

Erste Erfahrungen mit Schallbildgebung von Teilentladungen an Hochspannungsanlagen

Greg C. Stone

Iris Power-Qualitrol
Mississauga, Kanada
gstone@qualitrolcorp.com

Mladen Sasic

Iris Power-Qualitrol
Mississauga, Kanada
msasic@qualitrolcorp.com

Christoph Wendel

Verkehrsbetriebe Zürich
Zürich, Schweiz
christoph.wendel@vzb.ch

A. Shaikh

Kinectrics
Toronto, Kanada
ashfak.shaikh@kinectrics.com

Schlüsselwörter

Korona
Teilentladung
Schallbildgebung

Zusammenfassung

Ultraschallrichtmikrofone werden seit Jahrzehnten zur Ortung von Oberflächen-Teilentladungen und Korona in Hochspannungsanlagen eingesetzt. Allerdings gab es aufgrund von Reflexionen und dem Sichtfeld des Detektors immer eine gewisse Unsicherheit, wo genau sich die Entladungsstellen befanden. Außerdem dauerte das Abtasten einer kompletten Wicklung einige Zeit. Vor einiger Zeit wurde ein bedeutender Fortschritt in dieser Technologie durch die kommerzielle Entwicklung einer Schallkamera erreicht, die anzeigen kann, wo Geräuschquellen in Bezug zum Sichtbild des Prüfobjekts sind. Die Schallkamera erzeugt ein Schallbild der Teilentladung (TE) auf dem Prüfobjekt ähnlich wie eine UV-Kamera das ultraviolette Licht der TE auf einem Bild des Objekts darstellt. Die Schallkamera nutzt eine Vielzahl von Breitband-Mikrofonen und kann das akustische Signal in wählbaren Frequenzbereichen im Schall- und Ultraschallbereich darstellen. Die Wirksamkeit dieses neuen Instruments wurde an einem Punkt-zu-Ebene-Prüfobjekt für Korona sowie an Statorspulen und Statoren mit bekannter TE bewertet. Der optimale Bereich zur Erkennung von Oberflächenentladungen scheint bei 30-50 kHz zu liegen. Es können auch starke TE in Innenhohlräumen erkannt werden, wenn auch mit einer geringeren Frequenz als bei TE an Oberflächen. An verschiedenen Prüfobjekten werden mehrerer Entladungsstellen schnell und präzise lokalisiert.

Einführung

Die direkte elektrische Erkennung von Teilentladungen (TE) und Korona mit Hochspannungskondensatoren oder Hochfrequenz-Stromtransformatoren wird seit den 1940er Jahren eingesetzt, um Isolierungsfehler in neuen Anlagen zu finden und den Isolierungszustand von in Betrieb stehenden Hochspannungsanlagen zu bewerten. Durch solche Prüfungen kann nicht festgestellt werden, wo genau sich die TE in der Hochspannungsanlage befindet. Die TE-Ortung wurde in der Vergangenheit mit HF-, optischen und Schallsonden durchgeführt [1, 2].

Die HF-Sonde, manchmal auch als TVA- oder Korona-Sonde bezeichnet, erkennt die von den TE- und Korona-Signalen ausgesendeten Signale. Das Instrument kann sowohl Oberflächen-TE und Korona als auch TE innerhalb des Isolierungssystems des Prüfobjekts erkennen. Die optische Erkennung von Oberflächen-TE und Korona erfolgte ursprünglich mit dem menschlichen Auge durch Erkennen des Lichts aus einer Entladung. Eine höhere Empfindlichkeit gegenüber TE wird durch Ausschalten des Lichts erreicht (eine sogenannte „Blackout“- oder „Lights Out“-Prüfung) oder durch Durchführung der Prüfung nachts im Freien. In dunklen Räumen kann mit einem Photomultiplier eine noch höhere Empfindlichkeit erreicht werden. In den 1970er Jahren wurden Bildverstärker, die im sichtbaren Spektralbereich arbeiten, teilweise in dunklen Räumen und bei Nacht im Freien eingesetzt. In den späten 1990er Jahren wurde ein neues Gerät entwickelt, das eine Momentaufnahme oder ein Video von Oberflächen-TE im ultravioletten Bereich aufzeichnen konnte [3]. Dies war ein bedeutender Fortschritt, da es ermöglichte, das optische Signal der Oberflächen-TE in einem beleuchteten Raum oder im Freien bei Tageslicht im Kontext zum Sichtbild des Prüfobjekts zu erkennen. Dadurch wurde die Möglichkeit, TE und Korona auf Prüfobjekten sicher zu lokalisieren und eine permanente Aufzeichnung zu erstellen, erheblich verbessert. Solche UV-Kameras werden heute häufig zur Erkennung von Korona in Hochspannungsleitungen und Umspannwerken eingesetzt, wobei sich die technischen Verbesserungen in den 2000er Jahren rasant entwickelt haben.

Ähnlich wurde die akustischen Lokalisierung von TE und Corona zunächst mit dem menschlichen Ohr und der damit einhergehenden begrenzten Triangulation vorgenommen. Später wurden Richtmikrofone im hörbaren Bereich eingesetzt, um TE-Stellen besser zu lokalisieren. Der Signal-Rausch-Abstand der TE wurde durch die Entwicklung von Ultraschallrichtmikrofonen in den 1960er Jahren verbessert. TE und Corona erzeugen stärkere Ausgangssignale im Bereich der Ultraschallfrequenzen, besonders im Bereich von 35–50 kHz (Abb. 1) [4]. Allerdings gab es immer wieder Probleme mit der präzisen Ortung aufgrund des sich mit der Entfernung erweiternden Sichtfeldes sowie der Reflexionen von harten, flachen Oberflächen.

Seit dem letzten Jahr gibt es eine neue Schalltechnologie. Es handelt sich um eine Schallkamera, in der Dutzende von winzigen Mikrofonen kombiniert werden, um Bilder der Schallquellen zu erzeugen, die einem Sichtbild des Prüfobjekts überlagert werden [5]. Die Kamera wurde ursprünglich für die Erkennung von Gaslecks entwickelt, kann aber auch zur Lokalisierung von Oberflächenentladungen verwendet werden. Die untersuchte Schallkamera Fluke i910 verfügt über 64 Mikrofone, die im Bereich von 2–50 kHz oder 2–100 kHz arbeiten. Der Bediener kann über den Touchscreen eine Bandbreite von 5 bis 20 kHz und eine beliebige Mittenfrequenz innerhalb dieses Bereichs auswählen. Die Kamera kann das Schallbild von Objekten in einer Entfernung von 0,5 bis 100 m erkennen, was bedeutet, dass es sicher für die TE- und Corona-Erkennung verwendet werden kann, auch wenn hohe Spannungen vorhanden sind. Der Schallpegel wird in dB gemessen, und es gibt eine farbcodierte Skala für den Schallpegel. Dieses Gerät verfügt über eine Betriebsart, in dem der Schallpegel in Abhängigkeit von einem abgeleiteten 50/60 Hz-Zyklus gemessen werden kann, was zu einem akustischen phasen-aufgelösten TE-Muster (Phase-Resolved Partial Discharge, PRPD) führt. Es können sowohl Momentaufnahmen als auch Videos in üblichen Formaten aufgezeichnet werden.

In diesem Artikel wird die Wirksamkeit der Schallkamera zur Lokalisierung von Oberflächen-TE und Corona anhand eines Punkt-Ebene-Prüfobjekts für Corona und verschiedener Stator-Spule- und Stator-Wicklungs-Prüfobjekte bewertet. Im Einzelnen wurde Folgendes ermittelt:

- Optimale Erfassungsfrequenz
- Auswirkung der Entfernung zum Prüfobjekt
- Vergleich der gemessenen TE-Einsatzspannung (PDIV) mit den Schall- und UV-Kameras.

Prüfobjekte und Ausrüstung

Das Corona-Prüfobjekt (T1) weist eine Punkt-Ebene-Geometrie auf. Der Punktradius betrug etwa 250 µm, und der Abstand zwischen dem Punkt und der Bodenebene betrug 25 mm. Die ungefähre TE-Einsatzspannung betrug 6 kV AC eff. Dies entspricht dem in IEEE 1799 [6] beschriebenen Corona-Prüfobjekt.

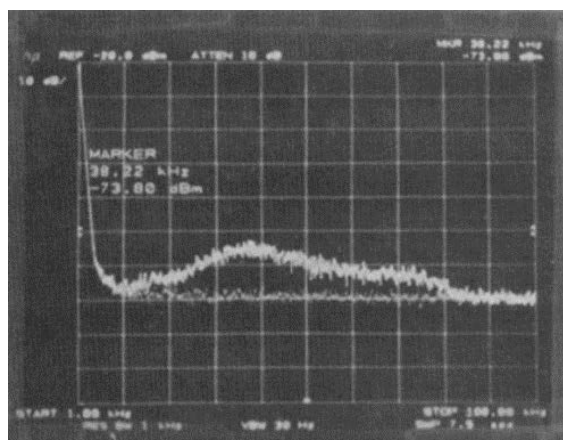


Abb. 1 Akustisches Ansprechverhalten von Oberflächen-TE in Abhängigkeit zur Frequenz (die schwächere Linie ist das Hintergrundrauschen, wenn die Spannung ausgeschaltet war). Die vertikale Skala beträgt 10 dBm/div und die horizontale Skala reicht von 1 kHz bis 100 kHz. Es wurde ein Mikrofon vom Typ B&K 4135 verwendet, das einen flachen Frequenzgang bis zu 100 kHz aufweist. [4].

Es wurden auch verschiedene Statorspulen-Prüfobjekte verwendet. T2 war eine 13,8-kV-Spule, die einer Spannungsdauerprüfung unterzogen wurde. Die Halbleiter-Beschichtung zum Überspannungsschutz war stark in Mitleidenschaft gezogen, an einigen Stellen war der Halbleiter aufgrund von Oberflächen-TE verschwunden. Die Spule wies auch eine Beschädigung der Siliziumkarbid-/Halbleiterbeschichtung auf. Die Spule wurde in einem geerdeten Blindschlitze montiert.

Das Prüfobjekt T3 bestand aus einem Satz von drei Spulen mit einer Nennspannung von 2,4 kV Phase zu Phase und hatte speziell aufgebraute Halbleiterbeschichtungen auf einem Spulenschenkel im Schlitz, der geerdet oder potenzialfrei sein konnte. Die drei Spulen wurden an eine dreiphasige Wechselstromversorgung angeschlossen. Die Spulen hatten eine natürliche Innenhohlraum-TE im Schlitzbereich. Durch das Verschieben der Spulen zueinander konnte auch in den Entwicklungsbereichen eine Phase-Phase-TE erzeugt werden.

Das Prüfobjekt T4 stammt von einer Spule, die einer Temperaturwechselprüfung unterzogen wurde, und bei der sich die Kupferleiter von der Schutzleiterisolierung getrennt haben. Dadurch entsteht im Inneren eine TE mit Delaminierung. Auch die TE-Schutzbeschichtung des Stabs wies leichte Beschädigungen auf. Der Stab war für 11 kV ausgelegt.

Prüfobjekt T5 war eine Motorstatorwicklung mit einer Nennleistung von 6 kV. Die TE-Quelle am Schlitzausgang war vor der Prüfung nicht bekannt und konnte mit der Schallkamera lokalisiert werden.

Die elektrische TE wurde mit einem PDTech DeltaMaxx gemessen, das im Niederfrequenzbereich (IEC 60270) betrieben wurde. Parallel zur Schallkamera wurde das Ultraviolettbild der Quellen mit einer Kamera vom Typ OFIL DayCor Superb gemessen.

Erkennungsfrequenz

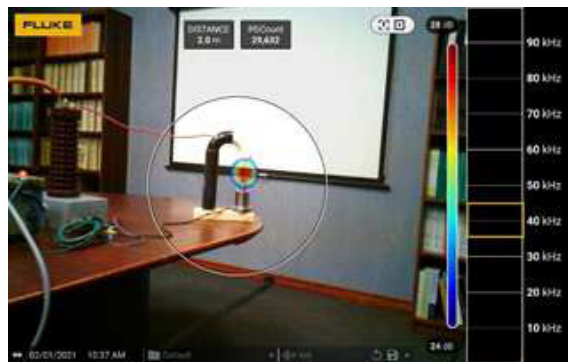
Mit den beiden Prüfobjekten T1 und T2 wurde die beste Frequenz für die Feststellung von TE inmitten von akustischem Rauschen gefunden. Für T1 lagen die Abstände zwischen Prüfobjekt und Kamera zwischen 1 und 8 m. Für das T2-Prüfobjekt betrugen sie 2 bis 4 m. Abb. 2 zeigt die Kamera bei der Verwendung mit dem T2-Spulenprüfobjekt. In allen Fällen wurde das Prüfobjekt vor der Bildgebung 5 Minuten lang mit einer konstanten Spannung betrieben, um eine stabile TE/Korona-Quelle zu gewährleisten. Es wurden Mittenfrequenzen von 10 kHz bis 90 kHz in 10-kHz-Schritten mit einer Bandbreite von +/-5 kHz gewählt.

Abb. 3 zeigt die Schallbilder, die in 2 m und 8 m Entfernung vom Punkt-Ebene-Prüfobjekt aufgenommen wurden, bei einer Spannung von 10 kV eff, die deutlich über der TE-Einsatzspannung liegt. Der regenbogenfarbene Kreis ist auf die Korona zentriert. Oben rechts im Bild wird der maximale Schallpegel in dB angezeigt. Der maximale Schallpegel betrug 24 dB in 2 m Entfernung und 12 dB in 8 m Entfernung, bei gleicher angelegter Spannung, gemessen im Frequenzbereich von 35–45 kHz. Die Schallkamera verfügt über eine Funktion zur automatischen Lokalisierung der Schallquelle im gewählten Frequenzbereich und zur Bestimmung der Entfernung von der TE-Quelle zur Kamera. Abb. 3b zeigt jedoch, dass bei diesem speziellen Aufbau die Koronaquelle bei 8 m nicht automatisch gefunden wurde (die Quelle wurde bei Entfernungen bis zu 6 m automatisch geortet).

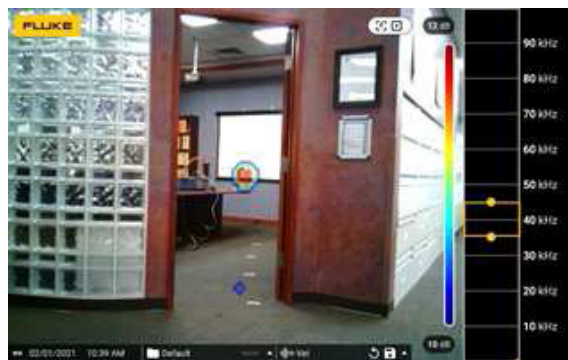
Tabelle 1 zeigt das Frequenzband in Abhängigkeit vom TE-Schallpegel in dB in drei Entfernungen für das Punkt-Ebene-Prüfobjekt (T1), bei 10 kV eff. Die mit einem herkömmlichen TE-Detektor aufgezeichnete TE-Größe betrug 10 nC. Die zweite Spalte zeigt den Schallpegel, der aufgezeichnet wurde, als die Punkt-Ebene nicht unter Spannung stand und somit keine Korona auftrat. Dieses „Grundrauschen“ ist abhängig von der Geräuschumgebung und ist unabhängig von



Abb. 2
Foto der Schallkamera bei der Erkennung von TE an Spule T2.



(3a)



(3b)

Abb. 3
Schallbild der Punkt-Ebene-Korona, aufgenommen mit einer Entfernung von 2 m (a) und 8 m (b) vom T1-Prüfobjekt bei 35–45 kHz

Mittenfrequenz* (kHz)	Grundrauschen** (dB)	Entfernung zum Prüfobjekt (m)					
		2 m		4 m		8 m	
		dB	Netto	dB	Netto	dB	Netto
90	40	40	0	40	0	40	0
80	39	40	1	40	1	40	1
70	33	37	4	34	1	34	1
60	27	35	8	27	0	27	0
50	20	32	12	24	4	20	0
40	10	30	10	20	10	12	2
30	9	26	17	19	10	12	3
20	7	25	18	18	11	11	4
10	3–11	20	–	15	–	7	–

*Bandbreite: +/-5 kHz

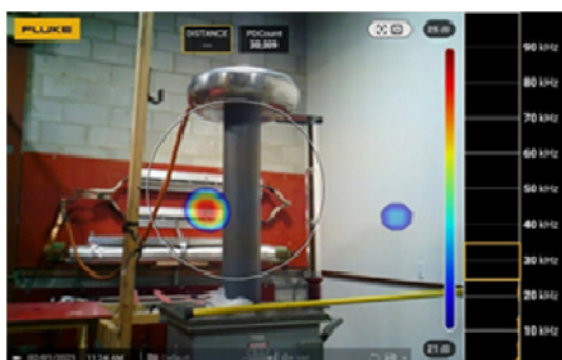
**Ohne angelegte Spannung

Tabelle 1 Schallpegel der Schallkamera in Abhängigkeit zur Frequenz und Entfernung für das Punkt-Ebene-Prüfobjekt

3 Fluke Corporation Erste Erfahrungen mit Schallbildgebung von Teilentladungen an Hochspannungsanlagen

der Entfernung zum Prüfobjekt. Oberhalb von 75 kHz war der Schallpegel bei eingeschalteter oder ausgeschalteter Spannung gleich. Im Frequenzbereich von 5-15 kHz wies das Schallbild viele große „Flecken“ über dem Bild verteilt auf, die vermutlich durch Hintergrundrauschen verursacht wurden. Daher konnte die Corona-Quelle nicht identifiziert werden. Die Spalten „Net“ in Tabelle 1 zeigen die Differenz zwischen dem Schallpegel bei eingeschalteter und ausgeschalteter Spannung. Im Allgemeinen wurden bei abnehmendem Erfassungsfrequenzbereich höhere Netto-Schallpegel gemessen – allerdings wurden auch mehr „Flecken“ festgestellt, die nicht mit Corona in Verbindung stehen. Wie unter [4] festgestellt, scheinen die Frequenzen von 30-50 kHz für die Corona-Erkennung optimal zu sein. Mit zunehmender Entfernung nimmt der Roh- und der Nettoschallpegel ab. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen, da im Allgemeinen hohe Frequenzen stärker gedämpft werden als tiefe Frequenzen. Außerdem vergrößert sich bei einer festen Entfernung mit abnehmender Frequenz die Fläche des Schallbilds, was vermutlich auf die längeren akustischen Wellenlängen bei niedrigeren Frequenzen zurückzuführen ist.

Tabelle 2 zeigt den TE-Schallpegel in Abhängigkeit von der Frequenz für eine Statorspule (T2) und einer Entfernung von 2 m und 4 m zwischen der Schallkamera und der Spule. Die Spule hatte stark beschädigte Halbleiterbeschichtungen, und an diesen Defektstellen wurde bei einer Spannung von 8 kV eff., Leitung gegen Erdung, eine TE festgestellt. Auch hier scheinen die besten Frequenzen für die Erkennung der TE im Bereich 30-50 kHz zu liegen. In den oberen Frequenzbereichen wird nur ein geringes Ultraschallsignal oberhalb des Grundrauschens erzeugt, während bei niedrigeren Frequenzen das Umgebungsrauschen die TE-Quelle verdeckt. Abb. 4a zeigt ein Schallbild der Spule mit Oberflächen-TE. Auf diesem Foto ist auch eine Wandreflexion von der ursprünglichen PD-Quelle der Spule zu sehen. Diese Reflexion verschwand, als die Spannung abgesenkt wurde, genau wie die TE-Quelle. In der Vergangenheit haben solche Reflexionen viele Probleme beim Einsatz von Ultraschall-Richtmikrofonen verursacht. Abb. 4b zeigt das UV-Bild derselben Quelle.



(4a)



(4b)

Abb. 4 TE, die durch einen schweren Halbleiterschaden an einer Spule mit 8 kV eff. in einem simulierten Schlitz in 4 m Entfernung von der Kamera auftritt. (a) zeigt das Schallbild bei 25-35 kHz. Der regenbogenfarbene Kreis ist die wahre TE-Quelle. Beachten Sie die blaue Reflexion (niedrigerer Schallpegel) von der Wand. (b) zeigt das von der UV-Kamera aufgenommene Bild, wobei die kleinen weißen Punkte auf eine Entladung hinweisen.

Mittenfrequenz (kHz)	Grundrauschen (dB)	Entfernung zum Prüfobjekt (m)			
		2 m		4 m	
		dB	Netto	dB	Netto
90	40	43	3	41	1
80	39	42	3	40	1
70	33	41	8	34	1
60	27	39	12	32	5
50	22	37	15	30	16
40	11	32	21	27	16
30	7	29	22	25	18
20	7	27	20	24	14
10	-	26	-	26	-

Tabelle 2 TE-Schallpegel in Abhängigkeit zur Frequenz und Entfernung für das T2-Spulenprüfobjekt

Vergleich von UV- und Schallkameras zur Messung der TE-Einsatzspannung

Die TE-Prüfobjekte T1-Korona und T2-Spule wurden verwendet, um die TE-Einsatzspannung (PDIV) und die TE-Löschspannungen (PDEV) sowohl mit der Schallkamera als auch mit einer UV-Kamera sowie mit dem herkömmlichen TE-Detektor zu vergleichen. Die Schallkamera wurde so eingestellt, dass sie die TE-Einsatz- und Löschspannungen im 35-45 kHz-Band misst, da sich dieser Frequenzbereich bei den vorangegangenen Prüfungen als optimal erwiesen hat. In fast allen Fällen lagen die Einsatz- und Löschspannungen innerhalb von 100 V. Für die Spule gab es bei Entfernungen von 2,5 m und 4 m keinen Unterschied bei den Einsatz- und Löschspannungen (Tabelle 3).

Die konventionelle TE-Prüfung an T1 zeigte, dass die phasen-aufgelöste TE unterschiedliche Muster für positive TE (im negativen Halbzyklus) und spitze, hohe negative TE (positiver AC-Zyklus) für die Punkt-Ebene-Korona hatte. Die negative TE betrug ca. 10 nC und die positive TE ca. 2 nC. In der Nähe der Einsatzspannung war die negative spitzenförmige Korona intermittierend, während die positive Korona stabiler war.

Ein Vorteil der UV-Kamera ist, dass sie auf die Entladungsstelle heranzoomen kann, während die Schallkamera ein festes Sichtfeld hat (Abb. 4a gegenüber 4b).

Momentaufnahmen von verschiedenen Prüfobjekten

Mit der Schallkamera können sowohl Momentaufnahmen der TE-Aktivität als auch Videos von bis zu 5 Minuten Länge aufgezeichnet werden. Das ist für die Durchführung von Messungen der Einsatz- und Löschspannungen hilfreich. Beispiele für Videos finden Sie unter [7]. In diesem Abschnitt finden Sie Beispiele für Momentaufnahmen von Schallbildern von verschiedenen Prüfobjekten.

Abb. 5 zeigt eine Phase-Phase-TE von Prüfobjekt T3 zwischen den Spulen A und C in der Endwicklung, wobei die Phase-Phase-Spannung 6,9 kV oder 4,1 kV Leiter zu Masse betrug. Die Spulenposition der Phase A wurde so eingestellt, dass die Phasen A und C sich in der Nähe der Anschlussleitungen fast berührten. Die Schlitzabschnitte der Spulen waren nicht geerdet, so dass keine Phase-zu-Masse-TE auftrat.

T4 ist ein Statorstab, der eine Delaminierung zwischen den Kupferleitern und der Erdungswand aufweist. Als die Schallkamera auf den Frequenzbereich von 13-23 kHz eingestellt wurde, ist die akustische Aktivität entlang des gesamten Stabs zu sehen, wo elektrische Beanspruchungen vorhanden waren (Abb. 6a). Mithilfe der Kamerafunktion zum Herunterladen des Schallpegels in Abhängigkeit von der Zeit wurde das Diagramm Schallpegel in Abhängigkeit vom AC-Phasenwinkel erstellt (Abb. 6b). Dies zeigt die typische phasen-aufgelöste TE-Antwort ohne Vorherrschen einer Polarität, was darauf hindeutet, dass die Kamera für die TE mit Delaminierung empfindlich ist, wenn auch bei einer niedrigeren Frequenz (die anfälliger für Rauschen sein wird) und einem geringeren Schallpegel.

Prüfobjekt/ Entfernung (m)	Herkömmliche		UV-Kamera		Schallkamera	
	TE-Einsatzspannung	TE-Löschspannung	TE-Einsatzspannung	TE-Löschspannung	TE-Einsatzspannung	TE-Löschspannung
T1 bei 2 m	6,2	6,2	6,3	6,2	6,2	6,2
T2 bei 2,5 m	-	-	3,5	3,2	3,5	3,2
T2 bei 4 m	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5

Tabelle 3 Vergleich von TE-Einsatzspannung und TE-Löschspannung (in kV) für verschiedene Detektoren

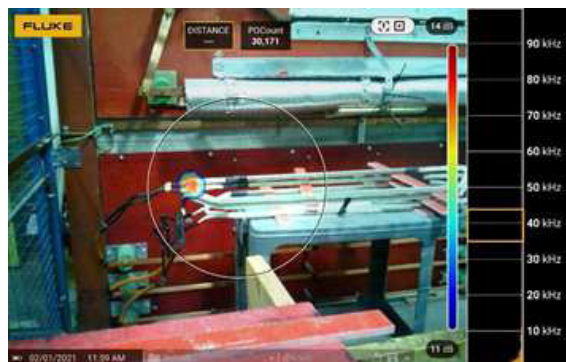
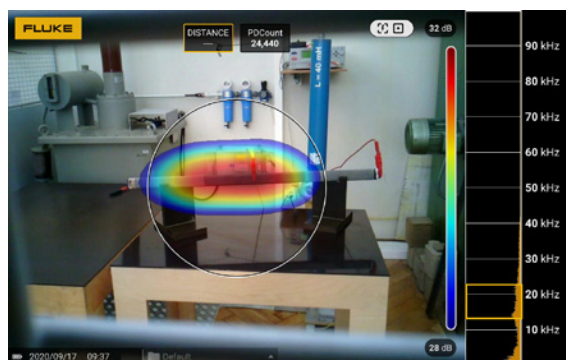
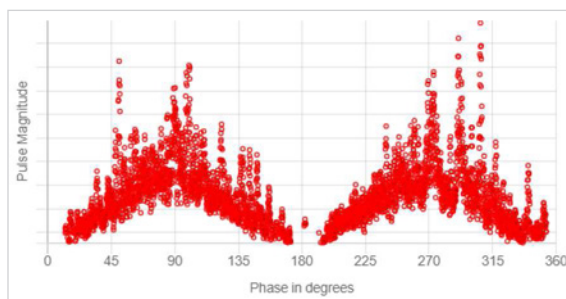


Abb. 5 TE einer Phase-Phase TE in der Endwicklung, wo sich die A- und C-Phasenspulen fast berühren. Die B-Phase befindet sich am unteren Rand des Stacks aus 3 Spulen

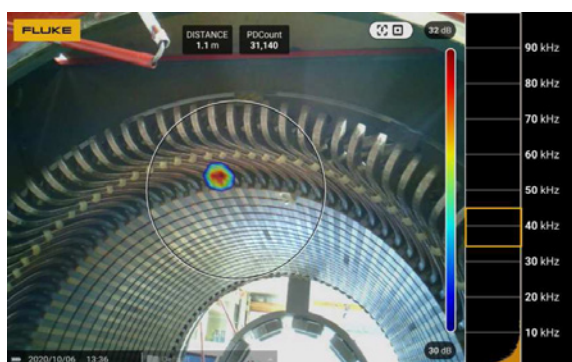


(6a)

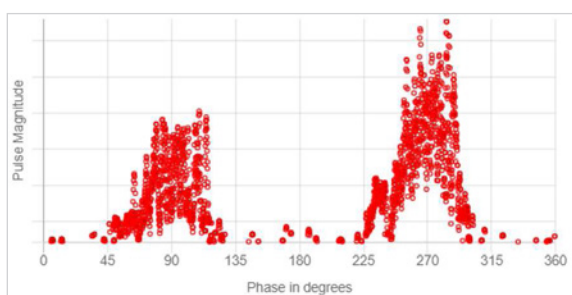


(6b)

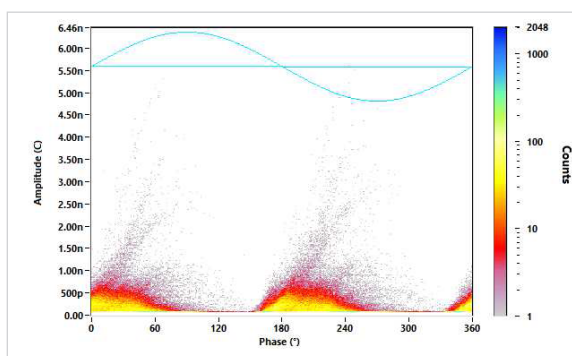
Abb. 6 Mögliche innenliegende TE mit Delaminierung (a) von einem Stab, der einer Temperaturwechselbelastung ausgesetzt war. Beachten Sie den in (a) verwendeten niedrigeren Frequenzbereich sowie den viel niedrigeren Schallpegel. (b) zeigt die Darstellung eines phasen-aufgelösten TE-Musters (PRPD), die von der Schallkamera unter Annahme eines 50-Hz-AC-Zyklus erzeugt wird



(7a)



(7b)



(7c)

Abb. 7 Schallkamera und konventionelle TE-Messung der TE aus einer Offline-TE-Prüfung an einer Phase. TE am Schlitzausgang einer Spule ist in (a) deutlich dargestellt, wohingegen (b) die phasen-aufgelöste TE (PRPD) im vorherrschend positiven Bereich anzeigt. Der tatsächliche Phasenwinkel ist in (b) möglicherweise nicht korrekt. (c) ist die herkömmliche Offline-TE-Prüfung bei phasen-aufgelöster TE (PRPD).

Referenzen

- [1] IEEE 1434:2014, „Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery“ (Leitfaden für die Messung von Teilentladungen in elektrischen Wechselstrommaschinen)
- [2] G.C. Stone und Andere, „Electrical Insulation for Rotating Machines“ (Elektrische Isolierung bei drehenden Maschinen), 2. Auflage, Wiley-IEEE Press, 2014.
- [3] K.W. Forsyth, „Electro-optical, non-contact measurement of electrical discharges“ (Elektro-optische, kontaktfreie Messung elektrischer Entladungen), US-Patent 6476396B1, Nov. 2002.
- [4] R. Van Haeren und Andere, „Preventing failure in outdoor distribution class metalclad switchgear“ (Fehlern in Freiluft-Schaltanlagen im Metallgehäuse der Verteilerklasse vorbeugen), IEEE Trans PAS, Okt. 1985, Seiten 2701-2712.
- [5] C.P. Suurmeijer und Andere, „Handheld Acoustic Imager“ (Handliche Schallkamera), US-Patent D907,097, Jan. 2021.
- [6] IEEE 1799:2012, IEEE Recommended Practice for Quality Control Testing of External Discharges on Stator Coils, Bars, and Windings (IEEE Empfohlene Verfahren für Qualitätskontrollprüfungen von externen Entladungen an Statorspulen, Stäben und Wicklungen).
- [7] <https://irispower.com/learning-centre/acoustic-camera-video-files/>

Abb. 7a zeigt das Schallbild bei 35-45 kHz einer 6-kV-Statorwicklung (T5), wobei eine Phase über 3 kV verfügt. Die Oberflächen-TE ist am Schlitzausgang einer Spule erkennbar. Das wurde durch eine Sichtprüfung des Schlitzes bestätigt.

Fazit

Die Schallkamera zur Erkennung von TE ist offensichtlich ein sehr nützliches Instrument, um aus einer sicheren Entfernung zu stromführenden Prüfobjekten die Lokalisierung von Oberflächen-TE zu verbessern. Die Kamera hat eindeutig eine ausreichende räumliche Auflösung, um tatsächliche TE-Stellen an den meisten Hochspannungsanlagen in der Praxis zu identifizieren. Die Fähigkeit, die TE-Größe (die vermutlich mit dem Schallpegel korreliert) in Abhängigkeit vom AC-Zyklus zu erfassen, gibt die Gewissheit, dass TE und Corona tatsächlich erkannt werden. Die TE-Einsatz- und -Löschspannungen für konventionelle TE-Detektoren, die Schallkamera und die UV-Kamera scheinen für Corona- und Oberflächen-TE etwa gleich zu sein. Ein wesentlicher Vorteil der Schallkamera gegenüber dem älteren Ultraschallmikrofon besteht darin, dass sie tatsächliche TE-Stellen leicht von Reflektionen unterscheiden kann. Bei Oberflächen-TE und Corona scheint der beste Signal-Rausch-Abstand im Bereich 30-50 kHz zu liegen. Anders als bei UV-Kameras gibt es jedoch einige Hinweise darauf, dass eine signifikante interne Hohlraum-TE erkannt werden kann, wenn auch mit einer geringeren Größenordnung.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Fluke Corporation für die Leihgabe der Schallkamera i910. Wir möchten auch Herrn Christoph Herold vom Von Roll Institut in der Schweiz für seine Hilfe danken.

Fluke. Damit Ihre Welt intakt bleibt.

Fluke Deutschland GmbH
In den Engematten 14
79286 Glottertal
Telefon: 0 69 2 2222 0203
E-Mail: CS.Deutschland-ELEK@Fluke.com
E-Mail: CS.Deutschland-INDS@Fluke.com
www.fluke.de

Technischer Beratung:
Beratung zu Produkteigenschaften,
Spezifikationen, Messgeräte und
Anwendungsfragen
Tel.: +49 (0) 7684 8 00 95 45
E-Mail: techsupport.dach@fluke.com

Fluke Austria GmbH
Liebmannstraße F01
2345 Brunn am Gebirge
Telefon: +43 (0) 1 928 9503
E-Mail: roc.austria@fluke.nl
www.fluke.at

Fluke (Switzerland) GmbH
Industrial Division
Hardstrasse 20
CH-8303 Bassersdorf
Telefon: +41 (0) 44 580 7504
E-Mail: info@ch.fluke.nl
www.fluke.ch

©2021 Fluke Corporation.
Alle Rechte vorbehalten.
Änderungen vorbehalten.
04/2021 210349-de

Dieses Dokument darf
nicht ohne die schriftliche
Genehmigung der Fluke
Corporation geändert werden.