

ENERGIEWANDLER DER STARKSTROMTECHNIK

Band 1

Gleichstrommaschine, Transformator, Betatron

VON

Prof. Dr.-Ing. HANS PRASSLER

LEHRSTUHL FÜR STARKSTROMTECHNIK

UND ELEKTRISCHE MASCHINEN

ELEKTROTECHNISCHES INSTITUT

UNIVERSITÄT KARLSRUHE

(TECHNISCHE HOCHSCHULE)



BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT MANNHEIM / WIEN / ZÜRICH

HOCHSCHULTASCHENBÜCHER-VERLAG

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Aufgaben der Starkstromtechnik	11
2.	Die Gleichstrommaschine	16
2.0.1	Schaltung und Klemmenbezeichnung der Wicklungen . .	16
2.0.2	Die Funktionen der Maschinenwicklungen	18
2.0.3	Ankerwicklung	20
2.0.4	Bezeichnungen der Abmessungen und Wicklungsdaten .	22
2.0.5	Ankerstrombelag	23
2.0.6	Luftspaltinduktion und Polfluß	24
2.1	Betriebsverhalten im Dauerbetrieb	26
2.1.1	Die magnetische Kennlinie	26-
2.1.2	Die Leerlaufspannung U_o	27
2.1.3	Spannungsgleichung des Ankerstromkreises im Betrieb und Leistungsberechnung	28
2.1.4	Dreh Schub und Drehmoment	29
2.2	Die fremderregte Gleichstrommaschine als linearer Ener- gie wandler	30
2.2.1	Die Belastungskennlinien des fremderregten Motors . .	31
2.2.2	Einführung von Bezugswerten	32
2.3	Kennlinien des Reihenschlußmotors	35
2.4	Belastungsgrenzen der Gleichstrommaschine	37
2.4.1	Effektivwert des Ankerstroms	38
2.4.2	Erwärmungszeitkonstante einer Wicklung und zeitlicher Verlauf der mittleren Wicklungstemperatur bei plötz- licher Änderung des Wicklungsstroms	39
2.4.3	Stromwendung (Kommutierung) und Stromwendespan- nung	42
2.4.3.1	Einfluß der Stromwendespannungsgrenzen auf die Grenz- belastung großer Gleichstrommotoren (Kehrwalzmotoren)	45
2.5	Das dynamische Verhalten der Gleichstrommaschine	48
2.5.1	Die Differentialgleichungen der Gleichstrommaschine. .	48
2.5.2	Gleichungen für den fremderregten Motor	49
2.5.2.1	Übergang auf bezogene Größen	50
2.5.2.2	Allgemeine Lösung mit der Laplace-Transformation . .	51
2.5.2.3	Die Wurzeln der Funktion $Z(s)$	53
2.5.2.4	Berechnung des Beitrags der Anfangswerte zur Gesamt- lösung	54

2.5.2.5	Beitrag der Störgrößen zur Gesamtlösung	56
2.5.3	Drehzahlsteuerung eines leerlaufenden Gleichstrommotors mit der Ankerspannung	57
2.5.3.1	Allgemeine Berücksichtigung der Anfangswerte	58
2.5.3.2	Energiebetrachtung	58
2.5.3.3	Beispiele für verschiedene Spannungsfunktionen	59
2.5.3.3.1	Sprunghafte Spannungsänderung	60
2.5.3.3.2	Exponentielle Spannungsänderung	62
2.5.3.3.3	Reversiervorgang	64
2.6	Das Blockschaltbild des fremderregten idealisierten Gleichstrommotors	67
2.6.1	Der Gleichstrommotor mit Drehzahlregelung	68
2.6.2	Die Gleichstrommaschine mit Drehzahlsteuerung durch Spannungspulsbetrieb	75
2.6.2.1	Motorbetrieb	75
2.6.2.2	Nutzbrembetrieb	78
2.6.2.3	Geregelter Pulsbetrieb	80
2.7	Ausgleichsvorgänge im Erregerstromkreis von Gleichstrommaschinen	81
2.7.1	Normierung der Gleichungen	82
2.7.2	Lösung mit einer Näherungsgleichung für die magnetische Kennlinie	82
2.7.3	Erregungsvorgang bei Fremderregung	84
2.7.4	Erregungsvorgang bei Selbsterregung	84
2.7.5	Graphische und maschinelle Berechnung der Erregungsvorgänge	88
2.8	Ausgleichsvorgänge im Ankerstromkreis bei Schaltvorgängen im Erregerstromkreis	91
3.	Der Transformator	95
3.1.	Der Wechselstromtransformator	95
3.1.1	Voraussetzungen und Definitionen	95
.2	Leerlauf	96
.3	Kurzschluß	98
.3.1	Flußverlauf im kurzgeschlossenen Transformator	98
.3.2	Die Kurzschlußinduktivität	101
.3.3	Der Kurzschlußwiderstand	102
.3.4	Der Kurzschlußstrom	103
3.1.4	Betriebsverhalten	105
3.1.4.1	Umrechnung des Transformators auf einen Ersatztransformator mit gleicher Windungszahl in allen Wicklungen	105

3.1.4.2	Spannungs- und Leistungsgleichungen im Dauerbetrieb	107
3.1.4.3	Definition wichtiger Transformatoraten und Bezugswerte nach den VDE-Bestimmungen.	108
3.1.4.4	Klemmenspannung bei Dauerbelastung.	110
3.1.4.5	Zeigerdiagramm	111
3.1.4.6	Parallelbetrieb zweier Wechselstromtransformatoren . .	114
3.1.5	Wachstumsgesetze.	115
3.1.6	Elektromagnetische Betrachtung des Stoßkurzschlusses und mechanische Wicklungsbeanspruchung.	117
3.1.7	Das erweiterte Ersatzschaltbild des idealisierten Transformators.	121
3.1.7.1	Der Zweiwicklungstransformator.	121
3.1.7.2	Der Dreiwicklungstransformator.	123
3.1.8	Berücksichtigung des Leerlaufstroms.	127
3.1.9	Der Spartransformator.	128
3.2	Der Drehstromtransformator.	131
3.2.1	Betrieb mit symmetrischer Speisung und Belastung . . .	131
3.2.1.1	Leerlauf.	131
3.2.2	Schaltgruppen.	132
3.2.2.1	Die Zickzackschaltung.	133
3.2.3	Betriebsverhalten des Drehstromtransformators bei symmetrischer Belastung.	135
3.2.3.1	Transformatoren mit Stern-und Dreieckschaltung	135
3.2.3.2	Transformatoren mit Zickzackschaltung.	136
3.2.4	Betriebsverhalten des Drehstromtransformators bei unsymmetrischer Belastung.	138
3.2.4.1	Symmetrische Komponenten der Ströme und Spannungen eines unsymmetrischen Drehstromsystems.	138
3.2.4.2	Die symmetrischen Komponenten der Lastimpedanzen .	144
3.2.4.3	Der unsymmetrisch belastete Drehstromtransformator mit sekundärer Sternschaltung.	146
3.2.4.4	Der unsymmetrisch belastete Drehstromtransformator mit sekundärer Zickzackschaltung.	152
3.2.4.5	Transformator mit Stern-Stern-Schaltung und Tertiärwicklung bei einsträngiger Belastung.	153
4.	Das Betatron.	157
4.1	Bau und Verwendung.	157
4.2	Der Beschleunigungsvorgang.	158
4.3	Stabilitätsbedingungen.	160
4.3.1	Wideröe-Bedingung.	160

4.3.2	Forderungen für den räumlichen Verlauf des Führungsfeldes.162
4.3.2.1	Vertikale Stabilisierung163
4.3.2.2	Radiale Stabilisierung164
4.4	Endenergie und Kreisbahnradius.166
4.4.1	Zahlenbeispiel.168
	Literaturverzeichnis.170
	Formelzeichen171
	Stichwortverzeichnis.177