

DIN EN IEC 61007



ICS 29.180

EntwurfEinsprüche bis 2019-11-27
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 61007:1998-04

**Transformatoren und Drosseln für die Anwendung in elektronischen
und nachrichtentechnischen Einrichtungen –
Messmethoden und Prüfverfahren
(IEC 51/1278/CD:2019);
Text Deutsch und Englisch**

Transformers and inductors for use in electronic and telecommunication equipment –
Measuring methods and test procedures
(IEC 51/1278/CD:2019);
Text in German and English

Transformateurs et inductances utilisés dans les équipements électroniques et de
télécommunications –
Méthodes de mesure et procédures d'essais
(IEC 51/1278/CD:2019);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-09-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses
Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 174 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 51/1278/CD:2019 „Transformers and inductors for use in electronic and telecommunication equipment – Measuring methods and test procedures“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 51 „Magnetic components, ferrite and magnetic powder materials“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 625 „Magnetische Bauelemente und deren Komponenten“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61007:1998-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich: Der Anwendungsbereich der IEC 61007 wurde erweitert;
- b) Normative Verweisung: die zugehörigen Referenznormen zu IEC 61007 und andere zum gleichen Zeitpunkt hinzuzufügende neue Normen sowie aktualisierte neue Referenznormen;
- c) Prüfverfahren
 - 1) Neues Prüfverfahren hinzugefügt

- d) Eine neue Bestimmung wurde zum Wechselstromwiderstand hinzugefügt (gesehen in 4.4.1.3); das Programm 4 wurde der induzierten Spannungsprüfung hinzugefügt (gesehen in 4.4.2.2); das Prüfdiagramm Bild 5 wurde hinzugefügt (gesehen in 4.4.3.1); eine neue Bestimmung wurde zur Kurzschlussstrom-Prüfung hinzugefügt (gesehen in 4.4.3.4); eine neue Bestimmung zum Wirkungsgrad wurde hinzugefügt (gesehen in 4.4.3.5); eine neue Bestimmung wurde zur Phasenunsymmetrie hinzugefügt (gesehen in 4.4.5.7); eine neue Bestimmung wurde zur Amplitudenunsymmetrie (RF) hinzugefügt (gesehen in 4.4.5.8); Programm 3 wurde hinzugefügt (gesehen in 4.4.6.1); eine neue Vorschrift wurde zum Impedanz-Umwandlungsverhältnis hinzugefügt (gesehen in 4.4.7.1); eine Bestimmung wurde zum Kopplungsfaktor hinzugefügt (gesehen in 4.4.7.2); Programm 3 wurde hinzugefügt (gesehen in 4.4.7.3); Programm 2 wurde hinzugefügt (gesehen in 4.4.7.4); Programm 2 wurde hinzugefügt (gesehen in 4.4.8.1); eine neue Bestimmung wurde zur Querempfindlichkeit hinzugefügt (gesehen in 4.4.10); Bild 25 Grundrückflussdämpfungs-Prüfkreis wurde hinzugefügt (gesehen in 4.4.12); Programm 2 wurde hinzugefügt (gesehen in 4.4.13); Bild 28 Impulsform-Messkreis wurde hinzugefügt (gesehen in 4.4.15); Tabelle 2 wurde hinzugefügt (gesehen in 4.4.17), Bild 30 Reihenparallelschaltungsverfahren wurde hinzugefügt (gesehen in 4.4.18);
- 2) Prüfverfahren geändert
- e) Die Mindestgröße kleiner Komponenten wurde festgelegt (gesehen in 4.2); die Mindestkriechstrecke wurde festgelegt (gesehen in 4.2.1); das neue Diagramm der Schweißpunktqualität wurde hinzugefügt (gesehen in 4.2.2.2); der Fehlerbereich der Prüfspannung wurde neu festgelegt (siehe 4.4.2.3); die Liste der effektiven Widerstandswerte in 4.4.4.1 wurde als 4.4.4.2 neu nummeriert (gesehen in 4.4.4.2).
- 3) Prüfverfahren gelöscht
- f) Bild 4 gelöscht (gesehen in 4.4.4.3);
- g) Umweltprüfverfahren: neue Referenznormen aktualisiert;
- h) Anhang
- i) Anhang A-F Prüfverfahren hinzugefügt: Anhang A D.C. Widerstandsprüfung (gesehen in Anhang A); Anhang B Spannungsfestigkeitsprüfung (gesehen in Anhang B); Anhang C 4.4.2.2 Induzierte Spannungsprüfung (gesehen in Anhang C); Anhang D Leerlaufverlust (gesehen in Anhang D); Anhang E Elektrostatisch Schutzschirmung (gesehen in Anhang E); Anhang F Korona Prüfung (gesehen in Anhang F);
- j) die deutsche Fassung wurde im Abschnitt 3 an den aktuellen Standardtext angepasst.

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	9
4 Prüfverfahren	13
4.1 Prüf- und Messbedingungen	13
4.1.1 Messunsicherheit	13
4.1.2 Alternative Prüfverfahren	13
4.2 Sichtprüfung	14
4.2.1 Lage des Sicherheitsschirms	14
4.2.2 Ausführung der Lötverbindungen	14
4.3 Abmessungen und mechanische Messverfahren	16
4.4 Elektrische Prüfverfahren	17
4.4.1 Wicklungswiderstand	17
4.4.2 Isolationsprüfungen	18
4.4.3 Verluste	22
4.4.4 Induktivität	25
4.4.5 Unsymmetrie	26
4.4.6 Kapazität	32
4.4.7 Übersetzungsverhältnisse	36
4.4.8 Resonanzfrequenz	41
4.4.9 Signalübertragungseigenschaften	43
4.4.10 Querstörung (oder Querempfindlichkeit)	47
4.4.11 Frequenzverhalten	48
4.4.12 Impulseigenschaften	49
4.4.13 Spannungszeitflächen-Belastbarkeit	50
4.4.14 Gesamter Oberwellenanteil	52
4.4.15 Spannungsänderung	53
4.4.16 Temperaturanstieg	54
4.4.17 Oberflächentemperatur	55
4.4.18 Phasenrichtigkeit (Polarität)	57
4.4.19 Schirme (Schirmung)	59
4.4.20 Störgeräusche	60
4.4.21 Koronaprüfungen	62
4.4.22 Magnetische Felder	62
4.4.23 Einschaltstrom	65
4.5 Umweltprüfverfahren	65
4.5.1 Allgemeines	65
4.5.2 Löten	65
4.5.3 Mechanische Festigkeit von Anschlüssen und eingebauten Befestigungseinrichtungen	65

	Seite
4.5.4 Schocken.....	65
4.5.5 Dauerschocken	66
4.5.6 Schwingen (sinusförmig).....	66
4.5.7 Gleichförmiges Beschleunigen	66
4.5.8 Rascher Temperaturwechsel (Wärmestoß in Luft)	66
4.5.9 Dichtheit	66
4.5.10 Klimafolge.....	66
4.5.11 Feuchte Wärme, konstant.....	67
4.5.12 Trockene Wärme.....	67
4.5.13 Schimmelwachstum	67
4.5.14 Salznebel, zyklisch (Natriumchloridlösung)	67
4.5.15 Schwefeldioxidprüfung für Kontakte und Anschlüsse.....	67
4.5.16 Brandgefahr	67
4.5.17 Eintauchen in Reinigungslösungsmittel	67
4.6 Belastbarkeitsprüfverfahren	68
4.6.1 Kurzzeitbelastbarkeit (Betrieb unter Last).....	68
4.6.2 Langzeitbelastbarkeit (Lebensdauerprüfung)	68
Anhang A (normativ) Gleichstromwiderstandsprüfung.....	70
A.1 Allgemeines.....	70
A.2 Widerstandswerte unter 1 Ω – Kelvin-Doppelbrückenverfahren.....	71
A.3 Widerstandswerte von 1 Ω bis viele Kiloohm.....	72
A.3.1 Amperemeter- und Voltmeterverfahren	72
A.3.2 Ersatzverfahren.....	74
A.3.3 Wheatstone-Brücke.....	74
A.3.4 Ohmmeter	75
A.4 Digitales Ohmmeter – Widerstandswerte von unter 1 Ω bis zu mehreren Kiloohm	76
Anhang B (normativ) Elektrische Durchschlagfestigkeitsprüfungen	77
B.1 Elektrische Durchschlagfestigkeitsprüfung	77
Anhang C (normativ) Induzierte Spannungsprüfung.....	79
C.1 Induzierte Spannungsprüfung	79
C.1.1 Allgemeine Prüfbedingungen	79
C.1.2 Allgemeine Prüfverfahren.....	79
C.1.3 Induzierte Anregungsspannung und -frequenz.....	81
C.1.4 Induzierte Spannungswiederholungsprüfung.....	81
C.1.5 Anregungsstrom	82
Anhang D (normativ) Leerlaufverlust.....	83
D.1 Erregungswellenform	83
D.1.1 Sinusspannungserregung (Sinusfluss)	83
D.1.2 Sinusstromerregung.....	84
D.1.3 Rechteckwellen-Spannungserregung	84

	Seite
D.2 Prüfverfahren und Instrumente.....	85
D.2.1 Wattmesser	85
D.2.2 Amperemeter.....	86
D.2.3 Voltmeter	86
D.3 Prüfspezifikationen und Ergebnisse	86
Anhang E (normativ) Elektrostatische Schirmung.....	88
E.1 Symbole.....	88
E.2 Theoretische Diskussion	90
E.3 Messverfahren.....	91
E.3.1 Indirektes Verfahren	91
E.3.2 Direktes Verfahren.....	92
Anhang F (normativ) Koronaprüfungen	93
F.1 Koronaerkennung.....	93
F.2 Koronaanalyse.....	93
F.3 Prüfbedingungen und Spezifikationen.....	94
Bilder	
Bild 1 – Impulsform-Parameter	11
Bild 2 – Beispiele guter Lötverbindungen	15
Bild 3 – Beispiele fehlerhafter Lötverbindungen	16
Bild 4 – Leerlaufstrom-Prüfschema	22
Bild 5 – Leerlaufverlust-Prüfschema.....	23
Bild 6 – Vereinfachtes Diagramm der Kurzschlussleistungsprüfung.....	24
Bild 7 – Schaltung für die Messung der Kapazitätsunsymmetrie	27
Bild 8 – Schaltung für die Bestimmung des Gleichtaktunterdrückungsverhältnisses.....	28
Bild 9 – Schaltung für die Messung der Impedanzunsymmetrie	29
Bild 10 – Schaltung zur Bestimmung der Übersprechdämpfung.....	30
Bild 11 – Schematisches Diagramm der Phasen- und Amplitudenunsymmetrie	32
Bild 12 – Üblicher Graph zur Bestimmung der Eigenkapazität	34
Bild 13 – Schaltung zur Bestimmung der Kapazität zwischen Wicklungen.....	35
Bild 14 – Schaltung für die Messung des Spannungsübersetzungsverhältnisses	38
Bild 15 – Schaltkreis für die Messung des Stromübersetzungsverhältnisses und des Phasenwinkels	39
Bild 16 – Messschaltung des Stromübersetzungsverhältnisses und des Phasenwinkels	40
Bild 17 – Schaltung zur Messung der parallelen Eigenresonanz	41
Bild 18 – Schaltung zur Bestimmung der Resonanzfrequenz von Resonanzschwingkreisen	43
Bild 19 – Schaltung zur Bestimmung der Einfügungsdämpfung	44
Bild 20 – Verwendung von zwei gleichen Transformatoren, wenn das Übertragungsverhältnis nicht 1:1 ist und/oder ein Gleichspannungsanteil gefordert ist	44
Bild 21 – Darstellung der Rücklaufdämpfung	46
Bild 22 – Basisschaltung für die Messung der Rücklaufdämpfung	47
Bild 23 – Schaltungsdiagramm für die Messung der Querstörung zwischen zwei Transformatordrosseln	48

	Seite
Bild 24 – Schaltung zur Messung der Impulswellenform	50
Bild 25 – Schaltung zum Nachweis der Spannungszeitflächen-Belastbarkeit: Messung mit Einzelimpulsen ohne Vorspannung.....	51
Bild 26 – Nichtlinearität des Magnetisierungsstroms	52
Bild 27 – Schema der Spannungsänderungsprüfung	54
Bild 28 – Phasenprüfung (Polarität) unter Verwendung der Spannungsmessung.....	58
Bild 29 – Serien-Parallelschaltungsverfahren	59
Bild 30 – Helmholtz-Spulenordnung	63
Bild A.1 – Messung geringer Widerstände	71
Bild A.2 – Kelvin-Doppelbrückenverfahren zur Messung niedriger Widerstände	72
Bild A.3 – Amperemeter-Voltmeter-Verfahren zur Widerstandsmessung.....	73
Bild A.4 – Messung des Widerstands durch Ersetzung	74
Bild A.5 – Anschlüsse der Wheatstone-Brücke.....	75
Bild A.6 – Prinzip des Serien-Ohmmeters.....	76
Bild A.7 – Digitales Ohmmeter-Verfahren zur Widerstandsmessung	76
Bild B.1 – Übliche Hochpotentialprüfung mit geprüftem Abschnitt 1.....	77
Bild B.2 – Übliche Hochpotentialprüfung eines Induktors	78
Bild C.1 – Blockdiagramm der induzierten Spannungsstoßprüfung.....	80
Bild D.1 – Dreieckige Flussdichteabweichung im Transformatorkern.....	85
Bild D.2 – Prüfschaltung für Leerlaufverluste von Transformatoren	85
Bild E.1 – Geschirmte einzelne Wicklung, beweglicher Kern.....	88
Bild E.2 – Elektrostatistisches Grundsymbol	88
Bild E.3 – Mehrfach geschirmte einzelne Wicklung, mit Kernanschluss (Leitung)	88
Bild E.4 – Zwei Wicklungen geschirmt, Sekundärkern geerdet	89
Bild E.5 – Wicklungsgruppe geerdet, beweglicher Kern	89
Bild E.6 – Mehrfach geschirmte Wicklungsgruppe, mit Kernanschluss (Leitung).....	89
Bild E.7 – Kombination von Schirmungsbedingungen	90
Bild E.8 – Üblicher Transformator mit je zwei geschirmten Wicklungen	90
Bild E.9 – Vereinfachte Darstellung von Bild E.8	91
Bild E.10 – Indirektes Messverfahren für die elektrostatistische Schirmung	91
Bild F.1 – Übliche Schaltung für die Koronamessung, Schaltung 1.....	93
Bild F.2 – Übliche Schaltung für die Koronamessung, Schaltung 2.....	94
Tabellen	
Tabelle 1 – Prüfspannungen für die elektrische Durchschlagfestigkeitsprüfung	18
Tabelle 2 – Maximaler zulässiger Temperaturanstieg	56
Tabelle 3 – Schallpegelkorrekturen für Prüfungen hörbarer Störgeräusche.....	61
Tabelle 4 – Abmessungen des Würfels mit den zugehörigen Daten der Messspule.....	64
Tabelle D.1 – Empfohlene Werte für die Festlegung von Leerlaufprüfungen	84

Transformatoren und Drosseln für die Anwendung in elektronischen und nachrichtentechnischen Einrichtungen – Messmethoden und Prüfverfahren

1 Anwendungsbereich

Diese Norm beschreibt eine Reihe von Prüfungen zur Bestimmung der wesentlichen Parameter und Leistungsmerkmale von elektronischen Transformatoren und Drosseln. Diese Prüfverfahren sind hauptsächlich für Transformatoren und Drosseln für alle Arten von Elektronikanwendungen, die in irgendwelchen Spezifikationen für solche Bauelemente enthalten sind, ausgelegt. Auch wenn diese Prüfungen für andere Arten von Transformatoren, die in Stromverteilungsanwendungen in der Energieerzeugungsindustrie und anderen Industrien eingesetzt werden, nützlich sein können, dürfen die in diesem Dokument behandelten Prüfungen diese Prüfungen ergänzen oder komplettieren, sind jedoch nicht als Ersatz für Prüfungen in Normen für Transformatoren vorgesehen. Einige der beschriebenen Prüfungen sind für die Qualifizierung eines Produkts für eine bestimmte Anwendung vorgesehen, während andere als Prüfungspraktiken in der Produktion und Kundenabnahmeprüfung eingesetzt werden. Die hier beschriebenen Prüfverfahren beinhalten die am häufigsten in der Elektronikindustrie eingesetzten Transformatoren und Drosseln: Durchschlagfestigkeit, Widerstand, Stromverlust, Induktivität, Impedanz, Symmetrie, Wandlungsverhältnis und viele andere weniger häufig eingesetzte Transformatoren und Drosseln.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60027:1992+AMD1:1997+AMD2:2005 CSV, *Letters symbols to be used in electrical technology – Part 1: General*

IEC 60050, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*

IEC 60068-1: 2013, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2, *Environmental testing – Part 2: Tests*

IEC 60068-2-1: 2007, *Environmental testing – Part 2: Tests – Tests A: Cold*

IEC 60068-2-2: 2007, *Environmental testing – Part 2: Tests – Tests 8: Dry heat*

IEC 60068-2-6: 2007, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Fc and guidance: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-7: 1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ga and guidance: Acceleration, steady state Amendment 1 (1986)*

IEC 60068-2-10: 2005+AMD1: 2018 CSV, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test J and guidance: Mould growth*

IEC 60068-2-13: 1983, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test M: Low air pressure*

IEC 60068-2-14: 2009, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-17: 1994, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Q: Sealing*

IEC 60068-2-20: 2008, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test T: Soldering*

IEC 60068-2-21: 2006, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices*

- IEC 60068-2-27: 2008, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ea and guidance: Shock*
- IEC 60068-2-30: 2005, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Db and guidance: Damp heat, cyclic (12 + 12 – hour cycle)*
- IEC 60068-2-42: 2003, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Kc: Sulphur dioxide test for contacts and connections*
- IEC 60068-2-45: 1980, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test XA and guidance: Immersion in cleaning solvents*
- IEC 60068-2-52: 2017RLV, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Kb: Salt mist, cyclic (sodium chloride solution)*
- IEC 60068-2-58: 2015+AMD1: 2017 CSV, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Td: Solderability, resistance to dissolution of metallization and to soldering heat of Surface Mounting Devices (SMD)*
- IEC 60068-2-78: 2012RLV, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ca: Damp heat, steady state*
- IEC 60076-10:2016, *Power transformers – Part 10: Determination of sound levels*
- IEC 60076-10-1:2016, *Power transformers – Part 10-1: Determination of sound levels – Application guide*
- IEC 60270: 2000+AMD1: 2015 CSV, *High-voltage test techniques – Partial discharge*
- IEC 60695, *Fire hazard testing*
- IEC 60695-11-2: 2017, *Fire hazard testing – Part 11-2: Test flames – 1 kW pre-mixed flame – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance*
- IEC 60695-11-5: 2016, *Fire hazard testing – Part 11-5: Test flames – Needle-flame test method – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance*
- IEC 61672-1:2013, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*
- IEC 62044-2: 2005, *Cores made of soft magnetic materials – Measuring methods – Part 2: Magnetic properties at low excitation level*
- IEC TS 63064:2018, *Graphical symbols for diagrams – Guidance on design for standardization in IEC 60617*
- IEEE 389: 1996, *IEEE Recommended Practice for Testing Electronics Transformers and Inductors*
- IEEE 393:1991, *IEEE Standard Test Procedures for Magnetic Cores (ANSI)*.
- IEEE 436:1991, *IEEE Guide for Making Corona (Partial Discharge) Measurements of Electronics Transformers (ANSI)*.
- IEEE C57.12.91:2011, *Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers(ANSI)*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1**Bauelement**

ein Transformator oder eine Drossel

3.2**Spitzenarbeitsspannung**

die höchste Spannung, für die die Windungsisolation unter Arbeitsschaltkreisbedingungen ausgelegt ist

3.3**Impulsformkennwerte (siehe Bild 1)****a) Spitzenimpulsamplitude U_m**

der Höchstwert auf einer glatten Kurve, extrapoliert durch das Impulsdach des Impulses, alle anfänglichen "Spitzen" und "Überschwinger" außer Betracht lassend, deren Dauer kleiner als 10 % der Impulsdauer ist

b) Impulsdauer t_d

die Zeitspanne zwischen den ersten und letzten Zeitpunkten, zu denen die Impulsamplitude 50 % der Spitzenimpulsamplitude erreicht

c) Anstiegsdauer des Impulses t_r

die Zeitspanne zwischen dem ersten Zeitpunkt, zu dem die Impulsamplitude 10 % der Spitzenimpulsamplitude erreicht, und dem ersten Zeitpunkt, zu dem die Impulsamplitude 90 % der Spitzenimpulsamplitude erreicht, wobei alle unerwünschten oder belanglosen Teile der Impulsform außer Betracht bleiben

d) Abfalldauer des Impulses t_f

die Zeitspanne zwischen dem letzten Zeitpunkt, zu dem die Impulsamplitude 90 % der Spitzenimpulsamplitude erreichte, und dem nächsten Zeitpunkt, zu dem die Impulsamplitude 10 % der Spitzenimpulsamplitude erreicht, wobei alle unerwünschten oder belanglosen Teile der Impulsform außer Betracht bleiben

Anmerkung 1 zum Begriff: Wo der Wert der Schräge 10 % der Spitzenimpulsamplitude erreicht, darf der obere Punkt, der die Abfallzeit definiert, durch den letzten augenblicklichen Wert, bei dem die Impulsamplitude 80 % der Spitzenimpulsamplitude erreicht, ersetzt werden.

e) Schräge

der Unterschied zwischen der Spitzenimpulsamplitude und der Amplitude der extrapolierten glatten Kurve durch den oberen Teil des Impulses unter Ausschluss aller anfänglichen "Spitzen" und "Überschwinger", in deren Schnittpunkt mit der geraden Linie durch die Punkte, die die Abfalldauer des Impulses definieren, ausgedrückt in Prozent der Spitzenimpulsamplitude

f) Spitzenwert des Impulses

der Höchstwert des Impulses

g) Überschwinger

der Betrag, um den der Spitzenwert des Impulses die Spitzenimpulsamplitude überschreitet, ausgedrückt in Prozent der Spitzenimpulsamplitude

h) Rückschwingen

die größte Amplitude des rückschwingenden Impulses, d. h. der Teil des Impulses, der auf den Nulldurchgang folgt, ausgedrückt in Prozent der Spitzenimpulsamplitude

i) Nachschwingen

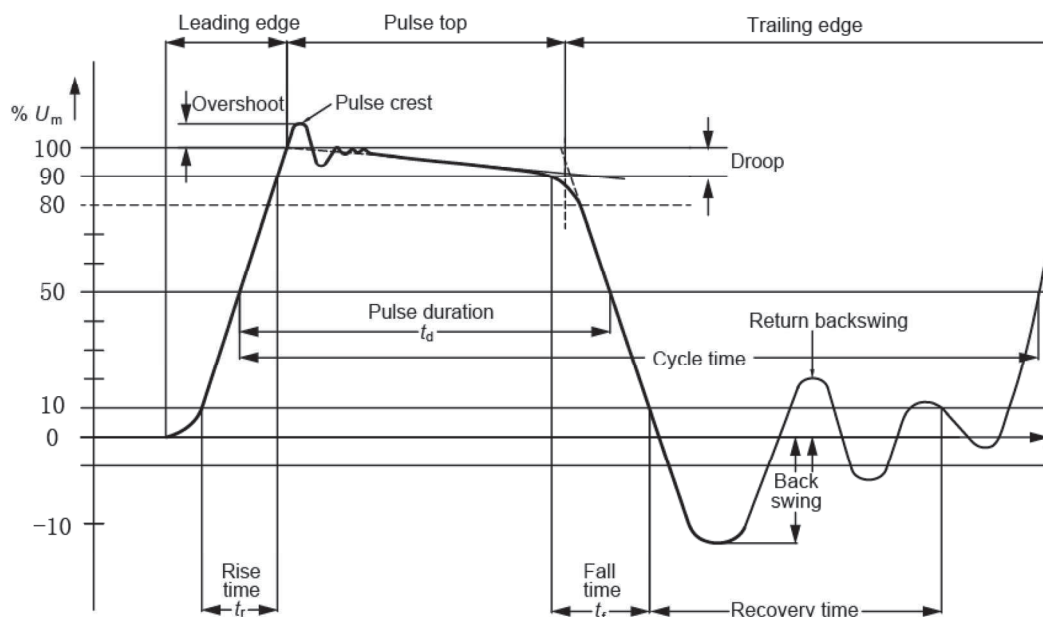
die höchste Amplitude der Schwingung, die auf das Rückschwingen folgt, ausgedrückt in Prozent der Spitzenimpulsamplitude

j) Erholzeit

das Zeitintervall zwischen dem Ende der Abfalldauer des Impulses und dem Zeitpunkt, zu dem die Impulsamplitude zuletzt + 10 % der Spitzenimpulsamplitude erreicht. In den Fällen, in denen ein kleinerer Wert als 10 % verwendet werden darf, wird ausnahmsweise von der "X-%-Erholzeit" gesprochen

k) Impulsfolgefrequenz (prf)

die mittlere in der Zeiteinheit auftretende Anzahl von Impulsen, wenn diese nicht von der Zeitspanne abhängt, während der gemessen wird



Englisch	Deutsch
Leading edge	Vorderflanke
Pulse top	Oberer Impulsteil
Trailing edge	Hinterflanke
Overshoot	Überschwingen
Pulse crest	Impulsspitzenwert
Droop	Schräge
Pulse duration	Impulsdauer
Return backswing	Nachschwingen
Cycle time	Zykluszeit
Back swing	Rückschwingen
Rise time	Anstiegszeit
Fall time	Abfallzeit
Recovery time	Erholzeit

Bild 1 – Impulsform-Parameter

ANMERKUNG Zur Erläuterung der Schräge wurden die 80%- und 10%-Punkte zur Erstellung der Linie verwendet, die die Grenze zwischen dem oberen Impulsteil und der Impulshinterflanke bestimmt.

3.4

Q-Faktor (Gütefaktor)

das Verhältnis der bei einer bestimmten Frequenz in einer bestimmten Wicklung gespeicherten Energie zu der entsprechenden verbrauchten Energie, ausgedrückt durch den Blind- und Verlustwiderstand im Reihen- oder Parallelschaltbild

3.5

Oberwellengehalt

die Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate aller Oberwellenspannungen bis einschließlich der siebten Oberwellenspannung (die Grundwelle nicht einbezogen), ausgedrückt als Prozentsatz oder Verhältnis in Dezibel (dB) zur Grundwelle

3.6**Höchste Wicklungstemperatur**

der bei Volllast auftretende mittlere Temperaturanstieg jeder Wicklung des Bauelements, wenn das thermische Gleichgewicht erreicht ist, zuzüglich der festgelegten höchsten Umgebungstemperatur

3.7**Spannungszeitflächenbelastbarkeit**

Der Scheitelwert der Impulsspannung multipliziert mit der Zeitspanne ab dem Beginn des Impulses, während der die Nichtlinearität des Magnetisierungsstroms einen festgelegten Wert nicht überschreitet

3.8**Hintergrundrauschen (akustische Störgeräusche)**

die an einem Messpunkt gemessenen Hintergrundgeräusche, mit Ausnahme derer, die von dem unter Prüfung stehenden Bauelement erzeugt werden

3.9**Kompass-Sicherheitsabstand**

der Abstand der Drehachse des Prüfmagnetometers oder der Magnethadel zu dem nächsten Punkt auf der Oberfläche des geprüften Bauelements, bei dem die magnetische Abweichung auf einen bestimmten Wert begrenzt ist

3.10**Tastverhältnis**

das Verhältnis der Impulsdauer t_d zu der Periodenzeit

3.11**Stromparameter des Transformators****a) Last**

die Eigenschaft des Schaltkreises, der mit der Sekundärwicklung des Transformators verbunden ist, durch die die Wirkleistung und die Blindleistung des Sekundäranschlusses bestimmt wird. Die Last wird als Gesamtimpedanz mit einem Wirk- und Blindwiderstandsanteil oder als Scheinleistungs- oder Wirkleistungsfaktor bei einem bestimmten Strom und einer bestimmten Frequenz ausgedrückt

b) Stromtransformationsfaktor k

das Verhältnis des Effektivwerts des Primärstroms zum Effektivwert des Sekundärstroms unter festgelegten Bedingungen

c) Phasenwinkel

der Phasenverschiebungswinkel zwischen den Vektoren, die den primären und sekundären Strom des Transformators darstellen. Der Phasenwinkel ist positiv, wenn der Sekundärstrom dem Primärstrom vorausschlägt

d) Übertragungsfehler

die Differenz zwischen dem gemessenen Stromtransformationsfaktor k und dessen Nennwert k_n , geteilt durch den gemessenen Wert K und ausgedrückt in Prozent

$$\text{ratio error} = \frac{K_n - K}{K} \times 100\%$$

3.12**elektrostatischer Schirm**

ein leitender Schirm wird so zwischen die Windungen eingeführt, dass er, wenn er geerdet ist, die Übertragung von unerwünschten Signalen von einer Windung auf die andere Windung durch die Kapazität zwischen den Windungen erheblich vermindert

3.13**Sicherheitsschirm**

ein leitender Schirm wird so zwischen die Windungen eingeführt, dass er, wenn er geerdet ist, Fehlerströme, die zwischen diesen Windungen fließen, im Fall eines Isolationsfehlers wirksam verhindert

3.14**Polarität (anwendbar auf Einphasenwicklungen)**

eine Eigenschaft einer Einphasenwicklung, bei der ein Anschluss einer Wicklung dieselbe Polarität aufweist wie der Anschluss an einer anderen Wicklung (wenn die anderen Wicklungsenden so miteinander verbunden sind, dass sie einen gemeinsamen Anschluss bilden und der Transformator/die Drossel durch eine sinusförmige Spannung gespeist wird), falls die induzierte Spannung zwischen jedem der zwei Anschlüsse und dem gemeinsamen Anschluss durch den Nullpunkt in positiver Richtung zu demselben Zeitpunkt ansteigt

3.15**gleichmäßig isolierte Wicklung**

eine Wicklung, bei der die Isolation gegen Erde an allen Punkten so ausgelegt ist, dass sie die Spannungsfestigkeitsprüfungen bei einem für die Isolation geeigneten Wert der Hochspannungsgrenze besteht

3.16**abgestuft isolierte Wicklung**

eine Wicklung, bei der die Isolation gegen Erde zwischen dem Wert der Hochspannungsgrenze und einem niedrigeren Wert der Niederspannungsgrenze abgestuft wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine derartige Wicklung sollte eine Spannungsfestigkeitsprüfung bei einem für die Isolation geeigneten Wert der Niederspannungsgrenze bestehen.

4 Prüfverfahren**4.1 Prüf- und Messbedingungen**

Wenn nicht anders festgelegt, müssen alle Prüfungen unter atmosphärischen Normalbedingungen für Prüfungen nach IEC 60068-1 durchgeführt werden. Wenn die Forderung besteht, dass die Bauelemente Temperaturgleichgewicht erreichen, so muss dies 4.8 von IEC 60068-1 entsprechen.

Wenn nicht anders in der Bauartspezifikation festgelegt, müssen alle Spannungen und Ströme sinusförmig sein; es sind Effektivwerte zu benutzen, und eine mehrphasige Spannung ist als ausgeglichen anzunehmen.

Die „anzugebenden Informationen“, die erforderlich sind, um die Beschreibung der Prüfverfahren in diesem Abschnitt zu vervollständigen, müssen in den entsprechenden Bauartspezifikationen für das Bauelement angegeben werden. Die Bauartspezifikationen müssen auch die in Verbindung mit einem Bauelement anzuhaltenden Prüfadapter verwenden, wenn dies für die Anwendung bei Frequenzen vorgesehen ist, die hoch genug sind, um eine signifikante Länge der Zuleitungen zu erzielen.

4.1.1 Messunsicherheit

Die in der Bauartspezifikation angegebenen Grenzwerte müssen Absolutwerte sein. Die dem jeweiligen Messsystem zuzuordnenden Grenzabweichungen müssen berücksichtigt werden, wenn die Messungen mit den festgelegten Grenzwerten verglichen werden. Wo Grenzabweichungen für die einzustellenden Bedingungen oder Gerätefehler festgelegt werden, müssen diese als zusätzliche Mindestanforderungen betrachtet werden.

4.1.2 Alternative Prüfverfahren

Die in den relevanten Spezifikationen angegebenen Prüf- und Messverfahren müssen nicht als die einzigen Verfahren angesehen werden, die angewendet werden dürfen. Spezielle Prüfgeräte und automatische Prüfeinrichtungen sind verfügbar und dürfen ebenfalls verwendet werden. Der Prüfer muss jedoch dem Anwender oder der relevanten Behörde (siehe ANMERKUNG) nachweisen, dass diese anderen Verfahren, die er anwenden darf, gleichwertige Ergebnisse erzielen (siehe Anmerkung 2) wie die mit den Standardverfahren erhaltenen Ergebnisse. Bei Unstimmigkeiten dürfen für Schieds- und Bezugszwecke nur die festgelegten Verfahren verwendet werden. Alternative Prüfverfahren dürfen nicht in die Bauartspezifikationen aufgenommen werden.

ANMERKUNG 1 Wie etwa die nationale Überwachungsstelle innerhalb des IECQ-Systems.

ANMERKUNG 2 Mit "gleichwertig" ist hier gemeint, dass die charakteristischen Werte der anderen Verfahren, die als akzeptabel innerhalb der für dieses andere Verfahren festgelegten Grenzen gelten, innerhalb der festgelegten Grenzen liegen, wenn sie durch das festgelegte Verfahren gemessen werden.

4.2 Sichtprüfung

Sichtprüfungen müssen bei fertigungsüblicher Beleuchtung ohne zusätzliche optische Hilfsmittel durchgeführt werden. Der Zustand, die Ausführung, die Kennzeichnung und die Oberfläche müssen zufriedenstellend sein.

ANMERKUNG Wenn eine besondere Beleuchtung und/oder optische Hilfsmittel für die Abnahme besonderer Bauelemente notwendig sind (z. B. sehr kleine Bauelemente, 1812/4532 oder weniger), können diese als zusätzliche Prüfungen in die betreffende Bauartspezifikation aufgenommen werden.

4.2.1 Lage des Sicherheitsschirms

ANMERKUNG Manchmal wird auch anstelle von "Sicherheitsschirm" der Ausdruck "Isolationsschirm" verwendet.

Zweck: Bestimmung der Anordnung eines Sicherheitsschirms in Bezug auf die benachbarten Wicklungen.

Verfahren: Der in der endgültigen Lage angebrachte Sicherheitsschirm muss durch die Sichtprüfung geprüft werden, ehe er durch weitere Wicklungen verdeckt wird. Der Sicherheitsschirm muss:

- a) die Wicklung, auf der er aufgebracht ist, vollständig bedecken, und zwar so, dass das "Ende" den "Anfang" um nicht weniger als den in der Bauartspezifikation angegebenen Betrag überlappt;
- b) so isoliert sein, dass keine Kurzschlusswindung entsteht.

ANMERKUNG An Ringkerntransformatoren angebrachte Schirme dürfen aus mehreren Windungen aus leitfähigem Band bestehen, sofern jede Windung die nächste um mindestens 5 % der Breite des Bandes überlappt.

Erforderliche Angaben:

- a) Mindestüberlappung;
- b) Mindestkriechstrecke.

4.2.2 Ausführung der Lötverbindungen

ANMERKUNG Eine Lötverbindung wird als gut bezeichnet, wenn zwischen den verbundenen Teilen ein hervorragender elektrischer Kontakt und eine gute mechanische Festigkeit besteht. Beispiele für gute Lötverbindungen sind in Bild 3 dargestellt. Bild 4 zeigt fehlerhafte Lötverbindungen.

Zweck: Bestimmen der Qualität aller Lötverbindungen.

Verfahren: Alle Lötverbindungen müssen untersucht werden, um sicherzustellen, dass die folgenden Anforderungen erfüllt sind:

Anforderungen: Lötverbindungen müssen:

- a) gute Verzinnung zeigen, gekennzeichnet durch freies Fließen des Lots mit Benetzen der Anschlüsse;
- b) glatt und ohne Spitzen sein;
- c) blank sein und glänzen;
- d) frei von rauen Stellen sein;
- e) eine konkave Oberfläche haben, unter der die Umrisse des Drahts sichtbar sein müssen;
- f) ohne Bewegung während der Lötvorgangs hergestellt sein (solche Lötstellen zeigen einen "Orangenschaleneffekt" wie in Bild 4a dargestellt);
- g) nicht "kalt" sein (d. h. an der Übergangsstelle zwischen Lot und Draht darf keine scharfe Grenzlinie sichtbar sein; es darf kein großer Kontaktwinkel zwischen Draht und Lot auftreten (siehe Bild 4b));
- h) ohne bleibende mechanische Spannungen mit den Anschlüssen verbunden sein (siehe Bild 4c);

- i) ohne "Dochtwirkung" gelötet sein (d. h. der Verbindungsdraht darf nicht überhitzt sein, wodurch Lot in die mehrdrahtige Ader gesaugt wird (siehe Bild 4d);
- j) vor dem Schweißen frei von Kerben und Kratzen am herausführenden Ende sein (siehe Bild 4e);
- k) frei von Löttrissen am Punktschweißende sein (siehe Bild 4 f);
- l) frei von Vorsprüngen am Schweißende sein (siehe Bild 4h).

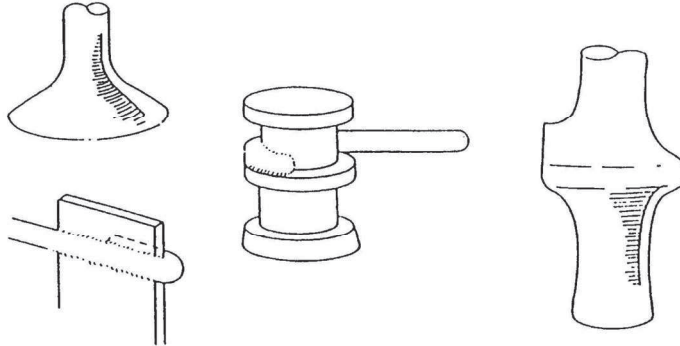
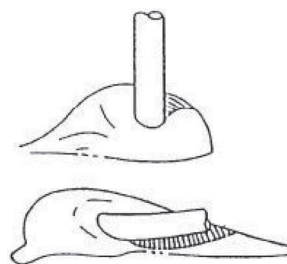


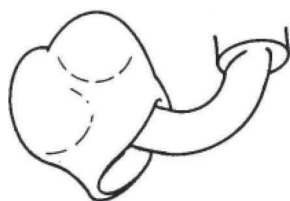
Bild 2 – Beispiele guter Lötverbindungen



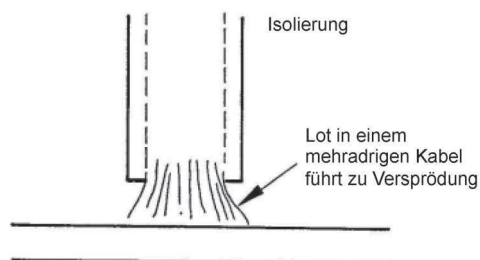
(a) Verschobene Lötstelle



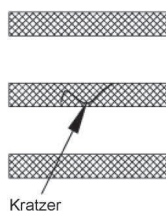
(b) Kalte Lötstelle



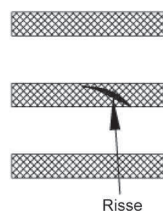
(c) Mechanisch beanspruchte Lötstelle



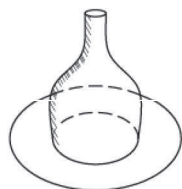
(d) Dochtwirkung



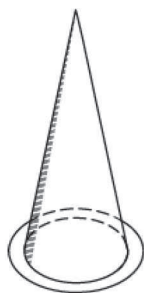
(e) Kratzer



(f) Rissbildung



(g) Nichtbenetzung



(h) Spitze des Schweißendes

Bild 3 – Beispiele fehlerhafter Lötverbindungen

4.3 Abmessungen und mechanische Messverfahren

Die Abmessungen müssen auf ihre Übereinstimmung mit der relevanten Spezifikation überprüft werden.

4.4 Elektrische Prüfverfahren

4.4.1 Wicklungswiderstand

4.4.1.1 Gleichstromwicklungswiderstand

Zweck: Bestimmung des Gleichstromwiderstands einer Wicklung oder der Wicklungen zwischen festgelegten Anschlüssen.

Verfahren: Der Widerstand muss durch ein geeignetes Verfahren gemessen werden (siehe Anhang A).

Wenn durch die Bauartspezifikation gefordert, muss die Umgebungstemperatur θ (in °C) gemessen werden und das Ergebnis der Widerstandsmessung R_m (in Ω) muss auf den entsprechenden Wert bei 20 °C, R_{20} (in Ω) mithilfe der folgenden Formel korrigiert werden:

$$R_{20} = \frac{K + 20}{K + \theta} R_m$$

Dabei ist k eine Konstante in Verbindung mit dem Temperaturkoeffizienten des Widerstands.

ANMERKUNG Aus Gründen der Sicherheit sollten die kurzgeschlossenen Wicklungen berücksichtigt werden, die in der Lage sind, eine hohe Spannung bei Stromunterbrechungen zu erzeugen.

Erforderliche Angaben:

- a) Anschlüsse, zwischen denen die Messung durchzuführen ist;
- b) ob das Messergebnis auf 20 °C korrigiert werden sollte und wenn ja, der für andere Werkstoffe als Kupfer oder Aluminium anzuwendende Wert für k .

ANMERKUNG 1 Das ausgewählte Verfahren sollte hinsichtlich der einfachen Anwendbarkeit des Prüfverfahrens und der erforderlichen Genauigkeit bestimmt werden. Die Genauigkeit des Messgeräts sollte mindestens zehnmal besser sein als die für die Prüfung erforderliche Genauigkeit.

ANMERKUNG 2 Der Messstrom sollte nicht so groß sein, dass eine Eigenerwärmung oder ein merklicher Magnetisierungseffekt des Bauelements auftritt.

4.4.1.2 Wechselstromwiderstand

Zweck: Bestimmen des Wechselstromwiderstands bei Bemessungsbetriebsfrequenz.

Verfahren: Eine geeignete Wechselstromsignalquelle muss angewendet und die Prüffrequenz und Wechselspannung müssen angegeben werden.

Erforderliche Angaben:

- zu prüfende Wicklung.

ANMERKUNG Bei der Prüfung sollte darauf geachtet werden, dass die Wicklung mit einer hohen Induktivität eine hohe Spannung erzeugen kann.

4.4.1.3 Elektrischer Durchgang

Zweck: Verifizieren des elektrischen Durchgangs einer festgelegten Wicklung.

Verfahren: Der Durchgang muss mithilfe einer geeigneten Gleich- oder Wechselspannungsquelle und/oder Stromquelle und einem geeigneten Messgerät nachgewiesen werden.

Erforderliche Angaben:

– zu prüfende Wicklung.

ANMERKUNG 1 Der Strom sollte nicht so groß sein, dass eine erhebliche Magnetisierung an dem Bauelement auftreten kann.

ANMERKUNG 2 Bei der Prüfung einer Wicklung mit hoher Induktivität sollte Vorsicht geboten werden, da eine hohe Spannung erzeugt werden kann.

ANMERKUNG 3 Bei Vorliegen von Parallelpfaden wie etwa bei Mehrfachwicklungen oder mehrphasigen Bauelementen kann eine Gleichstromwiderstandsprüfung erforderlich sein, um sicherzustellen, dass der geprüfte Strompfad nicht durch Nebenschlüsse beeinflusst wird.

4.4.2 Isolationsprüfungen

4.4.2.1 Elektrische Durchschlagfestigkeitsprüfungen

Zweck: Sicherstellen, dass die Isolation der gleichmäßig isolierten Wicklung und die Isolation am niedrigen Spannungsende der abgestuft isolierten Wicklung ausreichend sind.

ANMERKUNG 1 Diese Prüfung ist nicht für die Isolierung am Hochspannungsende abgestuft isolierter Wicklungen oder Wicklungen, die an einem Punkt geerdet sind, geeignet. Die Isolierung am Hochspannungsende solcher Wicklungen kann nur durch die Anwendung einer geeigneten induzierten Spannungsprüfung (siehe Punkt b) unter speziellen Prüfbedingungen nach 4.4.2.2 geprüft werden.

ANMERKUNG 2 In bestimmten Fällen kann es empfehlenswert sein, die Eignung der Isolierung am Niederspannungsende abgestuft isolierter Wicklungen während der induzierten Spannungsprüfung (siehe Punkt b) unter speziellen Prüfbedingungen nach 4.4.2.2 nachzuweisen.

Verfahren: Wenn nicht anders festgelegt, muss eine Prüfspannung mit einem aus Tabelle 1 ausgewählten Wert zwischen festgelegten Paaren isolierter Elemente des Bauelements angewendet werden. Alle Wicklungen müssen kurzgeschlossen werden. Wicklungen und Schirme an einer Seite des Isolationssystems müssen mit dem Rahmen, dem Kern und der Erde verbunden werden, während die Wicklungen und Schirme an der anderen Seite miteinander verbunden werden müssen. Das Prüfgerät sollte über eine ausreichende Ausgangsleistung (siehe Anhang B) verfügen.

Tabelle 1 – Prüfspannungen für die elektrische Durchschlagfestigkeitsprüfung

Spitzenarbeitsspannung V_{pk}	Prüfwechselspannung 45– 65 Hz (r.m.s.) $V_{r.m.s.}$	Prüfgleichspannung V
< 25	50	71
> 25 ~ 50	100	141
> 50 ~ 100	300	424
> 100 ~ 175	500	707
> 175 ~ 700	2,8 × Spitzenarbeitsspannung	4 × Spitzenarbeitsspannung
> 700	1,4 × Spitzenarbeitsspannung + 1 000	2 × Spitzenarbeitsspannung + 1 400

Die Prüfspannung muss in angepasster Weise, jedoch höchstens mit 2 kV/s von null bis zu dem festgelegten Wert erhöht werden. Dieser Wert wird anschließend für eine festgelegte Zeitspanne (sofern kein Zusammenbruch entsteht) gehalten und dann in der gleichen Weise auf null abgesenkt.

Bei flüssigkeitsgefüllten Bauelementen mit Ausnahme solcher, die nur zum Betrieb in einer bestimmten Lage gekennzeichnet sind, müssen die Prüflinge ungefähr zur Hälfte ihrer Anzahl mit den Anschlüssen nach oben und/oder mit den Anschlüssen nach unten geprüft werden.

Falls eine bestimmte Umgebungskonditionierung für diese Prüfung erforderlich ist, muss das Bauelement für mindestens 6 Stunden unter den festgelegten Bedingungen gehalten werden, sofern nicht anders festgelegt. (siehe IEC 60068 für Angaben zum Umweltprüfverfahren)

Es dürfen keine Anzeichen für Erwärmung, Zusammenbruch oder Verschlechterung auftreten. Ionisation darf nicht als Ausfallkriterium gelten. Der Ableitstrom darf den festgelegten Wert nicht überschreiten.

Erforderliche Angaben:

- a) Wicklungsenden, zwischen denen die Prüfung durchgeführt werden soll;
- b) die Prüfspannung (für abgestuft isolierte Wicklungen müssen die Werte für beide Enden der Wicklung angegeben werden);
- c) die Frequenz der Prüfwechselspannung (sofern diese sich von den in Tabelle 1 angegebenen Werten unterscheidet);
- d) die Prüfdauer;
- e) der maximale Ableitstrom, sofern festgelegt.

ANMERKUNG 1 Wenn bei der Prüfung ein Zusammenbruch auftritt, kann dieser zunächst dadurch festgestellt werden, dass der Ableitstrom sporadisch mit Unterbrechungen ansteigt, gefolgt von einem erheblichen Anstieg auf einen konstanten höheren Wert, der bei vielen elektrischen Durchschlagfestigkeitsprüfungen von einem teilweisen oder vollständigen Zusammenbruch der Spannung begleitet ist. Diese Art des Zusammenbruchs kann durch einen teilweisen Zusammenbruch innerhalb der ionisierten Hohlräume oder in schwacher Isolierung erfolgen und dann lawinenartig zu einem vollständigen Zusammenbruch in Form eines Überschlags oder Durchschlags führen.

ANMERKUNG 2 Durchschlagfestigkeitsprüfspannungen können gefährlich sein. Bei der Durchführung solcher Prüfungen sollte daher äußerste Vorsicht geboten werden.

4.4.2.2 Induzierte Spannungsprüfung

Zweck: Überprüfen der Funktionalität einer Wicklungsisolation oder Zwischenlagenisolation von Transformatoren oder Drosseln und Überprüfung der Funktionalität der Isolation am Hochspannungsende einer abgestuft isolierten Wicklung.

Spezielle Prüfbedingungen

Die folgenden speziellen Bedingungen gelten:

- a) Gleichmäßig isolierte Wicklungen werden üblicherweise nach Verfahren 1, 2 oder 3 geprüft, je nachdem, welches Verfahren besser geeignet ist. Sofern festgelegt, kann jeder Punkt der Wicklung während der Prüfung geerdet sein.
- b) Abgestuft isolierte Wicklungen werden üblicherweise nach Verfahren 1, 2 oder 3 geprüft, je nachdem, welches Verfahren besser geeignet ist. Ein Punkt einer derartigen Wicklung kann geerdet oder während der Prüfung auf eine festgelegte Spannung über der Erdspannung erhöht werden. Die induzierte Spannung muss, wenn sie vektoriell mit jeder anderen angelegten Spannung addiert wird, derart sein, dass das hohe Spannungsende der Wicklung annähernd auf den Wert der Spitzenprüfspannung in 4.4.2.1 "Verfahren" erhöht wird.

Wenn die festgelegte Spannung über Erde alterniert, muss sie dieselbe Frequenz aufweisen wie die induzierte Spannung (siehe Anhang C).

ANMERKUNG Während der Durchführung der induzierten Spannungsprüfung sollte grundsätzlich keine Wicklung "schwimmen", d. h. an beiden Enden unverbunden bleiben.

Verfahren 1: Anwendbar für Transformatoren und Drosseln für Leistungsanwendungen durch sinusförmige Wellenformen.

Eine vorgeschriebene Prüfspannung, die nicht weniger als doppelt so groß wie die Versorgungsbemessungsspannung ist und deren Frequenz mindestens doppelt so groß wie die niedrigste Bemessungsfrequenz ist, muss über die festgelegte Wicklung angelegt werden. Die Dauer und Art der Anwendung muss den Festlegungen der Bauartspezifikation entsprechen.

Verfahren 2: Anwendbar für Transformatoren und Drosseln für Leistungsanwendungen durch Impulswellenformen.

Es müssen festgelegte Prüfspannungsimpulse mit einer Amplitude von nicht weniger als der doppelten Bemessungsimpulsamplitude bei einer festgelegten Impulswiederholfrequenz von nicht weniger als 25 % der höchsten Impulswiederholfrequenz und mit einer festgelegten Impulsdauer von nicht weniger als 25 % der höchsten Impulsdauer und üblicherweise nicht mehr als 50 %* der Bemessungsimpulsdauer über der Wicklung angelegt werden. Die Dauer und Art der Anwendung muss den Festlegungen der Bauartspezifikation entsprechen.

Verfahren 3: Anwendbar für Transformatoren und Drosseln, die mit nichtsinusförmigen periodischen Wellenformen gesteuert werden, wie etwa in durch Halbleiterschaltungen getakteten Schaltnetzteilen.

Eine festgelegte sinusförmige Prüfspannung mit einem Scheitelwert von mindestens der doppelten Höhe des höchsten Bemessungsscheitelwerts der Eingangsspannungswellenform und einer wie nachfolgend beschriebenen festgelegten Frequenz muss an die festgelegte Windung angelegt werden. Die Dauer und Art der Anwendung muss den Festlegungen der Bauartspezifikation entsprechen.

Die Periodendauer der Prüffrequenz darf üblicherweise** nicht größer sein als die effektiv größte Halbperiode der Betriebswellenform, für die das Bauelement vorgesehen ist, z. B. im Fall von pulsbreitenmodulierten symmetrischen oder unsymmetrischen Wellenformen.

Die effektiv kürzeste Einschaltzeit des elektronischen Schalters muss als effektive Halbperiode betrachtet werden.

Dauer der Anwendung der Prüfspannung in den Verfahren 1, 2 und 3

Die Dauer der Anwendung der Prüfspannung muss wie folgt festgelegt werden:

- a) Die angewendete Spannung muss von einem Drittel ihres festgelegten Werts auf ihren vollen Wert erhöht und dann für $60 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$ gehalten werden, bevor sie auf ein Drittel ihres Werts und anschließend auf null reduziert wird.
- b) 5 s bis 10 s (der Wert ist anzugeben).

Anforderungen:

Es dürfen keine Anzeichen für Erwärmung, Zusammenbruch oder Verschlechterung auftreten. Ionisation darf nicht als Ausfallkriterium gelten.

Erforderliche Angaben in der Bauartspezifikation:

- a) die Prüfspannung (der Effektivwert oder der Scheitelwert, sofern anwendbar);
- b) die mit Spannung zu versorgende(n) Wicklung(en) (siehe ANMERKUNG 2);
- c) der Punkt einer Wicklung, der mit einem bekannten Potential verbunden werden soll, und der Wert dieses Potentials (sofern anwendbar);
- d) die Dauer der Anwendung der Prüfspannung;
- e) die Prüffrequenz oder die Impulswiederholfrequenz (sofern anwendbar);

* Impulsdauern von mehr als 50 % des höchsten Bemessungswerts dürfen festgelegt werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass hierdurch keine Sättigung des Kernflusses oder andere Unregelmäßigkeiten auftreten.

** Eine geringere Prüffrequenz darf angewendet werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass hierdurch keine Sättigung des Kernflusses oder andere Unregelmäßigkeiten auftreten.

- f) die Impulsdauer (bei Verfahren 2).

ANMERKUNG Eine Prüfspannungsquelle darf an andere Wicklungen als die übliche Eingangswicklung angeschlossen werden, um die erforderlichen Spannungen zu erhalten.

Verfahren 4: Auf jede Wicklung wird eine ausreichend hohe Prüfspannung angewendet, um eine Amplitude zu induzieren, die dem Doppelten der Bemessungsspannung entspricht. Die Wicklung muss unter Arbeitsbedingungen geerdet werden.

Prüffrequenz: Das Doppelte der niedrigsten Frequenz im festgelegten Bereich und weit von der resonanten Frequenz entfernt.

Die Dauer der Anwendung der Prüfspannung beträgt 7200 ± 200 Zyklen oder $5 \pm 0,5$ s; der größere dieser beiden Werte ist zu wählen.

Während der Prüfung muss der Transformator auf kontinuierlichen Überschlagn, Zusammenbruch der Isolierung und Veränderungen des Eingangsstroms überprüft werden.

Die Zwischenlagenisolation des Transformators wird durch Vergleich der Flächengröße geprüft und die genauen Regeln werden wie folgt ergänzt:

- a) Prüfgerät: Windungskurzschlussprüfgerät;
- b) auf die primäre Wicklung angewendete Koronaspitzenspannung;
- c) Anwenden eines Koronaspitzenspannungswerts;
- d) Auswahl des Prüfkanals;
- e) Prüfmodus: NORMAL (Normalmodus);
- f) Abtasten und Messen der Referenzwellenform;
- g) Prüfergebnis: Das Flächenverhältnis der geprüften Wellenform zu der Bezugswellenform (Lernen) liegt innerhalb des festgelegten Werts.

4.4.2.3 Isolationswiderstand

Zweck: Messung des Widerstands der Isolation zwischen verschiedenen Teilen des Bauelements.

Verfahren: Sofern nicht anders angegeben, muss der Isolationswiderstand mit einer der folgenden Gleichspannungen gemessen werden:

100 V $\pm$ 10 V für Wicklungen mit einer Spitzenarbeitsspannung < 500 V oder

500 V $\pm$ 10 V für Spitzenarbeitsspannung $\geq$ 500 V.

Die Prüfspannung muss angewendet werden, bis ein stetiger Messwert erhalten wird, oder andernfalls für 60 s $\pm$ 5 s.

Wenn eine festgelegte Umgebungsbedingung gefordert ist, muss das Bauelement für mindestens 6 h in dem festgelegten Zustand gehalten werden, sofern nicht anders angegeben. (siehe IEC 60068 für Angaben zum Umweltprüfverfahren)

Erforderliche Angaben:

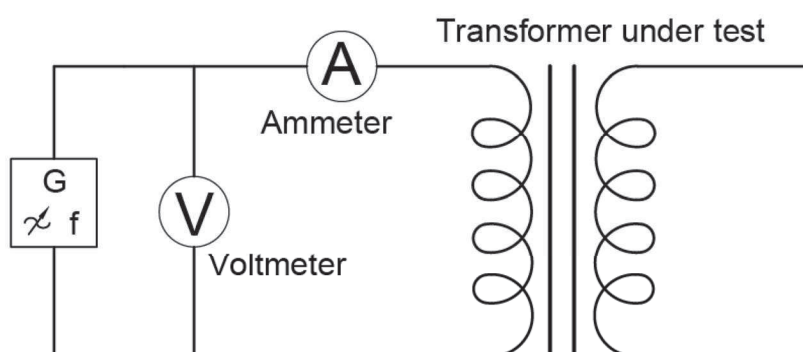
- a) Anschlüsse, zwischen denen die Messung durchzuführen ist;
- b) Spitzenarbeitsspannung für jede Wicklung;
- c) Umgebungsbedingungen.

4.4.3 Verluste

4.4.3.1 Leerlaufstrom

Zweck: Nachweis, dass der Kern die erforderliche Qualität hat, korrekt zusammengesetzt ist und dass innerhalb der Wicklungen keine Kurzschlüsse bestehen.

Verfahren: Die bei der Frequenz oder den Frequenzen festgelegte Spannung muss aus einer Spannungsquelle mit geringer Impedanz auf die Eingangswicklung angewendet. Alle anderen Wicklungen müssen dabei offen sein. Der Oberwellenanteil der angelegten Spannung muss weniger als 6 % betragen. Der Eingangsstrom muss mit einem genauen Echt-Effektivwertmessgerät gemessen werden, dessen Impedanz ausreichend gering ist, um die angewendete Spannung nicht um mehr als 1 % zu verändern. Der Eingangsstrom muss gemessen werden, nachdem sich sein Wert stabilisiert hat. Bei mehrphasigen Bauelementen müssen alle Eingangsströme gemessen werden. Das Prüfschema ist in Bild 5 dargestellt.



Englisch	Deutsch
Transformer under test	Zu prüfender Transformator
Ammeter	Stromstärkemessgerät
Voltmeter	Spannungsmessgerät

Bild 4 – Leerlaufstrom-Prüfschema

Erforderliche Angaben:

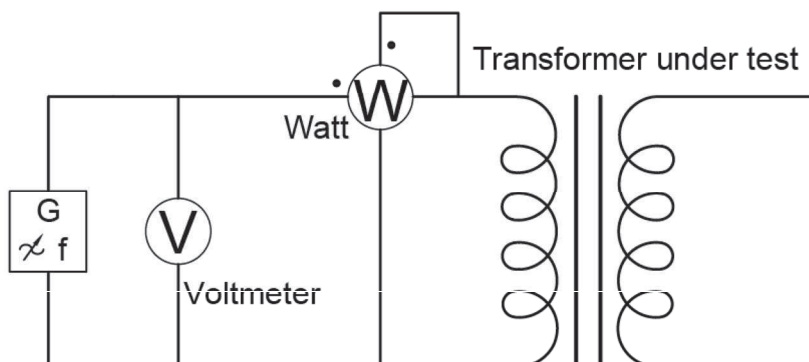
- Wechselspannung;
- Prüffrequenz;
- zu prüfende Wicklung;
- höchster Effektivwert des Eingangsstroms.

4.4.3.2 Leerlaufverlust

Zweck: Nachweis, dass der Transformator die erforderliche Qualität besitzt und korrekt zusammengebaut ist, und dass innerhalb der Wicklungen keine Kurzschlüsse bestehen.

Verfahren: Die festgelegte Spannung bei der festgelegten Frequenz muss über ein geeignetes Wattmeter auf die Eingangswicklung angewendet werden. Alle anderen Wicklungen müssen offen sein. Der Oberwellenanteil der auf die Wicklung angewendeten Spannung muss weniger als 6 % betragen (siehe Anhang D).

Die Verlustleistung muss gemessen werden, nachdem sich ihr Wert stabilisiert hat. Eine Korrektur für die Verluste des Wattmeters muss vorgenommen werden, falls diese bedeutsam sind.



Englisch	Deutsch
Transformer under test	Zu prüfender Transformator
Watt	Watt
Voltmeter	Spannungsmessgerät

Bild 5 – Leerlaufverlust-Prüfschema

Erforderliche Angaben:

- a) Prüfspannung;
- b) Prüffrequenz;
- c) anzuschließende Wicklung;
- d) höchste Verlustleistung.

4.4.3.3 Gütefaktor Q

Zweck: Bestimmung des Gütefaktors eines Bauelements bei einer bestimmten Frequenz.

Verfahren: Der Gütefaktor Q muss bei einer festgelegten Spannung und Frequenz mit einem geeigneten Verfahren gemessen werden, zum Beispiel:

- a) einer geeigneten Induktivitätsmessbrücke;
- b) einem Gütemesser (Q -Meter);
- c) einer Messung der Einfügungsdämpfung (siehe z. B. Anhang H von IEC 62044-2).

Die obigen Hinweise für das Verfahren c) enthalten die entsprechenden Formeln und Berechnungen.

Die Beziehungen zwischen der effektiven Induktivität L und dem Widerstand R eines zu prüfenden Bauelements und dem bei der Frequenz f bemessenen Wert von Q sind, je nachdem, ob die Darstellung im Serien- (s) oder Parallelschaltbild benutzt wird:

$$Q = \frac{2\pi fLs}{R_s}$$

und

$$Q = \frac{R_p}{2\pi fLp}$$

respektive.

Erforderliche Angaben:

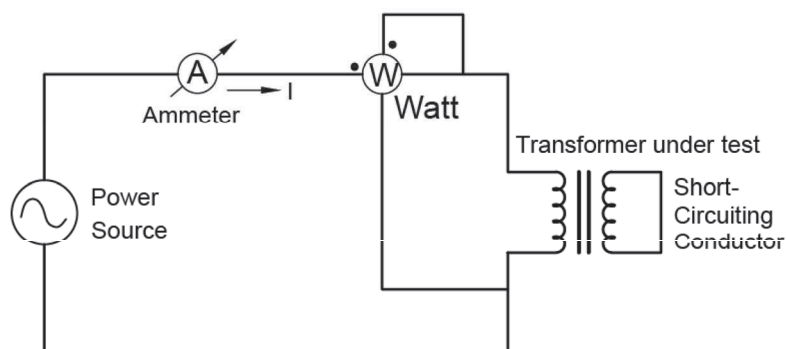
- a) Wicklungsanschlüsse;
- b) Wechselspannung;
- c) Messfrequenz;
- d) Grenzwerte von Q .

ANMERKUNG Bei der Prüfung von Bauelementen mit hohem Gütefaktor Q können Korrekturen für Kondensatorverluste und Anschlussimpedanz notwendig sein.

4.4.3.4 Kurzschlussleistungsprüfung

Zweck: Die Kurzschlussleistungsprüfung dient dazu, die Verluste aufgrund des effektiven Wechselspannungswiderstands des Transformators mit Ausnahme der Kernverluste bei Nennstrom zu bestimmen.

Verfahren: Bild 7 zeigt ein vereinfachtes Diagramm. Der Schaltkreis besteht aus einer Stromquelle mit festgelegter Frequenz, einem Stromstärkemessgerät zur Messung des Primärstroms des Transformators und einem Wattmeter zur Messung der Verluste im Hauptstromkreis des Transformators. Die Sekundärwicklung wird mit der geringstmöglichen Impedanz kurzgeschlossen.



Englisch	Deutsch
Ammeter	Stromstärkemessgerät
Watt	Watt
Transformer under test	Zu prüfender Transformator
Power Source	Stromquelle
Short-Circuiting conductor	Kurzschlussleiter

Bild 6 – Vereinfachtes Diagramm der Kurzschlussleistungsprüfung

Erforderliche Angaben:

- a) Die Stromquelle muss die erforderliche Spannung und den erforderlichen Strom mit einem festgelegten Grenzwert des Oberwellenanteils liefern.
- b) Das Wattmeter muss den tatsächlichen Stromverlust im geprüften Transformator mit der festgelegten Genauigkeit angeben.
- c) Das Stromstärkemessgerät muss den Effektivwert in der Primärwicklung mit einer festgelegten Genauigkeit angeben.
- d) Der kurzschließende Leiter und seine Verbindungen mit den Anschlüssen der Sekundärwicklung müssen vernachlässigbare Impedanzen im Vergleich zur Sekundärwicklung haben.

Der Transformator wird mit dem Prüfkreis verbunden. Die Eingangsspannung sollte von 0 V angehoben werden, bis der Messwert des Stromstärkemessgeräts dem Nennstrom entspricht. Die von dem Wattmeter angezeigte Leistung P ist die Kurzschlussleistung, d. h. die Summe der Verluste der Hauptspule und des Stromverlusts des Stromstärkemessgeräts und des Wattmeters.

ANMERKUNG Die Messung sollte schnellstmöglich nach der Erregung vorgenommen werden, um die Einflüsse der Selbsterwärmung zu minimieren.

4.4.3.5 Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad des Transformators ist das Verhältnis der Gesamtausgangsleistung des Transformators zu der Eingangsleistung des Geräts, angegeben in Prozent:

$$\square \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100$$

Dabei ist

P_{out} die gesamte Ausgangsleistung;

P_{in} die Eingangsleistung.

Der Wirkungsgrad von Transformatoren kann genauer berechnet werden, wenn die Kern- und Kupferverluste aus unabhängigen Messungen oder Schätzungen bekannt sind:

$$\eta = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} 100 = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} 100$$

Dabei ist

P_{out} die gesamte Ausgangsleistung;

P_{in} die Eingangsleistung;

P_{loss} der Verlust.

4.4.4 Induktivität

4.4.4.1 Wirksame Induktivität

Zweck: Messung der wirksamen Induktivität einer Wicklung.

Verfahren: Die Induktivität der festgelegten Wicklung muss mit einer geeigneten Brücke bei festgelegter Spannung und Frequenz und gegebenenfalls mit polarisierendem Gleichstrom gemessen werden.

Erforderliche Angaben:

- a) zu messende Wicklung;
- b) Art der Messung (siehe Anmerkung);
- c) Wechselspannung an der gemessenen Wicklung;
- d) Messfrequenz;
- e) polarisierender Gleichstrom.

ANMERKUNG 1 Im Fall von Bauelementen mit einer niedrigen Güte Q , üblicherweise 10 oder weniger, ist es notwendig, festzulegen, ob ein Serien- oder Parallel-Messverfahren angewendet werden soll.

ANMERKUNG 2 Zwischen der bei niedriger Frequenz gemessenen wahren Induktivität L_0 und der effektiven Induktivität L_e , gemessen bei einer sich der Eigenresonanz annähernden Frequenz, besteht ein Unterschied.

4.4.4.2 Effektiver Widerstand

Zweck: Messung des effektiven Widerstands einer Wicklung.

Verfahren: Der Widerstand der festgelegten Wicklung muss mit einer geeigneten Brücke bei festgelegter Spannung und Frequenz und gegebenenfalls mit polarisierendem Gleichstrom gemessen werden.

Erforderliche Angaben:

- a) zu messende Wicklung;
- b) Wechselspannung an der gemessenen Wicklung;
- c) Messfrequenz.

4.4.4.3 Streuinduktivität L_1

Zweck: Bestimmung der Streuinduktivität zwischen den Wicklungen eines Transformators.

Verfahren: Die Serieninduktivität der festgelegten Wicklung muss mit einer geeigneten Brücke gemessen werden, wobei die übrigen Wicklungen oder eine festgelegte Wicklung wie vorgeschrieben kurzgeschlossen sind.

Erforderliche Angaben:

- a) Prüfwicklung oder andere Wicklungsanschlüsse;
- b) Wechselspannung;
- c) Messfrequenz.

4.4.5 Unsymmetrie

ANMERKUNG Die folgenden Prüfungen gelten für die verschiedenen Arten von Unsymmetrien in Transformatoren.

4.4.5.1 Kapazitätsunsymmetrie

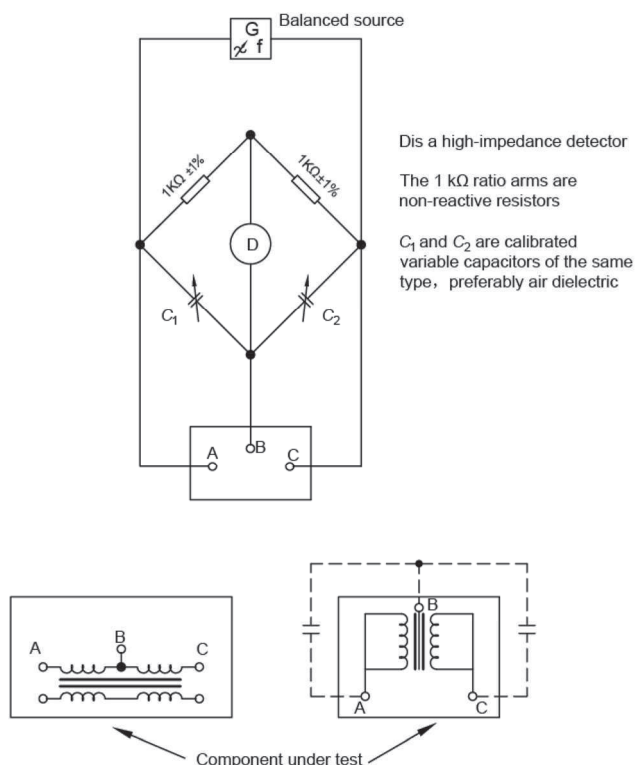
Zweck: Bestimmung der Kapazitätsunsymmetrie zwischen festgelegten Anschlüssen eines Transformators.

Verfahren: Eine geeignete Schaltung für die Messung dieses Parameters ist in Bild 8 dargestellt. Die Prüffrequenz muss hoch genug sein, damit die Wirkung einer Induktivitätsunsymmetrie vernachlässigbar wird.

Der Kondensator C_1 wird ohne Verbindungen zu dem zu prüfenden Transformator auf einen festgelegten Wert (zum Beispiel 50 pF) eingestellt und eine Symmetrie wird durch Veränderung von C_2 hergestellt. Der Transformator wird dann wie in Bild 8 gezeigt angeschlossen und die Symmetrie der Brücke wird durch Verändern von C_1 wiederhergestellt. Die Differenz zwischen den beiden Werten von C_1 ist die Kapazitätsunsymmetrie.

Erforderliche Angaben:

- a) Anfangswert von C_1 ;
- b) Anschlüsse des Bauelements;
- c) Frequenz.



Englisch	Deutsch
Balanced source	Symmetrische Quelle
Dis a high-impedance detector	Hochimpedanzdetektor
The 2 kΩ ratio arms are non-reactive resistors	Die 2 kΩ Verhältnisarme sind Blindwiderstände
C ₁ and C ₂ are calibrated variable capacitors of the same type, preferably air dielectric	C ₁ und C ₂ sind kalibrierte variable Kondensatoren der gleichen Bauart, vorzugsweise Luftkondensatoren
Component under test	Zu prüfendes Bauelement

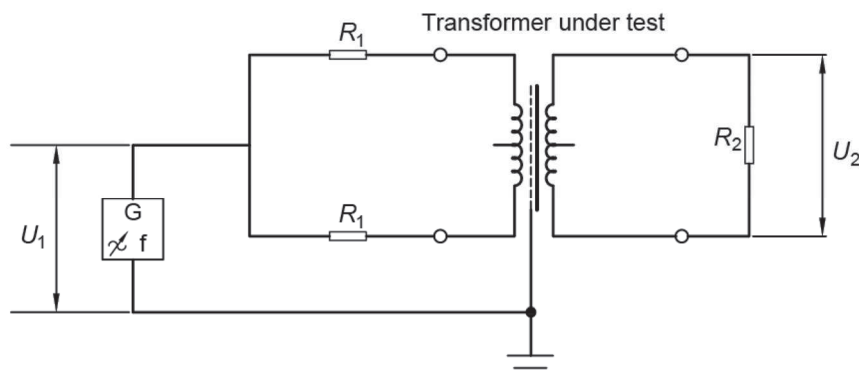
ANMERKUNG Die Buchstabenbezeichnungen dienen nur zur Bezugnahme.

Bild 7 – Schaltung für die Messung der Kapazitätsunsymmetrie

4.4.5.2 Gleichtaktunterdrückungsverhältnis

Zweck: Bestimmung des Grads der Unterdrückung der Gleichtakteingangsspannung.

Verfahren: Eine geeignete Schaltung für diese Prüfung ist in Bild 9 dargestellt.



Englisch	Deutsch
Transformer under test	Zu prüfender Transformator

Bild 8 – Schaltung für die Bestimmung des Gleichtaktunterdrückungsverhältnisses

Die Eingangsanschlüsse des zu prüfenden Transformators werden mit dem Hochspannungsausgang einer Spannungsquelle über gleiche Widerstände R_1 verbunden, die jeweils der Hälfte der Eingangsimpedanz entsprechen. Die Ausgangsanschlüsse des zu prüfenden Transformators werden mit einem Widerstand R_2 verbunden, dessen Wert in der Bauartspezifikation festgelegt ist.

Das Gleichtaktunterdrückungsverhältnis (CMRR) in Dezibel ist gegeben durch:

$$\text{CMRR} = -20 \lg (U_2/U_1)$$

Dabei ist

U_1 die Spannung der Gleichtaktquelle und

U_2 die Spannung des Gleichtaktsignals, das vom zu prüfenden Bauelement ausgeht.

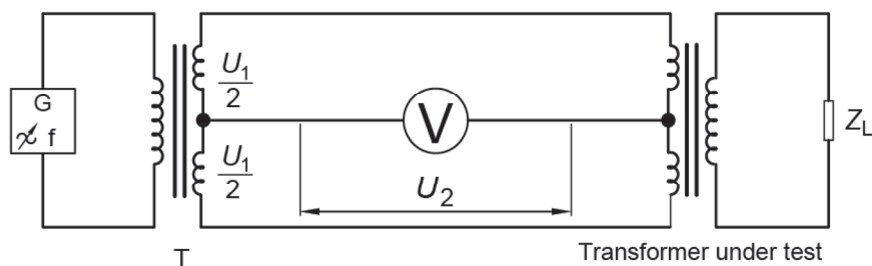
Erforderliche Angaben:

- Transformatoranschlüsse einschließlich der Erdanschlüsse;
- Prüffrequenz;
- Eingangsimpedanz $2R_1$;
- Lastwiderstand R_2 .

4.4.5.3 Impedanzunsymmetrie

Zweck: Bestimmung der Impedanzunsymmetrie zwischen zwei Wicklungen eines Transformators, die gleich sein sollen.

Verfahren: Eine geeignete Schaltung für diese Prüfung ist in Bild 10 dargestellt.



Englisch	Deutsch
Transformer under test	Zu prüfender Transformator

Bild 9 – Schaltung für die Messung der Impedanzunsymmetrie

Ein geschirmter und symmetrisierter Präzisionstransformator muss als Eingangstransformator T benutzt werden und seine Symmetrie muss mindestens 20 dB besser sein als der erwartete Wert für den zu prüfenden Transformator.

Wenn U_2 die Spannung ist, die durch die Unsymmetrie verursacht und mit dem Voltmeter V gemessen wird, dann ergibt sich die Impedanzunsymmetrie a_{uz} in Dezibel durch den Ausdruck:

$$a_{uz} = 20 \lg (U_1/2U_2)$$

Erforderliche Angaben:

- Anschlüsse des Bauelements;
- Eingangsspannung U_1 ;
- Lastimpedanz Z_L ;
- Prüffrequenz.

ANMERKUNG Es wird empfohlen, für V ein auf die Prüffrequenz eingestelltes frequenzselektives Voltmeter zu verwenden.

4.4.5.4 Übersprechdämpfung

Zweck: Bestimmung der Übersprechdämpfung in einem Telekommunikationsleitungstransformator zur Anwendung in einer Phantomschaltung.

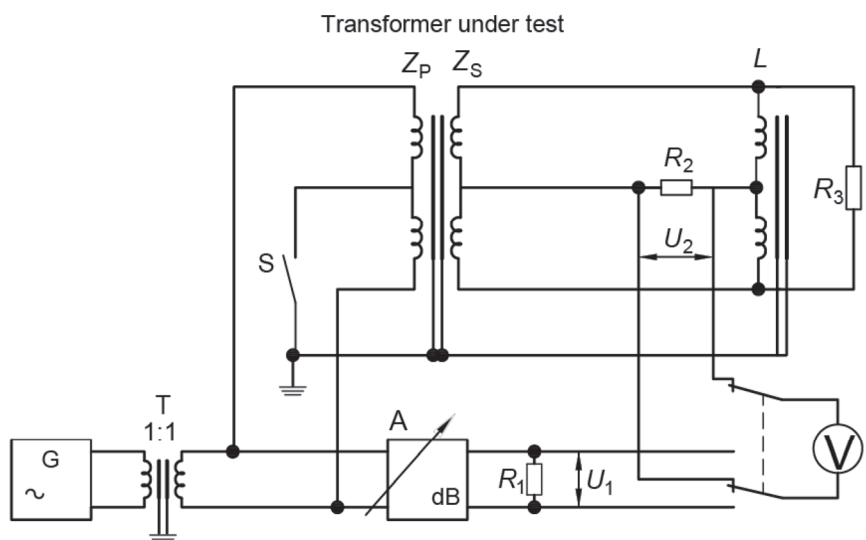
Verfahren: Eine geeignete Prüfschaltung ist in Bild 11 dargestellt.

Das Dämpfungsglied muss eingeregelt werden, bis $U_1 = U_2$ ist.

Die Übersprechdämpfung a_c in Dezibel muss dann aus der Einstellung a_r des Dämpfungsglieds anhand des folgenden Ausdrucks berechnet werden:

$$a_c = a_r + 10 \lg 2 - 10 \lg (Z_p/Z_s)$$

- T ist ein geschirmter und symmetrisierter Präzisionstransformator.
- L ist ein geschirmter und symmetrisierter Präzisionstransformator mit Mittelanschluss, dessen Symmetrie mindestens um 20 GB besser ist als für den zu prüfenden Transformator erwartet.
- G ist ein Transformator mit geringer Ausgangsimpedanz.
- A ist ein einstellbares Dämpfungsglied mit einer charakteristischen Impedanz R_1 .
- V ist ein für die Betriebsfrequenz geeignetes Voltmeter mit einer Impedanz von mehr als 10 k Ω .
- S ist ein Schalter, der die Erdung des primären Mittelanschlusses des Transformators im Bedarfsfall ermöglicht.
- Z_p ist die festgelegte Primärimpedanz.
- Z_s ist die festgelegte Sekundärimpedanz.
- R_1 ist ein Widerstand mit einem Wert, der der charakteristischen Impedanz des Dämpfungsglieds entspricht.
- R_2 ist ein Widerstand mit einem Wert, der der charakteristischen Impedanz der Phantomschaltung entspricht.
- R_3 ist ein Widerstand mit einem Wert, der der festgelegten Sekundärimpedanz entspricht.



Englisch	Deutsch
Transformer under test	Zu prüfender Transformator

Bild 10 – Schaltung zur Bestimmung der Übersprechdämpfung

Erforderliche Angaben:

- a) Primär- und Sekundärimpedanz des Transformators;
- b) Impedanz der Phantomschaltung;
- c) Prüffrequenz, wenn sie nicht 800 Hz beträgt;
- d) Mittelanschluss der Primärwicklung des Transformators, geerdet oder nicht geerdet.

4.4.5.5 Spannungsunsymmetrie

Zweck: Bestimmung der Spannungsunsymmetrie zwischen zwei Wicklungen eines Transformators, die gleich sein sollen.

Verfahren: Der Transformator muss mit einer Quelle der festgelegten Spannung und Frequenz verbunden werden. Ein Lastwiderstand, der die Arbeitsbedingungen simuliert, muss mit den entsprechenden zu messenden Wicklungen verbunden werden und die Spannungsunsymmetrie muss anhand der folgenden Formel aus den gemessenen Werten U_1 und U_2 als Prozentsatz bestimmt werden:

$$\frac{U_1 - U_2}{U_1} \times 100$$

oder durch den Parameter a_{uv} anhand des Ausdrucks in Dezibel angegeben werden:

$$a_{uv} = 20 \lg[U_2/(U_1 - U_2)]$$

Dabei ist U_1 der größere der gemessenen Werte.

Erforderliche Angaben:

- a) Prüffrequenz;
- b) anzulegende Spannung;
- c) Anschlüsse des Bauelements;
- d) Lastwiderstand.

4.4.5.6 Widerstandsunsymmetrie

Zweck: Bestimmung der Gleichstromwiderstandsunsymmetrie zwischen zwei Wicklungen eines Transformators, die gleich sein sollen.

Verfahren: Der Gleichstromwiderstand jeder festgelegten Wicklung muss mit einem Gerät mit einer Auflösung gemessen werden, die dem 0,1-fachen des ohmschen Werts der festgelegten Gleichstromwiderstandsunsymmetrie entspricht oder besser ist. Der Messstrom muss so gewählt werden, dass keine Erhitzung oder wesentliche Magnetisierung des zu prüfenden Bauelements entsteht.

Die Widerstandsunsymmetrie muss als Prozentsatz anhand der folgenden Formel berechnet werden:

$$\frac{R_1 - R_2}{R_1} \times 100$$

oder in Dezibel durch den Parameter a_{ur} anhand des folgenden Ausdrucks angegeben:

$$a_{uv} = 20 \lg R_2/(R_1 - R_2)$$

Dabei ist R_1 der größere und R_2 der kleinere der beiden Messwerte.

Erforderliche Angaben:

- Anschlüsse der Wicklungen.

4.4.5.7 Phasenunsymmetrie

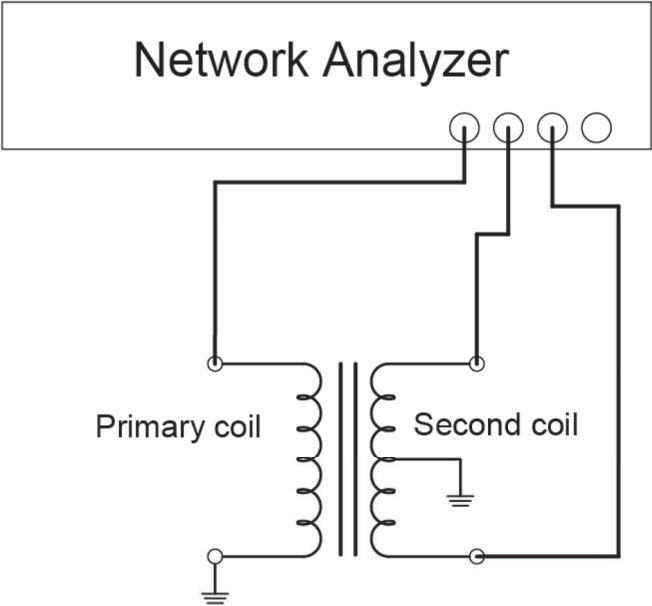
Zweck: Bestimmung der Phasensymmetrie zwischen zwei Wicklungen, die gleiche Phasen haben sollen.

Verfahren: Die betreffende Prüfschaltung ist in Bild 12 dargestellt.

Die Phasenunsymmetrie muss zwischen den Ausgangsanschlüssen gemessen werden. Während der Messung müssen andere Anschlüsse mit der zugewiesenen Last, die die Messanforderungen erfüllt, verbunden werden. Die Messungen werden an den übrigen Ausgangsanschlüssen wiederholt.

Erforderliche Angaben:

- a) Prüfinstrument: Vierkanal-Vektor-Netzwerkanalysator oder vergleichbares Gerät;
- b) Prüfkanal;
- c) Bestimmen durch Kippfrequenz im gesamten angegebenen Bereich.



Englisch	Deutsch
Network Analyzer	Netzwerkanalysator
Primary coil	Primärdrossel
Second coil	Zweite Drossel

Bild 11 – Schematisches Diagramm der Phasen- und Amplitudenunsymmetrie

4.4.5.8 Amplitudenunsymmetrie (Hochfrequenz)

Zweck: Bestimmung der Amplitudensymmetrie zwischen zwei Wicklungen, die gleiche Ausgangspegel haben sollen.

Verfahren: Die betreffende Prüfschaltung ist in Bild 12 dargestellt.

Die Amplitudenunsymmetrie muss zwischen den Ausgangsanschlüssen gemessen werden. Während der Messung müssen andere Anschlüsse mit der zugewiesenen Last, die die Messanforderungen erfüllt, verbunden werden. Die Messungen werden an den übrigen Ausgangsanschlüssen wiederholt.

Erforderliche Angaben:

- a) Prüfinstrument: Vierkanal-Vektor-Netzwerkanalysator oder vergleichbares Gerät;
- b) Prüfkanal;
- c) Bestimmen durch Kippfrequenz im gesamten angegebenen Bereich.

4.4.6 Kapazität

4.4.6.1 Eigenkapazität (verteilte Kapazität)

Zweck: Bestimmung der wirksamen Eigenkapazität (verteilte Kapazität) festgelegter Wicklungen.

Verfahren 1: Für die Messung müssen die Wicklungsanschlüsse über kurze Zuleitungen mit einem Gütemesser verbunden werden. Bei der festgelegten Frequenz (mindestens das Fünffache der Eigenresonanzfrequenz der Wicklung) muss die Wicklung mit einer vorgeschriebenen Drossel in Resonanz versetzt werden. Die Drossel muss anschließend von dem Gütemesser getrennt werden. Die Drossel muss durch Hinzufügung einer Kapazität anstelle der Wicklung erneut mit derselben Frequenz in Resonanz versetzt werden. Die hinzugefügte Kapazität muss als wirksame Eigenkapazität der Wicklung angesehen werden.

Verfahren 2: Kondensatoren mit bekannten Werten müssen parallel zur Wicklung geschaltet werden und die Resonanzfrequenzen der so gebildeten Parallelschwingungskreise müssen mit einer geeigneten Parallelimpedanz- oder Admittanzbrücke gemessen werden. Die Kapazitätswerte müssen gegen $1/f^2$ aufgetragen werden. Wenn dies eine Gerade ergibt, muss deren Schnittpunkt mit der Kapazitätsachse als Zahlwert der gesuchten Eigenkapazität angesehen werden. Eine übliche Aufzeichnung ist in Bild 13 dargestellt.

Ein nichtlinearer Verlauf weist auf Wirbelstromabschirmeinflüsse hin. In diesem Fall müssen die Kapazitätswerte aufgetragen werden über:

$$\frac{1}{f^2 (l_2/L)}$$

Dabei ist

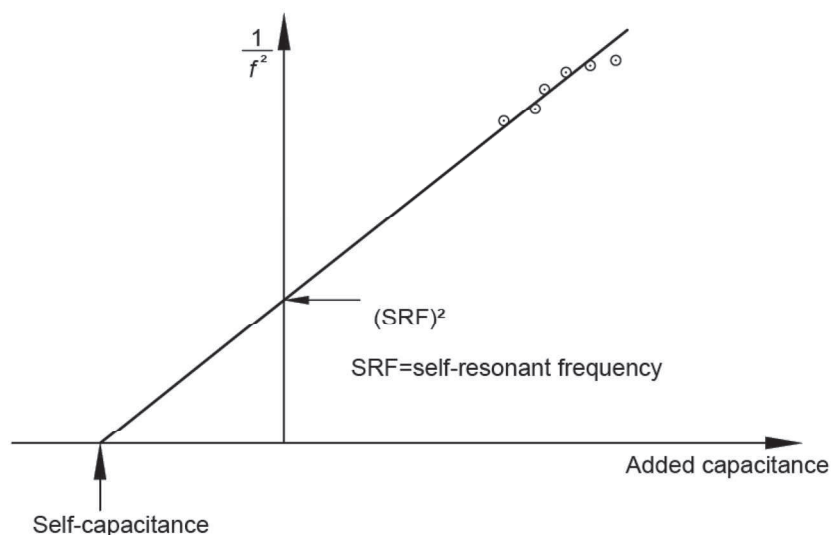
- L die Induktivität der Wicklung bei niedriger Frequenz;
- L_1 die Induktivität der Wicklung bei der Messfrequenz; die Änderung des Werts wird durch die Wirbelstromabschirmung verursacht.

Für Verfahren 1 und 2 müssen die Erdungsbedingungen angegeben werden.

ANMERKUNG In der Praxis ist die Präzision des Verfahrens 2 zweifelhaft, weil der Schnittpunkt sehr empfindlich gegen die Steigung der Geraden ist und die Punkte streuen und zu weit vom Ursprung entfernt liegen.

Erforderliche Angaben:

- a) Wicklungsanschlüsse;
- b) Verfahren 1 oder 2;
- c) für Verfahren 1: die Messfrequenz;
- d) nur für Verfahren 1: eine Beschreibung der festgelegten Spule;
- e) die Erdungsbedingungen.



Englisch	Deutsch
$(\text{SRF})^2$ SRF = self-resonant frequency	$(\text{SRF})^2$ SRF = eigenresonante Frequenz
Self-capacitance	Eigenkapazität
Added capacitance	Hinzugefügte Kapazität

Bild 12 – Üblicher Graph zur Bestimmung der Eigenkapazität

Verfahren 3: Die Resonanzfrequenz der Wicklung wird durch den Impedanzanalysator gemessen und die Eigenkapazität (verteilte Kapazität) der Wicklung wird anhand der Resonanzfrequenz und der wirksamen Induktivität (dem Induktivitätswert des linearen Segments im Bereich der Prüffrequenz) berechnet.

Die Eigenkapazität (verteilte Kapazität) der Wicklung sollte wie folgt berechnet werden:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Erforderliche Angaben:

- a) Wicklungsanschlüsse;
- b) Wechselspannung;
- c) Prüffrequenzbereich.

Für die drei Verfahren 1, 2 und 3 müssen die Erdungsbedingungen den Vorgaben entsprechen.

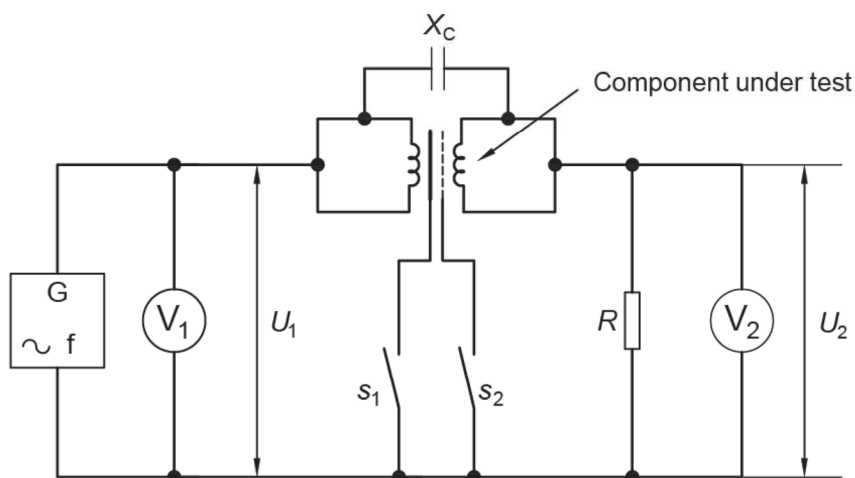
4.4.6.2 Kapazität zwischen Wicklungen

Zweck: Bestimmung der wirksamen Kapazität zwischen festgelegten Wicklungen.

Verfahren 1: Die Wicklungen, die in diese Messungen einzubeziehen sind, müssen kurzgeschlossen werden, wenn nicht anders in der Bauartspezifikation festgelegt. Die festgelegten Anschlusspunkte, zwischen denen die wirksame Kapazität gemessen werden muss, müssen an eine geeignete Kapazitätsbrücke angeschlossen werden.

ANMERKUNG Dieses Verfahren ist für die Anwendung bei relativ niedrigen Frequenzen geeignet.

Verfahren 2: Die festgelegten Anschlusspunkte der zu prüfenden Wicklungen, jeweils kurzgeschlossen, sofern nicht anders gefordert, müssen wie in einer Prüfschaltung wie etwa in Bild 14 angeschlossen werden. Dabei ist X_c die Reaktanz der zu messenden Kapazität.



Englisch	Deutsch
Component under test	Zu prüfendes Bauelement

Bild 13 – Schaltung zur Bestimmung der Kapazität zwischen Wicklungen

Der Widerstand R sollte 100- bis 1 000-mal kleiner sein als der Wert X_c . Die Werte von U_1 und U_2 werden an den Voltmetern V_1 beziehungsweise V_2 abgelesen und die Kapazität zwischen Wicklungen wird anhand der Formel: berechnet.

$$C = \frac{1}{2\pi f R} \times \frac{U_2}{U_1}$$

Dabei ist

f die Generatorfrequenz G .

ANMERKUNG Wenn viele Bauelemente gemessen werden müssen, kann es ausreichen, feste Werte von f , R und U_1 zu verwenden, sodass U_2 direkt in Kapazitätseinheiten abgelesen werden kann.

Die Schalter S_1 und S_2 erlauben, den Kern, die Abschirmung oder beides mit der Erde zu verbinden.

Erforderliche Angaben:

- a) Wicklungsanschlüsse;
- b) für Verfahren 1: die Frequenz.

4.4.6.3 Kapazität zwischen Bauteilen

Zweck: Bestimmung der wirksamen Kapazität zwischen zwei Bauteilen eines Transformators (z. B. Wicklung gegenüber Abschirmung und/oder Kern).

Verfahren: Wie bei 4.4.6.2.

Erforderliche Angaben: Wie bei 4.4.6.2.

4.4.7 Übersetzungsverhältnisse

4.4.7.1 Übersetzungsverhältnis nach Impedanz

Das Übersetzungsverhältnis eines praktischen Transformators mit einer ersten Wicklung mit N_1 Wicklungen zu einer zweiten, magnetisch mit der ersten Wicklung gekoppelten Wicklung mit N_2 Wicklungen kann als Verhältnis der Impedanzen der beiden Wicklungen einschließlich der gegenseitigen Impedanzen bestimmt werden:

$$a_{12} = \frac{Z_{10} + K\sqrt{Z_{10} \cdot Z_{20}}}{Z_{20} + K\sqrt{Z_{10} \cdot Z_{20}}}$$

Dabei ist

a_{12} das Übersetzungsverhältnis

Z_{10} die Impedanz der Primärwicklung im offenen Schaltzustand = $R_{10} + j\omega L_{10}$

Z_{20} die Impedanz der Sekundärwicklung im offenen Schaltzustand = $R_{20} + j\omega L_{20}$

K der Kopplungskoeffizient, wobei der Term $K\sqrt{Z_{10} \cdot Z_{20}}$ die gegenseitige Impedanz zwischen den beiden Wicklungen repräsentiert.

In dem Sonderfall, in dem die Phasenwinkel Z_{10} und Z_{20} gleich sind, entspricht das Übersetzungsverhältnis dem Verhältnis der gegenseitigen Induktivitäten der beiden Wicklungen einschließlich der Induktivitäten:

$$a_{12} = \frac{L_{10} + K\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}{L_{20} + K\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}$$

Dabei ist

a_{12} das Übersetzungsverhältnis

L_{10} die Induktivität der Primärwicklung im offenen Schaltzustand

L_{20} die Induktivität der Sekundärwicklung im offenen Schaltzustand

K der Kopplungskoeffizient, wobei der Term $K\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}$ die gegenseitige Induktivität zwischen den beiden Wicklungen repräsentiert.

Diese Bedingungen entstehen durch die am häufigsten verwendeten Übersetzungsverhältnisbrücken.

4.4.7.2 Kopplungskoeffizient

Der Kopplungskoeffizient gibt die Dichtheit der Kopplung zwischen den Wicklungen an:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}$$

Dabei ist

M die gegenseitige Induktivität

In Kopplungsinduktoren der Ausdruck für den Kopplungskoeffizienten:

$$K = \frac{L_{sa} - L_{so}}{4\sqrt{L_{10} \cdot L_{20}}}$$

Dabei ist

L_{sa} die Induktivität der beiden in Reihe verbundenen unterstützenden Wicklungen;

L_{so} die Induktivität der beiden in Reihe verbundenen entgegengewirkenden Wicklungen;

L_{10} die Induktivität der Primärwicklung im offenen Schaltzustand;

L_{20} die Induktivität der Sekundärwicklung im offenen Schaltzustand.

In Transformatoren, der Ausdruck für den Kopplungskoeffizienten:

$$K = \sqrt{1 - \frac{L_s}{L_{10}}}$$

L_{10} die Induktivität der Primärwicklung im offenen Schaltzustand;

L_s die Kurzschlussinduktivität der Primärwicklung.

4.4.7.3 Spannungsübersetzungsverhältnis

Zweck: Nachweis, dass das Spannungsübersetzungsverhältnis von zwei Wicklungen eines Transformators innerhalb der festgelegten Grenzen liegt.

Verfahren 1: Eine Versorgung mit festgelegter Spannung und Frequenz muss mit der festgelegten Wicklung verbunden werden, während alle anderen Wicklungen offen sind. Die Ausgangsspannung an der betreffenden Wicklung muss gemessen und das gesuchte Verhältnis muss bestimmt werden.

ANMERKUNG 1 Das Messgerät sollte eine ausreichend hohe Impedanz besitzen, damit sein Einfluss auf die gemessene Spannung vernachlässigbar ist.

ANMERKUNG 2 Es empfiehlt sich im Allgemeinen, die Prüfspannung an der Wicklung mit der höchsten Impedanz anzuwenden und den Ausgang der Wicklung mit der niedrigen Impedanz bei einer Frequenz zu messen, bei der die Wicklung die höchste Güte Q hat, aber Eigenresonanz vermeidet.

Erforderliche Angaben:

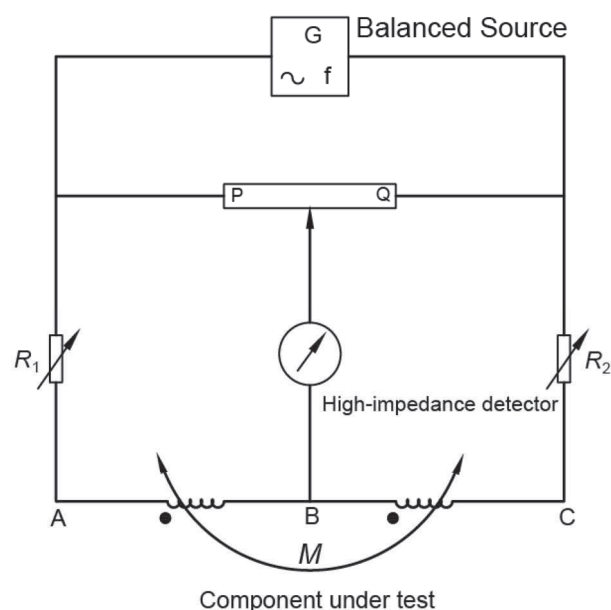
- a) Wechselspannung;
- b) Messfrequenz;
- c) anzuschließende und zu messende Wicklungen;
- d) die Grenzwerte des Spannungsübersetzungsverhältnisses.

Verfahren 2 (nur für einphasige Bauelemente): Die beiden zu prüfenden Wicklungen müssen in eine Brückenschaltung nach Bild 15 eingebaut werden. Die beiden zu prüfenden Wicklungen müssen so angeschlossen werden, dass die Gesamtinduktivität zwischen den Anschlüssen A und C durch die Gegeninduktivität M zwischen den Wicklungen vergrößert wird. Die Widerstände R_1 und R_2 werden auf die in der Bauartspezifikation angegebenen Werte eingestellt und ein vorläufiger Ausgleich wird durch Verändern von P/Q erreicht. Ein endgültiger Abgleich der Brücke, erkennbar durch einen Mindestwert der Detektoranzeige, muss dann durch Einstellung von R_1 (oder R_2) und P/Q erhalten werden, und das Spannungsübersetzungsverhältnis muss mit $AB/BC = P/Q$ berechnet werden.

P und Q sind nicht-reaktive Zehnerwiderstandseinheiten.

R_1 und R_2 sind nicht-reaktive variable Widerstände.

ANMERKUNG Die Buchstabenbezeichnungen der Anschlüsse dienen nur zur Bezugnahme.



Englisch	Deutsch
Balanced Source	Symmetrische Quelle
High-impedance detector	Hochimpedanz-Detektor
Component under test	Zu prüfendes Bauelement

Bild 14 – Schaltung für die Messung des Spannungsübersetzungsverhältnisses

Erforderliche Angaben in der Bauartspezifikation:

- Wechselspannungspegel;
- Messfrequenz;
- Anfangswerte von R_1 und R_2 ;
- Anschlüsse, zwischen denen zu messen ist;
- Grenzwerte des Spannungsübersetzungsverhältnisses.

Verfahren 3 (gilt für Sekundärwicklungen und mehrere Wicklungen): Die festgelegte Frequenz und Spannung wird an dem Windungsfaktormessgerät für mit dem Ausgang des Instruments verbundene Wicklungen eingegeben. Der Ausgangsanschluss des Geräts wird mit der festgelegten Wicklung und der Eingangsanschluss mit der anderen Wicklung verbunden, um den Ausgangswert der entsprechenden Wicklung zu messen und das erforderliche Spannungsübersetzungsverhältnis anhand der Tatsache, dass die Anzahl der Windungen dem Spannungsverhältnis ($N_1/N_2 = U_1/U_2$) entspricht, zu bestimmen.

Erforderliche Angaben:

- Messspannung;
- Messfrequenz;
- Anzahl der Windungen für mit dem Ausgangsanschluss verbundene Wicklungen;
- anzuschließende und zu messende Wicklungen;
- zulässige Abweichung des Spannungsübersetzungsverhältnisses.

4.4.7.4 Stromübersetzungsverhältnis

Zweck: Bestimmung des Stromübersetzungsverhältnisses zwischen zwei Wicklungen des Stromtransformators.

Verfahren 1: Der Stromtransformator CT wird an die Prüfschaltung nach Bild 16 angeschlossen. Die Anzapfpunkte an R_2 und M werden abgeglichen und der Detektor wird auf null eingestellt, sodass die folgende Formel gilt:

$$K = \frac{i_1}{i_2} = \frac{R_2''}{R_1 \cos \beta}$$

$$\beta = \arctan \frac{\omega M}{R_2''}$$

Dabei ist

K das Stromübersetzungsverhältnis;

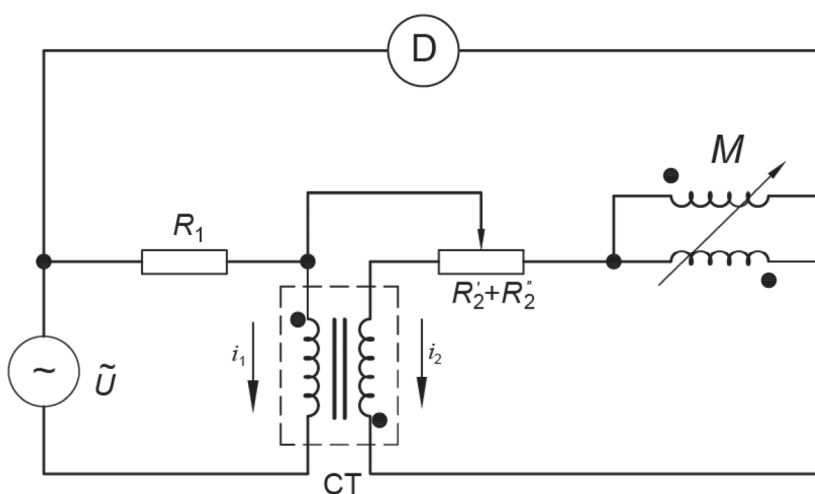
B der Phasenwinkel des Stroms zwischen zwei Wicklungen;

R_2'' ein Teil von R_2 in dem Detektorkreis ($R_2' + R_2''$);

$\omega = 2\pi f$, dabei ist f die Messfrequenz.

ANMERKUNG 1 Die Polarität der Wicklungen des Stromtransformators muss derart sein, dass die Spannungsphase zwischen dem Anschluss R_1 und R_2 wie Serienwiderstände gegenüber dem Detektor erscheint. Die Polarität der Wicklung M muss eine Symmetrie erreichen.

ANMERKUNG 2 Der Wert für R_2 wird so gewählt, dass die Sekundärwicklung des Stromtransformators mit dessen Bemessungslast belastet wird. Als erste Annäherung kann für den Wert von R_1 der gewählte Wert R_2 genommen werden, der in Kombination mit der Bemessungslast den Wert von i_2 bestimmt. Unter der Annahme, dass der vorgegebene Wert K richtig ist, kann der Wert von i_1 berechnet werden und die Spannung des Prüfsignalgenerators kann ermittelt und der Wert R_1 kann bestimmt werden.



CT ist der zu prüfenden Stromtransformator

M ist ein variabler gegenseitiger Induktor

R_1 und R_2 sind nicht-induktive Widerstände

D ist ein Nulldetektor

$R_2 = R_2' + R_2''$

Bild 15 – Schaltkreis für die Messung des Stromübersetzungsverhältnisses und des Phasenwinkels

Erforderliche Angaben:

- a) Bemessungsprimärstrom;
- b) Bemessungslast;
- c) Messfrequenz;
- d) Stromübersetzungsverhältnis und dessen Grenzabweichung;
- e) Stromphasenwinkel und dessen zulässige Abweichung.

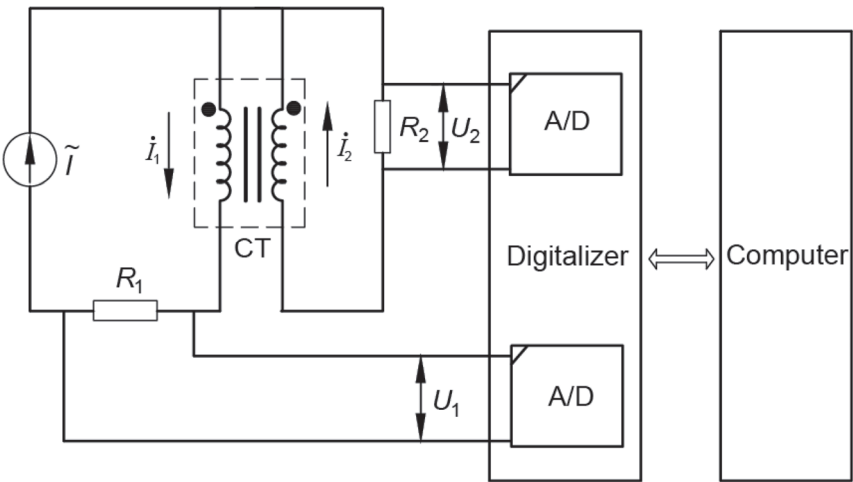
Verfahren 2: Digitale Messung des Stromübersetzungsverhältnisses und des Stromphasenwinkels

Der Stromtransformator CT wird mit der Messschaltung in Bild 17 verbunden, der Ausgangsstrom der Breitband Kontantstromquelle i_1 wird eingestellt, sodass die folgende Formel gilt:

$$K = \frac{|\dot{I}_1|}{|\dot{I}_2|} = \frac{|U_1 R_2|}{|U_2 R_1|}$$
$$\beta = \angle(\dot{U}_1 - \dot{U}_2)$$

Dabei ist

- K das Stromübersetzungsverhältnis
- B der Stromphasenwinkel zwischen zwei Wicklungen
- R_1 der Messwiderstand im Primärkreis
- R_2 der Messwiderstand im Sekundärkreis



Englisch	Deutsch
Digitalizer	Impulsgeber
Computer	Computer

CT der zu prüfende Stromtransformator

ANMERKUNG R_1 und R_2 sind nicht-induktive Widerstände

Bild 16 – Messschaltung des Stromübersetzungsverhältnisses und des Phasenwinkels

Erforderliche Angaben:

- a) Bemessungsprimärstrom;

- b) Bemessungslast;
- c) Messfrequenz;
- d) Stromübersetzungsverhältnis und dessen Grenzabweichung;
- e) Stromphasenwinkel und dessen zulässige Abweichung.

4.4.8 Resonanzfrequenz

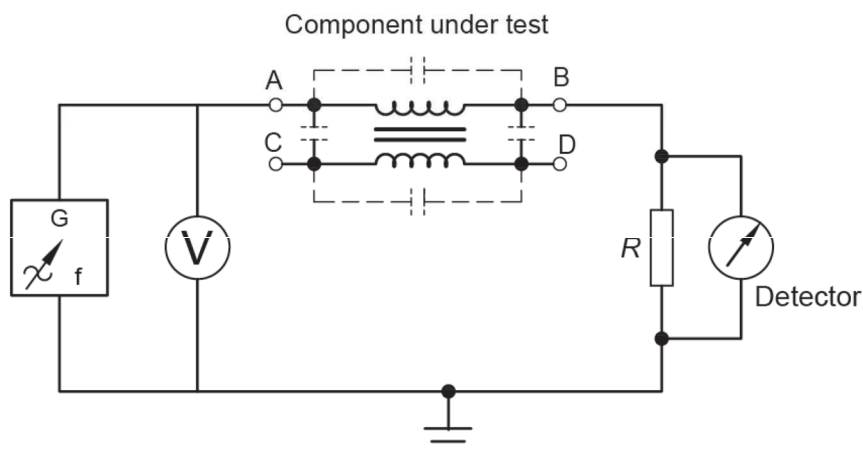
ANMERKUNG Bei den folgenden beiden Prüfungen sollte darauf geachtet werden, Ungenauigkeiten zu vermeiden, die durch Kapazitäten zwischen den Prüfanschlüssen oder zwischen den Bauelementen und der Erde verursacht werden, insbesondere, wenn die Prüfung mit dem an einen der Prüfanschlüsse angeschlossenen Kern durchgeführt werden muss.

4.4.8.1 Eigenresonanz

Zweck: Bestimmen der parallelen Eigenresonanz eines induktiven Elements.

Verfahren 1: Das zu prüfende Bauteil wird an den Prüfkreis nach Bild 18, dessen Elemente die folgenden Anforderungen erfüllen, angeschlossen:

- a) Die Signalquelle muss einen Spannungsausgang mit ausreichend niedriger Impedanz aufweisen, um den Blindstrom auf jeder Seite neben der Resonanzfrequenz sicherzustellen;
- b) Der Detektor muss eine hohe Impedanz und vorzugsweise eine Anzeige von mindestens 0,01 V aufweisen;
- c) Der Widerstand R muss blindwiderstandsfrei sein und einen möglichst geringen Wert aufweisen, mit dem ein brauchbarer Spannungspegel konstant gemessen werden kann.



Englisch	Deutsch
Component under test	Zu prüfendes Bauelement
Detector	Detektor

ANMERKUNG Die Buchstabenbezeichnungen der Anschlüsse dienen nur zur Bezugnahme.

Bild 17 – Schaltung zur Messung der parallelen Eigenresonanz

Beginnend mit der niedrigsten Frequenz innerhalb des festgelegten Frequenzbereichs muss die Frequenz erhöht und mit dem Voltmeter auf einen ablesbaren Mindestwert geachtet werden. Die Frequenz, bei der dieser Mindestwert auftritt, ist die Eigenresonanzfrequenz.

Erforderliche Angaben:

- a) Wechselspannung;
- b) Wert des Widerstands R ;

- c) Verbindungen einschließlich der geerdeten Teile des Bauelements und der Prüfschaltung;
- d) zu untersuchender Frequenzbereich.

ANMERKUNG Verfahren 2 aus 4.4.6.1 darf als Grundlage für ein alternatives Prüfverfahren verwendet werden.

Verfahren 2: Die Resonanzfrequenz des induktiven Bauelements wird mit einem Impedanzanalysator gemessen.

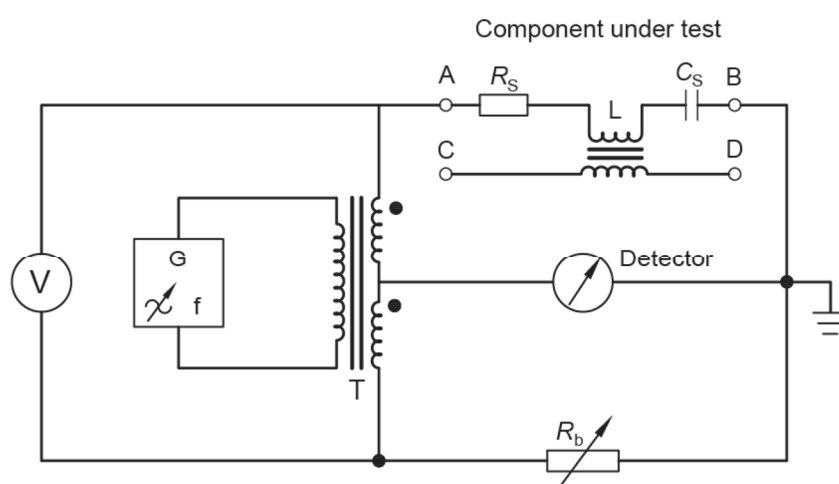
Erforderliche Angaben:

- a) Wicklungsanschlüsse;
- b) Wechselspannung;
- c) Prüffrequenzbereich.

4.4.8.2 Resonanzschwingkreis

Zweck: Bestimmung der Resonanzfrequenz und gegebenenfalls des Wirkwiderstands eines Bauelements, welches üblicherweise die Eigenschaften zusammenhängender diskreter Bauelemente wie etwa eines mitschwingenden Kondensators beinhaltet.

Verfahren: Nachdem das zu prüfende Bauelement wie in dem Schalt diagramm in Bild 19 gezeigt angeschlossen wurde, müssen die Frequenz des Generators und der Wert von R_b ungefähr auf die in der Bauartspezifikation angegebenen Werte eingestellt werden. Nachdem die Ausgangsspannung des Generators auf den in der Bauartspezifikation angegebenen Wert eingeregelt wurde, müssen die Generatorfrequenz und der Wert von R_b abwechselnd verändert werden, bis der Detektor die kleinste Auslenkung anzeigt. Diese aufzuzeichnenden Werte von f und R_b entsprechen der geforderten Resonanzfrequenz und dem seriellen Wirkwiderstand des geprüften Bauelements.



Englisch	Deutsch
Component under test	Zu prüfendes Bauelement
Detector	Detektor

Legende

- G ist ein Leistungssoszillator, der den erforderlichen Frequenzbereich abdeckt, mit einer geeigneten Ausgangsleistung, um das Bauelement mit einem Pegel zu versorgen, der seinem üblichen Betrieb entspricht;
- R_b ist ein blindwiderstandsfreier Trimmwiderstand, der mindestens den doppelten Wert des seriellen Wirkwiderstands des Bauelements hat;
- T ist ein geschirmter Transformator mit einer genau abgeglichenen Ausgangswicklung, der über den in der Bauartspezifikation festgelegten Frequenzbereich eingesetzt werden kann.

ANMERKUNG 1 Der Detektor ist ein hochohmiges Messgerät mit geeigneter Empfindlichkeit für den festgelegten Frequenzbereich. Das Schaltelement kann einen geschirmten Transformator beinhalten.

ANMERKUNG 2 Die Buchstabenbezeichnungen der Anschlüsse dienen nur zur Bezugnahme.

ANMERKUNG 3 Diese Schaltung ist auch für parallele Kombinationen von L und C geeignet.

Bild 18 – Schaltung zur Bestimmung der Resonanzfrequenz von Resonanzschwingkreisen

Erforderliche Angaben in der Bauartspezifikation:

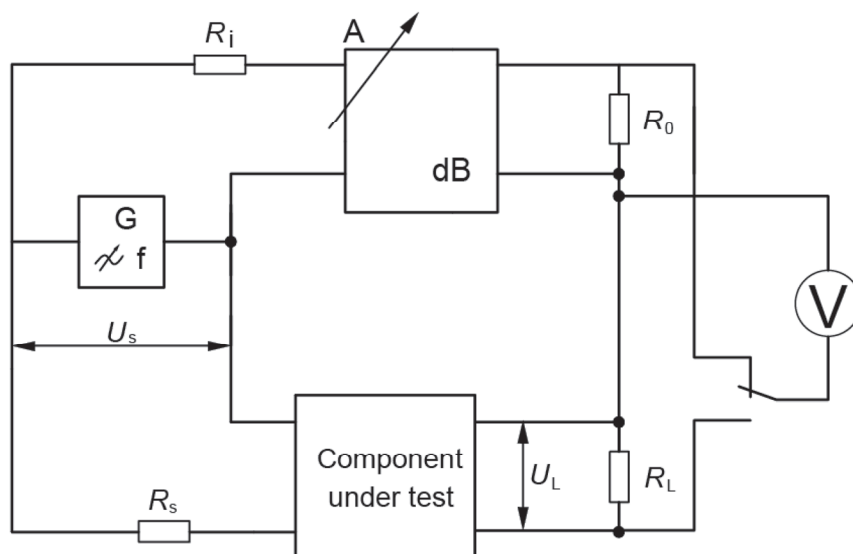
- der/die Wechselspannungspegel;
- die geforderten (oberen und unteren) Grenzwerte der Resonanzfrequenz;
- gegebenenfalls die Werte des wirksamen Reihenwiderstands (oberer und/oder unterer Grenzwert);
- die Lastdetails und Anschlüsse unter besonderer Bezugnahme auf die Erdung der Teile des/der Bauelemente/Bauelements.

4.4.9 Signalübertragungseigenschaften

4.4.9.1 Einfügungsdämpfung

Zweck: Bestimmung der Einfügungsdämpfung eines Transformators bei einer festgelegten Spannung und über einen festgelegten Frequenzbereich, nachdem der Transformator zwischen der festgelegten Quelle und den Lastimpedanzen eingefügt wurde.

Verfahren 1: Der Transformator muss mit der in Bild 20 dargestellten Basisschaltung verbunden sein.



- G ist ein einstellbarer Frequenzgenerator mit dem festgelegten Prüffrequenzbereich.
- A ist ein einstellbarer Präzisionsdämpfer mit einer Eingangsimpedanz R_i und einer Ausgangsimpedanz R_o .
- V ist ein frequenzselektives Voltmeter mit hoher Eingangsimpedanz.
- R_i ist ein Widerstand, dessen Wert der Eingangsimpedanz des Dämpfers entspricht.
- R_o ist ein Widerstand, dessen Wert der Ausgangsimpedanz des Dämpfers entspricht.
- R_L ist ein Widerstand, dessen Wert der festgelegten Lastimpedanz des Transformators entspricht.
- R_s ist ein Widerstand, dessen Wert der festgelegten Impedanzquelle des Transformators entspricht.
- U_L ist die Spannung über der Last.
- U_s ist die Spannung über der Quelle.

U_o ist die Spannung über R_o .

ANMERKUNG Diese Prüfanordnung gilt nur, wenn $U_L \leq U_s / 2$ und $R_L \leq R_s$.

Englisch	Deutsch
Component under test	Zu prüfendes Bauelement

Bild 19 – Schaltung zur Bestimmung der Einfügungsdämpfung

U_L muss bei jeder festgelegten Frequenz gemessen und der Dämpfer muss so eingestellt werden, dass U_o mit U_L übereinstimmt.

Bei einem Übertragungsverhältnis von 1:1 ist die Einfügungsdämpfung gleich der eingestellten Dämpfung.

Wenn das Übertragungsverhältnis nicht 1:1 beträgt, muss die eingestellte Dämpfung a_r aufgezeichnet und der Dämpfungsverlust a_i in Dezibel anhand des folgenden Ausdrucks berechnet werden:

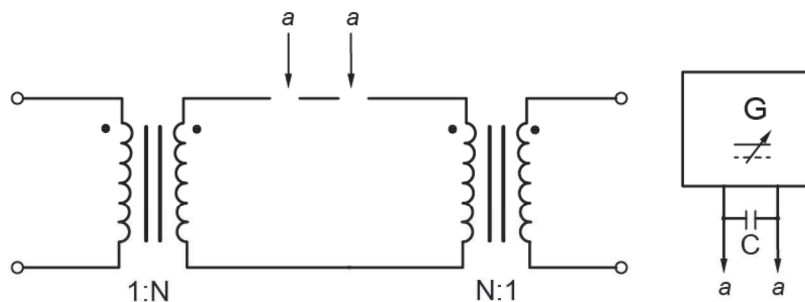
$$a_i = a_r - 10 \lg (R_s/R_L)$$

Hieraus ergibt sich der korrekte Dämpfungsverlust, wenn die Blindanteile der Quelle und die Lastimpedanzen als Teil des Transformators festgelegt sind. Ist dies nicht der Fall, wird der Dämpfungsverlust zwischen den Impedanzen Z_s (Quellenimpedanz) und Z_L (Lastimpedanz) gegeben durch:

$$a_i = 20 \log \left(\frac{U_s}{U_L} \left| \frac{Z_L}{Z_s + Z_L} \right| \right)$$

ANMERKUNG Z_s und Z_L sind im Allgemeinen komplexe Größen.

Wenn das Übersetzungsverhältnis des Transformators erheblich von 1:1 abweicht, können zuverlässigere Messungen unter Verwendung von zwei gleichen Prüflingen in der in Bild 21 dargestellten Weise zur Bildung eines "zu prüfenden Bauelements" nach Bild 20 erzielt werden. Diese Prüfanordnung erleichtert weiterhin Messungen, wenn polarisierende Ströme gefordert sind, wie durch den in Bild 21 gezeigten einzufügenden Generator gezeigt.



ANMERKUNG C erfordert eine vernachlässigbare Reaktanz bei der Prüffrequenz.

Bild 20 – Verwendung von zwei gleichen Transformatoren, wenn das Übertragungsverhältnis nicht 1:1 ist und/oder ein Gleichspannungsanteil gefordert ist

In diesem Fall muss für den Wert der Einfügungsdämpfung jedes Transformators die Hälfte der eingestellten Dämpfung genommen werden.

Erforderliche Angaben:

- Wicklungsanschlüsse;
- Quellenimpedanz;

- c) Lastimpedanz;
- d) Quellenspannung;
- e) Messfrequenzbereich;
- f) polarisierender Strom (sofern vorhanden).

ANMERKUNG Ungewollte Kopplungen zwischen Eingang und Ausgang sollten durch geeignete Schirmung und Erdung minimiert werden.

4.4.9.2 Rücklaufdämpfung

Zweck: Bestimmung des Grads der Impedanzfehlانpassung in Form von Rücklaufdämpfung, dargestellt durch eine einzelne Transformatorwicklung, wenn alle anderen Wicklungen mit ihren eignen Lastimpedanz angeschlossen sind.

Die Rücklaufdämpfung a_{ri} wird als Messwert einer Fehlanpassung zwischen einer Quelle und einer Last in Dezibel durch den folgenden Ausdruck angegeben:

$$a_{ri} = 10 \lg W_a / W_r$$

Dabei ist

W_a die höchste verfügbare Leistung in der Last;

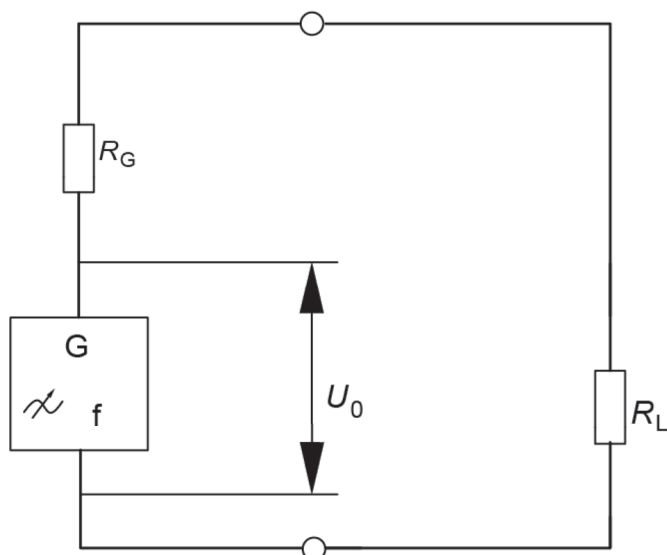
W_r die reflektierte Leistung.

Somit ergibt sich unter diesen Bedingungen, wie in Bild 22 dargestellt, für einen Generator mit einer Ausgangsimpedanz R_G und einer Leerlaufspannung U_0 , der an eine Last R_L angeschlossen ist, die höchste verfügbare Leistung, wenn $R_L = R_G$ und Folgendes gilt

$$W_a = U_0^2 / 4R_G$$

Wenn R_L einen anderen Wert hat, wird die Differenz zwischen der tatsächlichen aufgebauten und größtmöglichen Leistung in der Last, d. h. der reflektierten Leistung, berechnet durch:

$$W_r = \frac{U_0^2}{4R_G} \left(\frac{R_L - R_G}{R_L + R_G} \right)^2$$

**Bild 21 – Darstellung der Rücklaufdämpfung**

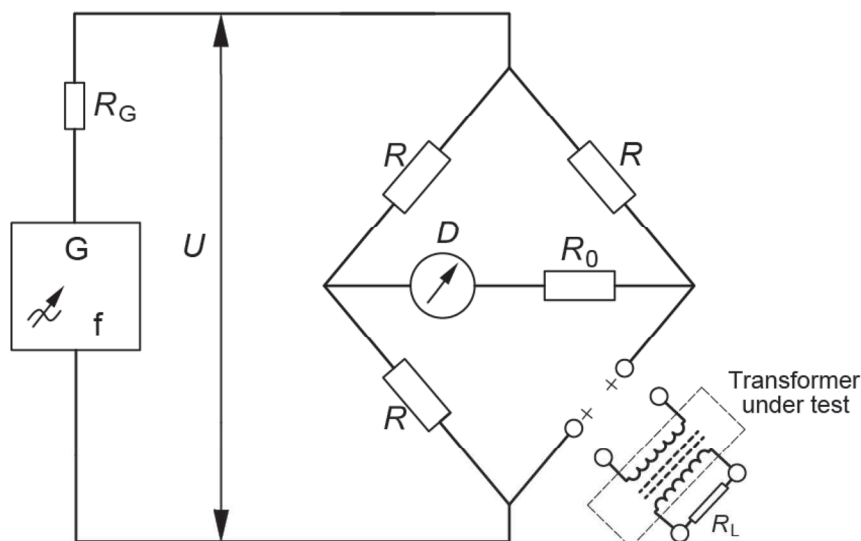
Der Wert der Rücklaufdämpfung a_{ri} in Dezibel ist daher gegeben durch:

$$a_{ri} = 20 \log \frac{R_L + R_G}{|R_L - R_G|}$$

Verfahren 1: Die Basisschaltung der Messbrücke nach Bild 23 wird mit ihren Elementen entsprechend R_G aufgebaut und die Spannung U und die Quellenfrequenz f werden auf die festgelegten Werte eingestellt. Die an dem kalibrierten Dezibelmeter angezeigte Anfangsdämpfung der Brücke D, wenn die Anschlüsse X entweder kurzgeschlossen oder offen sind, wird aufgezeichnet. Diese Dämpfung wird a_1 genannt. Der angeschlossene zu prüfende Transformator wird anschließend mit den Anschlüssen X verbunden und die durch D angezeigte Dämpfung wiederum aufgezeichnet. Diese Dämpfung wird a_2 genannt.

Die Rücklaufdämpfung des Transformators a_{ri} in Dezibel wird dann durch den folgenden Ausdruck angegeben:

$$a_{ri} = a_2 - a_1$$



Die Widerstände R sind frequenzunabhängig und in einem Bereich von $\pm 0,1\%$ aufeinander abgestimmt.

$$R = R_G = R_D (= \text{üblicherweise } 600 \Omega).$$

0 ist ein handelsübliches Dezibelmeter für Standardreferenzimpedanzen wie 600Ω .

Englisch	Deutsch
Transformer under test	Zu prüfender Transformator

Bild 22 – Basisschaltung für die Messung der Rücklaufdämpfung

ANMERKUNG 1 Die Anfangsdämpfung der Messbrücke a_1 sollte annähernd 12 dB betragen; der gemessene Wert hängt von der Genauigkeit der Bauelemente in der Messbrücke ab, insbesondere der Impedanz der Quelle und des kalibrierten Dezibelmeters.

ANMERKUNG 2 Geeignete handelsübliche Messgeräte, die das notwendige Netzwerk für eine direkte Messung der Rücklaufdämpfung beinhalten, sind gebräuchlich und dürfen verwendet werden.

Erforderliche Angaben:

- Impedanz, gegen die der Rücklaufverlust gemessen werden muss, R ;
- Wicklungsanschlüsse;
- Lastwiderstand R_L oder Impedanz Z_L ;
- Quellenspannung(en);
- Messfrequenzen;
- Gleichstrom in der Ausgangswicklung, falls erforderlich.

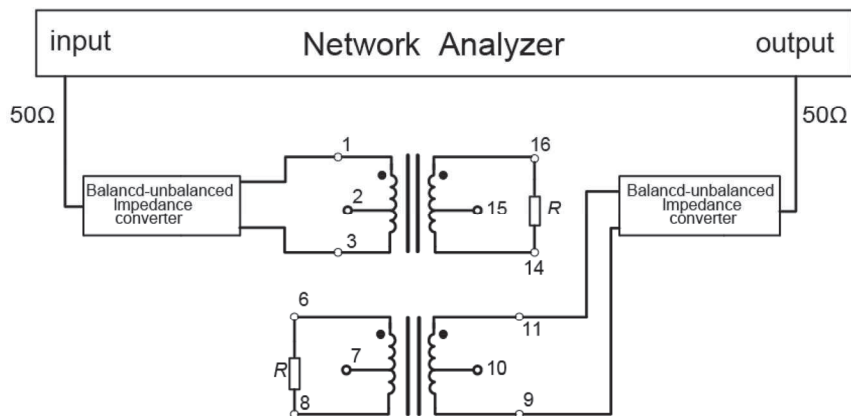
4.4.10 Querstörung (oder Querempfindlichkeit)

Zweck: Bestimmung der Kopplung der entsprechenden räumlichen Induktions- oder parasitärer Parameter bestimmter Transformatorwicklungen mit allen anderen Wicklungen. Die Kopplung wird durch den Verlust bei der Überschneidungsfrequenz angegeben.

Verfahren: Die Basismessschaltung nach Bild 24 besteht aus einem Netzwerkanalysator und einem symmetrischen-unsymmetrischen Impedanzwandler. Das Prüfprogramm des Netzwerkanalysators wird aufgerufen und die Frequenz wird auf den festgelegten Wert eingestellt. Wenn der Ursprung eines Wicklungssatzes mit dem Ausgangsanschluss des Netzwerkanalysators verbunden wird, wird das hintere Ende an die Last angeschlossen (in Übereinstimmung mit den relevanten Vorschriften); der Ursprung des anderen Wicklungssatzes wird mit der Last verbunden (in Übereinstimmung mit den relevanten Vorschriften) und das

hintere Ende wird an den Eingangsanschluss des Netzwerkanalysators angeschlossen. Die Dezibelwerte an jedem Frequenzpunkt in dem Netzwerkanalysator werden aufgezeichnet und gelten als Querstörung.

Diagramm der Messschaltung der Querstörung für Transformatoren (dB):



Der Lastwiderstand R ist ein üblicher Wert wie etwa $50\ \Omega$ und $100\ \Omega$.

Englisch	Deutsch
input	Eingang
Network Analyzer	Netzwerkanalysator
output	Leistung
Balanced-unbalanced Impedance converter	Symmetrisch-Unsymmetrisch-Impedanzwandler

Bild 23 – Schaltungsdiagramm für die Messung der Querstörung zwischen zwei Transformatordrosseln

Erforderliche Angaben:

- a) Wicklungsanschlüsse;
- b) Impedanz der Quelle und Last;
- c) Prüffrequenzbereich.

4.4.11 Frequenzverhalten

Zweck: Bestimmung des Frequenzverhaltens eines Bauelements, wenn dieses zwischen festgelegten Quellen- und Lastimpedanzen angeschlossen ist.

Verfahren: Das Bauelement muss mit seiner festgelegten Quell- und Lastimpedanz an ein Transmissionsmessgerät angeschlossen werden, dessen Basisschaltung dieselbe wie für die Messung der Einfügungsdämpfung nach 4.4.9.1 (siehe Bild 20) ist. Falls festgelegt, müssen andere Wicklungen belastet und mit einem polarisierenden Gleichstrom versorgt werden. Der Dämpfer muss bei der festgelegten Referenzfrequenz f_0 eingestellt werden, bis U_0 gleich U_L ist, wie durch das frequenzselektive Voltmeter angezeigt. Der Messwert des Dämpfers muss aufgezeichnet werden. Die Änderung des Dämpferwerts, die erforderlich ist, um U_0 und U_L bei jeder anderen Frequenz in Übereinstimmung zu bringen, ergibt die relative Verstärkung oder Dämpfung des Bauelements bei der Frequenz im Vergleich zu der Referenzfrequenz. Eine grafische Darstellung der Verstärkung (Dämpfung) im Vergleich zu der Frequenz ergibt eine Kurve des Frequenzverhaltens.

ANMERKUNG Vorkehrungen wie Schirmung, Erdung und Unterdrückung der Rückkopplung durch die Verwendung koaxialer Drosseln können erforderlich sein und Korrekturen können notwendig sein, um sicherzustellen, dass die aus dem Messwert des kalibrierten Dämpfers errechnete Reaktion dasselbe Ergebnis ergibt wie durch die folgende Formel bestimmt:

$$20\lg(U_f/U_{f0})$$

Dabei ist

U_f die Ausgangsspannung bei der Frequenz f und

U_{f0} die Ausgangsspannung bei der Referenzfrequenz f_0 .

Erforderliche Angaben:

- a) Anschlüsse des Bauelements;
- b) Quellenimpedanz(en);
- c) Lastimpedanz(en);
- d) Quellenspannung;
- e) Referenzfrequenz f_0 ;
- f) Frequenzband oder Prüffrequenzen;
- g) polarisierender Strom, sofern vorhanden.

4.4.12 Impulseigenschaften

Zweck: Nachweis, dass mit einem festgelegten Impuls, der an der Eingangswicklung eines Transformators angewendet wird, die richtige Ausgangswellenform erhalten wird, wenn der Transformator an die Schaltung angeschlossen wird, für die er ausgelegt ist.

Verfahren: Der festgelegte Eingangsimpuls muss auf die Eingangswicklung angewendet werden, während die Ausgangswicklungen an die festgelegten Lasten angeschlossen sind. Der an der festgelegten Last erhaltene Impuls muss in einem Oszilloskop mit einer kalibrierten Zeitbasis und Spannungsablenkung angezeigt werden. Die Eigenschaften des Oszilloskops und seiner angeschlossenen Schaltungen müssen so sein, dass der angezeigte Impuls nicht durch übermäßige Kapazität, unzureichende Bandbreite usw. beeinträchtigt wird.

Die folgenden Messungen müssen wie durch die entsprechende Bauartspezifikation vorgeschrieben durchgeführt werden:

- a) Spitzenimpulsamplitude U_m ;
- b) Impulsdauer t_d ;
- c) Impuls-Anstiegszeit t_r ;
- d) Impuls-Abfallzeit t_f ;
- e) Schräge des Impulses;
- f) Überschwingen;
- g) Rückschwingen;
- h) Nachschwingen;
- i) Abklingdauer;

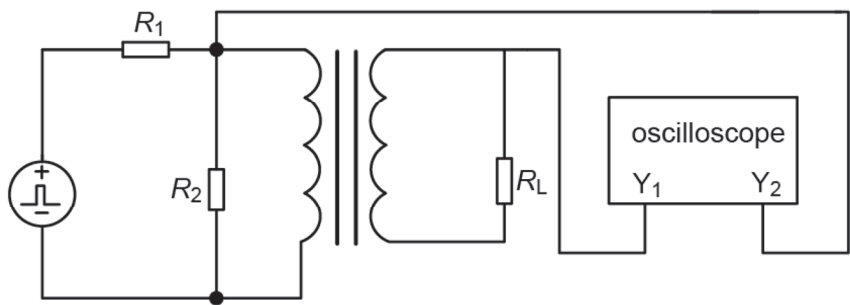
Erforderliche Angaben:

- a) eingangsseitige Spitzenimpulsamplitude, Impulsdauer, Anstiegszeit, Abfallzeit, Schräge und Wiederholungsfrequenz;
- b) Lastimpedanz(en);

- c) zu messende Ausgangseigenschaften;
- d) Umgebungstemperatur.

Prüfspezifikationen:

- a) die Prüfinstrumente sind ein Impulssignalgenerator und ein digitales Oszilloskop;
- b) die festgelegten Wicklungen werden gemessen und alle anderen Wicklungen geöffnet;
- c) der angewendete Spannungsimpuls darf nicht um 2 % oder mehr abfallen;
- d) die Amplitude der angewendeten Impulsspannung darf nicht die angewendete Prüfspannung überschreiten, wenn die mittlere Widerstandsspannung anliegt;
- e) der Anschluss wird nach Bild 25 hergestellt, das Impulssignal wird eingestellt und das Oszilloskop beobachtet.



Dabei ist

R_1 der Strombegrenzungswiderstand,

R_2 der Shuntwiderstand und R_L die Last

Englisch	Deutsch
oscilloscope	Oszilloskop

Bild 24 – Schaltung zur Messung der Impulswellenform

4.4.13 Spannungszeitflächen-Belastbarkeit

Zweck: Nachweis, dass die Spannungszeitflächen-Belastbarkeit eines Bauelements (siehe 3.7) innerhalb einer angegebenen Grenze liegt.

ANMERKUNG Für Anwendungen, die bidirektionale Impulse verwenden, wie etwa Schaltnetzteile, wird die Spannungszeitflächen-Belastbarkeit nicht denselben Wert haben wie für unidirektionale Impulse.

Verfahren 1: Wenn die festgelegte Prüftemperatur sich von der Umgebungstemperatur unterscheidet, muss das Bauelement in einem Ofen erhitzt werden, bis ein thermisches Gleichgewicht bei der festgelegten Temperatur erreicht wird.

Wenn die Anwendung des Transformators einen Gleichstrom in einer seiner Wicklungen enthält, muss die Prüfung mit durch Gleichstrom belasteten Windungen erfolgen, wobei Impulslasten durch Vorschalten einer geeigneten Impedanz vermieden werden sollten.

Ein rechteckiger Spannungsimpuls mit einer Spitzenamplitude U_m muss dann auf die festgelegte Wicklung für eine Impulsdauer t_d angewendet und die entsprechenden Magnetisierungsströme müssen überwacht werden. Ein Beispiel für eine geeignete Prüfschaltung ist in Bild 26 dargestellt. (siehe auch Abschnitt 16 und Anhang M von IEC 60367-1)