

Inhaltsverzeichnis

1 Isolation für Hochspannungsgeräte	1
1.1 Einführung und Normen	1
1.2 Isolieröle für Messwandler	3
1.2.1 Eigenschaften verschiedener Isolieröle	3
1.2.2 Viskosität und Stockpunkt von Isolierölen	3
1.2.3 Teilentladung (TE) – Einsatzspannung/-Feldstärke als Funktion des Druckes für gasgesättigte und entgaste Öle	5
1.2.4 Vorgehen bei der Beurteilung und Auswahl von geeigneten Isolierölen	6
1.3 Öl-Papier Isolation	7
1.3.1 Die eingesetzten elektrischen Isolierpapiere	8
1.3.2 Anwendung der in Tab. 1.2 aufgeführten Isolierpapiere	9
1.3.3 Einflussparameter der Öl-Papiertechnologie	10
1.3.4 Messung der Teilentladungseinsatz- und der Durchschlagsspannung an Isoliermodellen für Messwandler	10
1.3.5 Öl-Papierisolationssysteme	11
1.3.6 Lebensdauer der Öl-Papierisolation	17
1.4 Gießharzisolation	18
1.4.1 Isolation mit Polyurethan	18
1.4.2 Isolation mit Epoxidharz	20
1.4.3 Dimensionierung der Gießharzisolation	21
1.5 SF ₆ Isolation	23
1.5.1 Allgemeines zu SF ₆ als Isoliergas	23
1.5.2 Einfluss der Elektrodenrauigkeit auf die Isolationseigenschaften von SF ₆	24
1.5.3 Umwelteigenschaften von SF ₆	26
1.6 Trends in der Isolationstechnik	26
1.6.1 Einführung	26
1.6.2 Isoliermaterial Silikon-Gel mit Micro-Hohlkugeln	27
1.6.3 Trockene Isolation für Messwandler	27

1.7	Porzellanisolatoren	29
1.7.1	Material der Porzellanisolatoren	29
1.7.2	Kleben von Porzellanisolatoren	30
1.7.3	Einzementierung von Porzellanisolatoren in Flansche	33
1.7.4	Mechanische Festigkeit von Porzellanisolatoren	37
1.8	Verbundisolatoren	38
1.8.1	Aufbau der Verbundisolatoren	38
1.8.2	Normen und Prüfungen	41
2	Durchführungen	43
2.1	Einführung	43
2.2	Öl-Papier (OIP) Durchführungen	44
2.2.1	Feingesteuerte und grobgesteuerte Durchführungen in Messwandler	44
2.2.2	Die Feldstärkefestlegung zwischen den Steuerbelägen von feingesteuerten Kondensatordurchführungen	46
2.2.3	Der Anschlussbereich	52
2.2.4	Herstellung von Durchführungen	53
2.3	SF ₆ Durchführungen	57
2.3.1	Feldsteuerungen mit Elektroden	57
2.3.2	Kapazitive Feinsteuerung bei SF ₆ Durchführungen	58
3	Strommessung	61
3.1	Einführung und Normung	61
3.2	Konventionelle Stromwandler mit Eisenkern	63
3.2.1	Das induktive Prinzip des konventionellen Stromwandlers	63
3.2.2	Fehler des induktiven Stromwandlers und deren Einflussfaktoren	64
3.2.3	Sättigung des Stromwandlerkernes	72
3.2.4	Einfluss des Streuflusses im Stromwandlerkern	74
3.2.5	Verhalten bei offenen Sekundärklemmen	78
3.2.6	Transiente Eigenschaften des konventionellen Stromwandlers	79
3.2.7	Ausführungsformen konventioneller Stromwandler	83
3.2.8	Dielektrische Beanspruchung und Isolation des Stromwandlers	90
3.2.9	Erwärmung des Stromwandlers	105
3.2.10	Mechanische Beanspruchung	113
3.3	Kleinsignalstromwandler (Eisenkern mit integriertem Messshunt)	116
3.3.1	Einführung	116
3.3.2	Das Prinzip des Kleinsignalwandlers mit integriertem Messshunt	117

3.3.3	Bestimmung des Shunt-Widerstandes R_{Sh}	119
3.3.4	Die Theorie des Kleinsignalstromwandlers mit integriertem Messshunt	119
3.3.5	Praktische Ausführungen des Kleinsignalstromwandlers	125
3.4	Luftspule/Rogowskispule	127
3.4.1	Die Theorie der Luftspule	127
3.4.2	Die Spannung U_s an der Bürde Z_b der Luftspule	130
3.4.3	Das Zeigerdiagramm der Luftspule	131
3.5	Optische Stromwandler (Faraday Effekt)	132
3.5.1	Das Prinzip der optischen Strommessung – der Faraday-Effekt	132
3.5.2	Polarimetrischer Stromsensor	134
3.5.3	Interferometrischer Stromsensor (Sagnac-Sensor)	135
3.5.4	Eigenschaften des optischen Stromsensors	136
3.5.5	Aufbau optischer Stromwandler	137
3.5.6	Anwendung optischer Stromwandler	138
4	Spannungsmessung	141
4.1	Einführung und Normung	141
4.2	Induktive Spannungswandler	142
4.2.1	Prinzip des induktiven Spannungswandlers	142
4.2.2	Fehler des induktiven Spannungswandlers und deren Einflussfaktoren	143
4.2.3	Verhalten bei kurzgeschlossener Sekundärwicklung	150
4.2.4	Dielektrische Beanspruchung der Primärspule	150
4.2.5	Einstufiger Spannungswandler	152
4.2.6	Kaskadenwandler	153
4.2.7	Ferroresonanzen bei induktiven Spannungswandlern	156
4.3	Kapazitive Spannungswandler	156
4.3.1	Die Theorie des kapazitiven Spannungswandlers	156
4.3.2	Der kapazitive Spannungswandler im Betrieb	161
4.3.3	Ferroresonanzschwingungen am kapazitiven Spannungswandler	162
4.3.4	Das System zur Trägerfrequenzübertragung auf Hochspannungsleitungen (TFH)	165
4.3.5	Die Hauptelemente des kapazitiven Spannungswandlers	165
4.4	Widerstandstechnologie	172
4.4.1	Einführung in das Gebiet Messung von Spannungen mit Widerstandsteilern	172
4.4.2	Die Technologie der Widerstände	173
4.4.3	Der Dickschichtwiderstand	175

4.4.4	Die Lebensdauerprüfung von Dickschichtwiderständen mit bipolaren Spannungsimpulsen	176
4.4.5	Die Belastung der Dickschichtwiderstände durch Ein- und Ausschaltung der Prüfspannung von 36 kV _{eff}	179
4.4.6	Die Induktivität der Dickschichtwiderstände	182
4.5	Kondensatorstechnologie	184
4.5.1	Öl-isolierte Kondensatoren	184
4.5.2	SF ₆ - isolierte Kondensatoren	186
4.6	Spannungsteiler zur Messung hoher Spannungen	190
4.7	Kompensierte Widerstandsteiler	194
4.7.1	Die Theorie der kompensierten Widerstandsteiler	194
4.7.2	Die Konstruktion des kompensierten R-Teilers	199
4.8	RC-Teiler	207
4.8.1	Einführung	207
4.8.2	Theorie der RC Spannungsteiler	207
4.8.3	Einsatz des RC-Teilers als Spannungswandler für Schutzzwecke und Energiezählung	214
4.8.4	Dimensionierung der RC-Teiler	216
4.9	Optischer Spannungswandler (Pockels Effekt)	239
4.9.1	Prinzip der optischen Spannungsmessung mit dem Pockels-Effekt	239
4.9.2	Der Aufbau optischer Spannungswandler	240
5	Qualität	243
5.1	Gas in Öl Analysen	243
5.1.1	Einleitung	243
5.1.2	Probenentnahme	244
5.1.3	Interpretation der Gas-in Öl Analysen	245
5.2	Beurteilung von TE Ergebnissen	246
	Literatur	251