

# Vorwort

Elektrische Antriebe sind leise, sauber, vielseitig und robust. Unermüdlich sorgen sie als elektromechanische Muskeln in allen Bereichen einer Industriegesellschaft für Bewegung, Dynamik und Komfort. Das Einsatzspektrum elektrischer Antriebe reicht vom Rührer, Fön und Staubsauger über Förderbänder, Fahrstühle und Elektrofahrzeuge bis hin zu Werkzeugmaschinen, Industrierobotern und voll automatisierten Fertigungsstraßen. Einen Meilenstein in der Entwicklungsgeschichte dieses umfangreichen Fachgebiets markiert der Übergang von der analogen zur digitalen Regelung elektrischer Antriebe Anfang der 1980er-Jahre. Auslöser war die fortschreitende Automatisierung mit der Forderung nach Vernetzbarkeit der Antriebskomponenten über Feldbusysteme. Abgesehen von einfachsten Anwendungsfällen werden heutzutage praktisch alle elektrischen Antriebe von Mikroprozessoren geführt und geregelt. Die Innovation der elektrischen Antriebstechnik liegt derzeit in der Erhöhung der Systemintelligenz durch die Implementierung unkonventioneller Regeltheorien in schnelle Mikrocontroller. Dabei geht der Trend zu modellgestützten Antriebsregelungen, bei denen teure Sensorhardware durch preiswerte Beobachtersoftware ersetzt wird. Parallel dazu findet eine monolithische Verschmelzung der leistungselektronischen und mikroelektronischen Halbleiterelemente auf Chipebene statt, wodurch die gesamte Antriebselektronik im Klemmenkasten bzw. im Anschlussstecker der Maschine Platz findet. Diese intelligenten und kompakten Low-Cost-Elektroantriebe lassen sich in allen Feldern der industriellen Prozess- und Produktautomation, der Elektrotraktion auf Schiene und Straße sowie in allen Applikationen für Gewerbe und Haushalt vorteilhaft einsetzen.

Die praktische Realisierung und der optimale Einsatz moderner Antriebsregelungen gelingt allerdings nur dann, wenn fundierte Kenntnisse über die Theorien der Regelungstechnik, die Komponenten der Leistungselektronik, die Besonderheiten der Digitaltechnik und die mechanischen Gegebenheiten an der Motorwelle vorhanden sind. Auf diesen interdisziplinären Verknüpfungen sowie den antriebstechnischen Randbedingungen beruht das vorliegende Werk. Ausgehend von den elektromechanischen Grundlagen für rotatorische und translatorische Bewegungsabläufe werden die Übertragungsfunktionen, Frequenzkennlinien und Stabilitätskriterien elektrischer Antriebe der Reihe nach hergeleitet. Für die klassische Kaskadenstruktur werden die Parameter der PI-Regler im Bode-Diagramm

komplett konstruiert und die dynamischen Ergebnisse vorgestellt. Die analoge Realisierung der Regler mit Operationsverstärkern und die digitale Variante mit Mikroprozessoren werden aufgezeigt und einander gegenübergestellt, wobei auf das Softwaretiming und die Störsicherheit der Hardware (EMV) ausführlich eingegangen wird. Danach werden die modernen Begriffe, wie Beobachtbarkeit, Steuerbarkeit und Polvorgabe, am Beispiel eines Drehzahlbeobachters demonstriert und durchgerechnet. Mit der Theorie der binären Beobachter wird dann gezeigt, dass auch die elektrischen Zustandsgrößen in Stromrichterantrieben mit hoher Genauigkeit geschätzt werden können. Dies führt auf das neue Gebiet der sensorlosen Elektroantriebe, bei denen Spannungen, Ströme und Drehzahl-Istwerte von Beobachterkaskaden online gebildet und den Reglern als Istwert-Ersatz zugeführt werden. Die Substitution von Sensorhardware durch Beobachtersoftware bildet einen wichtigen Schwerpunkt dieses Buchs, da auf diesem Sektor ein riesiges Wachstumspotenzial der Antriebstechnik mit erheblichen Wettbewerbsvorteilen für den Anwender liegt. Die Vorgehensweise wird am Entwurf eines sensorlosen Vierquadrant-Gleichstromantriebs Schritt für Schritt erläutert und anhand von Oszillogrammen dokumentiert. Als weitere modellgestützte Regelkonzepte der modernen Antriebstechnik kommen die Raumzeigerdarstellung für Drehstromantriebe mit Feldorientierung sowie die auf Expertenwissen basierende Fuzzy-Regelung umfassend zur Sprache. Wegen der internationalen Bedeutung antriebstechnischer Komponenten sind in einem Sonderkapitel die wichtigsten englischen Fachausdrücke der Regelungs- und Antriebstechnik aufgeführt. Den Abschluss bilden Testfragen und Übungsaufgaben zur Vertiefung des Stoffs und zur Vorbereitung auf mündliche und schriftliche Prüfungen.

Für dieses Buch ist eine begleitende Computeranimation verfügbar. Für den Leser werden die komplexen Mechanismen bei der Raumzeigerdarstellung und Feldorientierung in Drehstromasynchronmaschinen quasi zum Leben erweckt und damit für das praktische Verständnis transparent und nachvollziehbar gemacht.

Dieses Buch richtet sich an Studenten und Mitarbeiter der Elektrotechnik und der Automatisierungstechnik an Universitäten und Fachhochschulen sowie an Ingenieure und technisch Interessierte in der industriellen und gewerblichen Praxis. Es möchte dem Leser den hohen Stand der elektrischen Antriebstechnik transparent machen und ihn befähigen, mit der rasanten Entwicklung dieses Fachgebiets Schritt zu halten. Insbesondere sollen Defizite und Schwierigkeiten bei der praktischen Realisierung von digitalen Regel- und Beobachterstrukturen mit Mikroprozessoren beseitigt werden. Für das Verständnis moderner Antriebsregelungen sind Vorkenntnisse in der Laplace-Transformation, Matrizenrechnung und Fourier-Transformation sowie in der Leistungselektronik, Regelungstechnik, Elektromechanik und Mikroelektronik von großem Nutzen.

Ich danke allen meinen Mitarbeitern und Studenten der Fachhochschule Bielefeld sowie der Universität Bielefeld, die an der aufwendigen Erstellung der Grafik- und Textdateien mitgewirkt haben. Dem VDE VERLAG danke ich für die angenehme Zusammenarbeit bei der Umsetzung des Manuskripts in ein ansprechendes Buchformat. Schließlich gebührt noch ein besonderer Dank meinen 13 Adoptivkindern aus aller Herren Länder, denen ich auch dieses, mein 16. Buch widmen möchte.

Bielefeld, im Winter 2016

*Klaus Hofer*