

Inhaltsverzeichnis

1	Symmetrische Komponenten und Raumzeiger	1
1.1	Modaltransformation	1
1.2	Symmetrische Komponenten	7
1.3	Raumzeiger	11
1.3.1	Raumzeigerkomponenten in ruhenden Koordinaten	11
1.3.2	Raumzeigerkomponenten in rotierenden Koordinaten	14
1.4	Zusammenhang zwischen Raumzeiger und Zeiger	17
2	Betriebsmittelgleichungen in Symmetrischen Komponenten	21
2.1	Leitungen	22
2.2	Transformatoren	30
2.2.1	Beziehungen zwischen den Wicklungsgrößen	30
2.2.2	Beziehungen zwischen den Wicklungs- und Klemmengrößen	33
2.2.3	Ersatzschaltungen für die Symmetrischen Komponenten	38
2.2.4	Stromgleichungen für die Symmetrischen Komponenten ohne Übertrager	46
2.2.5	Bestimmung der Ersatzschaltungsparameter	53
2.3	Generatoren, Motoren und Ersatznetze	54
2.4	Nichtmotorische Lasten	57
3	Netzgleichungssysteme in Symmetrischen Komponenten	59
3.1	Zusammengefasste Darstellung der Betriebsmittelgleichungen	60
3.2	Knotenspannungs-Gleichungssysteme	62
3.2.1	Gleichungssystem für die Berechnung von Fehlern und der Netzdynamik	62
3.2.2	Gleichungssystem für die Leistungsflussberechnung	67
4	Leistungsflussberechnung	71
4.1	Knotenspezifikation	71
4.2	Knotenpunktverfahren	72

4.3	Newtonverfahren	75
4.4	Berechnung unsymmetrischer Leistungsflüsse	82
4.4.1	Knotenpunktverfahren	88
4.4.2	Newtonverfahren	90
4.4.3	Fehlermatrizenverfahren	92
5	Berechnung von Einfach- und Doppelfehlern	103
5.1	Fehlerarten	103
5.2	Fehlerbedingungen	104
5.3	Fehlerbedingungen in Symmetrischen Komponenten	107
5.4	Berechnung von Einfachquerfehlern	116
5.4.1	Dreipoliger Kurzschluss mit und ohne Erdberührung	124
5.4.2	Einpoliger Erdkurzschluss oder Erdschluss	125
5.4.3	Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung	127
5.4.4	Zweipoliger Kurzschluss ohne Erdberührung	128
5.5	Berechnung von Einfachlängsfehlern	130
5.5.1	Dreipolige Unterbrechung	134
5.5.2	Zweipolige Unterbrechung	135
5.5.3	Einpolige Unterbrechung	136
5.6	Berechnung von Doppelfehlern	141
5.7	Überlagerungsverfahren	147
5.7.1	Berechnung von Kurzschlüssen nach dem Überlagerungsverfahren	149
5.7.2	Berechnung von Unterbrechungen nach dem Überlagerungsverfahren	157
5.8	Berechnung der Kurzschlussströme nach der Zweipoltheorie	163
6	Fehlermatrizenverfahren	167
6.1	Fehlermatrizen	167
6.2	Fehlermatrizen in Symmetrischen Komponenten	171
6.3	Nachbildung von Kurzschlüssen an der Knotenadmittanzmatrix	176
6.4	Nachbildung von Kurzschlüssen an der Knotenimpedanzmatrix	183
6.5	Nachbildung von Kurzschlüssen auf Leitungen	185
6.6	Abschalten von Leitungen und Transformatoren	190
6.7	Abschalten von kurzschlussbehafteten Leitungen	196
6.8	Abschalten von Generatoren, Motoren und Lasten	201
6.9	Berücksichtigung von Unsymmetriezuständen	204
6.10	Zusammenfassung des Berechnungsablaufs für Kurzschlüsse und Unterbrechungen sowie Unsymmetrien	209
6.11	Anwendung des Fehlermatrizenverfahrens zur Kurzschlussstromberechnung nach IEC und DIN EN 60909-0	211
6.12	Beziehungen zwischen dem Fehlermatrizenverfahren und konventionellen Verfahren der Kurzschlussstromberechnung	216

7	Berechnung quasistationärer Vorgänge	223
7.1	Algebro-Differentialgleichungssystem	224
7.1.1	Netzgleichungen	224
7.1.2	Differentialgleichungen der Generatoren	225
7.1.3	Differentialgleichungen der Motoren	226
7.2	Berechnung der transienten Stabilität	227
8	Betriebsmittelgleichungen in Raumzeigerkomponenten	243
8.1	Allgemeine Formen	243
8.2	Leitungen	249
8.2.1	Gleichungen der induktiven und kapazitiven Leitungsabschnitte	250
8.2.2	Leitungsmodell ohne Querglieder	252
8.2.3	Leitungsmodell als T-Glied	253
8.2.4	Leitungsmodell als T-Kettenschaltung	254
8.2.5	Leitungsmodell als Π -Glied	256
8.2.6	Leitungsmodell als Π -Kettenschaltung	256
8.2.7	Anfangswerte für die Zustandsgrößen	257
8.3	Transformatoren	259
8.3.1	Zustandsgleichungen des Einphasentransformators	259
8.3.2	Zustandsgleichungen für die Wicklungsgrößen der Drehstromtransformatoren	260
8.3.3	Beziehungen zwischen den Wicklungs- und Klemmengrößen	262
8.3.4	Zustandsgleichungen und modifizierte Stromgleichungen für die Schaltgruppen $Yy0$, $Yd5$ und $Dy5$	264
8.3.5	Anfangswerte für die Zustandsvariablen	269
8.4	Synchrongeneratoren	270
8.4.1	Gleichungssystem in $dq0$ -Koordinaten	270
8.4.2	Transientes Modell mit Raumzeigern für die Ständergrößen	272
8.4.3	Anfangswerte für die Zustandsgrößen	278
8.4.4	Quasistationäres Modell mit subtransienter Spannung	279
8.4.5	Quasistationäres Modell mit konstanter transienter Spannung	288
8.4.6	Stationäres Modell mit Polradspannung	290
8.4.7	Berechnung der Modellparameter aus den Maschinenparametern	291
8.5	Asynchronmaschinen	293
8.5.1	Allgemeines Gleichungssystem mit Raumzeigern	294
8.5.2	Transientes Modell mit Raumzeigern in Ständerkoordinaten ...	295
8.5.3	Anfangswerte für die Raumzeiger	297

8.5.4	Quasistationäres Modell mit transientser Spannung	298
8.5.5	Stationäres Modell	300
8.5.6	Berechnung der Modellparameter aus den Maschinendaten	303
8.6	Nichtmotorische Lasten	305
9	Erweitertes Knotenpunktverfahren	311
9.1	Klemmgleichungen der Betriebsmittel	312
9.2	Knotenspezifikation und Knotenpunktsätze	312
9.3	Netzgleichungssysteme des EKPV	314
9.3.1	Gleichungssystem für ein L-C-Netz	317
9.3.2	Gleichungssystem für ein L-Netz	323
9.3.3	Gleichungssystem für ein C-Netz	326
9.4	Berechnung der Netzzeigenwerte nach dem EKPV	327
10	Fehlermatrizenverfahren in Raumzeigerkomponenten	331
10.1	Fehlerbedingungen und Fehlermatrizen	331
10.2	Nachbildung von Kurzschlüssen an L- und R-Knoten	334
10.3	Nachbildung von Kurzschlüssen an C-Knoten	343
10.4	Nachbildung von Unterbrechungen an Betriebsmitteln.	348
10.5	Bemerkungen zur Lösung des Netzgleichungssystems des EKPV	353
11	Netzzustandsschätzung	369
11.1	Messwerte und Messfehler	370
11.2	Gleichungssystem zur Bestimmung des Zustandsvektors	372
11.3	Messmodell	374
Anhang	381
A.1	MATLAB-Programme Leistungsflussberechnung.	381
A.2	MATLAB-Programm Fehlermatrizenverfahren.	394
A.3	Ergänzung zu den Fehlermatrizen	398
A.4	Impedanzen von Einleiterkabeln mit Cross-Bonding	400
A.5	Elemente der Admittanzmatrix für den Dreiwicklungstransformator	404
A.6	Elemente der Admittanzmatrix für die Doppelleitung.	407
A.7	Gleichungssystem der Synchronmaschine mit Systemparametern	410
A.8	Dreipoliger Klemmenkurzschluss der Synchronmaschine	416
Formelzeichen und Nebenzeichen	437
Literatur	441
Stichwortverzeichnis	443