

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Symmetrische Komponenten und Raumzeiger .....</b>	<b>1</b>
1.1 Modaltransformation .....	1
1.2 Symmetrische Komponenten .....	6
1.3 Raumzeiger .....	9
1.3.1 Raumzeigerkomponenten in ruhenden Koordinaten .....	9
1.3.2 Raumzeigerkomponenten in rotierenden Koordinaten .....	12
1.4 Zusammenhang zwischen Raumzeiger und Zeiger .....	15
<b>2 Betriebsmittelgleichungen in Symmetrischen Komponenten .....</b>	<b>19</b>
2.1 Leitungen .....	19
2.2 Transformatoren .....	27
2.2.1 Beziehungen zwischen den Wicklungsgrößen .....	27
2.2.2 Beziehungen zwischen den Wicklungs- und Klemmengrößen .....	30
2.2.3 Ersatzschaltungen für die Symmetrischen Komponenten .....	35
2.2.4 Stromgleichungen für die Symmetrischen Komponenten ohne Übertrager .....	43
2.2.5 Bestimmung der Ersatzschaltungsparameter .....	50
2.3 Generatoren, Motoren und Ersatznetze .....	50
2.4 Nichtmotorische Lasten .....	54
<b>3 Netzgleichungssysteme in Symmetrischen Komponenten .....</b>	<b>57</b>
3.1 Zusammengefasste Darstellung der Betriebsmittelgleichungen .....	57
3.2 Knotenspannungs-Gleichungssysteme .....	59
3.2.1 Gleichungssystem für die Berechnung von Fehlern und der Netzdynamik .....	60
3.2.2 Gleichungssystem für die Leistungsflussberechnung .....	64
<b>4 Leistungsflussberechnung .....</b>	<b>67</b>
4.1 Knotenspezifikation .....	67
4.2 Knotenpunktverfahren .....	68
4.3 Newtonverfahren .....	70
<b>5 Berechnung von Einfach- und Doppelfehlern .....</b>	<b>77</b>
5.1 Fehlerarten .....	77
5.2 Fehlerbedingungen .....	78
5.3 Fehlerbedingungen in Symmetrischen Komponenten .....	81
5.4 Berechnung von Einfachquerfehlern .....	91
5.4.1 Dreipoliger Kurzschluss mit und ohne Erdberührung .....	97
5.4.2 Einpoliger Erdkurzschluss oder Erdschluss .....	98
5.4.3 Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung .....	100
5.4.4 Zweipoliger Kurzschluss ohne Erdberührung .....	102

5.5	Berechnung von Einfachlängsfehlern .....	104
5.5.1	Dreipolare Unterbrechung .....	107
5.5.2	Zweipolare Unterbrechung .....	108
5.5.3	Einpolige Unterbrechung .....	110
5.6	Berechnung von Doppelfehlern .....	113
5.7	Überlagerungsverfahren .....	119
5.7.1	Berechnung von Kurzschlüssen nach dem Überlagerungsverfahren .....	120
5.7.2	Berechnung von Unterbrechungen nach dem Überlagerungsverfahren ...	128
<b>6</b>	<b>Fehlermatrizenverfahren .....</b>	<b>135</b>
6.1	Fehlermatrizen .....	135
6.2	Fehlermatrizen in Symmetrischen Komponenten .....	138
6.3	Nachbildung von Kurzschlüssen an der Knotenadmittanzmatrix .....	142
6.4	Nachbildung von Kurzschlüssen an der Knotenimpedanzmatrix .....	150
6.5	Nachbildung von Kurzschlüssen auf Leitungen .....	152
6.6	Abschalten von Leitungen und Transformatoren .....	155
6.7	Abschalten von kurzschlussbehafteten Leitungen .....	161
6.8	Abschalten von Generatoren, Motoren und Lasten .....	161
6.9	Berücksichtigung von Unsymmetriezuständen .....	162
6.10	Zusammenfassung des Berechnungsablaufs .....	167
6.11	Anwendung des Fehlermatrizenverfahrens zur Kurzschlussstromberechnung nach IEC und DIN EN 60909-0 .....	168
<b>7</b>	<b>Berechnung quasistationärer Vorgänge .....</b>	<b>175</b>
7.1	Algebro-Differentialgleichungssystem .....	175
7.1.1	Netzgleichungen .....	176
7.1.2	Differentialgleichungen der Generatoren .....	177
7.1.3	Differentialgleichungen der Motoren .....	177
7.2	Berechnung der transienten Stabilität .....	179
<b>8</b>	<b>Betriebsmittelgleichungen in Raumzeigerkomponenten .....</b>	<b>193</b>
8.1	Allgemeine Formen .....	193
8.2	Leitungen .....	199
8.2.1	Gleichungen der induktiven und kapazitiven Leitungsabschnitte .....	199
8.2.2	Leitungsmodell ohne Querglieder .....	201
8.2.3	Leitungsmodell als T-Glied .....	203
8.2.4	Leitungsmodell als T-Kettenschaltung .....	204
8.2.5	Leitungsmodell als $\Pi$ -Glied .....	205
8.2.6	Leitungsmodell als $\Pi$ -Kettenschaltung .....	206
8.2.7	Anfangswerte für die Zustandsgrößen .....	207
8.3	Transformatoren .....	208
8.3.1	Zustandsgleichungen des Einphasentransformators .....	209
8.3.2	Zustandsgleichungen für die Wicklungsgrößen der Drehstromtransformatoren .....	209
8.3.3	Beziehungen zwischen den Wicklungs- und Klemmengrößen .....	211

8.3.4 Zustandsgleichungen und modifizierte Stromgleichungen für die Schaltgruppen Yy0, Yd5 und Dy5 .....	213
8.3.5 Anfangswerte für die Zustandsvariablen .....	218
<b>8.4 Synchrongeneratoren .....</b>	<b>219</b>
8.4.1 Gleichungssystem in dq0-Koordinaten .....	219
8.4.2 Transientes Modell mit Raumzeigern für die Ständergrößen .....	221
8.4.3 Anfangswerte für die Zustandsgrößen .....	226
8.4.4 Quasistationäres Modell mit subtransienter Spannung .....	227
8.4.5 Quasistationäres Modell mit konstanter transienter Spannung .....	234
8.4.6 Stationäres Modell mit Polradspannung .....	236
8.4.7 Berechnung der Modellparameter aus den Maschinenparametern .....	237
<b>8.5 Asynchronmaschinen .....</b>	<b>239</b>
8.5.1 Allgemeines Gleichungssystem mit Raumzeigern .....	240
8.5.2 Transientes Modell mit Raumzeigern in Ständerkoordinaten .....	240
8.5.3 Anfangswerte für die Raumzeiger .....	242
8.5.4 Quasistationäres Modell mit transienter Spannung .....	243
8.5.5 Stationäres Modell .....	245
8.5.6 Berechnung der Modellparameter aus den Maschinendaten .....	248
8.6 Nichtmotorische Lasten .....	249
<b>9 Erweitertes Knotenpunktverfahren .....</b>	<b>255</b>
9.1 Klemmengleichungen der Betriebsmittel .....	255
9.2 Knotenspezifikation und Knotenpunktsätze .....	256
9.3 Netzgleichungssysteme des EKPV .....	257
9.3.1 Gleichungssystem für ein L-C-Netz .....	261
9.3.2 Gleichungssystem für ein L-Netz .....	266
9.3.3 Gleichungssystem für ein C-Netz .....	270
9.4 Berechnung der Netzeigenwerte nach dem EKPV .....	270
<b>10 Fehlermatrizenverfahren in Raumzeigerkomponenten .....</b>	<b>275</b>
10.1 Fehlerbedingungen und Fehlermatrizen .....	275
10.2 Nachbildung von Kurzschlüssen an L- und R-Knoten .....	277
10.3 Nachbildung von Kurzschlüssen an C-Knoten .....	286
10.4 Nachbildung von Unterbrechungen an Betriebsmitteln .....	290
<b>11 Netzzustandsschätzung .....</b>	<b>295</b>
11.1 Messwerte und Messfehler .....	296
11.3 Messmodell .....	299
A.1 MATLAB-Programm Leistungsflussberechnung .....	307
A.2 MATLAB-Programm Fehlermatrizenverfahren .....	311
A.3 Ergänzung zu den Fehlermatrizen .....	315
Formelzeichen und Nebenzeichen .....	318
Literatur .....	321
Sachwortverzeichnis .....	322