

**Dipl.-Ing. Ekard Großmann**

***Akustische Teilentladungsmessung zur Überwachung und Diagnose von  
Öl/Papier-isolierten Hochspannungsgeräten***

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. K. Feser

Mitberichter: Prof. rer. nat. habil. U. Schumacher

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Juni 2002

Überwachungssysteme zur Online-TE-Diagnostik zeigen trotz hochentwickelter Filterverfahren eine begrenzte Empfindlichkeit der elektrischen TE-Messung (Teilentladungsmessung), zum Beispiel aufgrund von Korona.

Bei der akustischen Teilentladungsüberwachung von Hochspannungsgeräten werden wenige Sensoren über den gesamten Kessel verteilt montiert. Diese sollen die Voraussetzung für eine möglichst gleichmäßige Überwachung des gesamten Volumens schaffen. Es wird dabei nur an einem einzigen Sensor ein akustischer TE-Impuls benötigt, da nur eine Aussage über „TE“ oder „keine TE“ getroffen werden soll – unabhängig vom Teilentladungsort. Um die bestmögliche Empfindlichkeit zu erreichen, muß die Erfassung mit den im Betrieb auftretenden Störern und den mechanischen Eigenschaften der Öl/Papier-Isolation und des Kessels abgestimmt werden.

Zunächst sind die Eigenschaften der Teilentladungsquelle näher zu umreißen. Verschiedene Fehlstellen zeigen hinsichtlich ihrer akustischen Emissionen ähnliche Spektren, die einen Frequenzbereich von etwa (10)...50...200...(300) kHz umfassen. Um an genau definierten Punkten Schallsignale abstrahlen zu können, wurde eine künstliche TE-Quelle entwickelt. Sie kann in Geräten eingesetzt werden, ohne deren Isolation zu beschädigen. Über den mit dieser TE-Quelle gegebenen festen Zusammenhang zwischen elektrischer und akustischer Amplitude, der Einflüsse parasitärer Kapazitäten ausschließt, läßt sich die Empfindlichkeit der akustischen und der elektrischen Meßmethode vergleichen.

Isolationsaufbauten zeigen ein von Struktur zu Struktur unterschiedlich dämpfendes Verhalten, das sowohl hinsichtlich der durchlaufenen Materialien als auch in Bezug auf die Ausbreitungsrichtung „radial“ (Kühlkanäle) oder „axial“ (Streuspalte) untersucht wurde. Zur Bestimmung der akustischen Übertragungsfunktion verschiedener Aufbauten wurde eine „akustische TEM-Zelle“ konstruiert. Die mit ihr erhaltenen Ergebnisse zeigen stark variierende Dämpfungswerte (von wenigen dB bis unter -40 dB) in Abhängigkeit

von den Strukturen und den darin verwendeten Materialien. Als gemeinsame Charakteristik läßt sich nur ein mit dem Quadrat der Frequenz zunehmender Dämpfungswert erkennen. Um detailliertere Aussagen machen zu können, ist für jede neue Anordnung eine eigene Untersuchung erforderlich. Der Kessel weist gegenüber dem Isolationsaufbau mit starkem Resonanzverhalten und Dispersionseffekten gänzlich andere Eigenschaften auf. Eine Modalanalyse zeigt charakteristische Übertragungsfunktionen auf, die dem Signal ihren Stempel aufprägen. Darüber hinaus existieren Frequenzbereiche bevorzugter Schallweiterleitung und andere, die eine starke Dämpfung aufweisen. Auch hier divergieren die Ergebnisse stark und machen die Notwendigkeit deutlich, jedes Objekt separat zu charakterisieren. Da eine Simulation der in den Ausbreitungsweg einfließenden Strukturen momentan verfügbare Rechnerleistungen um ein Mehrfaches übersteigt, basieren die Resultate ausschließlich auf Messungen.

Sensorik und Signalerfassung sind für den Einsatz vor Ort robust auszulegen und müssen dennoch eine Erfassung höchster Empfindlichkeit gewährleisten. Praktische Gesichtspunkte und die Eigenschaften der empfangbaren akustischen Impulse führten zur Verwendung von auf dem Kessel befestigten, piezoelektrischen Schallemissionssensoren. Ihre Empfangscharakteristik ist den über die Ausbreitungswege veränderten Schallwelleneigenschaften anzupassen.

In der Signalverarbeitung konnten die Störer klassifiziert werden, und es wurden adäquate Filtermethoden aufgestellt. Insbesondere bei der Visualisierung kann durch einen zweidimensionalen FFT-Algorithmus auch bei hohem Störpegel ein Teilentladungsimpuls noch leicht identifiziert und von einem Störimpuls unterschieden werden. Über einen Vergleich der Energiepegel in verschiedenen Frequenzbereichen (ELC-Algorithmus) kann ferner eine automatisierte Entscheidung „TE“ bzw. „keine TE“ generiert werden, wie sie in autarken Überwachungssystemen gefordert ist. Eine Transformation des Frequenzbereichs macht die Ultraschallimpulse für das menschliche Gehör hörbar und kann bei Diagnosen und Lokalisierungen vor Ort und im Prüffeld verwendet werden. Zusätzlich wird eine neue Methode der Fehlerortung vorgestellt, die sich die Beeinflussung der Schallwellen in der Isolation und im Kessel zunutze macht.

Als hauptsächliches Einsatzgebiet und primäres Ziel der Anpassung sind Großtransformatoren mit einer Isolation aus Öl und Papier und einem Kessel aus Stahl vorgesehen. Jedoch auch andere Geräte wie kombinierte Strom-Spannungs-Wandler, Durchführungen oder sogar mit flüssigem Stickstoff gekühlte, supraleitende Geräte können mit wenig veränderten Einstellungen überwacht werden. Verschiedene Anwendungsfälle werden dazu diskutiert. Die akustische Methode zeigt insbesondere in Bereichen stärker gefährdeter Strukturen mit hoher elektrischer Feldstärke eine sehr

gute Empfindlichkeit. Die ohnehin gute Nachweisgrenze kann darüber hinaus mit steigendem materiellen (Anzahl der Meßkanäle) und finanziellem Aufwand weiter gesenkt werden.