

Inhaltsverzeichnis

1	Geltungsbereich	11
2	Anforderungen an die Schutztechnik, Wandler und Leistungsschalter ...	12
2.1	Grundanforderungen an Schutzsysteme	12
2.2	Reserveschutzkonzepte	13
2.2.1	Ortsferner Reserveschutz	14
2.2.2	Örtlicher Reserveschutz	14
2.2.3	Schutzdopplung - Schutzsystem 1 und 2	14
2.3	Wandler	14
2.3.1	Anforderungen an Strom- und Spannungswandler.....	14
2.3.1.1	Induktive Stromwandler.....	15
2.3.1.2	Induktive Spannungswandler	24
2.3.1.3	Kapazitive Spannungswandler	27
2.3.1.4	Nichtkonventionelle Wandler	27
2.4	Leistungsschalter	29
2.4.1	Anforderungen an Leistungsschalter	29
3	Sternpunktbehandlung der Netze	33
3.1	Netz mit isoliertem Sternpunkt	33
3.2	Netz mit Erdschlusskompensation	33
3.3	Netz mit niederohmiger Sternpunkterdung	36
3.4	Netz mit vorübergehender niederohmige Sternpunkterdung	36
4	Netzbetriebsweise	37
4.1	Strahlennetz	37
4.2	Ringnetz	38
4.3	Vermaschte Netze	39
4.4	Gemischte Netze	41
4.5	Normal- und Sonderschaltzustände	42
5	Technische Anforderungen und Normen	43
5.1	Kurzschlussstromanforderungen an Betriebsmittel	43
5.2	Belastbarkeit von Betriebsmitteln	44
5.3	Netzcodes und Verbandsrichtlinien	45
5.3.1	TransmissionCode	46
5.3.2	DistributionCode	47

5.3.3	TOR (Österreich)	48
5.3.4	EEG-Erzeugungsanlagen am Hoch- und Höchstspannungsnetz.....	48
5.3.5	Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz.....	49
5.4	Normen	49
5.4.1	DIN VDE 0101 „Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen > 1 kV“	50
5.4.2	DIN VDE 0105 „Betrieb von elektrischen Anlagen“.....	50
5.4.3	DIN VDE 0141 „Erdungen für spezielle Starkstromanlagen mit Nennspannung über 1 kV“	51
5.4.4	EN 50160 „Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen“	51
5.4.5	DIN VDE 0435 „Elektrische Relais“	51
6	Eigenschaften der Netze	52
6.1	Höchstspannungsnetze 380 kV und 220 kV	52
6.2	Hochspannungsnetze 110 kV.....	52
6.3	Mittelspannung > 1 kV bis 60 kV	53
7	Schutzfunktionen	54
7.1	Überstromzeitschutz.....	54
7.2	Distanzschutz.....	54
7.3	Vergleichsschutz einschließlich Differenzialschutz	55
7.4	Automatische Wiedereinschaltung (AWE)	56
7.5	Erdschlusserfassung.....	56
7.6	Spannungsschutz	59
7.7	Frequenzschutz.....	59
7.8	Zusatzfunktionen in digitalen Schutzeinrichtungen	59
7.8.1	Unverzögerte Auslösung beim Schalten auf Kurzschluss.....	59
7.8.2	Leistungsschalter-Versagerschutz	60
7.8.3	Leistungsschalter-Zustandserkennung.....	60
7.8.4	Auskreisüberwachung.....	60
7.8.5	Einschaltstabilisierung.....	60
7.8.6	Intermittierender Erdfehlerschutz	61
7.8.7	Synchron- und Einschaltkontrolle	61
7.8.8	Parametersatz- und Kennlinienumschaltung	61
7.8.9	Fehlerortung.....	62
7.8.10	Störwert-, Betriebswert- und Zählwerterfassung.....	62
7.8.11	Überlastschutz	63
7.8.12	Pendelsperre und Pendelfreigabe	63
7.8.13	Sättigungsdetektor	64
7.8.14	Stromabhängige Schnellauslösung des Differenzialschutzes.....	64
7.8.15	Richtungserkennung mit fehlerfremder Spannung (Spannungsspeicher)	64
7.8.16	Not-UMZ-Schutz	65
7.9	Binäre und analoge Schutzsignalübertragung	65

7.9.1	Schutzsysteme mit Übertragung binärer Signale oder Befehle.....	66
7.9.1.1	Mitnahmeverfahren	67
7.9.1.2	Vergleichsverfahren	68
7.9.1.2.1	Freigabeverfahren.....	68
7.9.1.2.2	Blockierverfahren (Sperrverfahren)	70
7.9.2	Schutzsystem mit Übertragung von Analogwerten	71
7.10	Buchholzschutz/Hermetikschutz	73
8	Grundlagen der Schutzeinstellung.....	74
8.1	Anregung.....	74
8.1.1	Kriterien zur Freigabe der Leiter-Erd-Messung.....	74
8.1.2	Anregearten	75
8.1.2.1	Überstromanregung	75
8.1.2.2	Unterimpedanzanregung (elektromechanisch)	76
8.1.2.3	U-I-Anregung mit Stufenkennlinie (mit und ohne Winkelumschaltung)	77
8.1.2.4	U-I- φ -Anregung (digital).....	78
8.1.2.5	Impedanzanregung (digital).....	79
8.1.3	Anregezuverlässigkeit	80
8.1.3.1	Anregesicherheit im Lastbereich	81
8.1.3.2	Anregeverlässlichkeit bei Kurzschlüssen.....	83
8.1.4	Leiterselktive Anregung.....	85
8.1.5	Einstellbeispiel	86
8.1.5.1	Kurzschluss K1	87
8.1.5.2	Kurzschluss K2	88
8.2	Staffelplan	88
8.2.1	Grundsätzliches zum Staffelplan	89
8.2.2	Staffelzeiten	90
8.2.3	Zonenreichweiten allgemein.....	90
8.2.4	Zonenreichweiten für Strahlennetze ohne Zwischeneinspeisung	93
8.2.5	Zonenreichweiten für Doppelleitungen	94
8.2.6	Zonenreichweiten für vermaschte Netze mit Zwischeneinspeisung.....	95
8.2.7	Mehrbeinleitungen.....	96
8.2.8	Staffelung von Kupplungen	97
8.2.8.1	Mittelspannungsanlagen	97
8.2.8.2	Hochspannungsanlagen	97
8.2.8.3	Höchstspannungsanlagen.....	98
8.2.9	Endzeitstaffelung	99
8.2.10	Beispiel eines Staffelplanes	100
8.3	Sonstige Einstellungen.....	102
8.3.1	Lichtbogenreserve.....	102
8.3.2	Erdfaktor	103
9	Anforderungen an Hilfseinrichtungen.....	104
9.1	Hilfsspannungsbereitstellung.....	104
9.1.1	Gleichspannungsversorgung.....	104
9.1.2	Drehstromversorgung	105
9.1.3	Kondensatorauslösung	106
9.1.4	Wandlerstromauslösung.....	107
10	Anschluss und Verkabelung von Messwandlern	108

10.1	Grundsätzliche Anforderungen an Messwandlerkreise	108
10.2	Spannungswandlerkreise	108
10.3	Spannungswandlerschaltungen	108
10.4	Stromwandlerkreise	109
11	Schutz von Leitungen und Kabeln	110
11.1	Signalübertragungsverfahren	110
11.2	Schutz von Höchstspannungsleitungen	110
11.2.1	Anforderungen an die Schutzkonzepte im Höchstspannungsnetz	111
11.2.2	Höchstspannungsleitungsschutz mit Schutzdopplung	111
11.2.3	Höchstspannungsleitungsschutz mit Haupt- und örtlichem Reserveschutz	112
11.2.4	Höchstspannungsleitungsschutz für Zweiidendenleitungen	113
11.2.5	Höchstspannungsleitungsschutz für Mehrendenleitungen	114
11.2.6	Optimierungsmöglichkeiten	115
11.3	Schutz von Hochspannungsleitungen	115
11.3.1	Hochspannungsleitungsschutz für Zweiidendenleitungen	115
11.3.2	Hochspannungsleitungsschutz für Mehrendenleitungen	116
11.3.2.1	Mehrendenleitungen mit zwei aktiven Enden	117
11.3.2.2	Mehrendenleitungen mit mehr als zwei aktiven Enden	118
11.3.3	Optimierungsmöglichkeiten	118
11.4	Schutz von Mittelspannungsleitungen	119
11.4.1	Abgangsschutz	120
11.4.1.1	Strahlennetze	120
11.4.1.2	Zweiseitig gespeiste Leitungen	121
11.4.2	Optimierungsmöglichkeiten	123
12	Schutz von Transformatoren	124
12.1	Schutz von Transformatoren mit $S_n > 100$ MVA	124
12.2	Schutz von Transformatoren mit S_n von 1 MVA bis 100 MVA	127
12.3	Schutz der Mittelspannungsseite von Transformatoren mit Unterspannung bis 1 kV	128
12.4	Tabellarische Zusammenfassung der Transformatorschutzeinrichtungen	130
12.5	Schutz von Erdschlusslöschspulen	131
12.6	Schutz von Sternpunktwideständen	132
12.7	Optimierungsmöglichkeiten	133
13	Anlagenschutz	135
13.1	Schutz von Kupplungen	135
13.1.1	Kupplungsschutz in Hoch- und Höchstspannungsnetzen	135
13.1.2	Kupplungsschutz in Mittelspannungsnetzen	137

13.2	Sammelschienenschutz	137
13.2.1	Sammelschienenschutz in Höchstspannungsanlagen.....	137
13.2.2	Sammelschienenschutz in Mittelspannungsanlagen	138
13.3	Schalerversagerschutz	141
13.3.1	Schalerversagerschutz in Höchstspannungsanlagen	141
13.3.2	Schalerversagerschutz in Hochspannungsanlagen	142
13.3.3	Schalerversagerschutz in Mittelspannungsanlagen.....	142
13.4	Optimierungsmöglichkeiten	144
14	Schutz von Kompensationsdrosselanlagen und Kondensatorbänken ..	145
15	Systemschutz (Frequenzschutz)	149
16	Schutz am Netzanschlusspunkt	150
16.1	Schutz von Erzeugungsanlagen	150
16.1.1	Schnittstellen zum Blockschutz	150
16.2	Schutz von Kundenanlagen ohne Erzeugungsanlagen	151
16.2.1	Hoch- und Höchstspannung.....	151
16.2.2	Übergabestationen am MS-Netz	152
17	Erdschlusserfassung	153
17.1	Erdschlusserfassung in galvanisch verbundenen Netzen	153
17.2	Selektive Erdschlusserfassung	155
18	Empfehlungen für die Inbetriebnahme und Instandhaltung von Schutzsystemen	157
18.1	Rahmenbedingungen für die Inbetriebnahme und Instandhaltung von Schutzsystemen	157
18.2	Abnahme und Inbetriebnahme von Schutzsystemen	157
18.2.1	Ablauf der Abnahme und Inbetriebnahme	159
18.2.2	Inbetriebnahmeprüfungen	161
18.2.2.1	Stromwandler	162
18.2.2.2	Spannungswandler	162
18.2.2.3	Kontrolle der Verdrahtung, Schaltungsunterlagen und Klemmen	163
18.2.2.4	Isolationsprüfungen.....	164
18.2.2.5	Schutzprüfung.....	164
18.2.2.5.1	Sekundärprüfungen.....	164
18.2.2.5.2	Primärprüfungen	165
18.2.2.6	Messungen bei Inbetriebnahme	165
18.2.3	Prüfprotokolle.....	165
18.2.3.1	Prüfnachweis Stromwandler.....	166
18.2.3.2	Prüfnachweis für Kontrolle der Schaltung.....	167
18.2.3.3	Prüfnachweis Isolationsprüfung.....	167
18.2.3.4	Prüfnachweis Schutzprüfung.....	167
18.3	Instandhaltung von Schutzsystemen	168

18.3.1	Allgemeines	168
18.3.2	Vorbeugende Instandhaltung	169
18.3.2.1	Zyklische Schutzprüfung	169
18.3.2.2	Funktionskontrolle	170
18.3.2.3	Prüfzyklus	170
18.3.3	Außerplanmäßige Instandhaltung	171
Anhang	172
A	Begriffe	172
B	Literaturverzeichnis	177
C	Stichwortverzeichnis	181
D	Abkürzungen	183
E	Prüfprotokoll	184
E.1	Prüfprotokoll für Übergabeschutz	184
E.2	Prüfprotokoll für die Inbetriebnahme von Strom- und Spannungswandlern	186