

	DIN EN IEC 60034-27-1 (VDE 0530-27-1)	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
<p>ICS 29.160.01</p> <p>Ersatz für DIN CLC/TS 60034-27 (VDE V 0530-27):2011-09 Siehe Anwendungsbeginn</p> <p>Drehende elektrische Maschinen – Teil 27-1: Off-line Teilentladungsmessungen an Ständerwicklungsisolierungen drehender elektrischer Maschinen (IEC 60034-27-1:2017); Deutsche Fassung EN IEC 60034-27-1:2018</p> <p>Rotating electrical machines – Part 27-1: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines (IEC 60034-27-1:2017); German version EN IEC 60034-27-1:2018</p> <p>Machines électriques tournantes – Partie 27-1: Mesures à l'arrêt des décharges partielles effectuées sur le système d'isolation des enroulements statoriques des machines électriques tournantes (IEC 60034-27-1:2017); Version allemande EN IEC 60034-27-1:2018</p> <p>Gesamtumfang 68 Seiten</p> <p>DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE</p>		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2018-01-17 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2019-04-01.

Für **DIN CLC/TS 60034-27 (VDE V 0530-27):2011-09** besteht eine Übergangsfrist bis 2021-06-29.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60034-27-1 (VDE 0530-27-1):2016-08.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 311 „Drehende elektrische Maschinen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 2 „Rotating machinery“ erarbeitet.

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

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

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber **DIN CLC/TS 60034-27 (VDE V 0530-27):2011-09** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Änderung der Benummerung in Teil 1;
- b) ausschließlich Spezifizierung von AC-Prüfungen bei 50/60 Hz (und bei geringfügigen Abweichungen), Prüfungen bei 0,1 Hz und 400 Hz sind ausgeschlossen;
- c) Präzisierung der Definitionen, z. B. hinsichtlich Ladungswerten und abgeleiteten Kenngrößen, Rauschen, Normalisierung;
- d) Präzisierung der Risikobewertung möglicher Teilentladungsmessergebnisse.
- e) Es bleibt bei dem Grundsatz, dass keine absoluten Grenzwerte angegeben werden, da unterschiedliche Isoliersysteme und unterschiedliche Messsysteme solche einheitlichen Grenzwerte verhindern.

Frühere Ausgaben

DIN CLC/TS 60034-27 (VDE V 0530-27): 2011-09

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

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60034-18-32:2010	IEC 60034-18-32:2010	DIN EN 60034-18-32 (VDE 0530-18-32):2011-06	VDE 0530-18-32
EN 60034-18-41:2014	IEC 60034-18-41:2014	DIN EN 60034-18-41 (VDE 0530-18-41):2014-11	VDE 0530-18-41
EN 60034-18-42:2017	IEC 60034-18-42:2017	DIN EN 60034-18-42 (VDE 0530-18-42):2017-12	VDE 0530-18-42
–	IEC/TS 60034-27-2	–	–
EN 60034-27-4:2018	IEC 60034-27-4:2018	DIN EN 60034-27-4 (VDE 0530-27-4):2019-03	VDE 0530-27-4
EN 60060-1:2010	IEC 60060-1:2010	DIN EN 60060-1 (VDE 0432-1):2011-10	VDE 0432-1
EN 60060-2:2011	IEC 60060-2:2010	DIN EN 60060-2 (VDE 0432-2):2011-10	VDE 0432-2
EN 60270:2001 + A1:2016	IEC 60270:2000 + Cor.:2001 + A1:2015	DIN EN 60270 (VDE 0434):2016-11	VDE 0434

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60034-18-32 (VDE 0530-18-32):2011-06, *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18-32: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen – Prüfverfahren für Wicklungen mit vorgeformten Elementen – Bewertung der elektrischen Lebensdauer (IEC 60034-18-32:2010); Deutsche Fassung EN 60034-18-32:2010*

DIN EN 60034-18-41 (VDE 0530-18-41):2014-11, *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18-41: Qualifizierung und Qualitätsprüfungen für teilentladungsfreie elektrische Isoliersysteme (Typ I) in drehenden elektrischen Maschinen, die von Spannungsumrichtern gespeist werden (IEC 60034-18-41:2014); Deutsche Fassung EN 60034-18-41:2014*

DIN EN 60034-18-42 (VDE 0530-18-42):2017-12, *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18-42: Teilentladungsresistente Isoliersysteme (Typ II) von drehenden elektrischen Maschinen, die von Spannungsumrichtern gespeist werden – Qualifizierungsprüfungen (IEC 60034-18-42:2017); Deutsche Fassung EN 60034-18-42:2017*

DIN EN 6034-27-4 (VDE 0530-27-4):2019-03, *Drehende elektrische Maschinen – Teil 27-4: Messung des Isolationswiderstands und des Polarisationsindex der Wicklungsisolierung drehender elektrischer Maschinen (IEC 60034-27-4:2018); Deutsche Fassung EN IEC 60034-27-4:2018*

DIN EN 60060-1 (VDE 0432-1):2011-10, *Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Begriffe und Prüfbedingungen (IEC 60060-1:2010); Deutsche Fassung EN 60060-1:2010*

DIN EN 60060-2 (VDE 0432-2):2011-10, *Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 2: Messsysteme (IEC 60060-2:2010); Deutsche Fassung EN 60060-2:2011*

DIN EN 60270 (VDE 0434):2016-11, *Hochspannungs-Prüftechnik – Teilentladungsmessungen (IEC 60270:2000 + Cor.:2001 + A1:2015); Deutsche Fassung EN 60270:2001 + A1:2016*

**Drehende elektrische Maschinen –
Teil 27-1: Off-line Teilentladungsmessungen
an Ständerwicklungsisolierungen drehender elektrischer Maschinen
(IEC 60034-27-1:2017)**

Rotating electrical machines –
Part 27-1: Off-line partial discharge
measurements on the stator winding insulation of
rotating electrical machines
(IEC 60034-27-1:2017)

Machines électriques tournantes –
Partie 27-1: Mesures à l'arrêt des décharges
partielles effectuées sur le système d'isolation
des enroulements statoriques des machines
électriques tournantes
(IEC 60034-27-1:2017)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2018-01-17 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, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

© 2018 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN IEC 60034-27-1:2018 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 2/1877/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe der IEC 60034-27-1:2017, erarbeitet vom IEC/TC 2 „Rotating machinery“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 60034-27-1:2018 angenommen.

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): 2018-12-29
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2021-06-29

Dieses Dokument ersetzt **CLC/TS 60034-27:2011**.^{N1}

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

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60034-27-1:2017 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60034-18-41 ANMERKUNG Harmonisiert als **EN 60034-18-41** (nicht modifiziert).

^{N1} Nationale Fußnote: Im englischen Original steht fälschlicherweise: CEN/TS 60034-27:2011.

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

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).

ANMERKUNG 1 Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abänderungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN oder das HD.

ANMERKUNG 2 Aktualisierte Informationen über die in diesem Anhang aufgeführten aktuellen Fassungen der Europäischen Normen sind hier verfügbar: www.cenelec.eu.

<u>Publikation</u>	<u>Jahr</u>	<u>Titel</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Jahr</u>
IEC 60034-18-32	–	Rotating electrical machines – Part 18-32: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation of electrical endurance	EN 60034-18-32	–
IEC 60034-18-42	–	Rotating electrical machines – Part 18-42: Partial discharge resistant electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed from voltage converters – Qualification tests	EN 60034-18-42	–
IEC 60034-27-4	–	Rotating electrical machines – Part 27-4: Measurement of insulation resistance and polarization index of winding insulation of rotating electrical machines	EN IEC 60034-27-4	–
IEC 60060-1	–	High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements	EN 60060-1	–
IEC 60060-2	–	High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems	EN 60060-2	–
IEC 60270 + A1	2000 2015	High-voltage test techniques – Partial discharge measurements	EN 60270 + A1	2001 2016
IEC/TS 60034-27-2	–	Rotating electrical machines – Part 27-2: On-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines	–	–

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	2
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	3
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	11
4 Eigenschaften der TE in drehenden Maschinen	13
4.1 Grundlagen der TE	13
4.2 Arten von TE in drehenden Maschinen	14
4.2.1 Allgemeines	14
4.2.2 Innere Entladungen	14
4.2.3 Nutentladungen	14
4.2.4 Entladungen in den Spalten des Wickelkopfes und Oberflächenentladungen	15
4.2.5 Entladungen durch leitfähige fremde Partikel	15
4.3 Impulsausbreitung in Wicklungen.....	15
5 Messverfahren und Messgeräte.....	16
5.1 Allgemeines	16
5.2 Einfluss der Frequenzantwort des Messsystems	16
5.3 Auswirkungen der TE-Kopplereinheiten.....	16
5.4 Einfluss des Messinstrumentes	18
6 Visualisierung der Messungen	18
6.1 Allgemeines	18
6.2 Minimaler Umfang der TE-Datendarstellung	18
6.3 Weitere Möglichkeiten der TE-Datendarstellung.....	19
6.3.1 Allgemeines	19
6.3.2 Teilentladungsmuster	19
7 Prüfschaltungen.....	20
7.1 Allgemeines	20
7.2 Einzelne Wicklungskomponenten	21
7.3 Vollständige Wicklungen	22
7.3.1 Allgemeines	22
7.3.2 Empfohlene Standard-Messungen (SX.X)	23
7.3.3 Optionale, erweiterte Messungen (EX.X).....	24
7.3.4 Anwendung integrierter Messeinrichtungen (IX.X).....	25
8 Normalisierung der Messungen	25
8.1 Allgemeines	25

8.2	Einzelne Wicklungskomponenten	26
8.3	Vollständige Wicklungen	26
9	Prüfverfahren.....	28
9.1	Durchführung von TE-Messungen an Wicklungen und Wicklungskomponenten	28
9.1.1	Allgemeines.....	28
9.1.2	Prüfeinrichtung und Sicherheitsanforderungen	28
9.1.3	Vorbereiten der Prüfobjekte	28
9.1.4	Konditionierung	29
9.1.5	Prüfspannungen	29
9.1.6	TE-Prüfverfahren.....	30
9.2	Identifizierung und Lokalisierung von Teilentladungsquellen	32
10	Interpretation der Messergebnisse.....	32
10.1	Allgemeines.....	32
10.2	Interpretation von TE-Amplitude, Einsetz- und Aussetzspannung	33
10.2.1	Grundlegende Interpretation	33
10.2.2	TE-Trend in einer Maschine über der Zeit	34
10.2.3	Vergleiche zwischen Wicklungskomponenten oder zwischen Wicklungen	35
10.3	TE-Mustererkennung	35
10.3.1	Allgemeines.....	35
10.3.2	Grundlegende Interpretation	35
11	Prüfbericht	37
Anhang A (informativ)	Einfluss der Prüffrequenzparameter auf das Prüfverfahren.....	39
Anhang B (informativ)	Alternative Verfahren zur Ableitung von Entladungsgrößen	40
B.1	Q_m nach Definition 3.14.....	40
B.2	Q_r kumulativ wiederholt auftretende Teilentladungsamplitude	41
Anhang C (informativ)	Andere Off-line-Methoden der TE-Erfassung und Methoden zur Lokalisierung	43
Anhang D (informativ)	Externes Rauschen, Störungen und Empfindlichkeit.....	44
D.1	Allgemeines.....	44
D.2	Empfindlichkeit	44
D.3	Rauschen und Signal-Rausch-Verhältnis	46
D.4	Störsignale	46
Anhang E (informativ)	Methoden zur Unterdrückung von Störungen	47
E.1	Beschränkung des Frequenzbereiches	47
E.2	Ausblenden von Phasenfenstern	47
E.3	Ausblendung durch Störsignal-Triggerung	47
E.4	Störsignalerkennung durch Messung der Laufzeit.....	47
E.5	Zwei-Kanal-Differenzmessung	48
E.6	Unterdrückung von dauerhaft wellenförmigen (CW-)Signalen durch digitale Filterung.....	49

E.7	Störunterdrückung mit Methoden der Signalverarbeitung.....	49
Anhang F (informativ) Interpretation von TE-Amplitudendaten und phasenaufgelösten TE-Mustern		52
F.1	Anleitungen zur Interpretation von PRPD-TE-Mustern	52
F.1.1	Beispiele für PRPD-TE-Muster.....	52
F.1.2	Grundlegende Risikobewertung	53
F.1.3	Interpretation von TE-Messungen aus Richtung des Netzanschlusses und des Sternpunktes	55
F.1.4	Induktive Entladungen/Vibrationsfunken.....	55
Anhang G (informativ) Prüfschaltungen für vollständige Wicklungen		57
G.1	Allgemeines	57
G.2	Schaltschemata und Veranschaulichungen (siehe Bild G.1)	57
Anhang H (informativ) Breitband- und Schmalband-Messsysteme.....		62
H.1	Allgemeines	62
H.2	Breitbandsysteme	62
H.3	Schmalbandsysteme	63
Literaturhinweise.....		64

Bilder

Bild 1 – Frequenzantwort eines TE-Impulses und Kopplereinheiten mit unterschiedlichen Zeitkonstanten	17
Bild 2 – TE-Amplitude als Funktion der normalisierten Prüfspannung $Q = f(U/U_{\max})$	19
Bild 3 – Beispiel eines PRPD-Teilentladungsmusters	20
Bild 4 – Grundlegende Prüfschaltungen nach IEC 60270	22
Bild 5 – Prüfschaltung für TE-Messung (S1.1) an einer vollständigen Wicklung	23
Bild 6 – Normalisierung der Prüfschaltung zur Messung S1.1	27
Bild 7 – Während TE-Messung an Prüfobjekt angelegte Prüfspannung	30
Bild 8 – Beispiel für die Identifizierung und Lokalisierung von TE-Quellen	36
Bild B.1 – Beispiel für die Ermittlung des Polaritätseffektes.....	40
Bild B.2 – Beispiel für den Einfluss der Genauigkeit bei der A/D-Umwandlung und die Berechnung von Q_r	42
Bild D.1 – Umladung des Prüfobjektes durch unterschiedliche Stromkomponenten	45
Bild E.1 – Ohne Fensterausblendung.....	47
Bild E.2 – Mit Fensterausblendung.....	47
Bild E.3 – Impulsströme durch den Messkreis	48
Bild E.4 – Beispiel zur Störunterdrückung	50
Bild E.5 – Beispiel für die Unterdrückung des Übersprechens.....	51
Bild F.1 – Beispiele für PRPD-TE-Muster.....	53
Bild G.1 – Erläuterungen für Y- und Δ -Schaltungen nach 7.3	61
Bild H.1 – Typische Impulsantworten von Breitband- und Schmalband-TE-Systemen	62

Tabellen

Tabelle 1 – Anschlussvarianten S1 für offenen Sternpunkt	23
--	----

Tabelle 2 – Anschlussvarianten S2 für geschlossenen Sternpunkt	23
Tabelle 3 – Anschlussvarianten E1 für offenen Sternpunkt	24
Tabelle 4 – Anschlussvarianten E2 für geschlossenen Sternpunkt	24
Tabelle 5 – Anschlussvarianten I1 für integrierte Einrichtungen und offenen Sternpunkt, Messungen auf der Hochspannungsseite	25
Tabelle 6 – Anschlussvarianten I2 für integrierte Einrichtungen und offenen Sternpunkt, Messungen auf der Sternpunktseite	25
Tabelle 7 – Anschlussvarianten I3 für integrierte Einrichtungen und geschlossenen Sternpunkt	25
Tabelle A.1 – Empfehlung für minimale Prüfdauer und maximale Steigerungsgeschwindigkeiten	39
Tabelle F.1 – Risiko, das mit den wesentlichen TE-Quellen in drehenden Maschinen verbunden ist	54

Einleitung

Seit vielen Jahren wird die Messung von Teilentladungen (TE) als eine empfindliche Methode zur Bewertung der Qualität neuwertiger Isoliersysteme und des Zustandes gealterter Isoliersysteme angewendet. Diese Methode wird aber auch zur Erfassung lokaler TE-Quellen in gebrauchten elektrischen Wicklungsisolierungen, die infolge der Beanspruchungen im Betrieb entstehen, angewendet. Im Vergleich zu anderen dielektrischen Prüfungen (z. B. Messung des Verlustfaktors oder des Isolationswiderstandes) erlauben die differenzierenden Eigenschaften der Teilentladungsmessung auch die Identifikation lokal begrenzter Schwachstellen im Isoliersystem.

In Zusammenhang mit der Wartung und Revision von drehenden Maschinen können die Messung und die Analyse von Teilentladungen auch Informationen liefern bezüglich:

- Existenz von Alterungseinflüssen und potenziellen Schwachstellen im Isoliersystem;
- Alterungsverhalten;
- weiterer Maßnahmen und Zeitabstände zwischen Revisionen.

Obwohl die TE-Prüfung von drehenden Maschinen eine weitverbreitete Akzeptanz gefunden hat, zeigen viele Studien, dass nicht nur unterschiedliche Messmethoden existieren, sondern insbesondere auch die Kriterien und Methoden zur Analyse und letztendlich zur Bewertung der gemessenen Daten oft unterschiedlich und daher nicht vergleichbar sind. Demzufolge ist die Erstellung eines Leitfadens für Anwender, die den Einsatz von TE-Messungen zur Bewertung des Zustandes ihrer Isoliersysteme beabsichtigen, notwendig.

Teilentladungsmessungen an Ständerwicklungen können in zwei große Bereiche unterteilt werden:

- a) Off-line-Messungen, bei denen die Ständerwicklung vom Netz getrennt ist und eine separate Spannungsversorgung verwendet wird, um die Wicklung mit Spannung zu beaufschlagen.
- b) On-line-Messungen, bei denen die drehende Maschine im normalen Betrieb läuft und mit dem Netz verbunden ist (IEC 60034-27-2).

Beide Ansätze haben in Bezug aufeinander Vor- und Nachteile. Unter Anerkennung des weitgehenden weltweiten Einsatzes von On-line-Methoden und ihrem nachweislichen Wert für die Industrie beschränkt sich diese internationale Norm jedoch auf Off-line-Methoden. Dies wird als notwendig erachtet, um diese Norm für die Anwendung der TE-Prüfungen auch für Nicht-Spezialisten ausreichend prägnant gestalten zu können.

Einschränkungen:

Bei der Prüfung von Ständerwicklungen beeinflussen unvermeidlich verschiedene äußere Faktoren die Messergebnisse, weshalb TE-Messungen nur unter bestimmten Bedingungen vergleichbar sind.

Die Ergebnisse der TE-Messungen werden sowohl im Umfeld der betrieblichen Fertigung als auch vor Ort von Störungen beeinflusst, es sei denn, es sind Maßnahmen zur Reduzierung der Störungen getroffen. Es werden verschiedene Hardware- und Software-Einrichtungen angewendet, um beispielsweise die Bandbreite der Messfrequenz zu beeinflussen oder Algorithmen für die Unterdrückung der Grundstörungen einzusetzen, um damit Teilentladungssignale und Grundstörungen voneinander zu trennen. Die Rückrechnung der gemessenen Teilentladungssignale in entsprechende Ladungswerte hängt ebenfalls von den Messsystemen und Einrichtungen für die Kalibrierung, die für die Normalisierung eingesetzt werden, und von der angewendeten Methode ab.

Die Bedingungen während der Messung einschließlich Temperatur und Feuchte, wie des weiteren auch die Anordnung des Prüfobjektes beeinflussen das Ergebnis der Teilentladungsmessung. Bei Ständerwicklungen hängt die Dämpfung und Ausbreitung der Teilentladungsimpulse vom tatsächlichen Aufbau der Wicklung und der Entstehung der Impulse ab.

Infolge der genannten Gründe ist es schwierig, für Wicklungen drehender Maschinen absolute Teilentladungs-Grenzwerte, z. B. als Annahmekriterien für die Fertigung oder für den Betrieb, anzugeben.

Darüber hinaus hängt der Umfang der Schädigung und daher das Risiko für den Ausfall des Isoliersystems vom speziellen Typ der TE-Quelle sowie deren Lage innerhalb der Ständerwicklungsisolierung ab, die beide die Messergebnisse wesentlich beeinflussen können.

Anwender der TE-Messung sollten sich darüber im Klaren sein, dass aufgrund der Prinzipien der Messmethode nicht alle isolationsrelevanten Probleme in Ständerwicklungen mit Hilfe von TE-Messungen erkannt werden können (z. B. Isolationsfehler mit kontinuierlichen Kriechströmen infolge leitfähiger Pfade zwischen unterschiedlichen Elementen des Isoliersystems oder impulslose Entladungsphänomene). Weiterhin können in der Praxis bestimmte Impulssignale infolge der Einwirkung elektrischer Störungen, die die Empfindlichkeit des Messsystems begrenzen, unerkannt bleiben.

Für einzelne Stäbe und Spulen ist es wegen der verschiedenen Messeinrichtungen und Prüfanordnungen ebenfalls schwierig, absolute Teilentladungs-Grenzwerte anzugeben. Deshalb werden in vorliegenden Dokument keine Grenzwerte angegeben.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 60034 liefert eine gemeinsame Grundlage für

- Messverfahren und Messgeräte,
- den Aufbau von Prüfschaltungen,
- Normalisierung und Prüfverfahren,
- Störunterdrückung,
- die Dokumentation von Prüfergebnissen,
- die Interpretation von Prüfergebnissen

für Off-line-Teilentladungsmessungen an der Wicklungsisolierung von drehenden elektrischen Maschinen.

Die in diesem Dokument beschriebenen Messverfahren sind für Ständerwicklungen von Maschinen mit oder ohne leitfähigem Nutteilglimmschutz und für Ständerwicklungen von Maschinen mit Formspulen oder Runddrahtwicklungen anwendbar. Für spezielle Wicklungen, wie z. B. Hochspannungs-Läuferwicklungen, ist dieses Dokument ebenfalls anwendbar. Die Messverfahren gelten, wenn mit sinusförmiger Wechselspannung mit Frequenzen von 0,1 Hz bis 400 Hz geprüft wird.

Die in diesem Dokument enthaltenen Leitlinien für die Interpretation sind nur dann anwendbar, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- Die Messungen sind ausgeführt mit Netzfrequenz von 50 Hz oder 60 Hz oder mit Frequenzen im Bereich von 45 Hz bis 65 Hz.
- Wicklungen mit vorgeformten Elementen oder Wicklungskomponenten wie z. B. Stäben oder Spulen.
- Die Wicklungen haben einen leitfähigen Nutteilglimmschutz. Das ist üblicherweise bei Hochspannungsmaschinen mit Bemessungsspannungen von 6 kV und höher der Fall.

Für Maschinen mit Runddrahtwicklungen, Wicklungen ohne leitfähigen Nutteilglimmschutz und für Prüfungen mit Frequenzen, die von den Netzfrequenzen abweichen, sind die Richtlinien für die Interpretation nicht anwendbar. Die in diesem Dokument enthaltenen Prüfverfahren für die Off-line-TE-Messungen sind verwendbar zur Bewertung gleichbleibender Fertigungsqualität und/oder für Trending-Bewertungen von Wicklungen dieser Art, aber auch von Wicklungen umrichter gespeister Maschinen.

ANMERKUNG Die Prüfung von Niederspannungsmaschinen mit sogenannten Typ I-Isoliersystemen ist in der Referenz [10]¹ festgelegt. Die Prüfverfahren für die Qualifizierung von umrichter gespeisten Hochspannungsmaschinen mit sogenannten Typ-II-Isoliersystemen sind in IEC 60034-18-42 behandelt (über die darin enthaltenen optionalen elektrischen Prüfungen hinaus).

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 60034-18-32, *Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation by electrical endurance*

IEC 60034-18-42, *Qualification and acceptance tests for partial discharge resistant electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed from voltage converters*

¹ Ziffern in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

IEC/TS 60034-27-2, *On-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines*

IEC 60034-27-4, *Measurement of insulation resistance and polarization index of winding insulation of rotating electrical machines*

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

IEC 60270:2000, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*
IEC 60270:2000/A1:2015

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60270 und die folgenden Begriffe.

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

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

3.1

Teilentladung

TE

örtlich begrenzte elektrische Entladung, die die Isolierung zwischen Leitern nur teilweise überbrückt und die unmittelbar an einem Leiter angrenzend stattfindet (oder auch nicht)

3.2

Off-line-Messung

Messung, die im Stillstand der Maschine durchgeführt wird, wobei die Maschine vom Netz getrennt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die erforderliche Prüfspannung wird mit einer separaten Spannungsquelle an die Wicklung angelegt.

3.3

On-line-Messung

Messung im Betrieb der drehenden Maschine

3.4

Endenglimmschutz

Anstrich oder Band auf der Oberfläche der Hauptisolierung außerhalb des Nutteiles mit dem Ziel, die Potentialdifferenz auf der Oberfläche von Hochspannungs-Ständerstäben und -spulen zu verringern

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Endenglimmschutz verringert die elektrische Feldbelastung entlang der Spulen- oder Staboberfläche im Wickelkopfbereich unter einen kritischen Wert, der TE auf der Oberfläche verursachen würde. Der Endenglimmschutz überlappt mit dem leitfähigen Nutteilglimmschutz, um einen elektrischen Kontakt zwischen beiden zu gewährleisten.

3.5

leitfähiger Nutteilglimmschutz

leitfähiger Anstrich oder leitfähiges Band in engem Kontakt mit der Hauptisolierung im Nutbereich der Stäbe oder Spulenschenkel, auch oft halbleitender Belag genannt

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Belag stellt einen elektrischen Kontakt zum Ständerblechpaket bereit.

3.6

Nutentladungen

Entladungen, die zwischen der äußeren Oberfläche einer Spule oder eines Stabes im Nutbereich und dem geerdeten Blechpaket entstehen

3.7

innere Entladungen

Entladungen, die innerhalb der Hauptisolierung entstehen

3.8

Oberflächenentladungen

Entladungen, die an der Oberfläche der Isolierung oder an der Oberfläche von Wicklungskomponenten im Wickelkopfbereich oder im Aktivteil der Maschinenwicklung entstehen

3.9

Impulshöhenverteilung

Anzahl der Impulse innerhalb einer Reihe von Klassen der Impulsamplitude mit gleicher Klassenbreite für eine vordefinierte Messdauer

3.10

Impulsphasenverteilung

Anzahl der Impulse innerhalb einer Reihe von Klassen der Phasenlage mit gleicher Klassenbreite für eine vordefinierte Messdauer

3.11

Teilentladungsmuster

Abbildung der Verteilung der TE-Amplitude über der AC-Phasenlage zur Visualisierung des TE-Verhaltens während einer vordefinierten Messdauer

Anmerkung 1 zum Begriff: Es kann auch eine andere Darstellungsart für die Interpretation und die Trennung der Quellen angewendet werden, z. B. die Verteilung der Frequenz in Abhängigkeit von der Zeit.

3.12

Ankopplungseinheit

üblicherweise ein aktiver oder passiver Vierpol, der die Eingangsströme in Ausgangsspannungssignale umwandelt

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Signale werden mit Hilfe eines Übertragungssystems zum Messgerät übertragen. Die Frequenzantwort der Ankopplungseinheit wird üblicherweise so gewählt, dass die Prüfspannungsfrequenz sowie ihre Harmonischen effizient vom Messgerät ferngehalten werden.

3.13

TE-Kopplereinheit

Hochspannungs-Koppelkondensator mit niederinduktivem Aufbau sowie einer Niederspannungs-Ankopplungseinheit in Serie

3.14

größte wiederholt auftretende TE-Amplitude

Q_m

größte innerhalb einer TE-Impuls-Wiederholrate von 10 Impulsen je Sekunde (pps) auftretende Amplitude, die direkt aus einer Impulshöhenverteilung abgeleitet werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Definition von Q_m können auch andere Wiederholraten herangezogen werden, z. B. 50 oder 60 Impulse je Sekunde. Dann sind aber die anderen Wiederholraten zu kennzeichnen, z. B. als Q_{m50} oder Q_{m60} .

3.15

gewichtete auftretende TE-Amplitude

Q_{iec}

gewichtete Amplitude, die von einem Messsystem aufgezeichnet wird, das die Impulsfolge-Antwortfunktion nach IEC 60270 hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Im vorliegenden Dokument wird das Symbol Q als Platzhalter für beide Ladungs-Definitionen Q_m und Q_{iec} verwendet.

3.16

Grundstörungen

Signale, die klar erkennbar keine Impulse sind und nicht in der Ständerwicklung entstanden sind

3.17

pulsförmige Störungen

pulsförmige Signale, die klar erkennbar keine Teilentladungen sind, die aber TE-Charakteristik haben können

4 Eigenschaften der TE in drehenden Maschinen

4.1 Grundlagen der TE

Im Allgemeinen können Teilentladungen (TE) an Stellen entstehen, an denen die dielektrischen Eigenschaften der Isoliermaterialien inhomogen sind. An solchen Stellen kann die lokale elektrische Feldstärke erhöht sein. Infolge einer lokalen elektrischen Überbeanspruchung kann dies zu einem örtlich begrenzten Teildurchschlag führen. Dieser Teildurchschlag führt jedoch nicht zu einem vollständigen Durchschlag des Isoliersystems. TE benötigen für ihre Entstehung im Allgemeinen ein Gasvolumen, wie z. B. in gasgefüllten Hohlräumen innerhalb der Isolierung, angrenzend an Leiter oder aber an dielektrischen Grenzschichten.

Eine Teilentladung kann auftreten, wenn die lokale Feldstärke an einer Fehlstelle deren Durchschlagfeldstärke überschreitet. Dies kann zu zahlreichen TE-Impulsen während einer Periode der angelegten Spannung führen. In drehenden Maschinen mit glimmerhaltigen Isolierungen sind eine gewisse Anzahl solcher Fehlstellen, wie z. B. kleine Hohlstellen bei neuen Isolierungen und Delaminierungen bei gealterten Wicklungen, unvermeidlich. Deshalb wird oft die Überlagerung verschiedener TE-Quellen mit unterschiedlicher Intensität gemessen.

Die bei einer Entladung umgesetzte Ladungsmenge hängt eng mit den spezifischen Eigenschaften der Fehlstelle wie den Abmessungen, der tatsächlichen Durchschlagsspannung und den spezifischen dielektrischen Eigenschaften der beteiligten Materialien zusammen, z. B. Oberflächeneigenschaften, Art des Gases, Gasdruck usw.

Die Ständerwicklungs-Isoliersysteme von Typ-II-Maschinen (IEC 60034-18-42) weisen üblicherweise eine gewisse TE-Aktivität auf, zeigen aber aufgrund ihrer anorganischen Glimmerkomponenten eine inhärente Resistenz gegenüber Teilentladungen. Eine ausgeprägte TE-Aktivität in diesen Maschinen ist üblicherweise eher ein Anzeichen für Isolationsmängel infolge von Fertigungsproblemen oder Schädigung im Betrieb, als eine unmittelbare Ursache für einen Ausfall. Abhängig vom Ort der TE-Quelle und den speziellen Bedingungen an diesem Ort können sich jedoch die TE zu einem ausgeprägten Stressfaktor entwickeln und einen örtlich begrenzten Alterungsprozess bewirken. Die Zeit bis zu einem Ausfall wird möglicherweise nicht mit den TE-Amplituden korrelieren, sondern hängt im Wesentlichen von anderen Faktoren ab, wie z. B., aber nicht begrenzt auf, Betriebstemperatur, Zustand der Verkeilung, dem Grad der Verunreinigung usw.

Die Messung und Analyse des spezifischen TE-Verhaltens kann effizient für die Qualitätskontrolle neuer Wicklungen und Wicklungskomponenten eingesetzt werden sowie für die frühzeitige Erkennung von Schwachstellen in der Isolierung, die durch thermische, elektrische, mechanische Alterungsfaktoren sowie Umgebungsbeanspruchungen im Betrieb hervorgerufen werden und zu einem Isolationsfehler führen können.

4.2 Arten von TE in drehenden Maschinen

4.2.1 Allgemeines

In Isoliersystemen von Hochspannungsmaschinen muss im Allgemeinen mit Teilentladungen gerechnet werden, wobei aber die Amplituden, ihre Häufigkeit und der Entstehungsort vom konstruktiven Aufbau, von den eingesetzten Materialien, den Fertigungsbedingungen, der Qualität, sowie den Umgebungs- und Alterungsbedingungen abhängen. Die Maschinenkonstruktion, die Zusammensetzung der eingesetzten Materialien, die Fertigungsverfahren, die Betriebsbedingungen usw. können Intensität, Ort, Kennwerte, Entwicklung und die Bedeutung der TE maßgeblich beeinflussen. Für eine gegebene Maschine können verschiedene TE-Quellen ermittelt und in vielen Fällen durch ihr charakteristisches TE-Verhalten unterschieden werden. Falls durchführbar können die TE-Quellen mit zusätzlichen diagnostischen Prüfungen und visuellen Inspektionen weiterführend untersucht werden.

4.2.2 Innere Entladungen

4.2.2.1 Innere Hohlräume

Obwohl die Fertigungsverfahren auf die Minimierung innerer Hohlräume ausgelegt sind, ist in einem Isoliersystem mit harz imprägnierten Glimmerbändern, das üblicherweise in drehenden Hochspannungsmaschinen verwendet wird, ein geringfügiger Gehalt an Hohlräumen unvermeidbar. Obwohl in drehenden Hochspannungsmaschinen Teilentladungen normal sind, soll der Glimmer in der Isolierung eine akzeptable Lebensdauer unter den angegebenen Alterungsbedingungen gewährleisten. Für weitere Informationen siehe auch [IEC 60034-18-32](#).

4.2.2.2 Innere Delaminierung

Innere Delaminierungen innerhalb der Hauptisolierung können durch unvollständige Tränkung oder Aushärtung des Isoliersystems während der Fertigung oder durch mechanische oder thermische Überbeanspruchung im Betrieb verursacht werden. Delaminierung kann sich auch durch Alterung der Isolierung entwickeln. Delaminierung durch Alterung ist normalerweise ein Langzeitprozess. Deshalb ist Delaminierung in älteren Isolierungen immer ein Anzeichen von Alterung. Große Hohlräume können sich über eine große Fläche erstrecken und damit verhältnismäßig energiereiche Entladungen verursachen, die die Isolierung signifikant angreifen können. Delaminierungen reduzieren insbesondere die Wärmeleitfähigkeit der Isolierung und können damit zu einer beschleunigten Alterung führen. Daher müssen Delaminierungen bei der Bewertung der TE-Aktivität besondere Beachtung finden.

4.2.2.3 Delaminierung zwischen einem isolierten Leiter und Hauptisolierung

Teilentladungen, durch Delaminierungen entstehen in luft- oder gasgefüllten, ausgedehnten Einschlüssen in Längsrichtung, die zwischen der Hauptisolierung und dem Leiterstapel eingebettet sind.

Sie können durch thermische Überhitzung oder durch extreme mechanische Kräfte entstehen, wobei beide Wirkungen zu großflächigen Ablösungen zwischen diesen Lagen führen können.

4.2.3 Nutentladungen

Nutentladungen in drehenden Hochspannungsmaschinen können entstehen, wenn der Nutteilglimmschutz beeinträchtigt ist. Dies kann auftreten bei örtlich begrenzten starken Feldstärkeerhöhungen an Unregelmäßigkeiten im Material des Nutteilglimmschutzes oder infolge von Stab/Spulen-Bewegungen innerhalb der Nut oder im gestuften Nutaustrittsbereich, z. B. bei Verlust des Verkeildruckes, durch Setzeffekte, Materialerosion, Abrieb, chemische Angriffe oder Fertigungsmängel. Wenn bereits eine örtliche Beschädigung des Nutteilglimmschutzes vorhanden ist, können sich an dieser Stelle intensive Teilentladungen zwischen dem Blechpaket als geerdete metallische Elektrode und der Oberfläche der Hauptisolierung ausbilden. Diese Entladungen werden hauptsächlich an den elektrisch hoch beanspruchten Stäben in Nähe der Phasen-Anschlussklemme der Ständerwicklung erzeugt. Die Teilentladungsaktivität kann durch Erosion der Hauptisolierung zu verstärkter Alterung führen. Ebenso können lose Spulen zu schwerwiegendem mechanischem Abrieb führen.

Da die Erosion der Isolierung durch hochspannungsinduzierte Nutentladungen verursacht wird, tritt sie verstärkt an den Stäben/Spulen in Nähe der Hochspannungs-Anschlussklemmen auf. Deshalb liefern Off-line-Teilentladungsmessungen bei Nutentladungen unterschiedliche Ergebnisse für die Teilentladungsintensität und manchmal auch für die Teilentladungsmuster (Pattern) auf der Anschluss- und Sternpunktseite.

Schwingungen der Stäbe oder Spulen im Nutbereich während des Betriebes, die z. B. durch Kraftwirkung des elektromagnetischen Feldes auf nicht ausreichend festliegende Stäbe und Spulen hervorgerufen werden, können zur Zerstörung des Nutteilglimmschutzes führen. Unter bestimmten Bedingungen können während des Betriebes Vibrationsfunken auftreten. Diese werden durch intermittierende Unterbrechung des von der elektromagnetisch induzierten Spannung angetriebenen Stromes hervorgerufen. Obwohl das keine Teilentladungs-Erscheinung ist, können ähnliche Messergebnisse erhalten werden.

Wenn der leitfähige Nutteilglimmschutz durch Vibrationsfunken zerstört ist, können bei Stillstandsmessungen Nutentladungen festgestellt werden. Da die Vibrationsfunken vom Magnetfeld angetrieben werden, kann diese Erscheinung prinzipiell im Nutbereich jedes Stabes oder jeder Spule, von der Anschlussseite bis zum Sternpunkt, also auf beiden Seiten der Wicklung, gemessen werden. Durch vergleichende Messungen einschließlich Analyse der Teilentladungsmuster auf der Anschluss- und Sternpunktseite kann einen Hinweis auf Vibrationsfunken gegeben werden. In [F.1.4](#) sind weitere Hintergrundinformationen angegeben.

4.2.4 Entladungen in den Spalten des Wickelkopfes und Oberflächenentladungen

Teilentladungen im Wickelkopfbereich können an verschiedenen Stellen mit hohen lokalen elektrischen Feldstärken entstehen. Solche Entladungen entstehen üblicherweise an Grenzflächen zwischen unterschiedlichen Teilen des Wickelkopfes einer Ständerwicklung. Bei mangelnder Funktionalität des Endenglimmschutzes im Wickelkopf infolge von mangelhaft ausgeführten Grenzschichten, Verunreinigungen, Porosität, thermischen Effekten usw. ist eine zuverlässige Feldsteuerung nicht mehr gewährleistet und es können Oberflächenentladungen entstehen, die die Materialien allmählich erodieren. Dies ist normalerweise ein sehr langsamer Alterungsmechanismus, obwohl das TE-Verhalten verhältnismäßig schnellen Änderungen aufgrund von Oberflächeneffekten unterliegen kann.

Außerdem können Teilentladungen zwischen den einzelnen Phasen entstehen, z. B. aufgrund unzureichender Abstände an Elementen der Wickelkopfabstützung oder als Leiter-Erde-Entladungen an der Wickelkopfoberfläche.

4.2.5 Entladungen durch leitfähige fremde Partikel

Leitfähige Verunreinigungen der Wicklung können zu stark konzentrierten Teilentladungen führen. Aus diesen Teilentladungen können sich dann örtlich begrenzte Beschädigungen der Isolierung entwickeln. Noch gefährlicher können größere Metallteile, wie z. B. abgebrochene Bolzen, Schrauben oder versehentlich vergessene Werkzeuge, sein. Abgesehen von lokaler Konzentration der TE und ihrer potenziell schädlichen Wirkung können sich weiterhin unmittelbare mechanische Schäden oder Abrieb, bedingt durch die Wirkung des magnetischen Feldes auf solche metallischen Partikel.

Dies kann zu lokaler Beschädigung der Isolierung führen.

4.3 Impulsausbreitung in Wicklungen

An seinem Entstehungsort kann der Teilentladungsstrom als transientscher Impuls mit einer Anstiegszeit von wenigen Nanosekunden aufgefasst werden. Für diese kurzen TE-Impulse mit einem hochfrequenten Spektrum stellen Ständerwicklungen Objekte mit verteilten Parametern dar, in denen Wanderwellen, komplexe kapazitive und induktive Kopplungen sowie Resonanzerscheinungen auftreten. Daher müssen TE-Impulsausbreitungsphänomene berücksichtigt werden. Aufgrund der Dämpfung, Verzerrung, Reflexion und des „Übersprechens“ von Wanderwellensignalen weichen Form und Amplitude des an den Klemmen der Wicklung erfassten TE-Signals von denen am Entstehungsort ab. Unter Beachtung dieser Tatsache sind die folgenden Punkte bezüglich der Interpretation von TE-Messungen an drehenden Maschinen besonders wichtig:

- Die Übertragungsfunktion von der TE-Quelle zum TE-Sensor ist unbekannt und hängt von der spezifischen Konstruktion der Maschine ab, die das Frequenzübertragungsverhalten der Ständerwicklung

bestimmt. Die Energie am Ort der TE-Quelle, die als Maß für die Erosion der Isolierung angenommen werden kann, kann daher nicht direkt gemessen werden.

- Das individuelle Hochfrequenz-Übertragungsverhalten einer Ständerwicklung führt zu TE-Signalen an den Klemmen, die charakteristisch für die geprüfte Maschine und den Ort der TE-Quelle sind.
- Sehr hochfrequente Komponenten der TE-Signale werden bei der Ausbreitung durch die Wicklung sehr stark gedämpft und sind, abhängig vom Entstehungsort der TE, an den Klemmen des Prüfobjektes möglicherweise nicht erfassbar.

Als Folge der oben beschriebenen Phänomene beeinflusst nicht nur die genaue Konstruktion der Ständerwicklung, sondern auch der spezifische Frequenzgang des TE-Erfassungssystems, einschließlich der Ankopplungseinheit, die Eigenschaften des an den Klemmen der Wicklung erfassten Signals ganz wesentlich.

5 Messverfahren und Messgeräte

5.1 Allgemeines

In Übereinstimmung mit **IEC 60270** behandelt dieser Abschnitt nur elektrische Methoden der Teilentladungsmessung, da die elektrische, leitungsgebundene Messung von Teilentladungen die am häufigsten verwendete Methode zur Bewertung der Wicklungsisolierung von drehenden Maschinen ist. Andere Off-line-Methoden zur TE-Erfassung und Methoden zur Lokalisierung sind in [Anhang C](#) aufgelistet.

Teilentladungsmesssysteme können in Teilsysteme eingeteilt werden: Ankopplungseinheit, Übertragungssystem (z. B. Anschlussleitung oder optische Verbindung) und Messgerät. Im Allgemeinen trägt das Übertragungssystem, von möglichen Signaldämpfungen abgesehen, nicht zu den Eigenschaften der Schaltung bei und wird daher nicht weiter betrachtet.

5.2 Einfluss der Frequenzantwort des Messsystems

Die Frequenzantwort des TE-Erfassungssystems, einschließlich der TE-Kopplereinheit, bestimmt, wie viel Energie des TE-Signals aus der Wicklung erfasst werden kann. Damit hat die Frequenzantwort des Systems, insbesondere der Typ der verwendeten Kopplereinheit, einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtempfindlichkeit der Signalerfassung. Infolge unterschiedlicher Werte der unteren und oberen Grenzfrequenz gelten für die Prüfung von vollständigen Wicklungen grundsätzlich die folgenden qualitativen Beziehungen:

- Messungen im unteren Frequenzbereich gewährleisten nicht nur für Teilentladungen aus Stäben/Spulen in der Nähe des Sensors eine gute Empfindlichkeit, sondern auch für solche, die von weiter entfernt in der Wicklung stammen. Der untere Frequenzbereich ist jedoch anfälliger gegenüber Rauschen und Störungen;
- Messungen im sehr hohen Frequenzbereich erfassen nur einen geringen Anteil der gesamten TE-Energie und sind damit nur für Signale empfindlich, die in der Nähe des Sensors entstehen. Dieser Frequenzbereich ist jedoch weniger anfällig gegenüber Rauschen und Störungen.

Um eine angemessene Empfindlichkeit für TE aus der gesamten Wicklung zu erzielen, ist es für Off-line-TE-Prüfungen ratsam, breitbandige TE-Messsysteme zu verwenden (wie in **IEC 60270** festgelegt). Die untere Grenzfrequenz sollte nach **IEC 60270** im Bereich von einigen Vielfachen des Wertes 10 kHz liegen.

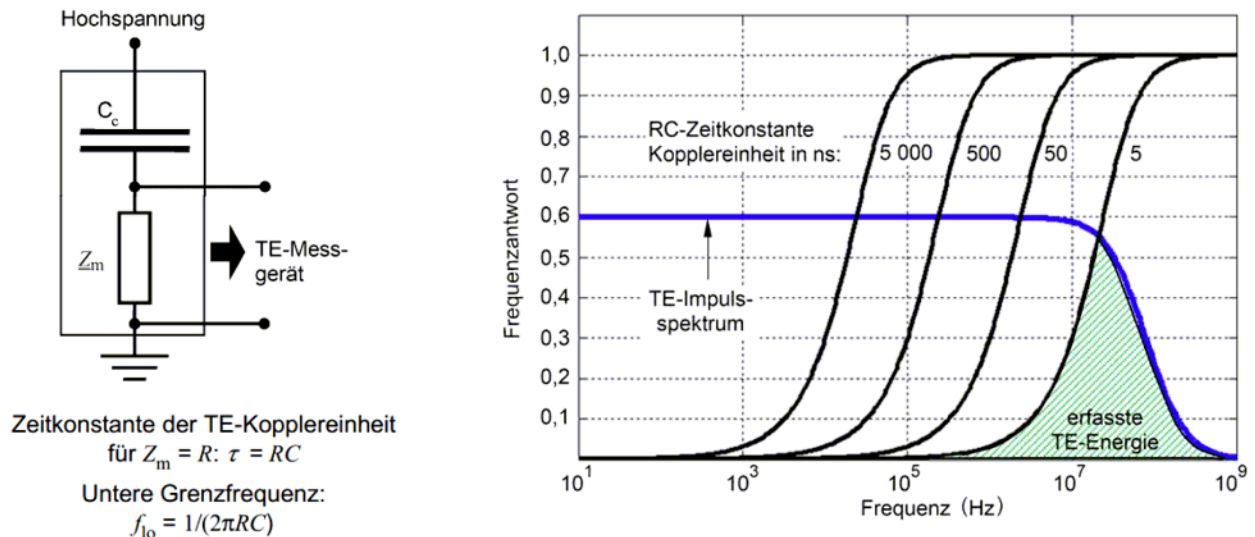
Es sollte beachtet werden, dass abhängig von der Wicklungskonstruktion und der verwendeten Messanordnung Resonanzerscheinungen auftreten können, die im Frequenzbereich des TE-Messgerät liegen und daher die TE-Ergebnisse ebenfalls beeinflussen können.

5.3 Auswirkungen der TE-Kopplereinheiten

Für Off-line-TE-Messungen an Ständerwicklungen und TE-Prüfungen an Wicklungskomponenten werden meist kapazitive Kopplereinheiten verwendet. Diese bestehen aus einem Hochspannungskondensator und einer in Reihe geschalteten Niederspannungs-Kopplungseinheit. Bei der Prüfung von einzelnen Wicklungskomponenten kann die Kopplungseinheit auch in Reihe zum Testobjekt angeschlossen werden (siehe Bild 4b). Die Niederspannungs-Kopplungseinheit ist mit dem Übertragungssystem verbunden.

Der Hochspannungskondensator, die Kopplungseinheit, das Übertragungssystem und die Eingangs-impedanz des Messsystems stellen einen Hochpassfilter dar. Daher führen erhöhte Eingangsimpedanzen oder höhere Kapazitätswerte zu einer erhöhten Empfindlichkeit.

Bild 1 zeigt schematisch das Frequenzspektrum eines idealisierten TE-Impulses sowie die Übertragungsfunktionen unterschiedlicher TE-Kopplereinheiten mit einem Hochspannungskondensator und einer resistiven Messimpedanz $Z_m = R$ auf der Niederspannungsseite. Die markierte Überlappung der Spektren des TE-Impulses und der Kopplereinheit, dargestellt in Bild 1 für eine RC-Zeitkonstante von 5 ns, bestimmt die Signalenergie, die gemessen werden kann. In praktischen Fällen zeigen solche Systeme aufgrund von parasitären L- und C-Komponenten Bandpass-Filtereigenschaften.



Komponenten

- Z_m Messimpedanz
- C_c Koppelkondensator

Bild 1 – Frequenzantwort eines TE-Impulses und Kopplereinheiten mit unterschiedlichen Zeitkonstanten

TE-Impulse werden bei der Ausbreitung durch die Wicklung, insbesondere bei höheren Frequenzen, gedämpft und verzerrt. Daher liefern Messsysteme, deren untere Grenzfrequenz im Bereich niedriger Frequenzen liegt, normalerweise eine durchweg gute Empfindlichkeit für TE aus der gesamten Wicklung.

Bei der Durchführung von Messungen an einzelnen Wicklungskomponenten ist der Hochspannungs-Koppelkondensator am Kupferleiter angeschlossen. Die Kopplereinheit kann in Reihe mit dem Koppelkondensator oder, wenn die Komponente von Erde getrennt werden kann, in der Erdleitung des Prüfobjektes angeordnet werden. Für TE-Messungen an vollständigen Wicklungen wird die Kopplereinheit an die Klemmen der Maschine oder innerhalb des Maschinengehäuses direkt an die Leiter der Wicklung angeschlossen.

Die folgenden Niederspannungs-Ankopplungseinheiten werden typischerweise mit dem Hochspannungskondensator kombiniert:

- RLC-Filter oder Vierpol-Netzwerke (siehe IEC 60270), in denen eine Induktivität zur Unterdrückung der Netzfrequenz dient;
- Hochfrequenzstromwandler (RF-CT), die gleichzeitig zur galvanischen Entkopplung des Hochspannungskreises vom Messgerät dienen.

Im Erdungskreis angeschlossene RF-CT können auch als eigenständige Ankopplungseinheit verwendet werden. Bei Verwendung einer faseroptischen Signalübertragung können die Kopplungseinheiten auch auf der Hochspannungsseite des Kondensators installiert werden.