

Inhaltsverzeichnis

I.	Dynamische Eigenschaften des Elektroenergiesystems	
1.	Multi-time-scale-Charakter	14
2.	Klassifizierung der Ausgleichsvorgänge	17
II.	Modellierung des Elektroenergiesystems	
3.	Vorzeichenvereinbarungen und Schreibweise der Gleichungen	22
3.1.	Schreibweise der Größen	22
3.2.	Zählpeilsystem	24
4.	Modelle der Betriebsmittel	25
4.1.	Synchronmaschinen	25
4.1.1.	Spannungs- und Flußverkettungsgleichung in natürlichen Koordinaten	25
4.1.2.	Spannungs- und Flußverkettungsgleichung in $dq0$ -Koordinaten	27
4.1.3.	Umrechnung der Läufergrößen auf die Ersatzankerwicklung	30
4.1.4.	Raumzeigergleichungen für die Ständergrößen	31
4.1.5.	Berücksichtigung der Eisensättigung	32
4.1.6.	Modellierung der Erregerregelung	35
4.1.7.	Drehmomentgleichung	37
4.2.	Asynchronmaschinen	40
4.2.1.	Modell des Einfachkäfigläufermotors	40
4.2.2.	Nachbildung des Einfachkäfigläufermotors durch das Synchronmaschinenmodell	41
4.2.3.	Modell des Doppelkäfigläufermotors	42
4.3.	Transformatoren und Meßwandler	43
4.3.1.	Einphasentransformatoren	43
4.3.2.	Spannungs- und Stromwandler	45

4.3.3.	Dreiphasentransformatoren	45
4.3.4.	Berücksichtigung der Regelung	50
4.4.	Leitungen	51
4.4.1.	Einphasenleitung	51
4.4.2.	Primäre Leitungsparameter	58
4.4.3.	Mehrphasenleitungen in Modalkomponenten	60
5.	Zustandsgleichungen des Elektroenergiesystems	70
5.1.	Grundlagen	70
5.1.1.	Allgemeine Form der Zustandsgleichung	70
5.1.2.	Aspekte zur Wahl der Zustandsvariablen	71
5.1.3.	Analogiebeziehungen zwischen elektrischen und mechanischen Systemen	78
5.2.	Zustandsgleichungen der Betriebsmittel	83
5.2.1.	Synchronmaschine in $dq0$ -Koordinaten	83
5.2.2.	Synchronmaschine in abc -Koordinaten	90
5.2.3.	Asynchronmaschine in abc -Koordinaten	93
5.2.4.	Transformator in abc -Koordinaten	98
5.2.5.	Leitung in Modalkoordinaten	100
5.2.6.	Leitung in abc -Koordinaten	102
5.3.	Formulierung der Zustandsgleichungen des Elektroenergiesystems	107
5.3.1.	Grundprinzip für die Verknüpfung der Netzelemente	107
5.3.2.	Fehlerfreier Zustand	109
5.3.3.	Fehlerzustand	113
5.4.	Eigenschaften der Zustandsgleichungen des Elektroenergiesystems	117
5.4.1.	Zustandsgleichungen des Elektroenergiesystems in Netzkoordinaten	117
5.4.2.	Eigenwerte der linearisierten Systemmatrix	120
5.5.	Reduzierte Zustandsgleichungen des Elektroenergiesystems (Teilsysteme)	124
5.5.1.	Methode der zeitskalierten Modellierung	124
5.5.2.	Quasistationäre Teilsysteme des Elektroenergiesystems	129
5.5.3.	Varianten des quasistationären Teilsystems: Spannungs- und Stromquellenersatzschaltung des Ankers	133
5.5.4.	Dynamische Teilsysteme des Elektroenergiesystems	141
6.	Differenzgleichungen des Elektroenergiesystems	149
6.1.	Differenzgleichungen der Grundschaltelemente	150
6.1.1.	R - L -Zweig	150
6.1.2.	G - C -Zweig	151
6.2.	Differenzgleichungen der Betriebsmittel	152
6.2.1.	Verlustlose Einphasenleitung	153
6.2.2.	Verlustlose Mehrphasenleitung	156
6.2.3.	Mehrphasenleitung mit konzentrierten Elementen	157
6.2.4.	Generatoren, Motoren und Abnehmer	157

6.3.	Differenzen-Leitwert-Darstellung des Elektroenergiesystems	160
6.4.	Vergleich mit der Zustandsdarstellung des Elektroenergiesystems	161
III.	Lösung der Gleichungssysteme für das Elektroenergiesystem	
7.	Lösung der Zustandsdifferentialgleichungen	164
7.1.	Übersicht	164
7.1.1.	Linearisierung	164
7.1.2.	LAPLACE-Transformation, Frequenzgangdarstellung	165
7.1.3.	Eigenwerte, Eigenvektoren, Eigenbewegungen	166
7.1.4.	Fundamentalmatrix	167
7.1.5.	Numerische Integration	168
7.1.6.	Überführung der Zustandsdifferentialgleichung in ein Differenzen- gleichungssystem	170
7.2.	Berechnung der stationären Anfangswerte	170
7.3.	Lösung des vollständigen Zustandsdifferentialgleichungssystems	171
7.4.	Lösung der quasistationären Teilsysteme	172
7.4.1.	Algorithmen zum Aufbau der Knotenadmittanz- und Knotenimpe- danzmatrix	172
7.4.2.	Algorithmen zur Fehlernachbildung	177
7.4.3.	Teilsystem mit Spannungsquellenkomponenten als Zustandsvariablen	186
7.4.4.	Teilsystem mit Stromquellenkomponenten als Zustandsvariablen	186
7.5.	Lösung der dynamischen Teilsysteme	186
8.	Lösung der Differenzgleichungen – Differenzenleitwertverfahren	188
8.1.	Berechnung der stationären Anfangswerte	188
8.2.	Prinzipieller Programmablauf	189
9.	Kombinierte Verfahren	191
IV.	Berechnung spezieller Ausgleichsvorgänge	
10.	Berechnung von Kurzschlüssen	198
10.1	Übersicht	198
10.2.	Berechnung des Anfangskurzschlußwechselstromes	198
10.3.	Berechnung des Kurzschlußstromverlaufes	200
10.3.1.	Lösung des vollständigen Zustandsdifferentialgleichungssystems	200
10.3.2.	Getrennte Berechnung der Gleich- und Wechselanteile	204
10.4.	Spezielle Einflußgrößen auf den Kurzschlußstromverlauf	211
10.4.1.	Stationärer Ausgangszustand	211
10.4.2.	Subtransiente Unsymmetrie	212

10.4.3.	Erregerregelung	216
10.4.4.	Eisensättigung	218
10.4.5.	Drehzahländerungen	218
10.4.6.	Ungleichzeitiger Kurzschlußeintritt	219
10.5.	Drehmomentenverlauf bei Kurzschlüssen	220
11.	Berechnung der Stabilität	222
11.1.	Übersicht, Begriffe	222
11.2.	Berechnung der statischen Stabilität	222
11.3.	Berechnung der transienten Stabilität	225
11.3.1.	Maschinenmodelle 4. Ordnung	225
11.3.2.	Klassische Modelle	226
11.3.3.	Zwei- und Einmaschinenproblem	228
11.3.4.	Einflußgrößen und Berechnungsbeispiele	229
12.	Berechnung von Torsionsschwingungen an Kraftwerksblöcken	239
12.1.	Übersicht	239
12.2.	Einflußgrößen auf die Drehmomentenschwingungen	241
12.2.1.	Kurzschlußdauer	242
12.2.2.	Netzanschaltung	244
13.	Berechnung des Lastabwurfes	245
13.1.	Übersicht	245
13.2.	Einflußgrößen und Berechnungsbeispiele	245
13.3.	Selbsterregung	248
14.	Berechnung des Synchronisationsvorganges	253
14.1.	Übersicht	253
14.2.	Drehmomentenbelastung bei Fehlsynchronisation	254
14.3.	Strombelastung bei Fehlsynchronisation	254
15.	Berechnung von Anlaufvorgängen und des Asynchronbetriebes	258
15.1.	Übersicht	258
15.2.	Asynchroner Anlauf von Synchronmaschinen	259
15.2.1.	Berechnung mit den Zustandsgleichungen	259
15.2.2.	Berechnung unter stationären Bedingungen	263
15.3.	Anlauf von Asynchronmotoren	268
16.	Berechnung von Schaltvorgängen	271
16.1.	Übersicht	271
16.2.	Einschalten von leerlaufenden Transformatoren	273
16.3.	Schalten von Leitungen	274

16.4.	Ausschalten von Kompensationsdrosselspulen	280
16.5.	Ausschalten generatornaher Kurzschlüsse	281
17.	Berechnung von Erdschlüssen	286
V.	Anhang	
A 1.	Berechnung der Generatormodellparameter aus den charakteristischen Reaktanzen und Zeitkonstanten	293
A 2.	Berechnung der stationären Anfangswerte für die Synchronmaschine	294
A 3.	Berechnung der stationären Anfangswerte für die Asynchronmaschine	295
A 4.	Berechnung der primären Freileitungsparameter aus der Geometrie	296
A 5.	Transformationsbeziehungen zwischen Netz-, PARK- und natürlichen Koordinaten	300
A 6.	Ausführliche ZDGL für das Beispiel in Bild 5.7	302
A 7.	Parameter der Generatoren und Blocktransformatoren für die Rechen- beispiele	306
A 8.	Parameter des Testnetzes nach Bild 10.4	308
A 9.	Formelsatz des Integrationsverfahrens nach RUNGE-KUTTA-GILL . .	310
	Literatur- und Quellenverzeichnis	311
	Sachwörterverzeichnis	323