamik, dem geringeren Wartungsaufwand für die elektrische Maschine und dem geringeren Volumen- und Masse-Leistungs-Verhältnis resultieren. Für bereits erzielte Fortschritte auf diesem Gebiet sei stellvertretend die Ausrüstung von elektrischen Triebfahrzeugen mit kommutatorlosen Fahrmotoren im Leistungsbereich >1 MW genannt.

3. Elektrische Antriebe für Konsumgüter, Mikro- und Rechenstechnik

Einen dritten Schwerpunkt bilden elektrische Antriebe für Geräte, die in gleichartiger Ausführung in großen Serien produziert werden. Sie zeichnen sich durch sehr große Stückzahlen von Einweckantrieben aus, die vorwiegend aus funktionalen und ökonomischen Gründen mit der Getriebe- und Mechanik als konstruktive Einheit ausgeführt werden. Bei der Weiterentwicklung stehen Überlegungen zu Konstruktionen, die einen minimalen Materialaufwand erfordern, und die Herstellung mit einer ausgefeilten automatisierten Fertigung im Vordergrund. Als Beispiel sei stellvertretend der an der TH Ilmenau entwickelte Universalmotor mit unsymmetrischen direktbewickelten Stator genannt.

4. Komponenten des Antriebssystems

Einen vierten Schwerpunkt bildet die Weiterentwicklung der Komponenten des Antriebssystems in der Rangfolge Hard- und Software für die Informationsverarbeitung, als Steuerung bezeichnet, Stellglied und elektrische Maschine. Der Einsatz von Mikrorechnern für Antriebssteuerungen nimmt weltweit progressiv zu. Die mit 8 Bit-Mikrorechnern bei Taktfrequenz bis 5 MHz erreichbare funktionelle Leistungsfähigkeit, insbesondere ihre

Grenzen, ist bisher am umfangreichsten theoretisch und praktisch untersucht worden. Zunehmend werden damit Anlagen für den Produktionsersatz ausgerüstet. Die Untersuchungen, welche Möglichkeiten Mikrorechner mit Einchipprozessoren und Prozessoren mit einer Wortbreite 2 16 Bit für Antriebssteuerungen bieten, werden weltweit zunehmend intensiviert. Besondere Aufmerksamkeit ist hierbei der Erarbeitung von Algorithmen, die die Leistungsfähigkeit der Rechner maximal ausnutzen, für die durchgehende digitale Regelung auch für sehr schnell ablaufende Antriebssteuerelemente, den Einrichtungen zur Prozesszustandserfassung oder Sensoren mit digitalem Ausgang für Steuerungs-, Überwachungs- und Diagnosezwecke sowie der entscheidenden Reduzierung des Hardwareaufwandes zu widmen. Darüber hinaus macht sich die Implementierung leistungsfähiger komplexer Schutz-, Überwachungs- und Diagnosefunktionen in die Steuerung, wobei weitgehend die Verwendung der gleichen Prozesszustandsinformationen wie für die Steuerung anzustreben ist, erforderlich. Das Ziel besteht in der vollen Ausnutzung der installierten Bauleistung bei Gewährleistung der projektierten Lebensdauer der elektrischen Antriebe und im Übergang von der frist- zur zustandsabhängigen Wartung und Instandhaltung. Für Komponenten von Antriebssteuerungen, die unverändert für viele unterschiedliche Steueraufgaben einsetzbar sind, werden Kundenwunsch-Schaltkreise, die der Anwender fertig konfektionierte, künftig große Bedeutung erlangen. Einen weiteren, der Steuerung zuzurechnenden, aber nicht allein antriebspezifischen Aufgabenkomplex, der künftig die größte Aufmerksamkeit verlangt, bildet die Software-Technologie. Darunter ist die Behandlung von Rechnerprogrammen, u. a. deren Erarbeitung nach vorgegebenen Richtlinien unter den Gesichtspunkten Kompatibilität, Störsicherheit, Aufbereitung für die multivalente Nutzung, Korrektur und Erweiterung, Dokumentation und Archivierung zu verstehen. Bei den Stellgliedern zur Verlustarmen, stetigen Veränderung der Steuergrößen des Antriebs konzentrieren sich die Untersuchungen auf wirtschaftlichere Lösungen, die mit dem Einsatz weiterentwickelter Leistungshalbleiter zu erwarten sind, sowie auf damit realisierbare neuartige Strukturen. Im Leistungs-

bereich bis 50 kW erlangt der Einsatz von Leistungstransistoren und von Modulen, die in die Leistungshalbleiterkombinationen integriert sind, eine zunehmende Bedeutung. Das betrifft vor allem Wechselrichter mit konstanter und steuerbarer Zwischenkreisspannung zur Steuerung von dreiphasigen Synchron- und Asynchronmotoren, Pulssteller zur Steuerung von Gleichstrommotoren - letztere auch als höherwertigen Ersatz von netzgelöschten Stromrichtern - und Schaltnetzteile für eine höhere Ausgangsleistung. Im Leistungsbereich oberhalb 50 kW behalten die Normalthyristoren für netzgelöschte Stromrichter vorerst ihre Bedeutung. Bei Pulsstromrichtern wird sich eine verstärkte Abkehr von Frequenzthyristoren mit Kondensatorlöschung und eine verstärkte Hinwendung zum Thyristor mit gateunterstützter Kondensatorlöschung (GATF) sowie zum abschaltbaren Thyristor (GTO) vollziehen. Eine weitere, für die fernere Zukunft bedeutsame Arbeitsrichtung besteht in der Einsatzverbereitigung von Leistungshalbleitern, deren aktiver Teil aus Kombinationen von Feldeffekt- und Bipolarstrukturen besteht und der zusätzlich bauelementene Steuer- und Schutzfunktionen übernehmen kann. Es ist zu erwarten, daß Energie- und Informationssteueraufgaben von einem Halbleiterchip ausgeführt werden können und die galvanische Trennung des Informationskanals optoelektronisch ausgeführt wird. Derartige Leistungshalbleiter werden besondere Bedeutung zur Steuerung von elektrischen Antrieben in Geräten, die in großen Stückzahlen produziert werden, erlangen. Künftige Arbeiten werden in verstärktem Maß auch die passiven Bauelemente für die Leistungselektronik - Kondensatoren, Drosseln, Übertrager, Schutzelemente usw. - zum Gegenstand haben müssen. Sie werden sich konzentrieren auf die Analyse ihrer Beanspruchungen in den Schaltungen, auf ihre davon abhängige Auslegung und konstruktive Gestaltung und auf den Einsatz verbesserter Materialien, z. B. Dielektrika, ferromagnetische Werkstoffe mit dem Ziel, die Wirksamkeit der passiven Bauelemente bei gleichzeitiger Verringerung des Aufwandes, der Verluste, des Bauvolumens und der Masse zu erhöhen. Bei der Antriebskomponente elektrische Maschine sind die Möglichkeiten der Weiterentwicklung aus antriebstechnischer

Sicht weitgehend erschöpft. Neue Wirkprinzipien zur elektromagnetischen oder anderweitigen Erzeugung von Kräften und Drehmomenten zeichnen sich nicht ab. Die künftigen Aufgaben werden hier gesehen in einer Verbesserung der Materialökonomie unter Beachtung der Energiebilanz, in der Einführung moderner Fertigungstechnologien sowie in der treffsicheren Vorausberechnung ihrer Betriebseigenschaften. Große Beachtung verdienen Drehstromasynchronmotoren für hohe Drehzahlen ($\geq 10\ 000\ \text{min}^{-1}$).

5. Anwendung der Rechentechnik für den Entwurf und die Auslegung

Einen fünften Schwerpunkt bildet die Vorbereitung des umfassenden Einsatzes der Rechentechnik beim Entwurf und bei der Auslegung des Antriebs und seiner Komponenten. Zwei Teilaufgaben werden dabei im Mittelpunkt stehen: die rechnergestützte Auslegung und Projektierung von Stromrichtern unter Beachtung der Bedingungen auf der Netz- und Lastseite und von Antrieben sowie die rechnergestützte Konfiguration und Optimierung von Antriebssteuerungen. In beiden Fällen ist eine am Arbeitsplatz verfügbare, dialogfähige Rechentechnik mit ausreichendem Speichervolumen erforderlich. Es wird die zielgerichtete Vervollkommnung und Erweiterung vorhandener Programmsysteme auf der Grundlage geeigneter mathematischer Modelle der Elemente und Komponenten des Antriebssystems erforderlich sein. Die Rechentechnik für den Entwurf und die Optimierung von Antriebssteuerungen muß auf alle Fälle die digitale Simulation mit vertretbarem Zeit- und damit Kostenaufwand gestatten. Sie muß u. U. für die Einbeziehung realer Antriebskomponenten oder von analogen Echtzeitmodellen geeignet, d. h. echtzeitbetriebsfähig sein.

6. Zusammenfassung

Den Schwerpunkt der künftigen Entwicklung der elektrischen Antriebstechnik auf theoretischem Gebiet bilden: die mathematische Beschreibung der Komponenten des Antriebssystems, die daraus folgende Ableitung geeigneter mathematischer Modelle und deren Umsetzung in Rechenprogramme; die Erarbeitung von Steuer- und Auslegungsalgorithmen, die auf vollständigeren Modellen der Antriebskomponenten aufbauen und die die Leistungsfähigkeit der sich entwickelnden Re-

chentechnik voll in Anspruch nehmen; der Entwurf den Möglichkeiten der Rechentechnik angepaßter Strukturen zur Antriebssteuerung einschließlich ihrer, der digitalen Informationsverarbeitung angepaßten Einbindung in übergeordnete Steuererebenen sowie Überlegungen zu einer Konzeption für Klassen modularer Antriebssysteme. Den Schwerpunkt auf experimentellem Gebiet bilden die Methoden zur Beschaffung der Modellparameter, in der Erprobung der Komponenten des Antriebssystems insbesondere der Leistungselektronik, insbesondere der Stellglieder zur Überprüfung und Erhöhung der Treffsicherheit der rechnergestützten Auslegung und in der umfassenden Erprobung kompletter rechnergesteuerter Antriebssysteme.

Verfasser

Prof. Dr. sc. techn. W. Gens,
Technische Hochschule Ilmenau,
Sektion Elektrotechnik