

Inhalt

1	<u>Normen für Transformatoren</u>	17
	Dr.-Ing. Werner Dietrich, Transformatoren Union AG, Nürnberg	
1.1	Aufgaben der Normung; Normengremien	17
1.2	Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC)	17
1.3	Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC)	21
1.4	Deutsche Elektrotechnische Kommission (DKE)	23
1.5	DIN VDE- und DIN-Normen sowie sonstige techni- sche Festlegungen für Transformatoren	26
1.5.1	DIN VDE-Normen für Transformatoren	26
1.5.1.1	DIN VDE 0532 Teil 1. Allgemeines (März 1982)	27
1.5.1.2	DIN VDE 0532 Teil 2. Übertemperaturen (März 1982)	30
1.5.1.3	DIN VDE 0532 Teil 3. Isolationspegel und Spannungsprüfungen (Harmonisierung in Vor- bereitung)	31
1.5.1.4	DIN VDE 0532 Teil 4. Anzapfungen und Schaltungen (März 1982)	32
1.5.1.5	DIN VDE 0532 Teil 5. Kurzschlußfestigkeit (Mai 1984)	33
1.5.1.6	DIN VDE 0532 Teil 6. Trockentransformatoren (Harmonisierung in Vorbereitung)	33
1.5.1.7	DIN VDE 0532 Teil 10. Anwendung von Transformatoren (März 1982)	34
1.5.1.8	DIN 57 536. Belastbarkeit von Öltrans- formatoren (März 1977)	35
1.5.1.9	DIN VDE 0532 Teil 12. Belastbarkeit von Trockentransformatoren (Entwurf August 1985)	36
1.5.1.10	DIN VDE 0532 Teil 13. Blitz- und Schalt- stoßspannungsprüfungen von Transformato- ren und Drosselspulen (Juli 1984)	36

1.5.1.11	DIN VDE 0532 Teil 14. Mindestabstände in Luft und Schutzfunkenstrecken der Durchführungen von Öltransformatoren (Entwurf August 1985)	37
1.5.1.12	DIN VDE 0532 Teil 20. Drosselspulen (März 1982)	38
1.5.1.13	DIN VDE 0532 Teil 21. Anlaßtransformatoren und Anlaßdrosselspulen (März 1982)	38
1.5.1.14	DIN VDE 0532 Teil 22. Transformatoren und Drosselspulen für Tonfrequenzen in Energieversorgungsnetzen (März 1982)	39
1.5.1.15	DIN VDE 0532 Teil 30. Stufenschalter (März 1982)	39
1.5.1.16	DIN VDE 0532 Teil 31. Auswahl und Anwendung von Stufenschaltern (März 1982)	40
1.5.2	Weitere Normen für Transformatoren; sonstige Festlegungen	40
1.5.2.1	Ergänzende technische Regeln zu DIN VDE 0532	40
1.5.2.2	Normung der Kenndaten, Hauptabmessungen und Ausrüstungen von Transformatoren	43
1.5.2.3	Normung der Ausrüstungs- und Zubehörteile von Transformatoren	43
1.5.2.4	Technische Liefervereinbarungen für Drehstrom-Transformatoren der VDEW	44
2	<u>Eisenkerne für Transformatoren und ihre Werkstoffe</u>	
	Dr.-Ing. Erich Reiplinger, Transformatoren Union AG, Nürnberg	
2.1	Allgemeines	45
2.2	Bauformen der Eisenkerne	45
2.3	Eigenschaften der Kernbleche und ihre Auswirkungen auf die Konstruktion des Eisenkerns	49
2.4	Herstellung der Eisenkerne von Kerntransformatoren	56
2.5	Entwicklungstendenzen der Kernbleche	59

3	<u>Isolierstoffe für den Transformatorbau</u>	65
	Dipl.-Phys. Werner Molitor, Transformatoren Union AG, Nürnberg	
3.1	Allgemeines	65
3.2	Isolier- und Kühlflüssigkeiten	68
3.2.1	Isolieröle auf Mineralölbasis	68
3.2.2	Sonstige Isolier- und Kühlflüssigkeiten	69
3.2.2.1	Silikonöle	72
3.2.2.2	Synthetische Ester	73
3.3	Feste Isolierstoffe	75
3.3.1	Papier und Preßspan	75
3.3.2	Sonstige Flächenisolierstoffe	82
3.3.3	Kunstharz-Preßholz	84
3.3.4	Glasfaserverstärktes Epoxidharz	87
3.3.5	Isolierlacke	87
3.4	Eigenschaftsänderungen der Isolierstoffe im Betrieb	88
3.4.1	Oxidation des Isolieröls	89
3.4.2	Dielektrischer Verlustfaktor von Isolieröl und ölprägnierten Zellulose-Isolierstoffen	89
3.4.3	Verhalten des Isolieröls gegenüber Teilent- ladungen bzw. Ionisationsvorgängen	90
3.4.4	Eigenschaftsänderungen der Zellulose- Isolierstoffe durch thermischen Abbau	91
3.5	Beurteilung des Alterungszustandes der Isolierung	92
3.5.1	Isolieröl	92
3.5.2	Zellulose-Isolierstoffe	92
3.5.3	Gasanalyse	93

4	<u>Stufenschalter und Umsteller</u>	95
	Dipl.-Ing. (FH) Werner Widmann, Transformatoren Union AG, Kirchheim/Teck	
4.1	Allgemeines	95
4.2	Auslegung von Transformatoren mit Stufen- schaltern	96
4.3	Bauarten von Stufenschaltern	102
4.3.1	Baugruppen von Stufenschaltern und ihr Einbau in den Transformator	102
4.3.2	Stufenschalter mit ohmschen Überschalt- widerständen	104
4.3.2.1	Wirkungsweise	104
4.3.2.2	Lastumschaltergefäß und Schutzein- richtungen	108
4.3.2.3	Feinwähler und Vorwähler	109
4.3.2.4	Motorantrieb und Wellenführung	113
4.3.2.5	Beispiele ausgeführter Stufenschalter	113
4.3.3	Stufenschalter mit induktiven Überschalt- widerständen	116
4.3.4	Vakuum-Lastumschalter	118
4.3.5	Thyristor-Lastumschalter	118
4.3.6	Lastwähler	121
4.4	Auswahl von Stufenschaltern	123
4.5	Prüfungen von Stufenschaltern	125
4.6	Wartung von Stufenschaltern	125
4.7	Umsteller	126
5	<u>Erwärmung und Kühlung</u>	133
	Dr.-Ing. Reinhart Baehr, Brown, Boveri & Cie AG, Mannheim	
5.1	Allgemeines	133
5.2	Stationäre Wärmeübertragung bei Öl- transformatoren	137

5.3	Transiente Wärmeübertragung bei Öl- transformatoren	148
5.4	Kennzeichnung und Ausführung der Küh- lung von Transformatoren	153
5.5	Zulässige Übertemperaturen für Trans- formatoren	155
5.6	Lebensdauer und Belastbarkeit	158
6	<u>Großtransformatoren</u>	165
	Dr.-Ing. Reinhart Baehr, Brown, Boveri & Cie AG, Mannheim	
6.1	Allgemeines	165
6.2	Zeitliche Entwicklung des Anstiegs von Oberspannungen und Nennleistungen	166
6.3	Transportwege und -mittel	171
6.4	Grundprobleme bei Entwurf und Auslegung	174
6.5	Aufbau des Aktivteils	178
6.6	Wicklungen und Hauptisolierung	180
6.6.1	Leiterwerkstoffe und Leitertypen	180
6.6.2	Wicklungsarten und ihre Anwendungsbereiche	182
6.6.3	Hauptisolierung	187
6.7	Das magnetische Streufeld und seine Auswirkungen	191
7	<u>Flüssigkeitsgefüllte Verteilungstransforma- toren und Gießharztransformatoren</u>	199
	Dipl.-Ing. Univ. Gerhard Altmann, Trans- formatoren Union AG, Kirchheim/Teck	
7.1	Allgemeines	199
7.2	Leistungen und Spannungen von Verteilungs- transformatoren; Normung	201
7.3	Verteilungstransformatoren mit Ölfüllung	201
7.3.1	Aufbau	201
7.3.2	Bandwicklungen	203

7.3.3	Aluminiumwicklungen	208
7.3.4	Nichtkreisrunde Querschnittsformen von Eisenkernen und Wicklungen	208
7.3.5	Abschlußsysteme für ölgefüllte Verteilungstransformatoren	213
7.4	Gießharzisolierte Trockentransformatoren	216
7.4.1	Aufbau	216
7.4.2	Oberspannungswicklungen	220
7.4.3	Unterspannungswicklungen	223
7.5	Anforderungen an Verteilungstransformatoren und Wahl der günstigsten Bauart	224
7.6	Entwicklungstendenzen bei Verteilungstransformatoren	228
8	<u>Transformatorengeräusche</u>	231
	Dr.-Ing. Erich Reiplinger, Transformatoren Union AG, Nürnberg	
8.1	Allgemeines	231
8.2	Das magnetische Transformatorengeräusch	231
8.3	Konstruktive Maßnahmen zur Verringerung des magnetischen Geräusches	235
8.4	Aerodynamische Kühlanlagengeräusche	240
8.5	Messung der Transformatorengeräusche und ihre Ausbreitung	241
8.6	Festlegungen zum Schutz gegen Lärm	244
8.7	Maßnahmen zur Geräuschminderung in Umspannanlagen	246
9	<u>Prüfung von Transformatoren</u>	251
	Dr.-Ing. Werner Dietrich, Transformatoren Union AG, Nürnberg	
9.1	Allgemeines	251
9.2	Stückprüfungen	253
9.2.1	Messung des Wicklungswiderstandes	253

9.2.2	Messung der Übersetzung und Nachweis der Polarität oder der Schaltgruppe	254
9.2.3	Messung der Kurzschlußspannung (Kurzschlußimpedanz) und der Kurzschlußverluste	255
9.2.4	Messung der Leerlaufverluste und des Leerlaufstromes	258
9.2.5	Spannungsprüfungen	261
9.2.5.1	Allgemeine Festlegungen	261
9.2.5.2	Prüfung mit angelegter Wechselspannung (Fremdspannung)	262
9.2.5.3	Prüfung mit induzierter Wechselspannung	262
9.2.5.4	Blitzstoßspannungsprüfung der Leiteranschlüsse mit vollen Blitzstoßspannungen	266
9.2.5.5	Schaltstoßspannungsprüfung der Leiteranschlüsse	268
9.2.6	Zusätzliche Prüfungen von Transformatoren mit Stufenschaltern	271
9.2.7	Spannungsprüfung der Hilfsstromkreise	271
9.3	Typprüfungen	272
9.3.1	Erwärmungsmessung	272
9.3.2	Spannungsprüfungen	277
9.4	Sonderprüfungen	277
9.4.1	Spannungsprüfungen	277
9.4.1.1	Prüfung des Sternpunktanschlusses mit Blitzstoßspannung	277
9.4.1.2	Prüfung der Leiteranschlüsse mit abgeschnittenen Blitzstoßspannungen	277
9.4.2	Messung der Nullimpedanz(en) von Drehstromtransformatoren	278
9.4.3	Nachweis der mechanischen Kurzschlußfestigkeit	280
9.4.4	Geräuschmessung	283
9.4.5	Messung der Oberschwingungen des Leerlaufstromes	287

10	<u>Überwachung von Transformatoren im Betrieb</u>	289
	Dipl.-Ing. Univ. Friedhelm Flottmeyer, Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG, Hauptverwaltung Essen	
10.1	Allgemeines	289
10.2	Wartung abgestellter Großtransformatoren	290
10.3	Inbetriebnahme	290
10.4	Wartung von Verteilungstransformatoren	291
10.5	Wartung in Betrieb befindlicher Groß- transformatoren	292
10.6	Überwachung durch Gasanalyse	295
10.7	Gasmeldungen der Buchholzrelais	297
10.8	Von außen durchführbare Maßnahmen zur Fehlerlokalisierung	299
10.8.1	Betrieb im Leerlauf	299
10.8.2	Erhöhung der Belastung	299
10.8.3	Verringerung der Belastung	299
10.8.4	Messung von Wicklungswiderständen	300
10.8.5	Betrieb auf anderen Anzapfungen	302
10.8.6	Messung der Teilentladungen in der Anlage	302
10.9	Betriebsverhalten einzelner Komponenten der Transformatoren	303
10.9.1	Lastumschalter	303
10.9.2	Motorantriebe von Stufenschaltern	306
10.9.3	Umsteller	306
10.9.4	Durchführungen	307
10.9.5	Abschlüsse zwischen ölgefüllten Räumen	308
10.9.6	Vielfach-Steckverbinder	308
10.9.7	Korrosionsschutz	309
10.9.8	Dichtstellen	310

10.10	Schutz- und Überwachungsgeräte von Transformatoren	310
10.11	Schadensstatistik und Wirtschaftlichkeit	314
10.12	Schlußbetrachtung	321
11	<u>Gasanalyse als Mittel zur Beurteilung des Betriebszustandes von Transformatoren</u>	323
	Dipl.-Phys. Werner Molitor, Transformatoren Union AG, Nürnberg	
11.1	Allgemeines	323
11.2	Im Transformatoröl gelöste Gase	324
11.3	Beurteilungskriterien	326
11.4	Grenzkonzentrationen von Fehlergasen	332
11.5	Zeitliche Entwicklung der Fehlergas-konzentration im Isolieröl von Transformatoren	333
11.6	Physikalische Bedingungen für den Gasaustritt aus dem Isolieröl	334
11.7	Gas im Buchholzrelais	337
11.8	Fehlermöglichkeiten bei der Interpretation von Gasanalysen	339
11.9	Stationäre Gasmonitore an Transformatoren	340
11.10	Schlußbetrachtung	342
	<u>Zeittafel zur Geschichte des Transformators</u>	343
	<u>Literatur</u>	347
	<u>Stichwortverzeichnis</u>	367