

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Schlemper

„Akustische und elektrische Teilentladungsmessung zur Vor-Ort-Prüfung von SF₆-isolierten Schaltanlagen“

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

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. A. Boehringer

Tag der mündlichen Prüfung: 23. Oktober 1997

Kurzfassung:

Die elektrische und akustische Detektion von Teilentladungen (TE) ist ein Hilfsmittel für die zerstörungsfreie Prüfung von gasisolierten Schaltanlagen. Diese Arbeit untersucht die zur elektrischen Detektion von Fehlern notwendige Messempfindlichkeit und den kombinierten Einsatz von akustischer und elektrischer Detektion für die Abnahmeprüfung vor Ort.

Voraussetzung für den Einsatz der Messverfahren bei Abnahmeprüfungen vor Ort ist eine ausreichende Empfindlichkeit. Die Empfindlichkeit der elektrischen Teilentladungsmessung ist durch das Eigenrauschen des Meßsystems oder durch elektromagnetische Störeinkopplungen begrenzt. Bei vollständig gekapselten Messaufbauten lässt sich die Empfindlichkeit unter Berücksichtigung der Verstärkerparameter berechnen. Der Vergleich verschiedener Ankopplungsschaltungen zeigt, dass Empfindlichkeiten im Bereich von 0,5 pC bis 1 pC in der Praxis sicher erreichbar sind. Bei nicht gekapselten Aufbauten lassen sich durch Störunterdrückungsmaßnahmen in den meisten Fällen Empfindlichkeiten unter 5 pC erreichen. Prinzipielle Überlegungen zeigen, dass die bei dreipolig gekapselten Anlagen angewendete Ankopplung über die nicht an Hochspannungspotential liegenden Pole für die Praxis wenig geeignet ist.

Die Aussagekraft einer elektrischen Teilentladungsprüfung lässt sich durch den Vergleich der Messempfindlichkeit mit den Signalamplituden kritischer Defekte (frei beweglicher Metallpartikel und Spitzen auf den Leiterelektroden) abschätzen. Ein Modell zur Berechnung der Teilentladungspegel von frei beweglichen Metallpartikeln – der häufigsten Defektart – wird entwickelt und experimentell geprüft. Es liefert eine Abschätzung für die im ungünstigsten Fall zur Detektion relevanter Partikel notwendige Empfindlichkeit. Für Spitzen und Grate auf den Leiterelektroden und auf Stützisolatoren haftende Metallpartikel sind die verfügbaren physikalischen Modelle zur Berechnung der Signalamplituden zu ungenau. Deshalb wurden die im ungünstigsten Fall zu erwartenden Teilentladungspegel experimentell ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass die elektrische TE-Messung prinzipiell nicht in der Lage ist, alle relevanten kritischen Defekte zu erkennen. Die Aussagekraft verbessert sich, wenn die heute üblichen Grenzwerte für die Teilentladungsprüfung entsprechend den messtechnischen Möglichkeiten strenger formuliert werden. Die Festlegung einer Prüfvorschrift, die in Verbindung mit der Wechselspannungsprüfung und einer TE-Messung die Festigkeit der Anlage bei der Nenn-Steh-Blitzstoßspannung garantiert, ist nicht möglich.

Neben einer ausreichenden Empfindlichkeit sind bei der Abnahmeprüfung zuverlässige Interpretations- und Entscheidungskriterien notwendig, um betriebsgefährdende von den ungefährlichen Signalquellen zu unterscheiden. Für diese Risikoabschätzung ist die Kombination beider Messverfahren vorteilhaft. Mit einer empfindlichen elektrischen TE-Messung kann ein größerer Prüfabschnitt kontrolliert werden. Falls TE-Signale vorhanden sind, wird die Ursache akustisch geortet. Anschließend stehen zur Risikoabschätzung die

Messdaten beider Verfahren und die Information über die Elektrodengeometrie des betroffenen Gasraums zur Verfügung.

Für frei bewegliche, längliche Metallpartikel lassen sich aus den elektrischen und akustischen Messdaten Masse und Länge der Partikel bestimmen. Die akustischen Impulse werden dazu mit einem Pulshöhenanalysator aufgezeichnet, der die Häufigkeits- und Amplitudenverteilung über der Flugzeit liefert. Aus dem Vergleich der Verteilungen mit Simulationsrechnungen lässt sich ein charakteristischer Wert bestimmen, der die Ladung des Partikels, die anliegende Spannung und die Masse des Partikels enthält. In Verbindung mit einer elektrischen Teilentladungsmessung oder einer kalibrierten akustischen Impulsmessung ergeben sich daraus vier Methoden zur Bestimmung der Masse und Länge des Partikels. Davon benötigen zwei eine Kombination von elektrischer und akustischer Teilentladungsmessung; eine Methode beruht nur auf akustischer und eine weitere nur auf elektrischer TE-Messung. Hinsichtlich Genauigkeit und praktischer Anwendung liefert die Kombination aus elektrischer und akustischer Messung die besten Ergebnisse. Die Genauigkeit der Masse und Länge beträgt $\pm 30\%$ und ist im wesentlichen durch die unbekannte Form des Partikels gegeben.

Praktische Erfahrungen mit der akustischen Detektion von Fehlern und der Interpretation der Messsignale und Überlegungen zu optimierten Prüfabläufen unter Verwendung der TE-Messtechnik schließen die Arbeit.