

ELEKTRISCHE NETZWERKE UND MASCHINEN IN MATRIZENDARSTELLUNG

von

HERBERT WEH

O. PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT
BRAUNSCHWEIG



BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT • MANNHEIM/ZÜRICH

HOCHSCHULTASCHENBUCHEPv-VBRLAG

INHALTSVERZEICHNIS

1. Ruhende Netzwerke.	11
1.1. Topologie der Netzwerke.	II
1.2. Die Matrizen eines Netzwerkes.	15
1.2.1. Die Inzidenzmatrizen.	15
1.2.2. Die Matrizen der physikalischen Größen.	17
1.3. Netzwerkberechnung.	19
1.3.1. Das Maschenverfahren.	19
1.3.2. Das Knotenpunktverfahren.	24
1.3.3. Die Methode der Netzwerktransformation nach Krön.	25
1.3.4. Knotenpunktbelastete Netzwerke.	28
1.4. Der Transformator.	31
1.4.1. Ersatzschaltbild des Zweiwicklungstransformators.	31
1.4.2. Vereinfachtes Ersatzschaltbild.	35
1.4.3. Mehrwicklungstransformator.	37
1.5. Eigenwertprobleme.	39
1.5.1. Grundbegriffe.	39
1.5.2. Bestimmung der Eigenwerte und Eigenvektoren.	40
1.5.3. Lineare, homogene Differentialgleichungssysteme mit konstanten Koeffizienten.	44
1.5.4. Zahlenbeispiel.	48
1.5.5. Grenzen der Eigenwerte.	53
1.6. Drehfeldwicklungen.	54
1.6.1. Symmetrische Systeme.	54
1.6.2. Unsymmetrische Systeme.	58
1.6.3. Transformation von drei- in zweisträngige Wicklungssysteme.	62
1.7. Behandlung von mehrsträngigen Netzwerken mit Hypermatrizen.	65
2. Rotierende elektrische Maschinen.	73
2.1. Grundlagen.	73
2.1.1. Gleichstrommaschine.	73
2.1.1.1. Aufbau.	73
2.1.1.2. Magnetische Felder.	75
2.1.1.3. Induktivitäten.	79
2.1.1.4. Induzierte Spannung.	82
2.1.1.5. Modell der Gleichstrommaschine.	83

Inhaltsverzeichnis

2.1.2.	Drehfeldmaschinen	85
2.1.2.1.	Aufbau und Wirkungsweise der Asynchronmaschine.	85
2.1.2.2.	Aufbau und Wirkungsweise der Synchronmaschine.	86
2.1.2.3.	Strombelagsverteilung und Wicklungsfaktor.	86
2.1.2.4.	Feldkurven für Maschinen mit konstantem Luftspalt	90
2.1.2.5.	Feldkurven für Maschinen mit ausgeprägten Polen	92
2.1.2.6.	Induktivitäten.	92
2.1.2.7.	Modell der Asynchronmaschine und Synchronmaschine.	96
2.1.3.	Berechnung des Drehmomentes.	98
2.2.	Allgemeines Maschinenmodell	101
2.2.1.	Spulen-Modell (Direkte Methode zur Berechnung des Betriebsverhaltens).	101
2.2.2.	Koordinatensysteme.	104
2.2.3.	Vierwicklungsmodell in ruhenden quasiholonom Koordinaten.	105
2.2.4.	Vierwicklungsmodell in holonom Koordinaten	109
2.2.5.	Transformation der Spannungsgleichungen von holonom in ruhende quasiholonome Koordinaten	113
2.2.6.	Leistungsbilanz und elektrisches Drehmoment	118
2.3.	Kommutatormaschinen.	120
2.3.1.	Gleichstromnebenschlusmaschine.	121
2.3.1.1.	Der stationäre Betrieb am starren Netz	123
2.3.1.2.	Erregungsarten des Gleichstromnebenschlusgenerators.	128
2.3.1.3.	Alleinbetrieb des Gleichstromnebenschlusgenerators.	130
2.3.2.	Gleichstromreihenschlusmaschine.	134
2.3.3.	Einphasenreihenschlusmotor.	137
2.3.4.	Amplidyne.	140
2.3.5.	Zeitkonstante und Verstärkungsfaktor.	146
2.4.	Drehfeldmaschinen.	147
2.4.1.	Synchronmaschine.	147
2.4.1.1.	Momentengleichung.	147
2.4.1.2.	Stationärer Betrieb am starren Netz	149

2.4.1.3.	Transformation der komplexen d, q -Größen in Wirk- und Blindkomponenten	158
2.4.1.4.	Alleinbetrieb der Synchronmaschine	162
2.4.1.5.	Dynamische Vorgänge.	167
2.4.1.6.	Die Synchronmaschine mit lastabhängiger Erregung	174
2.4.1.7.	Die Synchronmaschine mit Dämpfer- wicklung	181
2.4.1.8.	Der asynchrone Anlauf.	187
2.4.1.9.	Die Synchronmaschine in holonomen Koordinaten.	189
2.4.1.10.	Die Einphasensynchronmaschine	191
2.4.1.11.	Die Dreiphasensynchronmaschine in dreisträngiger Darstellung	192
2.4.2.	Asynchronmaschine.	196
2.4.2.1.	Die Asynchronmaschine in ruhenden quasiholonomen Koordinaten.	196
2.4.2.2.	Spannungsgleichungen der Asynchron- maschine für ein mit synchroner Drehzahl umlaufendes Bezugssystem	197
2.4.2.3.	Berechnung des stationären Betriebsverhaltens.	201
2.4.2.3.1.	Betriebsverhalten der ständer- gespeisten Asynchronmaschine	206
2.4.2.3.2.	Betriebsverhalten der Asynchron- maschine mit zusätzlicher Läuferspeisung	216
2.4.2.4.	Spezifische Leistung.	222
2.4.2.5.	Ersatzschaltbilder der Asynchronmaschine	224
2.4.2.5.1.	Ersatzschaltbilder mit symme- trischen Komponenten	224
2.4.2.5.2.	Ersatzschaltbilder für die Gleichungen des d, \wedge -Systems	228
2.4.2.5.3.	Die symmetrische Asynchron- maschine.	231
2.4.2.5.4.	Die symmetrische Asynchron- maschine am symmetrischen Netz.	234
2.4.2.5.5.	Die Asynchronmaschine mit unsymmetrischer Wicklung	237

2.4.2.5.6. Die Asynchronmaschine mit Doppelnutläufer.	247
2.4.2.6. Die Dreiphasenasynchronmaschine	251
2.4.2.7. Der Spaltpolmotor.	257
2.5. Stromrichtergespeiste Maschinen.	260
2.5.1. Allgemeiner Überblick	260
2.5.2. Berechnung des Betriebsverhaltens eines Strom- richter-Synchronmotors.	264
2.6. Kleine Pendelungen.	269
2.6.1. Bewegungs- und Spannungsgleichung.	269
2.6.2. Schwingungsverhalten der Asynchronmaschine . .	273
2.6.3. Schwingungsverhalten der Synchronmaschine. . .	280
 Anhang	 288
Die direkte Berechnung von Strom und Drehmoment bei Asynchronmaschinen	288
A1. Direkte Lösung des Gleichungssystems des Vierwicklungs- modells.	288
A2. Drehmomentenberechnung.	294
A3. Erweiterung der Gleichung für symmetrische Mehrphasen- systeme beliebiger Strangzahl.	298
 Literaturverzeichnis.	 303