

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	Vergleich Überlagerungsverfahren Zweipoltheorie	163
5.9	Methode der Ersatzspannung an der Kurzschlussstelle	166
6	Fehlermatrizenverfahren	169
6.1	Fehlermatrizen	169
6.2	Fehlermatrizen in Symmetrischen Komponenten	173
6.3	Nachbildung von Kurzschlüssen an der Knotenadmittanzmatrix	178
6.4	Nachbildung von Kurzschlüssen an der Knotenimpedanzmatrix	186
6.5	Nachbildung von Kurzschlüssen auf Leitungen	188
6.6	Abschalten von Leitungen und Transformatoren	193
6.7	Abschalten von kurzschlussbehafteten Leitungen	199
6.8	Abschalten von Generatoren, Motoren und Lasten	204
6.9	Berücksichtigung von Unsymmetriezuständen	207
6.10	Zusammenfassung des Berechnungsablaufs für Kurzschlüsse und Unterbrechungen sowie Unsymmetrien	212

6.11	Anwendung des Fehlermatrizenverfahrens zur Kurzschlussstromberechnung nach IEC und DIN EN 60909-0.	214
6.12	Beziehungen zwischen dem Fehlermatrizenverfahren und konventionellen Verfahren der Kurzschlussstromberechnung.	219
7	Berechnung quasistationärer Vorgänge	229
7.1	Algebro-Differentialgleichungssystem	230
7.1.1	Netzgleichungen	230
7.1.2	Differentialgleichungen der Generatoren.	231
7.1.3	Differentialgleichungen der Motoren.	232
7.2	Berechnung der transienten Stabilität	233
8	Betriebsmittelgleichungen in Raumzeigerkomponenten.	247
8.1	Allgemeine Formen	247
8.2	Leitungen	253
8.2.1	Gleichungen der induktiven und kapazitiven Leitungsabschnitte	254
8.2.2	Leitungsmodell ohne Querglieder	256
8.2.3	Leitungsmodell als T-Glied	257
8.2.4	Leitungsmodell als T-Kettenschaltung.	258
8.2.5	Leitungsmodell als Π -Glied	260
8.2.6	Leitungsmodell als Π -Kettenschaltung	260
8.2.7	Anfangswerte für die Zustandsgrößen.	261
8.3	Transformatoren.	263
8.3.1	Zustandsgleichungen des Einphasentransformators	263
8.3.2	Zustandsgleichungen für die Wicklungsgrößen der Drehstromtransformatoren.	264
8.3.3	Beziehungen zwischen den Wicklungs- und Klemmengrößen.	266
8.3.4	Zustandsgleichungen und modifizierte Stromgleichungen für die Schaltgruppen Yy0, Yd5 und Dy5	268
8.3.5	Anfangswerte für die Zustandsvariablen	273
8.4	Synchrongeneratoren	274
8.4.1	Gleichungssystem in dq0-Koordinaten	274
8.4.2	Transientes Modell mit Raumzeigern für die Ständergrößen.	276
8.4.3	Anfangswerte für die Zustandsgrößen.	282
8.4.4	Quasistationäres Modell mit subtransienter Spannung	283
8.4.5	Quasistationäres Modell mit konstanter transienter Spannung	292
8.4.6	Stationäres Modell mit Polradspannung	294
8.4.7	Berechnung der Modellparameter aus den Maschinenparametern	295

8.5	Asynchronmaschinen	297
8.5.1	Allgemeines Gleichungssystem mit Raumzeigern	298
8.5.2	Transientes Modell mit Raumzeigern in Ständerkoordinaten	299
8.5.3	Anfangswerte für die Raumzeiger	301
8.5.4	Quasistationäres Modell mit transienter Spannung	302
8.5.5	Stationäres Modell	304
8.5.6	Berechnung der Modellparameter aus den Maschinendaten	307
8.6	Nichtmotorische Lasten	309
9	Erweitertes Knotenpunktverfahren	315
9.1	Klemmengleichungen der Betriebsmittel	316
9.2	Knotenspezifikation und Knotenpunktsätze	316
9.3	Netzgleichungssysteme des EKPV	318
9.3.1	Gleichungssystem für ein L-C-Netz	321
9.3.2	Gleichungssystem für ein L-Netz	327
9.3.3	Gleichungssystem für ein C-Netz	330
9.4	Berechnung der Netzeigenwerte nach dem EKPV	331
10	Fehlermatrizenverfahren in Raumzeigerkomponenten	335
10.1	Fehlerbedingungen und Fehlermatrizen	335
10.2	Nachbildung von Kurzschlüssen an L- und R-Knoten	338
10.3	Nachbildung von Kurzschlüssen an C-Knoten	347
10.4	Nachbildung von Unterbrechungen an Betriebsmitteln.	352
10.5	Bemerkungen zur Lösung des Netzgleichungssystems des EKPV.	357
10.6	Reduktion des Differenzialgleichungssystems des EKPV.	372
11	Netzzustandsschätzung.	377
11.1	Messwerte und Messfehler	378
11.2	Gleichungssystem zur Bestimmung des Zustandsvektors.	380
11.3	Messmodell	382
	Anhang.	389
	Formelzeichen und Nebenzeichen	445
	Literatur.	449
	Stichwortverzeichnis.	451