

Vorwort

Elektrische Energie (Power) ist eine der edelsten Energieformen, insbesondere weil man sie sehr leicht erzeugen, transportieren und mit hohen Wirkungsgraden in andere Energiezustände umwandeln kann. Ohne elektrischen Strom wären die technischen Errungenschaften einer modernen Industrie-, Mobilitäts- und Informationsgesellschaft absolut undenkbar. Im Bereich der industriellen und gewerblichen Automatisierung von Prozessen und Produkten sind es vor allen Dingen die elektrischen Antriebssysteme, die als wahre Dauerläufer in den unterschiedlichsten Anwendungen unermüdlich für die nötige Bewegung und Dynamik sorgen. Die erforderliche Dosierung des Energieflusses (Power Management) erfolgt über die Spannungen, Ströme und Frequenzen der elektrischen Maschinen. Infolge eines intelligenten Zusammenspiels von Mikroelektronik und Leistungselektronik lassen sich aus jeder elektrischen Energiequelle (Netz, Batterie, Brennstoffzelle, Solarmodul) variable Spannungssysteme für beliebige elektrische Verbraucher (Motoren, Heizgeräte, Leuchten) erzeugen.

Für die Steuerung und Regelung von Positionen, Drehzahlen und Drehmomenten in Hochgeschwindigkeitszügen, Fertigungsanlagen, Elektrofahrzeugen, Hebezeugen, Werkzeugmaschinen, Robotern, Transportbändern, Haushaltsgeräten usw. kommen hoch integrierte Mikrocontroller zum Einsatz, wobei die Implementierung innovativer Beobachteralgorithmen und Regelsoftware in vielen Low-Cost-Anwendungen den Verzicht auf teure Sensorhardware gestattet. Durch die digitale Signalverarbeitung in diesen elektrischen und elektromechanischen Aktorsystemen ist eine Vernetzung mit anderen Antriebs- und Prozesseinheiten über echtzeitfähige Bussysteme problemlos möglich. Speicherprogrammierbare Steuerungen, Industrie-PC oder Prozessrechner übernehmen mittels Feldebustechnik die Überwachung und Steuerung des Gesamtprozesses einer komplexen Fertigungsmaschine und Produktionsanlage. Werden sämtliche Master (Prozesssteuerung) und Slaves (Aktoren, Sensoren) direkt an einen gemeinsamen Energiestrang und eine Datensammelleitung (Bus) angeschlossen, können die enormen Vorteile des dezentralen Power Management voll ausgeschöpft werden.

Neben hoher Betriebssicherheit, Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Flexibilität sind beste Dynamik, geringe Netzurückwirkungen, effektiver Energieeinsatz sowie vorausschauende Einsatz- und Inspektionsplanung weitere Punkte im Anforderungsprofil einer optimalen Automatisierungslösung. Durch die fortschreitende Verschmelzung von Energie und Information auf engstem Raum kann das elektrische Power Management seiner wichtigen Rolle in der industriellen Pro-

zess- und Fertigungsautomation, beim Transport von Personen und Gütern sowie bei der Arbeiterleichterung in Gewerbe und Haushalt auch in Zukunft gerecht werden. Auf diesem komplexen Zusammenspiel von moderner Leistungselektronik, sensorloser Antriebstechnik und intelligenter Feldbusvernetzung beruht das vorliegende Werk.

Nach einem historischen Rückblick werden die gängigen Leistungshalbleiter nacheinander aufgeführt und auf wichtige Punkte bei deren Ansteuerung, Schutzbeschaltung und Kühlung hingewiesen. Im Interesse hoher Wirkungsgrade und Leistungsgewichte werden Leistungshalbleiter ausschließlich im Schaltbetrieb angesteuert, wobei die damit verbundenen Oberschwingungsphänomene mathematisch formuliert und anhand zahlreicher Strom- und Spannungsverläufe näher erläutert werden. Danach werden die für das dezentrale Power Management relevanten Stromrichterstellglieder der Reihe nach ausführlich abgehandelt. Bei den kommutierungslosen Stromrichtern sind dies vor allem die ein- und dreiphasigen Wechselwegschaltungen bis hin zur vierpoligen Reversiersparschaltung, mit denen sich sowohl Helligkeitssteuerungen als auch einfache Motorsteuerungen für den Sanftanlauf realisieren lassen. Bei den netzgeführten Stromrichtern stehen die ein- und dreiphasigen Brückenschaltungen im Vordergrund, die für den Betrieb von Gleichstrommaschinen in allen Quadranten der Drehzahl-Drehmoment-Ebene eingesetzt werden. Am Beispiel eines selbstgeführten Drehstromwechselrichters wird verdeutlicht, welcher enorme Aufwand erforderlich ist, um aus einer starren Gleichspannung ein synthetisches Drehstromsystem variabler Spannung und Frequenz zu generieren. Neben der Herleitung der stationären Belastungs- und Steuerkennlinien wird sehr intensiv auf die digitalen Modulationsverfahren, Betriebsquadranten und Oberschwingungsspektren eingegangen, sodass der Interessierte einen tiefen Einblick in das Systemverhalten moderner Leistungselektronik bis hin zur Vermeidung von Grundschwingungsblindleistung und Verzerrungsleistung auf der Netzseite bekommt.

Einen Schwerpunkt dieses Buchs bildet die praktische Anwendung der Leistungselektronik in der Antriebstechnik. Ausgehend von der Mechanik an der Motorwelle über die elektromechanischen Grundlagen der Maschinen, werden der Aufbau und die Funktionsweise von Ein- und Mehrquadrantenantrieben und die zugehörigen Regelverfahren einschließlich Reglerentwurf beschrieben. Die Leistungsgrenzen der einzelnen Antriebssysteme werden mittels gemessener Beschleunigungs- und Hochlaufdiagramme aufgezeigt, sodass direkte Vergleiche bezüglich Dynamik, Schaltungsaufwand und Signalverarbeitung möglich sind. Ziel dabei ist es, dem Leser den hohen Entwicklungsstand der elektrischen Antriebstechnik transparent zu machen und ihm das nötige Wissen an die Hand zu geben, komplexere Antriebssysteme, wie die feldorientierte Regelung von Drehstrommaschinen oder sensorlose und redundante Antriebsregelungen, nachvollziehen und verstehen zu können. In einem weiteren Kapitel wird auf die Probleme der Störsicherheit

in digitalen Stromrichtergeräten eingegangen und auf entsprechende EMV-Richtlinien hingewiesen.

Ein absolutes Novum in der elektrischen Antriebsliteratur stellen zwei auf einer DVD beigefügte Computeranimationen dar. Zum einen wird dem Leser dadurch die abstrakte Welt der schaltenden Leistungshalbleiter und Stromrichter visuell auf anschauliche und einprägsame Weise verständlich gemacht und zum anderen werden die komplexen Mechanismen bei der Raumzeigerdarstellung und Feldorientierung in Drehstromasynchronmaschinen quasi zum Leben erweckt und damit für das praktische Verständnis transparent und nachvollziehbar.

In einem speziellen Kapitel werden die unterschiedlichen Busarchitekturen, Busprotokolle und Buszugriffsverfahren der unzähligen Feldebussysteme in der Automatisierungstechnik vorgestellt, von denen viele eine weltweite Verbreitung im Maschinen- und Anlagenbau, im Automotive-Bereich, im Gebäudemanagement, in Fahrzeugen zu Wasser, Land und Luft sowie in Sicherheitsbereichen gefunden haben. Auf Spezifikationen und Detailangaben zu den einzelnen Bussystemen musste allerdings bewusst verzichtet werden, um den Rahmen dieses interdisziplinären Fachbuchs nicht zu sprengen. Den Abschluss bildet ein Kapitel mit wichtigen Formeln und Definitionen, die als mathematisches Handwerkzeug für die Herleitung und Interpretation der elektrischen Ersatzschaltbilder, Raumzeigerdarstellungen, Flussmodelle, Regelstrukturen und Beobachteralgorithmen unerlässlich sind.

Dieses Buch richtet sich an Studenten und Mitarbeiter der Elektrotechnik, Mechanik und Automatisierungstechnik an Fachhochschulen und Universitäten sowie an Ingenieure in der beruflichen Praxis, die sich einen tieferen Einblick in die Wirkungsweise von leistungselektronischen Komponenten und vernetzten Energieknoten verschaffen und das enge Zusammenspiel von Energie und Information im dezentralen Power Management kennenlernen und in innovativen Produkt- und Systemlösungen anwenden wollen. Voraussetzungen für das Verständnis moderner Leistungselektronik, sensorloser Antriebsregelungen und intelligenter Bussysteme sind fundierte Kenntnisse in der Mathematik, Elektrotechnik, Regelungstechnik und Mikroelektronik.

Ich danke allen an dieser Arbeit beteiligten Mitarbeitern und Studenten der Fachhochschule Bielefeld (FB 3) sowie der Universität Bielefeld (TechFak), insbesondere Dipl.-Ing. *Sven Hilbers* für die professionelle Gestaltung der Computeranimationen sowie Dipl.-Ing. *Thorsten Grunwald* für die fleißige Erstellung der vielen Reinzeichnungen. Schließlich gebührt noch ein besonderer Dank meiner lieben Kinderschar, der ich selbstverständlich auch dieses, mein 13. Buch widmen möchte.