

Inhaltsverzeichnis

1. Elektrische Energie, Lebensstandard, Versorgungssicherheit	1
2. Elektroenergiesysteme, Verbundsysteme	9
2.1 Historische Entwicklung	9
2.2 Liberalisierung des Strommarkts	11
2.3 Elektroenergiesysteme	14
2.4 Verbundsysteme	20
3. Energieressourcen – Energieverbrauch	29
3.1 Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie	29
3.2 Primärenergieressourcen	35
3.2.1 Erschöpfliche Ressourcen und ihr Verbrauch ...	39
3.2.2 Unerschöpfliche Ressourcen	45
4. Umwandlung von Primärenergie in Kraftwerken	51
4.1 Thermodynamische Grundbegriffe	54
4.1.1 Dampfgehalt	54
4.1.2 Entropie und T(s)-Diagramm	56
4.1.3 Carnot-Prozeß im T(s)-Diagramm	60
4.1.4 Enthalpie und h(s)-Diagramm	63
4.2 Dampfkraftwerksprozeß	67
4.2.1 Wärmeschaltbild, T(s)-Diagramm und Wirkungsgrad	67
4.2.2 Maßnahmen zur Erhöhung des Wirkungsgrads .	70
4.2.3 Exergetischer Wirkungsgrad	76
4.3 Dampfkraftwerkkomponenten	77
4.3.1 Dampferzeuger	77
4.3.1.1 Dampferzeugerbauarten	77
4.3.1.2 Feuerungen	82

4.3.1.3	Leistungsregelung bei Dampferzeugern	85
4.3.1.4	Rauchgasreinigung	86
4.3.2	Dampfturbinen	89
4.3.2.1	Bauarten	89
4.3.2.2	Leistungsregelung von Dampfturbinen	95
4.3.3	Kondensator, Kühleinrichtungen	99
4.3.3.1	Kondensator	99
4.3.3.2	Kühlarten	100
4.3.3.3	Abwärmenutzung	102
4.4	Leistungsregelung in Dampfkraftwerken	104
4.4.1	Festdruckbetrieb	104
4.4.2	Gleitdruckbetrieb	106
4.4.3	Modifizierter Gleichdruckbetrieb	106
4.4.4	Vergleichende Betrachtung	107
4.5	Gasturbinenkraftwerke	109
4.6	Kombinierte Gas- und Dampfkraftwerke	114
4.7	Kraft/Wärme-Kopplung	117
4.7.1	Kraft/Wärme-Kopplung in der Industrie	118
4.7.2	Kraft/Wärme-Kopplung in der öffentlichen Stromversorgung	120
4.8	Kernkraftwerke	122
4.8.1	Kernenergie	123
4.8.1.1	Kernfusion	124
4.8.1.2	Kernfission (Kernspaltung)	127
4.8.1.3	Brennstoffkreislauf	139
4.8.2	Druckwasserreaktoren (DWR)	142
4.8.3	Siedewasserreaktoren (SWR)	145
4.8.4	Gasgekühlte Reaktoren	147
4.8.5	Brutreaktoren	149
4.8.6	Leistungsregelung von Kernreaktoren	152
4.9	Wasserkraftwerke	157
4.9.1	Laufwasserkraftwerke	158
4.9.2	Speicherkraftwerke	159
4.9.3	Pumpspeicherkraftwerke	161
4.9.4	Gezeitenkraftwerke	162
4.9.5	Turbinentypen	163
4.9.5.1	Kaplan-Turbine	164
4.9.5.2	Francis-Turbine	164
4.9.5.3	Pelton-Turbine	166

4.9.6	Leistungsregelung	167
4.10	Windkraftanlagen	169
4.10.1	Mechanische Leistung	170
4.10.2	Generatorkonzepte	171
4.10.3	Leistungsregelung von Windturbinen	173
4.11	Solarenergieanlagen	176
4.11.1	Photovoltaik-Anlagen	179
4.11.2	Solarthermische Anlagen	183
4.12	Brennstoffzellen	185
4.13	Virtuelle Kraftwerke	187
5.	Kraftwerkleittechnik	189
5.1	Leittechnik-Funktionen	190
5.2	Verfahrens- und leittechnische Struktur eines Kraftwerkprozesses	192
5.3	Prozeßleitsysteme	195
5.3.1	Verbindungsprogrammierte Prozeßleitsysteme ..	195
5.3.2	Speicherprogrammierbare Prozeßleitsysteme ...	197
5.3.3	Prozeßleitsysteme mit Feldbus	206
5.3.4	Energiemanagementsysteme	207
5.3.4.1	Prozeßnahe Anwendungen	208
5.3.4.2	Betriebliche Anwendungen	210
5.3.4.3	Business Anwendungen	210
5.4	Prozeßvisualisierung	210
6.	Umwandlung mechanischer Energie in elektrische Energie	215
6.1	Vollpol- und Schenkelpolgeneratoren	216
6.2	Wirkungsweise von Synchrongeneratoren	219
6.2.1	Der Synchrongenerator im Leerlauf	219
6.2.2	Der Synchrongenerator bei Belastung (Ankerückwirkung)	225
6.2.3	Einfluß der Sättigung	230
6.2.4	Dämpferwicklung	232
6.3	Besonderheiten der Schenkelpolmaschine	234
6.4	Leistungsgleichungen der Synchronmaschine	237
6.5	Stationäre Betriebszustände	239
6.6	Phasenschieberbetrieb	240
6.7	Belastungsgrenzen des Synchrongenerators	242
6.8	Sternpunktbehandlung bei Synchrongeneratoren	246

6.9	Erregungsverfahren für Synchrongeneratoren	249
6.9.1	Gleichstromerregemaschinen	249
6.9.2	Drehstromerregemaschinen	251
6.9.3	Statische Erregereinrichtungen	252
6.9.4	Dynamisches Verhalten von Erregereinrichtungen	253
6.10	Der Synchrongenerator im Kurzschluß	254
6.10.1	Generatorferner Kurzschluß	255
6.10.2	Generatornaher Kurzschluß	262
6.11	Mathematische Modelle für Synchrongeneratoren	267
6.11.1	Grundsätzliches dreiphasiges Modell eines Synchrongenerators mit Vollpolläufer im stationären Betrieb	267
6.11.2	Grundsätzliches einphasiges Modell eines Synchrongenerators mit Vollpolläufer im stationären Betrieb	271
6.11.3	Ermittlung der Mit-, Gegen und Nullimpedanz eines Synchrongenerators	280
6.11.4	Die $dq0$ -Transformation	283
6.11.4.1	Mathematische Vorgehensweise der $dq0$ -Transformation	286
6.11.4.2	Elektrische Leistung und Drehmoment	297
6.11.4.3	Kopplung des Generatormodells mit dem Elektroenergiesystem	299
7.	Bereitstellung elektr. Energie auf verschiedenen Spannungsebenen	303
7.1	Wirkungsweise und Ersatzschaltbild von Transformatoren	307
7.2	Kurzschlußersatzschaltbild	317
7.2.1	Ersatzschaltbilder mit umgerechneten Größen	317
7.2.2	Messung der Kurzschlußimpedanz	320
7.2.3	Berechnung der Kurzschlußimpedanz	322
7.2.4	Zeigerdiagramme des Kurzschlußersatzschaltbilds	323
7.2.5	Kurzschlußersatzschaltbild für Dreiwicklungs- transformatoren	324
7.3	Kaskadierte und parallel geschaltete Transformatoren	325
7.3.1	Kaskadierte Transformatoren	325
7.3.2	Parallelbetrieb von Transformatoren	328

7.4	Spartransformatoren	329
7.5	Drehstromtransformatoren	330
7.5.1	Kernbauformen	330
7.5.2	Schaltgruppen	332
7.5.2.1	Schaltgruppe Yy0	337
7.5.2.2	Schaltgruppe Dy5	341
7.5.2.3	Schaltgruppe Yd5	342
7.5.2.4	Schaltgruppe Yz5	343
7.5.3	Mit-, Gegen- und Nullimpedanz von Drehstrom- transformatoren	344
7.5.3.1	Mitimpedanz von Drehstromtransfor- matoren	344
7.5.3.2	Nullimpedanz von Drehstromtransfor- matoren	345
7.6	Regeltransformatoren	352
7.6.1	Längsregler	353
7.6.1.1	Unter Last schaltbare Transformatoren	353
7.6.1.2	Längsregler mit Zusatztransformatoren	355
7.6.2	Querregler	356
7.6.3	Schrägregler	358
7.7	Zeitlicher Verlauf des Magnetisierungsstroms	359
7.8	Einschaltstoßstrom leerlaufender Transformatoren	361
8.	Transport und Übertragung elektrischer Energie	367
8.1	Hochspannungs-Drehstrom-Übertragung, HDÜ	367
8.1.1	Transportnetze	368
8.1.2	Übertragungsnetze	371
8.1.3	Höhe der Transport- bzw. Übertragungsspannung	371
8.1.3.1	Übertragungsverluste	371
8.1.3.2	Übertragungskapazität	372
8.2	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung, HGÜ	375
8.3	Betriebsverhalten von Leitungen	379
8.3.1	Elektrisch lange und kurze Leitungen	379
8.3.2	Mathematisches Modell elektrisch langer Lei- tungen	382
8.3.3	Verlustlose Leitung	387
8.3.3.1	Ausgewählte betriebliche Spezialfälle .	387
8.3.3.2	Leerlauf am Leitungsende	388
8.3.3.3	Kurzschluß am Leitungsende	390

XVIII Inhaltsverzeichnis

	8.3.3.4	Belastung mit dem Wellenwiderstand	392
8.3.4		Ersatzschaltbild und Zeigerdiagramm einer elektrisch langen Leitung	396
8.3.5		Betriebsverhalten elektrisch kurzer Leitungen	400
	8.3.5.1	Ersatzschaltbild und Zeigerdiagramm	400
	8.3.5.2	Längs- und Querspannungsabfall	402
8.4		Blindleistungskompensation in Hochspannungsnetzen	404
8.4.1		Kompensation induktiver Blindleistung	405
	8.4.1.1	Parallel-Kompensation	405
	8.4.1.2	Reihen-Kompensation	406
8.4.2		Kompensation kapazitiver Blindleistung	409
8.5		FACTS (Flexible AC-Transmission Systems)	410
8.5.1		Klassifizierung von FACTS-Betriebsmitteln	412
8.5.2		Parallel geschaltete FACTS-Regler	413
	8.5.2.1	Thyristor-Controlled Reactor, TCR	414
	8.5.2.2	Thyristor-Switched Capacitor, TSC	415
	8.5.2.3	Static VA _r Compensator, SVC	416
	8.5.2.4	STATCOM	417
8.5.3		Seriengeschaltete FACTS-Betriebsmittel	419
	8.5.3.1	Thyristor-Controlled Series Capacitor, TCSC	419
	8.5.3.2	Static Synchronous Series Compensator, SSSC	421
8.5.4		Kombinierte FACTS-Regler	422
	8.5.4.1	Unified Power Flow Controller, UPFC	422
	8.5.4.2	Dynamic Power-Flow Controller, DFC	423
	8.5.4.3	FACTS HGÜ-Kupplungen	424
8.5.5		FACTS-Regelung	425
8.6		Berechnung der Betriebsimpedanzen von Mehrleitersystemen	427
8.6.1		Berechnung von Betriebsimpedanzen in Längsrichtung	427
	8.6.1.1	Carson-Formel	431
	8.6.1.2	Tabellenbücher	432
	8.6.1.3	Messung der Impedanzen	432
8.6.2		Berechnung der Betriebskapazitäten	435

9. Verteilung elektrischer Energie	443
9.1 Netztopologien	444
9.1.1 Strahlennetze	444
9.1.2 Ringnetze	445
9.1.3 Maschennetze	446
9.2 110 kV-Verteilnetze	448
9.3 Mittelspannungsnetze	451
9.3.1 Mittelspannungs-Ortsnetze	452
9.3.2 Mittelspannungs-Industriernetze	455
9.3.3 Mittelspannungsnetze in Großgebäuden bzw. Gebäudekomplexen	459
9.3.4 Eigenbedarfsnetze	460
9.4 Niederspannungsnetze	463
9.4.1 Niederspannungs-Ortsnetze	463
9.4.2 Niederspannungs-Industriernetze	465
9.4.3 Großgebäudenetze	469
9.4.4 Bordnetze	470
9.5 Blindstromkompensation in Mittel- und Niederspannungs- netzen	472
9.5.1 Netze mit geringem Stromrichteranteil	474
9.5.2 Netze mit hohem Stromrichteranteil	475
10. Sternpunktbehandlung	479
10.1 Netze mit isolierten Sternpunkten	480
10.2 Über Kompensationsreaktanzen geerdete Netze	484
10.3 Netze mit geerdeten Sternpunkten	487
10.4 Sternpunktbehandlung mit symmetrischen Komponenten	489
10.5 Sternpunktbehandlung in Niederspannungsnetzen	491
10.5.1 TN-Netze	493
10.5.2 TT-Netze	495
10.5.3 I-Netze	495
11. Schaltanlagen	499
11.1 Schaltgeräte	500
11.1.1 Sicherungen	502
11.1.2 Lastschalter	508
11.1.3 Leistungsschalter	510
11.1.4 Trennschalter	515
11.1.5 Kurzschlußstrombegrenzer	517
11.1.6 Schaltgeräteübersicht	520

11.2	Niederspannungsschaltanlagen	521
11.2.1	Niederspannungsschaltanlagen im Wohn-Installationsbereich	522
11.2.2	Niederspannungsschaltanlagen bis 630 A	524
11.2.3	Niederspannungsschaltanlagen über 630 A	525
11.3	Mittelspannungsschaltanlagen	528
11.3.1	Mittelspannungsschaltanlagen der Primärverteilung	532
11.3.2	Mittelspannungsschaltanlagen der Sekundärverteilung	536
11.4	Hochspannungsschaltanlagen	537
11.4.1	Freiluftschaltanlagen	538
11.4.2	Gekapselte Hochspannungsschaltanlagen für Innenraumaufstellung	540
11.4.3	Topologie von Hochspannungsschaltanlagen	543
11.5	Umspannstationen	549
11.6	Anforderungen an Schaltanlagen	552
12.	Netzschutz	555
12.1	Schutztechnik-Grundlagen	556
12.2	Schutzgerätetechnik	561
12.3	Schutzprinzipien und -kriterien	564
12.3.1	Überstromschutz	564
12.3.1.1	Abhängiges Maximalstrom-Zeitrelais (AMZ-Relais)	565
12.3.1.2	Unabhängiges Maximalstrom-Zeitrelais (UMZ-Relais)	566
12.3.1.3	UMZ-Schutz mit Richtungskriterium	568
12.3.2	Distanzschutz	569
12.3.3	Vergleichsschutz	574
12.3.3.1	Meßgrößenvergleichsschutz	574
12.3.3.2	Phasenvergleichsschutz	576
12.3.3.3	Signalvergleichsschutz	576
12.3.4	Erdschlußmeldung	577
12.4	Schutztechnik aus Sicht einzelner Betriebsmittel	578
12.4.1	Leitungsschutz	578
12.4.1.1	Strahlennetze	579
12.4.1.2	Ringleitungen und Maschennetze	579
12.4.2	Transformatorschutz	580

12.4.2.1	Transformatordifferentialschutz	580
12.4.2.2	Buchholzrelais	581
12.4.3	Generatorschutz	582
12.4.4	Blockschutz	583
12.4.5	Sammelschienenschutz	586
12.4.6	Schaltanlagenschutz	587
12.5	Schutzkoordination	588
12.5.1	Stromstaffelung im Strahlennetz	589
12.5.2	Zeitstaffelung im Strahlennetz	590
12.5.3	Schutzkoordination in Ring- und Maschennetzen mit UMZ-Schutz	592
12.5.4	Zeitstaffelung mit Distanzrelais	593
12.6	ANSI Schutz Codes	595
12.7	Schutz in Niederspannungsnetzen	596
12.7.1	Nullung (TN-Netze)	599
12.7.2	Schutzerdung (TT-Netze)	602
12.7.3	Schutzleitungssystem (IT-Netze)	603
12.7.4	Fehlerstrom-(FI)-Schutzschaltung	604
12.7.5	Fehlervoltspannungs-(FU)-Schutzschaltung	605
12.7.6	Schutztrennung	606
12.7.7	Schutzisolierung	607
13.	Frequenz- und Spannungsregelung	611
13.1	Frequenzregelung	616
13.1.1	Alleinbetrieb	616
13.1.2	Parallelbetrieb	619
13.1.3	Netzfrequenzregler	623
13.1.4	Verbundbetrieb	625
13.1.5	Beschreibung des dynamischen Verhaltens der Frequenzregelung	629
13.2	Spannungsregelung	636
13.2.1	Spannungsqualität	636
13.2.2	Spannungsregelung in Übertragungs- und Transportnetzen	637
13.2.3	Stellglieder der Spannungs-/Blindleistungsregelung	638
13.2.4	Spannungs-/Blindleistungsoptimierung	639
13.3	Begrenzungsregelungen	640

14. Netzleittechnik	645
14.1 Netzleitstellen	649
14.1.1 SCADA-Funktionen	649
14.1.2 Höherwertige Entscheidungs- und Optimierungsfunktionen HEO	653
14.1.3 Rechnerstruktur und Datenbanksystem	654
14.1.4 Schnittstellen zu anderen Systemen	656
14.2 Stationsleittechnik	657
14.3 Feldleittechnik	660
14.4 Fernwirktechnik	661
14.5 Tonfrequenz- und Funkrundsteuerung	663
14.5.1 Tonfrequenzrundsteuerung	663
14.5.2 Funkrundsteuerung	665
15. Netzbetrieb	667
15.1 Netzführung	668
15.1.1 Transportnetzführung in der klassischen Stromversorgung, sogenannte Lastverteilung	671
15.1.1.1 Lastprognose	672
15.1.1.2 Lastverteilung	678
15.1.1.3 Kraftwerksauswahl	681
15.1.1.4 Netzführung in der Schaltwarte	682
15.1.2 Transportnetzführung im liberalisierten Strommarkt, sogenannte Systemführung	684
15.1.3 EMS-Funktionen	689
15.1.4 Netzbetrieb in Verteilnetzen	693
15.2 Netzbereitstellung	695
16. Berechnung von Netzen und Leitungen im stationären Betrieb	701
16.1 Leistungsflußrechnung	702
16.1.1 Mathematisches Netzmodell mit Admittanzmatrix	703
16.1.1.1 Vierleiternetze (Netze mit Sternpunkt-leiter)	706
16.1.1.2 Dreileiter-Drehstromnetze	709
16.1.2 Hybridmatrix \underline{H}	711
16.1.3 Impedanzmatrix	714
16.1.4 Berechnung der Knotenspannungen und Leitungsströme bei vorgegebenen Belastungsströmen	715

16.1.5	Berechnung der Knotenspannungen bei vorgegebenen Knotenleistungen (Leistungsflußrechnung)	716
16.1.6	Behandlung unterschiedlicher Netzknoten	719
16.2	Varianten der Leistungsflußrechnung	721
16.2.1	Schnelle Leistungsflußrechnung	721
16.2.2	Optimale Leistungsflußrechnung	722
16.2.3	Probabilistische Leistungsflußrechnung	722
16.3	Manuelle Berechnung von Leitungsströmen in kleinen Netzen	723
16.3.1	Die an einem Ende belastete Leitung	724
16.3.2	Die mehrfach belastete Leitung	727
16.3.3	Die beidseitig gespeiste Leitung, gleiche Versorgungsspannung	730
16.3.4	Die beidseitig gespeiste Leitung bei unterschiedlichen Versorgungsspannungen	731
16.3.5	Vereinfachungen in der Berechnung	732
16.3.6	Berechnung der Stromverteilung in Netzen	733
16.3.6.1	Strahlennetze	733
16.3.6.2	Ringnetze	734
16.3.6.3	Maschennetze	735
17.	Kurzschlußstromberechnung	743
17.1	Begriffswelt und Methodik der Kurzschlußstromberechnung	745
17.1.1	Berechnung des Anfangs-Kurzschlußwechselstroms I_k''	746
17.1.2	Berechnung aus I_k'' abgeleiteter Kurzschlußstromgrößen	747
17.1.2.1	Berechnung des Stoßkurzschlußstroms i_p	747
17.1.2.2	Ausschaltwechselstrom I_b	748
17.1.2.3	Dauerkurzschlußstrom I_k	748
17.1.2.4	Thermisch wirksamer Kurzschlußstrom I_{th}	749
17.2	Der symmetrische Kurzschluß	749
17.2.1	Berechnung von I_k'' bei einfacher Generatorspeisung	750
17.2.2	Berechnung von I_k'' bei Netzeinspeisung	756
17.2.3	Berechnung von I_k'' bei mehrfacher Einspeisung	760

17.2.3.1	Das Verfahren der Ersatzspannungsquelle	760
17.2.3.2	Rechenbeispiel zum Verfahren der Ersatzspannungsquelle	762
17.3	Unsymmetrische Fehler	768
17.3.1	Berechnungsformeln für unsymmetrische Fehler	771
17.3.2	Berechnungsbeispiel „Unsymmetrische Kurzschlußströme“	772
17.3.2.1	Aufstellen der Ersatzschaltbilder des Mit-, Gegen- und Nullsystems	773
17.3.3	Berechnung der Mit- und Gegenimpedanzen	774
17.3.4	Berechnung der Nullimpedanzen	774
17.3.5	Berechnung der finalen Impedanzen Z_+ , Z_- und Z_0	774
17.3.5.1	Einpoliger Kurzschluß	775
17.3.5.2	Zweipoliger Kurzschluß ohne Erdberührung	775
17.3.5.3	Zweipoliger Kurzschluß mit Erdberührung	776
17.4	Kurzschlußimpedanzen elektrischer Betriebsmittel	777
17.4.1	Generatoren	778
17.4.2	Netzeinspeisung	779
17.4.3	Transformatoren	780
17.4.4	Kraftwerksblöcke	781
17.4.5	Freileitungen und Kabel	782
17.4.6	Motoren	782
17.4.7	Sonstige Betriebsmittel	783
17.4.8	Übersicht der Betriebsmittelimpedanzen	784
17.5	Kurzschlußstromberechnung mit bezogenen Größen	784
17.5.1	Das per-unit-Verfahren	785
17.5.2	Das %/MVA-Verfahren	786
17.6	Digitale Kurzschlußstromberechnung	788
17.6.1	Berechnung des Anfangs-Kurzschlußwechselstroms I_k'' aus der Knotenadmittanzmatrix	788
18.	Stabilität von Elektroenergiesystemen	791
18.1	Polradwinkelstabilität	793
18.1.1	Leistungs-/Polradwinkelkurve	794
18.1.2	Bewegungsgleichung eines Synchrongenerators	796

18.1.3	Kleinsignalstabilität	800
18.1.3.1	Graphische Untersuchung der Kleinsignalstabilität	801
18.1.3.2	Untersuchung der Kleinsignalstabilität anhand von Übertragungsfunktionen	804
18.1.3.3	Methode der Zustandsvariablen	806
18.1.4	Großsignalstabilität	807
18.1.4.1	Numerische Integration des Bewegungsdifferentialgleichungssystems	808
18.1.4.2	Untersuchung der Großsignalstabilität mit der Methode der Zustandsvariablen	810
18.1.4.3	Ljapunov-Verfahren	811
18.2	Spannungsstabilität	820
18.3	Netzzusammenbrüche	824
19.	Wirtschaftliche Aspekte in Elektroenergiesystemen . .	831
19.1	Energiewirtschaftsgesetz	831
19.2	Liberalisierung der Strommärkte	832
19.2.1	Netzzugang im deutschen Strommarkt	834
19.2.2	Bilanzkreise	836
19.3	Stromhandel	841
19.4	CO ₂ Emissionshandel	845
19.5	Stromkosten und Strompreise	845
19.5.1	Kalkulation der Stromkosten	846
19.5.1.1	Stromerzeugungskosten	847
19.5.1.2	Ermittlung von Netznutzungsentgelten	850
19.5.2	Kalkulation der Strompreise	852
19.5.3	Stromausfallkosten	855
19.6	Methoden zur Investitionsrechnung	857
19.7	Asset Management	860
A.	Rechnen mit komplexen Größen	865
A.1	Komplexe Zeigerdarstellung	865
A.1.1	Komplexe Darstellung von Zweipolen	867
A.1.2	Zählpfeilsysteme	868
A.1.3	Zeigerdiagramme	870
A.1.4	Wechselstromleistung	874

B. Rechnen in Drehstromsystemen	877
B.1 Begriffe und Größen in Drehstromsystemen	877
B.1.1 Spannungen und Ströme in Drehstromnetzen ..	877
B.1.2 Spannungen und Ströme von Drehstromerzeu- gern und -verbrauchern	879
B.2 Drehstromleistung elektrischer Betriebsmittel	881
B.2.1 Drehstromverbraucher am Drehstromnetz	883
B.2.2 Stern-Dreieck-Anlaufschaltung	885
C. Rechnen mit bezogenen Größen	887
C.1 Referenzgrößen	888
C.1.1 Bezogene Spannungen	889
C.1.2 Bezogene Leistungen	890
C.1.3 Bezogene Ströme	890
C.1.4 Bezogene Impedanzen	891
C.2 Rechnen mit pu-Größen	893
D. Grundbegriffe magnetischer Wechselfelder	899
D.1 Induktionsgesetz, induzierte und selbstinduzierte Span- nung	899
D.1.1 Induzierte Spannung	899
D.1.2 Selbstinduzierte Spannung	902
D.2 Windungsfluß, Spulenfluß und Flußverkettung einer Wicklung	902
D.3 Magnetische Streuung ($X = X_h + X_\sigma$)	905
E. Unsymmetrische Kurzschlußströme	907
E.1 Die Methode der symmetrischen Komponenten	907
E.2 Herleitung von Berechnungsformeln für unsymmetrische Kurzschlußströme	911
E.2.1 Berechnungsformel für einpolige Kurzschlußströ- me	912
E.2.2 Berechnungsformel für zweipolige Kurzschlüsse ohne Erdberührung	913
E.3 Berechnungsformel für zweipolige Kurzschlüsse mit Erd- berührung	916
F. Geräte Funktions-Codes nach ANSI C 37.2 (Auszug)	921

G. Lösung linearer und nichtlinearer Gleichungssysteme	923
G.1 Direkte Verfahren	923
G.1.1 Gauß'sches Eliminationsverfahren	924
G.1.2 Gauß-Jordan-Algorithmus	928
G.1.3 Dreiecksfaktorisierung	928
G.1.4 Optimal geordnete Dreiecksfaktorisierung	932
G.2 Iterationsverfahren	932
G.2.1 Stromiterationsverfahren	933
G.2.1.1 Jacobi-Verfahren (Gesamtschrittverfahren)	933
G.2.1.2 Gauß-Seidel-Verfahren (Einzelschrittverfahren)	934
G.2.1.3 Newton-Raphson-Verfahren	935
H. Methode der Zustandsvariablen	939
I. IEEE Engineering Ethics Code	945