



H. Späth

Steuerverfahren für Drehstrommaschinen

Theoretische Grundlagen

Mit 66 Abbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1983

Prof. Dr.-Ing. H. SPÄTH
Elektrotechnisches Institut
Universität Karlsruhe
Kaiserstraße 12
7500 Karlsruhe 1

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Späth, Helmut:

Steuerverfahren für Drehstrommaschinen :

theoret. Grundlagen / H. Späth. –

Berlin ; Heidelberg ; New York : Springer, 1983.

ISBN 978-3-642-82038-0 ISBN 978-3-642-82037-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-82037-3

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrhG werden durch die »Verwertungsgesellschaft Wort«, München, wahrgenommen.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1983

Originally published by Springer-Verlag Berlin Heidelberg in 1983

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

2060/3020-543210

Vorwort

Das vorliegende Buch ist aus meiner Vorlesung „Steuerverfahren für Drehstrommaschinen“ hervorgegangen, die ich für Studenten des 8. Semesters halte. Sein Hauptgegenstand ist die feldorientierte Steuerung der wichtigsten Typen von Drehstrommaschinen. Der praktische Einsatz dieser Steuerverfahren wird durch die gegenwärtige Entwicklung auf den Gebieten der Informations- und der Leistungselektronik gefördert. Es ist zu erwarten, daß sich in Zukunft bestimmte technische Standardlösungen herausbilden, die sich auch wirtschaftlich durchsetzen können. Hier werden die theoretischen Grundlagen vermittelt, die zum Verständnis dieser modernen Verfahren der Drehstromantriebstechnik notwendig sind. Ausgangspunkt sind die das dynamische Verhalten der Maschinen beschreibenden Systemgleichungen, die unter Verwendung des Raumzeigerbegriffs aufgestellt werden. Mit Hilfe der Raumzeiger kommt man zu den einfachsten mathematischen Modellen der Maschinen. Grundkenntnisse auf dem Gebiet des dynamischen Verhaltens der Maschinen erleichtern den Einstieg. Der Anhang enthält eine Kurzfassung der Herleitung der Systemgleichungen für die beiden wichtigsten Maschinentypen.

Die erste umfassende Darstellung der Methoden der Feldorientierung findet sich in der 1973 erschienenen Dissertation von F. Blaschke [1.1], der bereits 1971 in Patentschriften auf diese Steuerverfahren aufmerksam macht. Etwa zur selben Zeit werden nur wenig modifizierte Methoden von K. Hasse in der Zeitschrift „Regelungstechnik“ [1.2] und von L. Abraham in einer Patentschrift [1.3] vorgestellt. Seither ist eine Vielzahl von Arbeiten zu diesem Thema erschienen. In der Art der Darstellung der behandelten Systeme durch Strukturdiagramme lehnt sich dieses Buch an die Arbeiten von Blaschke an.

Die Aufgabe einer feldorientierten Steuerung einer Drehstrommaschine besteht darin, aus voneinander unabhängigen Steuergrößen für das innere Drehmoment und für eine den magnetischen Zustand beschreibende Größe (z.B. den Rotorfluß) die der Maschine vorzugebenden Ströme oder Spannungen derart zu ermitteln, daß die realen Größen den Steuergrößen möglichst schnell folgen. Das Spezifikum der Feldorientierung ist dabei, daß die Berechnung der der Maschine vorzugebenden

Ströme oder Spannungen aus den vorgegebenen Steuergrößen zunächst in einem feldorientierten Bezugssystem (z.B. rotorflußorientiert) erfolgt. In einem solchen Bezugssystem ergibt sich für das innere Drehmoment eine besonders einfache Berechnungsvorschrift. Durch Anwendung dieser Steuerverfahren erhält die Drehstrommaschine Eigenschaften, die denen einer fremderregten Gleichstrommaschine ähnlich sind. Bei einem üblichen Antrieb werden dem Steuerungssystem Regelungen überlagert (z.B. Drehzahlregelung, Flußregelung), die als Stellgrößen die Steuergrößen für das innere Drehmoment und den magnetischen Fluß liefern.

Zur Beschreibung des dynamischen Maschinenverhaltens werden die bekannten vereinfachten Modelle benutzt. In jedem Fall wird eine „Grundwellenmaschine“ vorausgesetzt, was bedeutet, daß die räumlichen höheren Harmonischen des Luftspaltfelds unberücksichtigt bleiben. Ebenso werden Sättigungserscheinungen und Eisenverluste vernachlässigt und Stromverdrängungseffekte außer acht gelassen. Trotz der dadurch bedingten Abweichungen vom realen Maschinenverhalten eignen sich diese Modelle - wie die Erfahrung beweist - zur Herleitung und Entwicklung der zu behandelnden Steuerverfahren. Im Einzelfall kann es durch nicht ausreichende Genauigkeit der Modelle notwendig werden, an Stelle der reinen Steuerung eine Regelung einzusetzen.

Das Buch wendet sich an Studierende der höheren Semester und an Ingenieure, die sich mit der Entwicklung oder Projektierung elektrischer Antriebe beschäftigen. Es setzt Grundkenntnisse auf den Gebieten Elektrische Maschinen und Leistungselektronik voraus. Auf die schaltungstechnische Realisierung der Signalverarbeitung wird nicht eingegangen.

Für die Ausführung der Schreivarbeiten danke ich Frau A. Krisch und für die Anfertigung der Bilder Frau B. Bohn.

Inhalt

1.	DREHSTROMASYNCHRONMASCHINE MIT KURZSCHLUSSLÄUFER ... (DAM)	1
1.1	Allgemeines Modell der DAM in Raumzeigerdarstellung	1
1.2	Rotorflußorientiertes Modell der DAM	6
1.3	Rotorflußorientierte Steuerung der stromgespeisten DAM mit direkter oder indirekter Feldmessung	14
1.4	Rotorflußorientierte Steuerung der stromgespeisten DAM ohne Feldmessung	24
1.5	Steuerungs- und Auslegungsoptimum des Drehmoments	36
1.6	Rotorflußorientierte Steuerung der spannungsgespeisten DAM	42
1.7	Grundsätzliche Realisierungsmöglichkeiten rotorflußorientierter Steuerungen der DAM	48
1.8	Statorflußorientierte Steuerung der DAM	54
1.9	Luftspaltflußorientierte Steuerung der DAM	57
1.10	Momentenregelung und Rotorflußorientierung bei der spannungsgespeisten DAM	59
1.11	Verlustoptimale Einstellung des Rotorflusses	66
2.	DOPPELTGESPEISTE DREHSTROMMASCHINE (DDM)	71
2.1	Stationärer Betrieb der DDM	71
2.1.1	Stationärer Betrieb der fremdgesteuerten DDM bei Statorspeisung durch ein starres Netz	78
2.1.2	Stationärer Betrieb der selbstgesteuerten DDM bei Statorspeisung durch ein starres Netz	96
2.1.3	Betriebsarten der DDM und grundsätzliche Realisierungsmöglichkeiten	103

2.2	Feldorientierte Steuerung der DDM	111
2.2.1	Statorflußorientiertes Modell der DDM	111
2.2.2	Statorflußorientierte Steuerung der DDM	115
2.3	Steuerungsgrenzen der statorflußorientiert betriebenen DDM	121
2.4	Wirk- und Blindleistungen der DDM und deren Steuerungsmöglichkeiten	126
3.	DOPPELTGESPEISTE DREHSTROMMASCHINE MIT DÄMPFERWICKLUNG (DDMD)	129
3.1	Allgemeines Modell der DDMD in Raumzeigerdarstellung	129
3.2	Dämpferflußorientiertes Modell der DDMD	134
3.3	Dämpferflußorientierte Steuerung der stromgespeisten DDMD	138
3.4	Sonderfall der stromgespeisten Drehstromsynchronmaschine mit einachsiger Erregerwicklung	146
3.5	Dämpferflußorientierte Steuerung der spannungsgespeisten DDMD	152
4.	DREHSTROMSYNCHRONMASCHINE MIT SCHENKELPOLEN UND DÄMPFERWICKLUNG (DSM)	155
4.1	Modell der DSM im rotorfesten Bezugssystem	155
4.2	Statorflußorientierte Steuerung der stromgespeisten DSM	159
4.3	Stationärer Betrieb der selbstgesteuerten DSM (Stromrichteremotor) ..	174
ANHANG		
1.	Systemgleichungen der Drehstromsynchronmaschine	183
2.	Systemgleichungen der Drehstromsynchronmaschine mit Schenkelpolen	196
LITERATURVERZEICHNIS		203
NAMEN- UND SACHVERZEICHNIS		207