

7932177

Starkstromanlagen



Gester · Schmidt

Gester/Schmidt

Starkstromanlagen

TM64

7962177

G1

B6

Starkstromanlagen

1 M 64
G 1
E 6

7962177



Starkstromanlagen

Planung · Gestaltung · Berechnung

Dipl. oec. Ing. Johannes Gester

Studiendirektor an der Ingenieurschule
für Maschinenbau und Elektrotechnik
Berlin-Lichtenberg

Ing. Ing. Günter Schmidt

Fachschuldozent an der Ingenieurschule
für Elektrotechnik „Hanno Günther“,
Velten-Hohenschöpping

6., durchgesehene Auflage
Mit 251 Bildern und 34 Tafeln



E7962177



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Autoren:

Dipl. oec., Ing. Johannes Gester, Berlin Abschnitte 1.1.; 3.; 4.3; 8.; 9.; 10.

Ing. Ing. Günter Schmidt, Velten Abschnitte 1.1.; 1.2.; 1.3.; 2.; 4.1.; 4.2.; 5.; 6.; 7

Copyright by VEB Verlag Technik, Berlin, 1965

Bearbeitete Auflage: © VEB Verlag Technik, Berlin, 1976

Unveränderter Nachdruck 1978

Lizenz 201. 370/180/78

DK 621.316. LSV 3513. VT 3/4833-6

Lektor: Ing. Inge Epp

Schutzumschlag: Kurt Beckert

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: Fachbuchdruck Naumburg

Redaktionsschluß: September 1975

Bestellnummer: 552 365 7

DDR 20,00 M

Zur sechsten Auflage

Infolge des schnellen Absatzes der fünften, stark bearbeiteten Auflage ist die Herausgabe einer sechsten Auflage noch im Jahr 1978 erforderlich. In dieser Auflage wurden lediglich Druckfehler korrigiert und aus aktuellem Anlaß in den Abschnitten 8.4.8. und 9.2.5.2. geringfügige Veränderungen vorgenommen.

Berlin, im Januar 1978

Die Verfasser

Zur fünften Auflage

Der ständige Bedarf an den Ingenieurschulen und die fortschreitende technische Entwicklung im Elektroanlagenbau machten die Ausarbeitung einer fünften Auflage des Lehrbuchs notwendig. Diese Auflage ist völlig überarbeitet und teilweise neu gestaltet worden. Bei der Überarbeitung wurde wie bisher das einheitliche Standardwerk der Elektrotechnik entsprechend dem z. Z. gültigen Stand zugrunde gelegt. (Bei der Anwendung von Standards sind die jeweils gültigen Ausgaben zu beachten!) Ferner wurden neue Typen der Hochspannungs- und Niederspannungs-Schaltanlagen, Transformatoren, Schutzrelais u. a. berücksichtigt. Wesentlich erweitert wurden die Ausführungen zur Projektierung und Konstruktion. Der Projektierungsprozeß im Elektroanlagenbau und der Entwurf von Schaltplänen nach TGL 16084 und TGL 16085 sind als neue Abschnitte in das Buch aufgenommen worden. Für die Anwendung von Einheiten wurde das Internationale Einheitensystem (SI) zugrunde gelegt.

Das vorliegende Buch ist als Lehrbuch für die Ausbildung von Ingenieuren der Fachrichtung Elektroenergieanlagen vorgesehen. Es entspricht dem Lehrprogramm des Lehrgebiets elektrotechnische Anlagen und Geräte der Fachrichtung Elektroenergieanlagen, die an mehreren Ingenieurschulen der DDR gelehrt wird. Darüber hinaus kann das Buch aber auch für das Selbststudium und als Nachschlagewerk von Ingenieuren verwendet werden, die in der Praxis in dem erwähnten Fachgebiet tätig sind, einschließlich der Ingenieure, die auf dem Gebiet der Elektroenergieversorgung arbeiten.

Das Lehrbuch ist mit dem Lehrstoff der Lehrbücher für andere Fachgebiete, die in der Fachrichtung Elektroenergieanlagen gelehrt werden, speziell mit dem Lehrgebiet Elektrotechnische Leitungen und Netze, abgestimmt. Auf Grund dieser Abstimmung und der daraus resultierenden Neugliederung des Werkes wurde der Untertitel gegenüber den bisherigen Auflagen geändert. Der vollständige Titel lautet jetzt „Starkstromanlagen – Planung · Gestaltung · Berechnung“.

Bei der Bearbeitung des Buches erhielten wir von den Gutachtern wertvolle Hilfe. Unser besonderer Dank gilt den Herren Dr.-Ing. *Trümpelmann* und Dipl.-Ing. *Schuchardt* vom VEB Kombinat Kraftwerksanlagenbau, Berlin, Ing. *Fleck* vom VEB Kombinat Elektroprojekt und Anlagenbau, Berlin, Dipl. Gwl. *Rüdger* vom Institut für Rationalisierung der Elektrotechnik/Elektronik, Zentralstelle für Aus- und Weiterbildung, sowie Herrn Dipl.-Phys. *Kuckariky*, Hochschule für Ökonomie, Berlin, für die Mitwirkung am Teil 10.

Da der vorliegenden fünften Auflage dieses Buches noch weitere Auflagen folgen werden, nehmen wir Anregungen und kritische Hinweise dankbar entgegen.

Berlin, im September 1975

Die Verfasser

Zur ersten Auflage

In dem vorliegenden Lehrbuch wird eine umfassende Behandlung des gesamten Gebietes der Schaltungen für Nieder- und Hochspannung einschließlich ihrer Berechnung und unter Einbeziehung der Randgebiete dargeboten.

Mit der Ausführlichkeit der Darstellungen und der breiten Kreisen verständlichen Abhandlung der Thematik ist es den Autoren in dankenswerter Weise gelungen, eine bis dahin empfindliche Lücke in der elektrotechnischen Fachliteratur zu schließen.

Das Lehrbuch „Starkstromanlagen“ ist in erster Linie bestimmt für den Unterricht an den Fachschulen. Seine Verwendbarkeit geht jedoch weit über den schulischen Rahmen hinaus, da auch der Praktiker viele wertvolle Hinweise zur Ergänzung und Vertiefung seines Wissens findet.

Die weitgehend universellen Anwendungsmöglichkeiten gründen sich vor allem auf die leicht verständliche Form, in der der Lehrstoff behandelt wird, wodurch das fachliche Niveau des Lehrbuchs jedoch keinen Abbruch erleidet.

Durch diese vorteilhafte Verbindung von Fachbuch und praktischer Anleitung wird ein ausgedehnter Leserkreis angesprochen, der sich vom Fachschullehrer und Studenten an den Ingenieurschulen bis zu den im Starkstrom-Anlagenbau tätigen Ingenieuren, Technikern und Meistern erstreckt.

Darüber hinaus wird dieses Buch allen Fachleuten auf elektrotechnischem Gebiet, besonders in der Energiewirtschaft, der chemischen und der Kohleindustrie, ein Helfer in ihrer täglichen Arbeit sein.

Das Lehrbuch „Starkstromanlagen“ dokumentiert in hervorzuhebender Weise die enge und fruchtbare Zusammenarbeit zwischen Lehre und Produktion. Die Ingenieurschulen für Maschinenbau und Elektrotechnik, Berlin-Lichtenberg, und für

Elektrotechnik, Velten, denen die Autoren als Lehrkräfte angehören, pflegen eine enge Verbindung mit der Praxis, die nicht zuletzt in diesem Lehrbuch ihren vorteilhaften Niederschlag findet.

Die Befruchtung unserer sozialistischen Ausbildungsstätten mit den Erkenntnissen aus Forschung, Entwicklung, Konstruktion und Produktion unserer volkseigenen Industrie und der Produktionsbetriebe mit den Ergebnissen der Wissenschaften ist eine unabdingbare Notwendigkeit für die erfolgreiche Durchführung der technischen Revolution, besonders in den führenden Industriezweigen.

Sie ist weiterhin die Voraussetzung für die Gestaltung der Wissenschaft zu einer echten Produktivkraft und erfordert die Erschließung und Nutzung aller Reserven in der Produktion ebenso wie in der Ausbildung.

Die Bedeutung der Elektrotechnik und vor allem des Starkstrom-Anlagenbaues für die Mechanisierung und Automatisierung, für die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit in erster Linie mit den Staaten des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe und im Rahmen des Außenhandels unserer Republik legt den Ingenieurschulen eine große Verantwortung bei der Ausbildung junger Menschen zu Ingenieuren mit hohem technischem Wissen auf.

Von großer Wichtigkeit ist dabei eine praxisverbundene und tiefgehende Kenntnisse vermittelnde Fachliteratur.

Dieser Forderung wird das vorliegende Lehrbuch „Starkstromanlagen“ weitgehend gerecht, wofür den Autoren und allen an der Ausarbeitung Beteiligten Dank und Anerkennung gebührt.

Steger

Minister für Elektrotechnik
und Elektronik

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Darstellung	17
1.1. Grundsätzliches über Starkstromanlagen	17
1.2. Staatliche Standards	19
1.3. Schaltpläne und Schaltzeichen	20
1.3.1. Allgemeines	20
1.3.2. Schaltpläne zur Übersicht	21
1.3.2.1. Übersichtsschaltplan (Üp)	21
1.3.2.2. Schutzrelaisplan (Srp)	23
1.3.3. Schaltpläne zum Erkennen der Funktion	24
1.3.3.1. Stromlaufplan (Sp)	24
1.3.3.2. Hinweise zum Wirkschaltplan	26
1.3.4. Schaltpläne zur Fertigung	26
1.3.4.1. Belegungsplan (Blp)	27
1.3.4.2. Bauschaltplan (Bp)	27
1.3.4.3. Anschlußplan (Ap)	27
1.3.5. Schaltpläne für Netze und Leitungen	27
1.3.6. Schaltpläne zur Installation	29
2. Allgemeine Aufstellungshinweise für elektrotechnische Anlagen	31
3. Ermittlung elektrischer Belastung und des Energiebedarfs in Elektroenergieanlagen	33
3.1. Ziel der Leistungs- und Energiebedarfsermittlung	33
3.2. Kenngrößen der elektrischen Belastung	35
3.2.1. Anschlußwert	35
3.2.2. Höchstbelastung des Netzes (Höchstlast)	35
3.2.3. Installierte Leistung	36
3.2.4. Maximallast	36
3.2.5. Minimallast	37
3.2.6. Mittellast	37
3.2.7. Versorgungssicherheit	37
3.3. Elektroenergienetze in städtischen Wohngebieten	38
3.4. Mittlerer Leistungsfaktor $\cos \varphi_m$	40
3.5. Industrielle Elektroenergienetze	42
3.5.1. Allgemeines	42
3.5.2. Berechnung mit Bedarfskoeffizienten	42
3.5.3. Berechnung mit der Zweigliederformel	43
3.5.4. Berechnung mit spezifischen Kennziffern	45
3.6. Berechnungsbeispiel „Energiebedarfsermittlung“	46
3.6.1. Berechnung des Anschlußwerts der Kraftanlage	47

4. Stromschienen, Stützer, Wandler und Transformatoren als Bauelemente der Schaltanlage	50
4.1. Stromschienen	51
4.1.1. Allgemeines	51
4.1.2. Schienenprofile	52
4.1.3. Kennzeichnung der Stromschienen (TGL 200-0601/02)	53
4.1.4. Befestigung und Isolierung der Stromschienen	54
4.1.5. Strombelastbarkeit der Stromschienen	56
4.1.6. Längenänderung der Stromschienen infolge von Temperaturänderungen	60
4.1.7. Induktiver Spannungsabfall bei Stromschienen	62
4.2. Wandler für Messung und Schutz	64
4.2.1. Allgemeines	64
4.2.2. Stromwandler (TGL 14151)	65
4.2.3. Spannungswandler (TGL 14151)	70
4.2.3.1. Allgemeines	70
4.2.3.2. Schaltung der Spannungswandler	71
4.2.3.3. Schutzmaßnahmen für Spannungswandler	73
4.3. Transformatoren	73
4.3.1. Allgemeines	73
4.3.2. Der Transformator in der Darstellung als technisches System	74
4.3.3. Wirkungsweise und Zeigerbild des Transformators	75
4.3.4. Berechnung der Kenngrößen und der inneren Wirkungen des Transformators	78
4.3.4.1. Kurzschlußspannung des Transformators	78
4.3.4.2. Widerstände des Transformators	78
4.3.4.3. Verluste und Wirkungsgrad des Transformators	79
4.3.4.4. Kurzschlußstrom und Kurzschlußwinkel des Transformators	79
4.3.4.5. Spannungsänderung des Transformators	81
4.3.4.6. Beispiel 4.5.	81
4.3.5. Innere Schaltungen der Transformatoren und die sich daraus ergebenden Eigenschaften	83
4.3.5.1. Schaltungen und Schaltgruppen	83
4.3.5.2. Sternpunktbelastbarkeit	85
4.3.6. Bauarten und Verwendung der Leistungstransformatoren	86
4.3.6.1. Allgemeines	86
4.3.6.2. Kühlungsarten der Transformatoren	87
4.3.6.3. Einsatz und Verwendungszweck	87
4.3.6.4. Dreiwicklungstransformatoren	90
4.3.7. Parallelbetrieb von Transformatoren	91
4.3.7.1. Bedingungen bei Parallelbetrieb	91
4.3.7.2. Lastübernahme der Transformatoren mit ungleicher Kurzschlußspannung	93
4.3.7.3. Vorschalten von Drosselspulen zum Ausgleich der Lastübernahme	94
4.3.8. Spannungsänderung durch Transformatoren	96
4.3.8.1. Längs- und Querspannungsabfall	96
4.3.8.2. Längsänderung	96
4.3.8.3. Queränderung	97
5. Berechnung der Kurzschlußfestigkeit von Schaltanlagen ohne Kenntnis der Kurzschlußleistung in den einzelnen Kraftwerken	100
5.1. Allgemeines	100
5.2. Kurzschlüsse in Mittelspannungs- und Hochspannungsanlagen	101

5.3.	Kurzschlüsse in Niederspannungsanlagen	102
5.4.	Berechnung der mechanischen und thermischen Kurzschlußstromfestigkeit von Betriebsmitteln nach TGL 200-0606	106
5.4.1.	Berechnung der mechanischen Kurzschlußstromfestigkeit der Stromschienen und Stützer	106
5.4.1.1.	Berechnung der mechanischen Beanspruchung biegesteifer Leiter	106
5.4.1.2.	Berechnung der Stützpunktkräfte bei biegesteifen Leitern	109
5.4.2.	Berechnung der thermischen Kurzschlußstromfestigkeit der Stromschienen	109
5.4.3.	Mechanische und thermische Kurzschlußstromfestigkeit der Geräte	114
5.4.4.	Thermische Kurzschlußstromfestigkeit von Kabeln	115
5.5.	Begrenzung hoher Kurzschlußströme	117
5.5.1.	Allgemeines	117
5.5.2.	Begrenzung des Kurzschlußstroms durch Widerstandserhöhung	117
5.5.2.1.	Zweckmäßige Auswahl der Betriebsmittel	117
5.5.2.2.	Netzauftrennung durch schaltungstechnische Maßnahmen	118
5.5.2.3.	Strombegrenzungs-drosseln	118
5.5.3.	Begrenzung durch verkürzte Einwirkdauer des Kurzschlußstroms	120
5.5.3.1.	Strombegrenzende Sicherungen	120
5.5.3.2.	Andere Strombegrenzer	120
6.	Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung	121
6.1.	Unfälle infolge elektrischer Durchströmung und deren Auswirkung	121
6.1.1.	Allgemeines	121
6.1.2.	Der Unfallstromkreis	122
6.1.3.	Auswirkungen der Unfälle infolge elektrischer Durchströmung am und im menschlichen Körper	124
6.1.4.	Bekämpfung von Unfällen infolge elektrischer Durchströmung	125
6.2.	Schutzmaßnahmen in elektrotechnischen Anlagen bis 1000 V	125
6.2.1.	Allgemeines	125
6.2.2.	Schutzisolierung	126
6.2.3.	Schutzkleinspannung	127
6.2.4.	Schutztrennung	128
6.2.5.	Schutzleitungssystem	129
6.2.6.	Schutzerdung	130
6.2.7.	Nullung	132
6.2.7.1.	Allgemeines und Anwendung	132
6.2.7.2.	Berechnung des einpoligen Kurzschlußstroms	133
6.2.7.3.	Wichtige Vorschriften für die Durchführung der Nullung	135
6.2.8.	Fehlerspannungs-Schutzschaltung	135
6.2.9.	Fehlerstrom-Schutzschaltung	136
6.2.10.	Trenn-Fehlerstrom-Schutzschaltung	137
6.3.	Erdung in elektrotechnischen Anlagen	139
6.3.1.	Arten der Erdung	139
6.3.1.1.	Allgemeines	139
6.3.1.2.	Schutzerdung	139
6.3.1.3.	Betriebserdung	139
6.3.1.4.	Weitere Erdungen	140
6.3.2.	Bemessung der Erdungsanlagen	140
6.3.2.1.	Schutzerdungsanlagen	140
6.3.2.2.	Betriebserdungsanlagen	141
6.3.3.	Erdungsanlage	142

6.3.3.1.	Bestandteile der Erdungsanlage	142
6.3.3.2.	Erderarten und Erdungsleitungen	142
6.3.4.	Stromdurchflossene Erder	145
6.3.4.1.	Stromausbreitung, Ausbreitungswiderstand und Erdungsspannung	145
6.3.4.2.	Berührungsspannung U_B und Schrittspannung U_s	147
6.3.4.3.	Potentialsteuerung	148
6.3.4.4.	Lagepläne der Erdungsanlage	150
6.3.5.	Berechnung der Erdungsanlagen	150
6.3.5.1.	Zweck und Genauigkeit der Berechnung	150
6.3.5.2.	Der spezifische Erdwiderstand	151
6.3.5.3.	Berechnung der Einzelerder	151
6.3.5.4.	Berechnung von zusammengesetzten Erdern und Kombinations- erdern	152
6.3.6.	Korrosionsschutz	154
6.3.7.	Zusammenschluß und Trennung von Erdungsanlagen	154
6.3.7.1.	Vor- und Nachteile des Zusammenschlusses von Erdungsanlagen	154
6.3.7.2.	Gemeinsame Erdungsanlagen	155
6.3.7.3.	Getrennte Erdungsanlagen	156
7.	Planung und Konstruktion von Schaltanlagen	158
7.1.	Planung der Schalt- und Verteilungsanlagen	158
7.1.1.	Grundsätzliches und Aufgaben einer Schaltanlage	158
7.1.2.	Oberspannungsseitige Anschlußmöglichkeiten	160
7.1.3.	Sammelschienenschaltungen	160
7.1.4.	Schaltungen der Verteilungsanlagen oder Transformatorenstationen	166
7.1.5.	Grundsichtplan der Kraftwerke	167
7.2.	Konstruktion von Schalt- und Verteilungsanlagen	170
7.2.1.	Niederspannungsanlagen	170
7.2.1.1.	Allgemeines	170
7.2.1.2.	Installationsverteilungsanlagen	171
7.2.1.3.	Gekapselte Schalt- und Verteilungsanlagen	171
7.2.1.3.1.	Gußgekapselte Verteilungsanlagen (GNSV)	172
7.2.1.3.2.	Stahlblechgekapselte Verteilungsanlagen (SNV)	173
7.2.1.3.3.	Blechgekapseltes Schienenkanalsystem (BSK)	174
7.2.1.4.	Offene Schalt- und Verteilungsanlagen	174
7.2.1.5.	Schaltsäulen und Schaltpulte	177
7.2.2.	Hochspannungsanlagen	178
7.2.2.1.	Innenraum-Schaltanlagen	178
7.2.2.1.1.	Innenraum-Schaltanlagen in offener Bauweise	179
7.2.2.1.2.	Innenraum-Schaltanlagen in gekapselter Bauweise	180
7.2.2.2.	Hinweise zur Konstruktion von Freiluft-Schaltanlagen	184
7.3.	Gleichstromanlagen	188
7.3.1.	Allgemeines	188
7.3.2.	Stromrichteranlagen	188
7.3.3.	Akkumulatorenanlagen	189
7.4.	Hilfseinrichtungen für Schaltanlagen der Kraft- und Umspannwerke sowie Umspannstationen	191
7.4.1.	Hilfsstromkreise für Steuerung, Meldung und Messung	191
7.4.2.	Heizung und Belüftung	194
7.4.2.1.	Heizung	194
7.4.2.2.	Belüftung	194

8.	Fehlerschutz- und Überwachungseinrichtungen in Starkstromanlagen	197
8.1.	Einleitung	198
8.2.	Fehler und Störungen in Starkstromanlagen und ihre Charakteristik	198
8.2.1.	Allgemeines	198
8.2.2.	Dreipoliger Kurzschluß	199
8.2.3.	Zweipoliger Kurzschluß	200
8.2.4.	Einpoleger Kurzschluß	201
8.2.5.	Einpolege Erdkurzschlüsse	201
8.2.6.	Kurzschluß mit Erdberührung und mehrpolige Erdkurzschlüsse	203
8.2.7.	Doppelerdschluß	204
8.2.8.	Erdschluß	206
8.2.9.	Abschließende Betrachtungen zu den Fehlerarten	207
8.3.	Grundbegriffe der Relaisstechnik	208
8.3.1.	Arten der Relais	208
8.3.1.1.	Allgemeiner Begriff Relais	208
8.3.1.2.	Meßrelais	208
8.3.1.3.	Zeitrelais.	209
8.3.1.4.	Richtungsrelais	209
8.3.1.5.	Melderelais	209
8.3.1.6.	Hilfsrelais	210
8.3.1.7.	Auslöser und Auslöserarten	210
8.3.1.7.1.	Primärauslöser	210
8.3.1.7.2.	Sekundärauslöser	210
8.3.1.8.	Schutzrichtungen	211
8.3.2.	Wichtige Kenngrößen der Relais	211
8.3.2.1.	Nennspannung	211
8.3.2.2.	Anzugswert und Abfallwert	211
8.3.2.3.	Halteverhältnis	211
8.3.2.4.	Zeitbegriffe.	211
8.3.2.5.	Leistungsaufnahme	212
8.3.2.6.	Kontaktströme	212
8.3.3.	Relaiskontakte	212
8.3.4.	Meßverfahren in der Schutztechnik	213
8.4.	Arten und Anwendung des Netzschutzes	213
8.4.1.	Allgemeines	213
8.4.2.	Der Überstromschutz	214
8.4.2.1.	Der thermische Überstromschutz	214
8.4.2.2.	Unverzögerte elektromagnetische Überstromrelais	216
8.4.2.3.	Kombinierter elektromagnetischer und thermischer Überstromschutz	217
8.4.2.4.	Elektromagnetische Überstromrelais für verzögerte Auslösung	218
8.4.2.5.	Übersicht über die Anwendung des Überstromschutzes	221
8.4.3.	Der gerichtete Überstromschutz.	223
8.4.4.	Richtungsrelais	226
8.4.4.1.	Allgemeines	226
8.4.4.2.	Prinzip und Aufbau der Leistungsrichtungsrelais	227
8.4.4.3.	Auswahl von Strom und Spannung bei einpoliger Messung	229
8.4.4.4.	Richtungsrelais für mehrpolige Messungen	231
8.4.4.5.	Elektronisches Erdschlußrichtungsrelais	231
8.4.5.	Maschennetzrelais	232
8.4.6.	Distanzschutz	235
8.4.6.1.	Allgemeines	235
8.4.6.2.	Grundsätzliche Arbeitsweise des Distanzschutzes	236

8.4.6.3.	Auslösekennlinien des Distanzschutzes	238
8.4.6.4.	Die Messung der Impedanz bei verschiedenen Fehlerarten	238
8.4.6.5.	Distanzmessung und Konstruktion des Meßgliedes.	241
8.4.6.6.	Verhalten des Distanzrelais bei Energiependelung	245
8.4.6.7.	Konstruktion der Distanzrelais	246
8.4.7.	Vergleichsschutz	252
8.4.7.1.	Allgemeines	252
8.4.7.2.	Längsvergleichsschutz	252
8.4.7.3.	Quervergleichsschutz	253
8.4.8.	Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet des Netzschutzes	254
8.5.	Generatorschutz	255
8.5.1.	Allgemeines zum Generatorschutz	255
8.5.2.	Entregungseinrichtungen	256
8.5.2.1.	Allgemeines	256
8.5.2.2.	Feldschwächung	256
8.5.2.3.	Schwingungsentregung	257
8.5.3.	Ständererdschlußschutz für Generatoren	258
8.5.3.1.	Auswirkungen des Ständererdschlusses	258
8.5.3.2.	Ständererdschlußschutz für Generatoren, die das Netz über einen Blocktransformator speisen	259
8.5.3.3.	Ständererdschlußschutz für Generatoren, die die Sammelschienen unmittelbar speisen	263
8.5.3.3.1.	Selektivität	263
8.5.3.3.2.	Erdschlußschutz für Generatoren, die auf ein ungelöschtes Netz mit großem Erdschlußstrom arbeiten	265
8.5.3.3.3.	Erdschlußschutz für Generatoren, die auf ein gelöschtes Netz mit kleinem Erdschlußstrom arbeiten	265
8.5.3.4.	Dreiphasen-Erdungstransformator	271
8.5.3.5.	Erdschlußschutz mit Drehspulrelais	272
8.5.4.	Läufererdschlußschutz für Generatoren	272
8.5.4.1.	Entstehung und Auswirkung des Läufererdschlusses	272
8.5.4.2.	Läufererdschlußschutz	272
8.5.5.	Turbinenrückleistungsschutz	274
8.5.6.	Wicklungsschlußschutz für Generatoren	274
8.5.6.1.	Allgemeines	274
8.5.6.2.	Das stabilisierte Differentialrelais	275
8.5.6.3.	Differentialschutz für Generatoren in Dreieckschaltung	276
8.5.7.	Schutz gegen Windungsschluß im Generator	276
8.5.8.	Überwachung der Wicklungstemperatur	277
8.5.9.	Schiefastschutz	277
8.5.10.	Distanzschutz für Generatoren	278
8.6.	Transformatorschutz	278
8.6.1.	Allgemeines	278
8.6.2.	Temperaturschutz	279
8.6.3.	Buchholzschutz	279
8.6.4.	Differentialschutz für Transformatoren	280
8.6.4.1.	Besonderheiten und Anwendungsbereich	280
8.6.4.2.	Verwendung von Ausgleichwandlern für den Differentialschutz	282
8.6.5.	Differentialschutz für Generatoren und Transformatoren in Blockschaltung	282
8.6.6.	Differentialschutz RQS 4.	283
8.6.6.1.	Anwendung und Aufbau des Schutzes RQS 4	283
8.6.6.2.	Wirkungsweise	285
8.6.7.	Schutz der Transformatoren und Generatoren gegen äußere Fehler	290

8.7.	Staffelzeitkennlinien und Staffelpäne	290
8.7.1.	Allgemeines über Zeitstaffelung	290
8.7.2.	Staffelung im Distanzschutz	291
8.7.3.	Staffelplan eines Kraftwerks	293
9.	Kompensierung der Blindleistung in Starkstromanlagen	294
9.1.	Blindleistungsverbraucher in Starkstromanlagen	295
9.1.1.	Allgemeines	295
9.1.2.	Reihenblindleistungsverbraucher	295
9.1.3.	Gemischte Parallel- und Reihenblindleistung	296
9.2.	Auswirkung der Blindleistung auf die Energieerzeugung und -verteilung.	297
9.2.1.	Strombelastung der Leitungen und sonstiger Übertragungsglieder	297
9.2.2.	Verlustleistung	297
9.2.3.	Generatoren	298
9.2.4.	Spannungsabfall	298
9.2.5.	Ökonomische Betrachtungen	298
9.2.5.1.	Ausnutzung der Grundmittel	298
9.2.5.2.	Berücksichtigung des Blindleistungsverbrauchs im Elektroenergie- tarif	299
9.3.	Verbesserung des Leistungsfaktors	300
9.3.1.	Begrenzung der Blindleistung ohne Phasenschieber	300
9.3.2.	Kompensierung der Blindleistung durch rotierende Phasenschieber	301
9.3.2.1.	Allgemeines	301
9.3.2.2.	Wirkungsweise des synchronen Phasenschiebers	301
9.3.2.3.	Anlauf und Verwendung des synchronen Phasenschiebers	302
9.3.3.	Kompensierung der Blindleistung durch Kondensatoren	303
9.3.3.1.	Allgemeines und Wirkungsweise	303
9.3.3.2.	Schaltung und Leistung	304
9.3.3.3.	Varianten der Kondensatorfelder in Anlagen bis 660 V und ihre Kombinierbarkeit	304
9.3.3.4.	Berechnung der erforderlichen Kompensationsleistung	305
9.3.4.	Technischer und ökonomischer Vergleich der Phasenschieberarten	308
9.4.	Einsatz der Kondensatoren in Industrieanlagen und in den Energieverteilungs- netzen	309
9.4.1.	Arten der Kompensation	309
9.4.1.1.	Einzelkompensation	309
9.4.1.2.	Gruppenkompensation	310
9.4.1.3.	Zentralkompensation	310
9.4.1.4.	Gemischte Kompensation	311
9.4.2.	Kondensatoren in Industrieanlagen	311
9.4.3.	Kondensatoren im Energieverteilungsnetz	313
9.4.3.1.	Allgemeines	313
9.4.3.2.	Netzverstärkung durch Kondensatoren	313
9.4.3.3.	Möglichkeit der Spannungsregelung mit Hilfe von Kondensatoren	314
9.4.3.4.	Ökonomischer Nutzen der Blindleistungskompensation im Höchst- spannungsnetz	314
9.5.	Technische Besonderheiten zum Betrieb und zur Planung von Kondensatoren- anlagen	314
9.5.1.	Schalten der Kondensatoren	314
9.5.1.1.	Zuschalten eines einzelnen Kondensators	314
9.5.1.2.	Parallelschalten von Kondensatoren	317
9.5.1.3.	Ausschalten und Entladen der Kondensatoren	322
9.5.2.	Resonanzerscheinung durch Kondensatoren	324

9.5.2.1.	Allgemeines über Resonanz	324
9.5.2.2.	Parallelresonanz	325
9.5.2.3.	Reihenresonanz	326
9.5.2.4.	Spannungen und Ströme durch Oberschwingungen	327
9.5.2.5.	Schutzmaßnahmen gegen die Auswirkungen der Reihenresonanz mit Oberschwingungen	330
9.5.3.	Regelung der Blindleistung	332
9.5.3.1.	Allgemeines	332
9.5.3.2.	Steuerung durch Schaltuhren und Stromrelais	333
9.5.3.3.	Regelung der Blindleistung mit dem Blindleistungsregler eBR	333
9.5.4.	Schutz der Kondensatoren und Kondensatorenanlagen	335
9.5.4.1.	Allgemeines	335
9.5.4.2.	Überlastungsschutz und Kurzschlußschutz	335
9.5.4.3.	Überspannungsschutz für Kondensatorenanlagen	336
9.5.4.4.	Aufbauchungsschutz	336
10.	Der Projektierungsprozeß zur Vorbereitung der Produktion von Elektroanlagen	337
10.1.	Die Aufgaben im Projektierungsprozeß des Elektroanlagenbaus	337
10.2.	Die Projektierung der Elektroanlage und ihre Einordnung in das Investitions- geschehen	338
10.3.	Die Struktur des Projektierungsprozesses und seine Bestandteile	341
10.4.	Die Rationalisierung der Projektierungsarbeit.	344
10.4.1.	Notwendigkeit und Möglichkeiten der Rationalisierung der Projek- tierung im Elektroanlagenbau	344
10.4.2.	Methoden der Grundrationalisierung	345
10.4.3.	Katalogprojektierung	346
10.4.4.	Einsatz der EVD in der Projektierung	348
11.	Literaturverzeichnis	352
12.	Sachwörterverzeichnis	357