

	DIN EN 60076-19 (VDE 0532-76-19)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 29.180 Leistungstransformatoren – Teil 19: Regeln für die Bestimmung von Unsicherheiten in der Messung der Verluste von Leistungstransformatoren und Drosselspulen (IEC/TS 60076-19:2013, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60076-19:2015 Power transformers – Part 19: Rules for the determination of uncertainties in the measurement of the losses on power transformers and reactors (IEC/TS 60076-19:2013, modified); German version EN 60076-19:2015 Transformateurs de puissance – Partie 19: Règles pour la détermination des incertitudes de mesure des pertes des transformateurs de puissance et bobines d'inductance (IEC/TS 60076-19:2013, modifiée); Version allemande EN 60076-19:2015 Gesamtumfang 40 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2015-06-25 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2016-12-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60076-19 (VDE 0532-76-19):2016-01.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 321 „Transformatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 14 „Power transformers“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Abschnitte von IEC/TS 60076-19:2013, die durch die Gemeinsamen Abänderungen der EN 60076-19:2015 geändert wurden, sind mit einem senkrechten Strich am linken Seitenrand in dieser Ausgabe 2016-11 markiert.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Dokumenten

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.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1 (1 von 2)

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
CLC/TR 50462:2008	–	–	–
EN 60076-1:2011	IEC 60076-1:2011	DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2012-03	VDE 0532-76-1
EN 60076-2:2011	IEC 60076-2:2011	DIN EN 60076-2 (VDE 0532-76-2):2012-02	VDE 0532-76-2
–	IEC 60076-8	–	–

Tabelle NA.1 (2 von 2)

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 61869-1	IEC 61869-1	DIN EN 61869-1 (VDE 0414-9-1)	VDE 0414-9-1
EN 61869-2	IEC 61869-2	DIN EN 61869-2 (VDE 0414-9-2)	VDE 0414-9-2
EN 61869-3	IEC 61869-3	DIN EN 61869-3 (VDE 0414-9-3)	VDE 0414-9-3
–	IEC 61869-7 ^a	–	–
–	IEC 61869-8 ^a	–	–
EN ISO/IEC 17025:2005	ISO/IEC 17025:2005	DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08	–
–	ISO/IEC Guide 98-3:2008	–	–
^a In Beratung.			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2012-03, Leistungstransformatoren – Teil 1: Allgemeines (IEC 60076-1:2011); Deutsche Fassung EN 60076-1:2011

DIN EN 60076-2 (VDE 0532-76-2):2012-02, Leistungstransformatoren – Teil 2: Übertemperaturen für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren (IEC 60076-2:2011); Deutsche Fassung EN 60076-2:2011

DIN EN 61869-1 (VDE 0414-9-1), Messwandler – Teil 1: Allgemeine Anforderungen

DIN EN 61869-2 (VDE 0414-9-2), Messwandler – Teil 2: Zusätzliche Anforderungen für Stromwandler

DIN EN 61869-3 (VDE 0414-9-3), Messwandler – Teil 3: Zusätzliche Anforderungen für induktive Spannungswandler

DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17025:2005

**Leistungstransformatoren –
Teil 19: Regeln für die Bestimmung von Unsicherheiten in der Messung der
Verluste von Leistungstransformatoren und Drosselspulen**
(IEC/TS 60076-19:2013, modifiziert)

Power transformers –
Part 19: Rules for the determination of
uncertainties in the measurement of the losses on
power transformers and reactors
(IEC/TS 60076-19:2013, modified)

Transformateurs de puissance –
Partie 19: Règles pour la détermination des
incertitudes de mesure des pertes des
transformateurs de puissance et bobines
d'inductance
(IEC/TS 60076-19:2013, modifiée)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2015-06-25 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2015 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60076-19:2015 D

Vorwort

Dieses Dokument (EN 60076-19:2015) besteht aus dem Text von IEC/TS 60079:2013, ausgearbeitet vom IEC/TC 14 „Power transformers“, und den gemeinsamen Abänderungen, die vom CLC/TC 14 „Leistungs-transformatoren“ ausgearbeitet wurden.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2016-06-25
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2018-06-25

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument wurde unter einem an CENELEC gerichteten Mandat der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone (EFTA) erarbeitet.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC/TS 60079:2013 wurde von CENELEC mit gemeinsamen Abänderungen als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

Seite

Vorwort	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole	7
4.1 Allgemeine Symbole	7
4.2 Symbole für die Messunsicherheit	8
5 Leistungsmessung, systematische Abweichung und Messunsicherheit	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Modellfunktion	9
5.3 Messsysteme	9
6 Verfahren für die Messung der Leerlaufverluste	10
6.1 Allgemeines	10
6.2 Modellfunktion für die Leerlaufverluste bei Bezugsbedingungen	10
6.3 Unsicherheitsbilanz für Leerlaufverluste	11
7 Verfahren für die Messung der Kurzschlussverluste	12
7.1 Allgemeines	12
7.2 Modellfunktion	12
7.3 Auf Bemessungsstrom und Bezugstemperatur bezogene Angaben	13
7.4 Unsicherheitsbilanz für die auf den Bemessungsstrom bezogene gemessene Leistung P_2	14
7.4.1 Allgemeines	14
7.4.2 Messunsicherheiten der gemessenen Kurzschlussverlustleistung bei Umgebungstemperatur θ_2	14
7.5 Unsicherheitsbilanz für den angegebenen Kurzschlussverlust bei Umgebungstemperatur	14
8 Berechnungen für Drehstrom	16
8.1 Leistungsmessung	16
8.2 Bezugsspannung	16
8.3 Bezugsstrom	16
9 Bericht	16
9.1 Angabe der Unsicherheit	16
9.2 Rückverfolgbarkeit	17
10 Schätzung von Korrekturwerten und Unsicherheitsbeiträgen	17
10.1 Messwandler	17
10.2 Unsicherheitsbeiträge des Fehlers des Übersetzungsverhältnisses von Messwandlern	17
10.3 Unsicherheitsbeitrag des Fehlwinkels von Messwandlern	18
10.3.1 Allgemeines	18
10.3.2 Vollständiges Bezugsverfahren	18

10.3.3	Klassenindex-Verfahren	19
10.4	Spannungs- und Strommessungen	20
10.5	Leistungsmessgerät	20
10.6	Korrektur der sinusförmigen Wellenform	21
10.7	Wicklungstemperatur bei der Messung der Kurzschlussverluste	21
10.8	Messung des Wicklungswiderstandes	22
Anhang A (informativ)	Beispiel für die Bewertung der Messunsicherheit des Kurzschlussverlustes für einen großen Leistungstransformator	24
Anhang B (informativ)	Beispiel für die Bewertung der Messunsicherheit des Kurzschlussverlustes für einen Verteilungstransformator	32
Literaturhinweise		36

Tabellen

Tabelle 1 – Gemessene Messunsicherheiten der Leerlaufverluste	12
Tabelle 2 – Gemessene Messunsicherheiten der Kurzschlussverluste bei Umgebungstemperatur	14
Tabelle 3 – Absolute Messunsicherheiten der zusätzlichen Verluste bei der Temperatur θ_2	15
Tabelle 4 – Absolute Messunsicherheit der Kurzschlussverluste P_{LL} , angegeben für die Bezugstemperatur	15
Tabelle 5 – Verfahren für die Bestimmung der Phasenverschiebungsunsicherheiten	18
Tabelle A.1 – Bemessungswerte des Transformators	24
Tabelle A.2 – Ergebnisse der Messung der Verluste (eine Phase)	26
Tabelle A.3 – Kalibrierung von Spannungs- und Stromwandlern	27
Tabelle A.4 – Unsicherheitsbeiträge	29
Tabelle B.1 – Bemessungswerte des Transformators	32
Tabelle B.2 – Gemessene Größen	33
Tabelle B.3 – Kalibrierung der Stromwandler	34
Tabelle B.4 – Unsicherheitsbeitrag	35

Einleitung

Die Verluste von Transformatoren (Leerlauf- und Kurzschlussverluste) sind in den meisten Verträgen Gegenstand von Gewährleistungen und Vertragsstrafen und spielen eine wichtige Rolle bei der Bewertung der Gesamt(betriebs)kosten und werden deshalb in die Investitionsrechnungen einbezogen. Außerdem können regionale Bestimmungen wie z. B. die Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union auch Anforderungen an die Ermittlung zuverlässiger Werte für die Verluste stellen.

Das Ergebnis jeder Messung sollte nach ISO/IEC 17025 mit der Bewertung seiner Unsicherheit beschrieben werden. Eine weitere Anforderung besteht darin, dass bekannte Korrekturen vor der Bewertung der Unsicherheit anzuwenden sind.

Korrekturen und Unsicherheiten werden auch in IEC 60076-8 berücksichtigt, in der einige allgemeine Hinweise zu deren Bestimmung angegeben werden.

Diese Europäische Norm beschäftigt sich mit der Messung der Verluste, die aus messtechnischer Sicht aus der Schätzung einer Messgröße und der Bewertung der Unsicherheit bestehen und sich auf die Messgröße selbst auswirken. Die Verfahren können auch für Verlustmessungen an Leistungstransformatoren und Drosselspulen, wie für die Bewertung der erreichbaren Leistungsfähigkeit der Prüfeinrichtung bei Vorqualifizierungsprozessen angewendet werden und auch für Schätzungen der erreichbaren Unsicherheit bei der Angebotsanfrage zu einer Bestellung oder vor Beginn der Endprüfung beim Hersteller und bei Bewertungen von Marktüberwachungsmessungen.

Die Bewertung der Unsicherheit bei der Prüfung wird oftmals als „top-down“ oder „bottom-up“ beschrieben, wobei die erste sich auf Vergleichsprüfungen zwischen Laboratorien an weitergegebenen Prüfobjekten (Ringversuche) stützt, um die Streuung und damit die Unsicherheit einzuschätzen. Das letztgenannte Verfahren stützt sich stattdessen auf die Aufstellung einer Modellfunktion, bei der das Prüfergebn y als eine Funktion der Eingangsgrößen angegeben wird. Diese Funktion ist häufig die Gleichung, die zur Berechnung des Ergebnisses angewendet wird. In diesem Schriftstück wird das „bottom-up“-Verfahren angewendet.

Es wird empfohlen, dass sich die Berechnungen bei Gewährleistungen und Vertragsstrafen auf die besten Schätzwerte der Verluste ohne Berücksichtigung der Messunsicherheiten beziehen sollten, beruhend auf einem Konzept des gemeinsamen Risikos, dessen sich beide Parteien bewusst sind und die Folgen von nicht vernachlässigbarer Messunsicherheit akzeptieren.

In Fällen, in denen gefordert wird, dass die Verluste den angegebenen Toleranzgrenzen entsprechen, wird empfohlen, dass die geschätzte Unsicherheit kleiner als die Toleranzgrenze ist. Diese Sachlage zeigt sich z. B. bei Marktüberwachungsaktivitäten. Anstelle weiterer Leistungsbeschreibungen kann festgestellt werden, dass 3 % häufig als Schätzwert für die geforderte Unsicherheit zur Anwendung kommen.

Normen, die im Text erwähnt werden, jedoch nicht erforderlich sind, werden am Ende des Schriftstücks aufgeführt.

Diese Europäische Norm beruht auf IEC/TS 60076-19. Der technische Inhalt der TS wurde nicht verändert, jedoch wurden kleinere Zahlenfehler und die einheitliche Verwendung der Symbole in [Anhang A](#) berichtigt. Die Einleitung wurde zur besseren Übersichtlichkeit abgeändert.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm beschreibt die Verfahren, die bei der Bewertung der Unsicherheit von Messungen der Leerlauf- und Kurzschlussverluste bei Stückprüfungen an Leistungstransformatoren angewendet werden sollten.

Auch wenn der Schwerpunkt besonders auf Transformatoren gerichtet ist, so kann die vorliegende Spezifikation gegebenenfalls für die Messung von Verlusten an Drosselpulen, mit Ausnahme von sehr großen Drosselpulen mit einem sehr kleinen Leistungsfaktor, angewendet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

EN 60076-1:2011, *Leistungstransformatoren – Teil 1: Allgemeines (IEC 60076-1:2011)*

EN 60076-2:2011, *Leistungstransformatoren – Teil 2: Übertemperaturen für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren (IEC 60076-2:2011)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach **IEC 60076-1** und **IEC 60076-2** und die folgenden Begriffe.

ANMERKUNG Die folgenden Begriffe wurden dem ISO/IEC Guide 98-3:2008 entnommen.

3.1

Messunsicherheit

dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden könnten

[QUELLE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2.2.3]

3.2

Standardunsicherheit

als Standardabweichung ausgedrückte Unsicherheit des Ergebnisses einer Messung

[QUELLE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2.3.1]

3.3

Ermittlungsmethode A <der Messunsicherheit>

Methode zur Ermittlung der Messunsicherheit durch statistische Analyse einer Reihe von Beobachtungen

[QUELLE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2.3.2]

3.4

Ermittlungsmethode B <der Messunsicherheit>

Methode zur Berechnung der Messunsicherheit mit anderen Mitteln als der statistischen Analyse von Reihen von Beobachtungen

[QUELLE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2.3.3]

3.5

kombinierte Standardunsicherheit

Standardunsicherheit eines Messergebnisses, wenn dieses Ergebnis aus den Werten einer Anzahl anderer Größen gewonnen wird, welche gleich der positiven Quadratwurzel einer Summe von Gliedern ist, wobei die Glieder Varianzen oder Kovarianzen dieser anderen Größen sind, gewichtet danach, wie das Messergebnis mit Änderungen dieser Größen variiert

[QUELLE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2.3.4]

3.6

erweiterte Messunsicherheit

Kennwert, der ein Vertrauensniveau für das Messergebnis kennzeichnet, von dem erwartet werden kann, dass es einen spezifischen Anteil der Verteilung der Werte umfasst, die der Messgröße vernünftigerweise zugeordnet werden könnten

[QUELLE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2.3.5]

3.7

Erweiterungsfaktor

Zahlenfaktor, mit dem die kombinierte Standardunsicherheit multipliziert wird, um eine erweiterte Messunsicherheit zu erhalten

[QUELLE: ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2.3.6]

4 Symbole

4.1 Allgemeine Symbole

F_D	Parameter für Korrektur der Leistung bei Phasenverschiebung im Messkreis
I_M	mit dem Strommessgerät gemessener Strom (vorzugsweise Bemessungsstrom)
I_N	Bezugsstrom (entspricht üblicherweise dem Bemessungsstrom)
k_{CN}	Bemessungsübersetzungsverhältnis des Stromwandlers
k_{VN}	Bemessungsübersetzungsverhältnis des Spannungswandlers
P	Leistung
P_2	bei der Messung des Kurzschlussverlustes gemessene Leistung, korrigiert für bekannte systematische Abweichungen und bezogen auf den Strom I_N
P_{LL}	Kurzschlussverlust bei Bezugsbedingungen
P_{NLL}	Leerlaufverlust bei Bezugsbedingungen und korrigiert für bekannte Fehler in der Messung
n	Exponent für das nichtlineare Verhalten des Leerlaufverlustes
P_W	mit dem Leistungsmessgerät gemessene Leistung
P_{ar}	zusätzliche Verluste bei Bezugstemperatur
P_{a2}	zusätzliche Verluste bei der Temperatur θ_2
R_1	Ersatzwiderstand der Wicklungen bei der Temperatur θ_1 nach IEC 60076-1
R_2	Ersatzwiderstand der Wicklungen bei der Temperatur θ_2
R_r	Ersatzwiderstand der Wicklungen bei der Bezugstemperatur
t	Parameter für den Temperaturkoeffizienten des Wicklungswiderstandes

U_{avg}	Spannung, gemessen mit einem Messgerät zur Anzeige des gleichgerichteten Mittelwerts
U_{M}	gemessene Spannung
U_{N}	Bemessungsspannung
U_{rms}	Spannung, gemessen mit einem Messgerät zur Anzeige des echten Effektivwerts
θ	Temperatur (angegeben in Grad Celsius)
θ_1	Temperatur der Transformatorwicklung bei der Prüfung des „kalten Wicklungswiderstandes“ nach IEC 60076-1
θ_2	Temperatur der Transformatorwicklungen bei der Prüfung der Kurzschlussverluste (angegeben in Grad Celsius)
θ_{r}	Bezugstemperatur für Transformatorwicklungen nach IEC 60076-1
$\Delta_{\varphi\text{C}}$	Istwert des Fehlwinkels des Stromwandlers (rad)
$\Delta_{\varphi\text{P}}$	Istwert des Fehlwinkels des Leistungsmessgerätes (rad)
$\Delta_{\varphi\text{V}}$	Istwert des Fehlwinkels des Spannungswandlers (rad)
ε_{C}	Istwert der Abweichung des Übersetzungsverhältnisses des Stromwandlers (%)
ε_{V}	Istwert der Abweichung des Übersetzungsverhältnisses des Spannungswandlers (%)
φ	Istwert des Phasenwinkels zwischen Spannung und Strom (rad)
φ_{M}	mit dem Leistungsmessgerät gemessener Phasenwinkel zwischen Spannung und Strom (rad)

4.2 Symbole für die Messunsicherheit

c	Empfindlichkeitsfaktor für den Beitrag zur Messunsicherheit
u	Standardunsicherheit
u	absolute Standardunsicherheit
U	erweiterte Messunsicherheit
$\dot{U}$	absolute erweiterte Messunsicherheit
U_{C}	Messunsicherheit des Stromwandler-Übersetzungsverhältnisses (angegeben in Prozent des Verhältnisses)
u_{IM}	Messunsicherheit der Strommessung
u_{LL}	Messunsicherheit des Kurzschlussverlustes bei Bezugstemperatur
u_{NLL}	Unsicherheit des Leerlaufverlustes
u_{P2}	Messunsicherheit von P_2
u_{FD}	Unsicherheit des Terms F_{D}
u_{PW}	Messunsicherheit der vom Analysator angezeigten Leistung
u_{R1}	Messunsicherheit des Ersatzwiderstandes R_1
u_{R2}	Messunsicherheit des Ersatzwiderstandes R_2
u_{UM}	Messunsicherheit der Spannungsmessung
u_{V}	Messunsicherheit des Spannungswandler-Übersetzungsverhältnisses

u_{WF}	Unsicherheit der Korrektur der sinusförmigen Wellenform bei Leerlaufverlusten
$u_{\Delta\varphi}$	Unsicherheit der Phasenverschiebung im gesamten Messsystem
$u_{\Delta\varphi C}$	Unsicherheit der Phasenverschiebung des Stromwandlers
$u_{\Delta\varphi V}$	Unsicherheit der Phasenverschiebung des Spannungswandlers

5 Leistungsmessung, systematische Abweichung und Messunsicherheit

5.1 Allgemeines

Im Folgenden wird angenommen, dass die Transformatorverluste unter den in IEC 60076-1 vorgeschriebenen Bedingungen mit digitalen Messgeräten gemessen werden.

Bei Drehstrom-Transformatoren ist die Messung der Verluste mit drei unabhängigen Einphasen-Messsystemen vorgesehen. Diese Systeme können aus einzelnen Messgeräten oder aus der Kombination in einem Drehstrom-Messgerät aufgebaut sein.

Die Verluste werden im Allgemeinen mit Strom- und Spannungswandlern in Verbindung mit einem Leistungsmessgerät (Leistungsanalysator) gemessen.

Das Messsystem besitzt üblicherweise eine bekannte systematische Abweichung (Fehler), die korrigiert werden kann oder auch nicht, und die zwei Fälle bei der Analyse der Messunsicherheit je nachdem einen anderen Ansatz verlangt.

Systematische Abweichungen der Messeinrichtung können durch Kalibrierung beschrieben werden.

Die systematischen Abweichungen, die vom Messsystem eingeführt werden, sollten – sofern sie nicht vernachlässigbar sind – vor der Schätzung der Messunsicherheit korrigiert werden.

5.2 Modellfunktion

Die Schätzung der Messunsicherheit schließt Messunsicherheiten im Messsystem und im geprüften Objekt (Transformator oder Drosselspule) ein.

Die nachfolgend angegebenen Modellfunktionen enthalten deshalb das Messsystem und das Prüfobjekt in einer Gleichung.

5.3 Messsysteme

Die Messsysteme können entweder anhand der angegebenen Gesamt-Messunsicherheit oder der Leistungsbeschreibungen ihrer Komponenten charakterisiert werden.

Bei Systemen, die durch eine Gesamt-Messunsicherheit charakterisiert werden, sind Vereinfachungen bei der Analyse der Messunsicherheit möglich, die jedoch im vorliegenden Schriftstück nicht angewendet werden, weil die Kalibrierung auf Systemebene im Allgemeinen nicht verfügbar ist.

Deshalb sollten alle Arten der Messsysteme auch auf der Komponentenebene genau beschrieben werden.