

Elektrische Antriebe - Regelung von Antriebssystemen

Bearbeitet von
Dierk Schröder

4. Auflage 2015. Buch. XXXII, 1879 S. Hardcover
ISBN 978 3 642 30095 0
Format (B x L): 16,8 x 24 cm

[Weitere Fachgebiete > Technik > Energietechnik, Elektrotechnik > Elektromotoren](#)

schnell und portofrei erhältlich bei


DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

Vorwort zur 4. Auflage

In der vierten Auflage des Buchs „Elektrische Antriebe - Regelung von Antriebssystemen“ wurden umfangreiche Erweiterungen vorgenommen.

Die erste Erweiterung mit fünf Beiträgen betrifft Varianten der Statorstrom-Regelungen. Der erste Beitrag „Stromregelverfahren für Drehfeldmaschinen“ von Herrn Dr. Hoffmann, Kiel und Herrn Prof. Fuchs, Kiel, beschreibt ausführlich die Modellbildung der Komponenten bei Abtastung und hier insbesondere des selbstgeführten Wechselrichters und der Last, wenn die Abtastung durch das höherfrequente Trägersignal gesteuert wird. Aufgrund der Verkopplungen durch die Gegenspannungen im Statorkreis wird die Übertragungsfunktion der Strecke um einen komplexen Term im Nenner erweitert, die zu einer vom Arbeitspunkt abhängigen Polverschiebung in dem Statorstrom-Regelkreis führt. Außer dem komplexen Term im Nenner sind die Verkopplungen bei den Wandlungen vom K- zum S-System und umgekehrt zu beachten. Ausgehend von dieser Situation werden Stromregelungen mit verschiedenen Verfahren der Entkopplung ausführlich untersucht, experimentell überprüft und bewertet. In dem zweiten und dritten Beitrag von Herrn Prof. Nuß, Offenburg, wird vorgeschlagen, getrennte Zustandsregelungen sowohl für die Statorstrom-Regelung als auch für die Drehzahlregelung einzusetzen. Dies ist ein interessanter Vorschlag, denn die Zustandsregelung wird in der Antriebsregelung praktisch nicht eingesetzt, da dort die beiden Regelkreise nicht getrennt, sondern nur gemeinsam, d. h. in einem Schritt, in Betrieb genommen werden können. Außerdem ist die Begrenzungsfunktion nicht zu realisieren. Eine getrennte Zustandsregelung erscheint zunächst unerfüllbar zu sein, da die beiden Zustandsregler alle Zustände des Systems gemeinsam berücksichtigen müssen. In dem Beitrag wird die „kaskadierte Zustandsregelung“ vorgestellt, es gibt somit eine „Stromzustandsregelung“ und getrennt davon eine „Drehzahl-Zustandsregelung“.

Damit können, wie bei der Kaskadenregelung, beide Regelkreise getrennt in Betrieb genommen werden. Da weiterhin nun die Soll- und Istwerte verfügbar sind, ist damit auch die Funktion der Begrenzung realisierbar. Im vierten Kapitel „Zusammenfassung Statorstrom-Regelkreise“ erfolgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse in den vorherigen Kapiteln.

Wie im ersten Beitrag dieses Themengebiets beschrieben, werden bei zeitvarianten Systemen, wie der Statorstromregelung, aufgrund der zeitvarianten Gegenspannungen die unerwünschten Polverschiebungen entstehen. Im Beitrag

von Herrn Dr. Heising und Herrn Prof. Steimel, Bochum, wird die Polfesselung vorgestellt, mit der die Polverschiebungen vermieden werden. Als Einführung wird gezeigt, dass selbst bei den einfachsten leistungselektronischen Systemen die Polverschiebung nicht zu vermeiden ist, die bis zur Instabilität führen kann. Es folgt die Entwicklung der Verfahren „Beobachter mit Polfesselung“ und „Regler mit Polfesselung“. Abschließende erfolgreiche Anwendungen bis zum Active Front End Wechselrichter bestätigen die Verfahren.

Die zweite Erweiterung betrifft die Regelung von Drehfeldmaschinen ohne Drehzahl- oder Positionssensor. Es erfolgten drei Maßnahmen: erstens die Beschreibung von Identifikations- und Regelungs-Verfahren bei der Einprägung von „hochfrequenten“ Zusatzsignalen von Herrn Dr. Landsmann, München; zweitens eine Literatur-Auswahl des Standes der Technik bei Herrn Prof. Lorenz, Wisconsin, WEMPEC, USA sowohl hinsichtlich der detailliert dargestellten Anforderungen an die konstruktiven Ausführungen der Varianten der Synchronmaschinen und der Asynchronmaschine, um den sicheren geberlosen Betrieb zu ermöglichen als auch die zugehörigen Signalverarbeitungen sowie die experimentellen Überprüfungen. Die Varianten der geschalteten Reluktanzmaschine werden in der dritten Erweiterung vorgestellt.

Herr Prof. de Doncker, Aachen, hat die neuesten Verfahren zur Regelung von geschalteten Reluktanzmaschinen vorgestellt. Zur Einführung und zum verbesserten Verständnis werden die Grundlagen kurz wiederholt. Wesentlich sind die Kapitel über die sensorlose Regelung sowie die verschiedenen Optionen zur Optimierung der Reluktanzmaschinen wie die Minimierung der Welligkeit der Zwischenkreisspannung, die akustische Analyse, die Verlustmodellierung sowie das Verfahren mit den Reluktanz-Netzwerken. Dies sind interessante Informationen, welche ausführlicher in den Dissertationen des Lehrstuhls erläutert werden.

Am Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme wurde bereits von meinem Vorgänger Herrn Prof. Kessler das Gebiet der Regelung von technologischen Systemen mit durchlaufenden Materialbahnen bearbeitet. Diese Arbeiten konzentrierten sich vorwiegend auf die theoretische Modellbildung. Während meiner Zeit wurde von Herrn Dr. Wolfermann, München, die „Dezentrale Entkopplung“ entwickelt und erfolgreich experimentell an der am Lehrstuhl aufgebauten Produktionsanlage überprüft. Herr Prof. Brandenburg, München, hat exemplarisch das komplexe Gebiet der Rollendruckmaschinen in dem Beitrag „Fortgeschrittene Prozessmodelle und Regelungsverfahren für Rollen-Rotationsdruckmaschinen“ bearbeitet. Wesentliche Punkte seiner Darstellungen sind die verfeinerten Modelle für die Bahnspannung und Bahndehnung, der enge Zusammenhang zwischen Farbregisterfehlern und den sogenannten Dublierfehlern, dem Schnittregisterfehler-Modell, dem Vergleich zwischen dem Gesamt- und dem Teil-Schnittregisterfehler, der Rekonstruktion von Transportstörungen beim automatischen Rollenwechsel. Die Modelle wurden experimentell überprüft. Überraschend war, dass die theoretisch erarbeiteten Verfahren an realen Druckmaschinen überprüft und die Ergebnisse nun sogar veröffentlicht werden konnten. Dies ist ein außerordentliches Entgegenkommen der Firma manroland GmbH,

wenn man bedenkt, dass von zehn produzierten Zeitungen weltweit sieben Zeitungen auf den Maschinen von Manroland GmbH hergestellt werden. Damit sind die Analyse- und Regelungs-Verfahren für die wichtigsten Aufgabenstellungen bei Systemen mit durchlaufenden, elastischen Materialbahnen entwickelt worden.

Im Beitrag „Regelung von Windkraftanlagen“ von Herrn Dr. Hackl, München, werden die derzeitigen Entwicklungen, die zukünftigen Anforderungen, die Modellierung der linearen und nichtlinearen Komponenten, Steuer-, Regelungs- sowie Simulations-Verfahren vorgestellt.

In einem weiteren Beitrag „Dynamische Reibungsmodellierung: das Lund-Grenoble Reibmodell“ wird ein stetiges Modell der Reibung erläutert, welches die exakte Eingangs-/Ausgangs-Linearisierung ermöglicht.

Als achte Erweiterung wurde die „Proper Orthogonal Decomposition“ — POD — zur Lösung der Optimalsteuerung von Systemen mit linearen partiellen Differentialgleichungen aufgenommen. Dieses Wissensgebiet wird hauptsächlich von Mathematikern intensiv bearbeitet. Es ist aber meine Erfahrung, dass einerseits nur durch die Zusammenarbeit mit Mathematikern hochkomplexe Fragestellungen gelöst werden können und andererseits wir die Mathematiker auf praxisrelevante offene Fragestellungen hinweisen sollten. Die Berücksichtigung von POD erfolgte aufgrund der Erkenntnisse der Beiträge von Herrn Dr. Wolfermann, Herrn Prof. Brandenburg, Herrn Prof. Otter, DLR, Oberpfaffenhofen, sowie den Beiträgen im Buch „Intelligente Verfahren Identifikation und Regelung nichtlinearer Systeme“ [71]. Bei allen diesen Aufgabengebieten sind hoch-dimensionale, im allgemeinen auch noch nichtlineare Systeme zu analysieren und zu regeln.

Ein üblicher Ansatz zur Analyse derartiger Systeme sind die Verfahren der Finiten Elemente, der Finiten Differenzen oder des Finiten Volumens. Leider ergeben sich aber im allgemeinen mit diesen Verfahren sehr hoch-dimensionale Modelle, die für den Entwurf der Regelung ungeeignet sind. Ein weiterer entscheidender Nachteil ist, dass bei der notwendigen Ordnungsreduktion Nichtlinearitäten nicht bzw. nur sehr begrenzt berücksichtigt werden können. Wenn es doch gelingen sollte, die Nichtlinearitäten zu berücksichtigen, dann dürfen diese Nichtlinearitäten aber nicht unstetig — wie die Reibung oder die Lose — sein, denn unstetige Nichtlinearitäten können bei der „Exakten Eingangs-Ausgangs-Linearisierung“ nicht berücksichtigt werden — siehe Kapitel 12 in [71].

Das POD-Verfahren ist geeignet, diese Aufgabenstellungen — auch bei nichtlinearen Systemen — zu lösen. Allerdings erfordert dieses Verfahren sehr gute mathematische Kenntnisse. Herr Prof. Volkwein, Konstanz, hat durch eine fein strukturierte, anwendungsorientierte Darstellung der Vorgehensweise und einer ausführlichen Liste von erfolgreichen Anwendungen den Weg geöffnet, damit auch von uns Ingenieuren dieses in der Zukunft wichtige Verfahren genutzt werden kann.

Zusätzlich zu den oben aufgeführten Erweiterungen wurden bei den folgenden Beiträgen Anpassungen an den neuesten Stand der Technik vorgenommen:

- Kapitel 5.6 „Stellbegrenzungen in Regelkreisen“: Erweiterung von Herrn Dr. Hippe, Erlangen, hinsichtlich Sensorübersteuerung,
- Kapitel 21 „Objektorientierte Modellierung und Simulation von Antriebssystemen“: Überarbeitung von Herrn Prof. Otter, DLR, Oberpfaffenhofen,
- Kapitel 5.5.8 „Alternative Strukturen“: Erweiterung der Struktur von Zustandsregelungen,
- Kapitel 3.6 „Resonanter P-Regler“,
- Kapitel 6.6 „Diskretisierungs-Nullstelle — digitale Signalverarbeitung“.

Außer diesen Erweiterungen und Anpassungen an den neuesten Stand der Technik erfolgte eine Vielzahl von Änderungen zur Verbesserung des Verständnisses. Das seit langem bewährte Buch der Regelungen von Antrieben an sich sowie von Antrieben in mechatronischen und technologischen Systemen wurde nochmals um interessante Wissensgebiete erweitert.

Die Zielgruppen:

Dieses Buch ist vorgesehen, sowohl für Studenten als Lehrbuch mit ausführlichen Darstellungen als auch für Ingenieure in der industriellen Praxis als verlässliches und umfassendes Nachschlagewerk zu dienen.

München, im Sommer 2015

Dierk Schröder

Vorwort zur 1. Auflage

Das vorliegende Lehrbuch ist das zweite Buch in der vierbändigen Reihe „Elektrische Antriebe“.

Die Schwerpunktthemen dieses Bandes sind die Regelungsvarianten sowohl der drehzahlvariablen Gleichstrom- als auch der Drehstrom-Antriebe.

Der vorliegende Band baut auf dem ersten Band „Elektrische Antriebe 1, Grundlagen“ auf. Dies bedeutet, dass Fragen zur Auslegung von Antriebssystemen, die Signalflußpläne für Gleichstrom- und Drehstrom-Maschinen, die Steuereingriffe und deren Wirkung sowie die Funktion der Stellgliedvarianten im Ansatz als bekannt vorausgesetzt werden. Dies gilt ebenso für die grundlegendsten Kenntnisse der Regelungstechnik.

Großer Wert wird auf die durchgängige Darstellung der mathematischen Behandlung von Regelkreisen, der Stabilität sowie der Optimierungskriterien und deren praktische Anwendung gelegt. Es wird deshalb nicht nur das Betragsoptimum und das symmetrische Optimum, sondern auch das allgemein anwendbare Dämpfungsoptimum ausführlich behandelt.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Darstellung der Regelungen von Drehfeldmaschinen. Aufgrund der Bedeutung dieses Gebiets werden die grundlegenden Signalflußpläne der Asynchron- und Synchron-Maschine und deren Abwandlungen in den verschiedenen Koordinatensystemen und Orientierungen noch einmal kurz wiederholt. Erweitert werden die Darstellungen um die permanent erregten Drehfeldmaschinen. Es folgt eine ausführliche Darstellung von Entkopplungsverfahren zur Regelung von Drehfeldmaschinen. Diese Vorgehensweise hat zwei Vorteile: Erstens wird damit das komplexe Thema der Feldorientierung leichter verständlich und zweitens resultieren die Entkopplungsverfahren in relativ einfach zu realisierenden Regelverfahren. Es folgen die Erläuterungen zur feldorientierten Regelung einschließlich der Diskussion verschiedener Modelle und der Parameteradaption.

In einem weiteren Kapitel werden die Rückwirkungen mechanischer Systeme auf den elektrischen Antrieb beispielhaft erläutert.

Um die angestrebte Durchgängigkeit des Lehrbuchs zu erreichen wurden auch Sonderfragen wie Fehlereinflüsse, Genauigkeit sowie Schirmung oder Approximationen des dynamischen Stellglied-Verhaltens dargestellt.

Das Ziel dieses Lehrbuches ist, sowohl eine Einführung zu geben für Studierende der elektrischen Antriebstechnik an den Fachhochschulen und den

Technischen Hochschulen als auch den in der Industrie Tätigen eine Auffrischung des Wissens zu ermöglichen.

Wiederum möchte ich meiner Familie und meinen wissenschaftlichen Mitarbeitern danken für das Verständnis, die Unterstützung und die hilfreichen Diskussionen bei der Abfassung. Gedankt sei auch den Mitautoren von Lehrgängen des VDI-Bildungswerkes, mit denen ich vor vielen Jahren einen intensiven Gedankenaustausch über die industriell angewandten Regelungsverfahren hatte.

München, im Frühjahr 1995

Dierk Schröder

Elektrische Antriebe – Regelung von Antriebssystemen

Schröder, D.

2015, XXXII, 1879 S. 200 Abb. in Farbe., Hardcover

ISBN: 978-3-642-30095-0