

Inhaltsverzeichnis

0	Einführung	1
	von M. Lindmayer	
1	Physikalische Grundlagen	3
	von R. Zückler ¹	
1.1	Der elektrische Lichtbogen	3
1.1.1	Die Bogensäule	3
1.1.2	Elektrodengebiete	4
1.1.3	Materialdaten der Bogensäule	5
1.1.4	Näherungen	11
1.1.4.1	Kanalmodell	11
1.1.4.2	Enthalpieflüßmodelle	12
1.1.5	Die stationäre Lichtbogenkennlinie	14
1.1.6	Der Wechselstrombogen	15
1.1.6.1	Grundsätzliches	15
1.1.6.2	Theorie des dynamischen Bogens. Wechselwirkung Bogen-Netz	16
1.1.7	Bogenbewegung unter dem Einfluß äußerer Kräfte	19
1.1.7.1	Strömungskräfte	20
1.1.7.2	Bogenbewegung im Magnetfeld*	20
1.1.7.3	Plasmastrahlen, magnetischer Druck	23
1.1.8	Bogenverhalten in Düsen von Hochspannungs-Hochleistungsschaltern. Wechselwirkung mit Strömung und Antrieb	24
1.1.8.1	Düsenverstopfung, Rückstau	25
1.1.8.2	Wechselwirkung mit dem Antrieb	27
1.1.9	Elektrodeneffekte*	27
1.1.9.1	Bogenspannung*	27
1.1.9.2	Löschung durch Elektrodeneffekte (Selbstlöschung, Sofortverfestigung)*	27
1.1.10	Vakuumbogen	31
1.1.10.1	Entladungsarten im Vakuum	32
1.1.10.2	Wirkung von Magnetfeldern	33
1.1.10.3	Einfluß des Kontaktmaterials	35
1.1.11	Dielektrische Wiederverfestigung	35

VIII Inhaltsverzeichnis

1.1.12	Der Lichtbogen als Schaltelement. Zum Löschvorgang in verschiedenen Schaltern	36
1.1.12.1	Gasschalter	38
1.1.12.2	Schalter mit selbsterzeugtem Löschmittel (Ölschalter, Wasserschalter, Hartgasschalter, Sicherungen)	40
1.1.12.3	Vakuumschalter	40
1.1.12.4	Niederspannungsschalter*	41
1.2	Kontaktphysik	46
1.2.1	Scheinbare und wirkliche Berührungsfläche	46
1.2.1.1	Flächenkontakte	46
1.2.1.2	Punktkontakte	46
1.2.2	Kontaktwiderstand	47
1.2.2.1	Metallischer Kontakt	47
1.2.2.2	Quasimetallischer Kontakt	47
1.2.2.3	Kontaktstellen mit störenden Fremdschichten	47
1.2.3	Engewiderstand	48
1.2.3.1	Elektrischer Widerstand einer Strommenge	48
1.2.3.2	Erwärmung von Stromengen	48
1.2.4	Die Kontaktkraft	50
1.2.4.1	Aufgaben der Kontaktkraft	50
1.2.4.2	Abhängigkeit des Kontaktwiderstandes von der Kontaktkraft	51
1.2.5	Erwärmung von Kontakten (und Wänden) durch stromstarke Lichtbögen	52
1.2.6	Kontaktwerkstoffe*	53
1.2.6.1	Anforderungen an Kontaktwerkstoffe der Energietechnik*	53
1.2.6.2	Kontaktwerkstoffe der Energietechnik und ihre Anwendung*	56
	Literatur zu Kapitel 1	61
2	Beanspruchung und Anforderungen	65
	von H. Schramm	
2.1	Schaltvorgänge	65
2.1.1	Anforderungen an Schaltgeräte	65
2.1.2	Einschalten eines Kurzschlußkreises	66
2.1.3	Ausschalten eines Kurzschlusses	68
2.1.3.1	Einphasiger Klemmenkurzschluß	68
2.1.3.2	Klemmenkurzschluß in Drehstromkreisen	71
2.1.3.3	Abstandskurzschluß in Hoch- und Mittelspannungsnetzen	76
2.1.3.4	Kurzunterbrechung	78
2.1.3.5	Phasenopposition	79
2.1.4	Ausschalten kleiner induktiver Ströme	81
2.1.5	Kapazitiver Stromkreis	82
2.1.5.1	Einpolige Ausschaltung, Rückzündung und Wiederzündung	82
2.1.5.2	Dreipolige Ausschaltung	85
2.1.5.3	Einschalten einer Kapazität	86
2.1.5.4	Parallelschalten von Kondensatoren	88

2.1.6	Strombegrenzende Schalter, Gleichstromschalter	89
2.1.6.1	Erhöhung der Lichtbogenspannung	89
2.1.6.2	Schalter mit Parallelzweigen	90
2.1.7	Schaltleistungsprüfung	91
2.2	Stromtragfähigkeit und Erwärmung	94
2.3	Zuverlässigkeit, Fehlerraten	97
2.4	Zusammenstellung von VDE-Bestimmungen für Schaltgeräte	99
2.4.1	Bestimmungen für Niederspannungsschaltgeräte	99
2.4.2	Bestimmungen für Wechselstrom-Schaltgeräte für Spannungen über 1 kV	100
	Literatur zu Kapitel 2	101
3	Niederspannungsschaltgeräte	102
	von F. Edlmayr, G. Rauter, P. Strop	
3.1	Allgemeines	102
3.1.1	Einführung	102
3.1.2	Einteilung der Niederspannungsschaltgeräte	102
3.1.3	Geräteeigenschaften und Kenngrößen	103
3.1.3.1	Nennspannung und Nennfrequenz	103
3.1.3.2	Nennströme	105
3.1.3.3	Erwärmung	107
3.1.3.4	Nennbetriebsarten	107
3.1.3.5	Nenneinschalt- und Nennausschaltvermögen	109
3.1.3.6	Überlastfestigkeit von Schützen	114
3.1.3.7	Gebrauchskategorien	114
3.1.3.8	Lebensdauer und Schalthäufigkeit	116
3.1.3.9	Einsatzgrenzen	122
3.2	Aufbau und Wirkungsweise ausgewählter Niederspannungsschaltgeräte	124
3.2.1	Grundsätzlicher Aufbau von Schaltgeräten	124
3.2.2	Schaltgeräte für Hauptstromkreise	125
3.2.2.1	Trenner, Lastschalter, Lasttrenner	125
3.2.2.2	Motorschalter	126
3.2.2.3	Schütze	127
3.2.2.4	Leistungsschalter	136
3.2.2.5	Sicherungen für Nieder- und Hochspannung	140
3.2.2.6	Schutzgeräte	147
3.2.2.7	Selektivität zwischen Schaltgeräten	155
3.2.2.8	NOT-AUS-Einrichtung und Hauptschalter	157
3.2.3	Schaltgeräte für Hilfsstromkreise	158
3.2.3.1	Drucktaster und Leuchtmelder	159
3.2.3.2	Positionsschalter	160
3.2.3.3	Hilfsschütze	164
3.2.3.4	Zeitrelais	165
	Literatur, Bestimmungen und Normen zu Kapitel 3	167

4	Hochspannungsschaltgeräte	169
	von G. F. Luxa und R. Prätsch	
4.1	Dielektrische Beanspruchungen (G. F. Luxa)	169
4.1.1	Definitionen und Prüfanordnungen	169
4.1.1.1	Arten der Isolation	169
4.1.1.2	Arten der Spannungsbeanspruchung	170
4.1.1.3	Isolationskoordination	171
4.1.1.4	Arten der dielektrischen Prüfungen	171
4.1.1.5	Ermittlung der Stehspannungen bei Stoßspannungsprüfungen	173
4.1.1.6	Berücksichtigung der atmosphärischen Bedingungen bei der Prüfung der äußeren Isolation	175
4.1.1.7	Berücksichtigung der Aufstellungshöhe	176
4.1.1.8	Prüfungen unter Regen	176
4.1.1.9	Prüfungen bei künstlicher Verschmutzung	177
4.1.2	Bemessung von Hochspannungsschaltgeräten und Stützern für Betriebsspannungen bis 72 kV	177
4.1.2.1	Bemessung der Isolation bei normalen Bedingungen	177
4.1.2.2	Bemessung der Isolation bei erschwerten Bedingungen	178
4.1.2.3	Teilentladungsprüfungen	178
4.1.3	Bemessung von Hochspannungsschaltgeräten und Stützern für Betriebsspannungen über 72 kV	178
4.1.4	Umwelteinflüsse auf die Freiluftisolation	178
4.1.4.1	Fremdschichteneinflüsse	178
4.1.4.2	Fremdschichtprüfverfahren	181
4.1.4.3	Industriefremdschicht-Prüfverfahren	181
4.1.4.4	Salznebel-Prüfverfahren	181
4.1.4.5	Höchster Ableitstromimpuls als Kenngröße	181
4.1.4.6	Isolatorbemessung hinsichtlich Verschmutzung	182
4.1.5	Der Einfluß von Schaltspannungen auf die äußere Isolationsbemessung in Luft	184
4.1.5.1	Allgemeines	184
4.1.5.2	Prüfung mit Schaltstoßspannung	185
4.1.5.3	Bemessungswerte	186
4.1.6	SF₆-Druckgasisolation bei metallgekapselten Geräten	187
4.1.6.1	Eigenschaften von Schwefelhexafluorid	187
4.1.6.2	Bemessungsgrundlagen	189
4.1.6.3	SF₆ in Verbindung mit Feststoffisolatoren	190
4.2	Gestaltung der Hochspannungsschaltgeräte (R. Prätsch)	190
4.2.1	Schaltgeräte für Anlagen mit Luft als äußere Isolation	191
4.2.1.1	Leistungsschalter	191
4.2.1.2	Trenn- und Erdungsschalter	220
4.2.1.3	Lastschalter und Lasttrennschalter	223
4.2.2	Schaltgeräte für Anlagen mit Druckgasisolierung	228
4.2.3	Schaltgeräte für Anlagen mit Feststoffisolierung	237
	Literatur zu Kapitel 4	240