

Inhaltsverzeichnis

0. Einführung	11
1. Ein- und Ausschalten von Stromkreisen	13
1.1. Einschaltvorgänge in Gleich- und Wechselstromkreisen	13
1.1.1. Einschalten eines Gleichstromes	13
1.1.2. Einschalten eines Wechselstromes	14
1.2. Ausschaltvorgänge in Gleich- und Wechselstromkreisen	17
1.2.1. Ausschalten eines Gleichstromes	17
1.2.2. Ausschalten eines Wechselstromes	18
1.3. Besonderheiten des Ein- und Ausschaltens in Drehstromkreisen	21
1.4. Beanspruchung der Schaltgeräte in Betriebs- und Störungsfällen	22
2. Einteilung der Schaltgeräte	25
2.1. Kontaktgebende Schaltgeräte für Spannungen bis 1 000 V und ihre Merkmale	25
2.2. Kontaktgebende Schaltgeräte für Spannungen über 1 000 V und ihre Merkmale	26
2.3. Kontaktlose Schaltgeräte	27
2.4. Elektrische Kenngrößen und Zeitbegriffe	27
2.5. Vorschriftenwerke	29
3. Physikalische Grundlagen des Schaltlichtbogens	31
3.1. Lichtbögen in Gasen	31
3.1.1. Lichtbogensäule	32
3.1.2. Elektrodennahe Gebiete des Lichtbogens	36
3.1.2.1. Vorgänge im Katodengebiet	36
3.1.2.2. Zustand der emittierenden Katode	40
3.1.2.3. Vorgänge im Anodengebiet	43
3.1.3. Plasmaströmung	45
3.1.4. Leistungsumsatz des Lichtbogens	46
3.1.5. Lichtbogencharakteristik	49
3.1.5.1. Statische Kennlinie	50
3.1.5.2. Dynamisches Lichtbogenverhalten	51
3.2. Lichtbögen im Vakuum	54
3.3. Lichtbögen in anderen Medien	55
4. Maßnahmen zur Beeinflussung und Löschung des Schaltlichtbogens	58
4.1. Wanderung und Verlängerung des Lichtbogens	58
4.1.1. Verharrzeit und Wanderungsbeginn	58
4.1.2. Wanderung freibrennender Lichtbögen im transversalen Magnetfeld	60
4.1.2.1. Grundlegende Zusammenhänge	60
4.1.2.2. Bogenwanderung auf nichtferromagnetischen Laufelektroden mit rechteckigem Querschnitt	62

4.1.2.3.	Bogenwanderung auf ferromagnetischen Lauelektroden mit rechteckigem Querschnitt	64
4.1.2.4.	Einfluß von Elektrodenmaterial und Oberflächenbeschaffenheit	66
4.1.2.5.	Wanderung bei kleinem Elektrodenabstand	67
4.1.3.	Wanderung von Lichtbögen zwischen Isolierstoffwänden im transversalen Magnetfeld	69
4.1.3.1.	Wanderung in Schaltkammern mit $s > d$	69
4.1.3.2.	Wanderung in Schaltkammern mit $s < d$	70
4.1.4.	Lichtbogenverlängerung zwischen divergierenden Laufschiene	72
4.1.5.	Verstärkung des Eigenmagnetfeldes	73
4.2.	Beeinflussung der Lichtbogenspannung	74
4.3.	Lichtbogenlöschung und Lichtbogenlöscheinrichtungen	77
4.3.1.	Grundlegende Zusammenhänge	77
4.3.1.1.	Formulierung der Lichtbogenlöschbedingungen	77
4.3.1.2.	Vorausbestimmung der Löschgrenzen von Schaltern	81
4.3.1.3.	Überblick über Lichtbogenlöschmethoden	82
4.3.2.	Lichtbogenlöschung ohne besondere Löscheinrichtungen	84
4.3.3.	Lichtbogenlöschung in Isolierstoffspaltkammern	85
4.3.4.	Lichtbogenlöschung in Löschblechkammern	88
4.3.4.1.	Lichtbogen vor der Aufteilung	88
4.3.4.2.	Aufteilung des Lichtbogens	90
4.3.4.3.	Löschung des Lichtbogens	93
4.3.4.4.	Dimensionierung der Löschblechkammer	97
4.3.5.	Lichtbogenlöschung in Flüssigkeiten	100
4.3.5.1.	Lichtbogenlöschung in Strömungslöschkammern	101
4.3.5.2.	Lichtbogenlöschung in Expansionslöschkammern	104
4.3.6.	Lichtbogenlöschung durch strömende Gase	104
4.3.6.1.	Löschgase	105
4.3.6.2.	Löschkammerausführungen	106
4.3.7.	Lichtbogenlöschung im Vakuum	110
5.	Grundlagen des elektrischen Kontaktes und der Gestaltung von Kontaktstücken	112
5.1.	Physikalische Grundlagen des elektrischen Kontaktes	112
5.1.1.	Kontaktwiderstand und Kontakttemperatur	112
5.1.1.1.	Kontaktberührungsfläche	112
5.1.1.2.	Kontaktmodelle	114
5.1.1.3.	Einfluß der Kontaktkraft	119
5.1.1.4.	Kontaktstück erwärmung	119
5.1.1.5.	Fremdschichtwiderstand	122
5.1.2.	Kontaktverschweißung	123
5.1.2.1.	Statisches Schweißen	124
5.1.2.2.	Dynamisches Schweißen	128
5.1.2.3.	Werkstoffabhängigkeit des Schweißens	130
5.1.3.	Schaltstückabbrand	131
5.1.3.1.	Abhängigkeit des Abbrandes von elektrischen und geometrischen Verhältnissen	132
5.1.3.2.	Abhängigkeit vom Umgebungsmedium	134
5.1.3.3.	Werkstoffabhängigkeit des Abbrandes	135
5.2.	Kontaktwerkstoffe	137
5.2.1.	Kontaktwerkstoffe in symmetrischer Paarung	137
5.2.2.	Kontaktwerkstoffe in unsymmetrischer Paarung	139
5.2.3.	Kontaktwerkstoffe zum Schalten unter Vakuum	139

5.2.4.	Entwicklungstendenzen bei Kontaktwerkstoffen	141
5.3.	Gestaltung von Kontaktstücken	141
5.3.1.	Feste Kontaktstückverbindungen	141
5.3.1.1.	Gestaltungsgrundsätze	141
5.3.1.2.	Bemessungsrichtlinien und Ausführungsbeispiele	142
5.3.2.	Betriebsmäßig geschlossene Kontaktstückverbindungen, die gelegentlich stromlos geöffnet werden	144
5.3.2.1.	Gestaltungsgrundsätze	144
5.3.2.2.	Bemessungsrichtlinien und Ausführungsbeispiele	144
5.3.3.	Schaltstücke	147
5.3.3.1.	Gestaltungsgrundsätze	147
5.3.3.2.	Bemessungsrichtlinien und Ausführungsbeispiele	152
6.	Elektronische Lösung der Schaltfunktion	155
6.1.	Grundlegende Zusammenhänge	155
6.2.	Ausführungsbeispiele	157
6.2.1.	Hybridschütze	157
6.2.2.	Strombegrenzende Leistungsschalter	158
6.3.	Perspektivische Entwicklung	160
7.	Elektrodynamische Kräfte zwischen stromführenden Leitern	161
7.1.	Grundlegende Zusammenhänge	161
7.2.	Kräfte in speziellen Leiterkonfigurationen	165
7.2.1.	Flexible Strombänder	165
7.2.2.	Elektrodynamische Abhebung der Schaltstücke	166
7.2.3.	Numerisches Verfahren zur Berechnung elektrodynamischer Kraftwirkungen	167
8.	Technische Ausführung kontaktgebender Schaltgeräte für Spannungen bis 1 000 V	170
8.1.	Leistungsschalter	170
8.1.1.	Wirkungsweise und konstruktive Ausführung	170
8.1.1.1.	Überblick	170
8.1.1.2.	Konstruktiver Aufbau	175
8.1.1.3.	Rechnergestützte Entwicklung	184
8.1.2.	Verhalten in der Anlage	186
8.1.2.1.	Schaltvermögen und Ausschaltverhalten	186
8.1.2.2.	Selektiver Anlagenschutz	190
8.2.	Schütze	193
8.2.1.	Wirkungsweise und konstruktive Ausführung	193
8.2.1.1.	Überblick	193
8.2.1.2.	Konstruktiver Aufbau	200
8.2.2.	Einfluß konstruktiver Merkmale auf das Betriebsverhalten	204
8.3.	Motorschutzschalter	210
8.4.	Leitungsschutzschalter	211
8.5.	Fehlervoltage- und Fehlerstrom-Schutzschalter	212
8.6.	Weitere Schaltgerätearten	214

9. Technische Ausführung kontaktgebender Schaltgeräte für Spannungen über 1000 V	215
9.1. Leistungsschalter	215
9.1.1. Wirkungsweise und konstruktive Ausführung	215
9.1.1.1. Überblick	215
9.1.1.2. Konstruktiver Aufbau	218
9.1.2. Verhalten in der Anlage	229
9.1.2.1. Schalterbeanspruchung	229
9.1.2.2. Weitere anlagenseitige Erfordernisse	232
9.2. Trennschalter und Lasttrennschalter	233
9.2.1. Überblick	233
9.2.2. Konstruktiver Aufbau von Trennschaltern	233
9.2.3. Konstruktiver Aufbau von Lasttrennschaltern	235
10. Hochleistungsicherungen	240
10.1. Überblick	240
10.2. Konstruktiver Aufbau	244
10.3. Kombination von Sicherung und Schalter	248
10.4. Selëktivität zwischen Sicherungen	249
11. Technische Ausführung von Auslösern und Relais an Schaltgeräten	250
11.1. Grundlegende Zusammenhänge	250
11.2. Erfordernisse des Motorschutzes	251
11.3. Überstromauslöser	255
11.3.1. Thermisch verzögerte Überstromauslöser	255
11.3.1.1. Überblick	255
11.3.1.2. Ausbiegung und Kraftwirkung von Thermobimetallstreifen bei Erwärmung	258
11.3.1.3. Konstruktiver Aufbau	262
11.3.2. Temperaturfühler	265
11.3.3. Elektromagnetische Überstromauslöser	266
11.3.4. Überstromauslöser auf elektronischer Grundlage	269
11.3.4.1. Überblick	269
11.3.4.2. Technische Ausführung	271
11.4. Hilfsauslöser	274
11.4.1. Arbeitsstromauslöser	274
11.4.2. Ruhestromauslöser	275
12. Prüfung der Schaltgeräte	277
12.1. Überblick	277
12.2. Prüfvorschriften	279
12.3. Nachweis der Schaltereigenschaften bei Typprüfungen	280
12.3.1. Nachweis der mechanischen Zuverlässigkeit	280
12.3.2. Nachweis der mechanischen Funktion	282
12.3.3. Nachweis des Einschalt- und Ausschaltvermögens	282
12.3.4. Nachweis der elektrischen Lebensdauer	285
12.3.5. Nachweis des Kurzschlußeinschalt- und -ausschaltvermögens	286
12.3.6. Nachweis der Kurzzeitstromtragfähigkeit	288
12.3.7. Nachweis der Einhaltung der für die Erwärmung festgelegten Grenzen	288

12.3.8.	Nachweis der Isolationsfestigkeit	290
12.4.	Prüfmethoden und Prüfstromkreise	291
12.4.1.	Prüfung von Niederspannungsschaltgeräten	291
12.4.2.	Prüfung von Hochspannungs-Leistungsschaltern	293
12.4.2.1.	Direkte und synthetische Prüfung des Ausschaltvermögens	293
12.4.2.2.	Einschwingspannung	295
13.	Formelzeichenverzeichnis	298
14.	Literaturverzeichnis	300
15.	Sachwörterverzeichnis	310