

Diagnostik an Transformatordurchführungen

Christof Sumereeder, Technische Universität Graz, Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement

Einleitung

Aufgrund der regelmäßigen Inspektionen unterliegen Leistungstransformatoren im Rahmen der Instandhaltung einer intensiven Kontroll- und Prüftätigkeit. Die Entnahme von Ölproben und deren Untersuchung sowie Auswertung der Messresultate ist Stand der Technik und die Ergebnisse liefern aussagekräftige Parameter für die Zustandsbewertung. Die Transformatoren werden über die Durchführungen angespeist, je nach Bauweise wird der Zustand dieser durch die Öldiagnostik nicht abgebildet. Daher ist auch die Diagnostik an den Durchführungen von großer Bedeutung, im speziellen bei betriebsgealterten Modellen.

Arten und Aufbau von Durchführungen

Transformatordurchführungen werden beinahe ebenso lange gebaut wie Transformatoren selbst, es gibt daher eine große Anzahl an unterschiedlichen Ausführungen. Der Aufbau dieser Durchführungen unterscheidet sich in der Verwendung verschiedener Tränkungsmitel für das Isolierpapier, der Feldsteuerung und der äußeren Isolierung (Porzellan oder Silikon).

Die häufigsten Bauarten sind Hartpapier (RBP- Resin Bonded Paper), ölgetränkte (OIP- Oil Impregnated Paper) und gießharzgetränkte (RIP- Resin Impregnated Paper) Durchführungen.

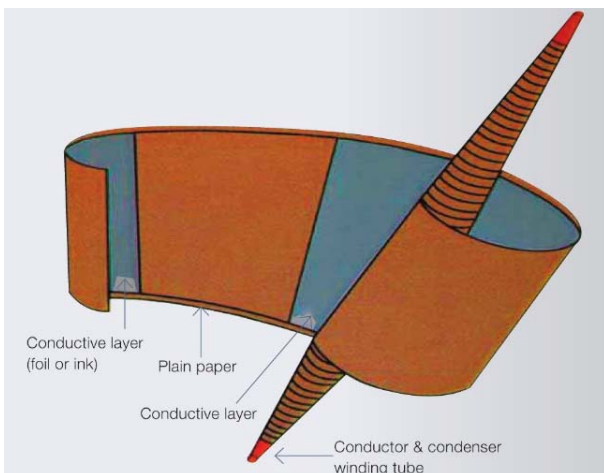


Bild 1: Aufbau einer Kondensatordurchführung [1]

In Bild 1 ist der Aufbau einer Kondensatordurchführung schematisch dargestellt. Am Isolierpapier ist eine leitfähige Folie aufgebracht, die für die gewünschte refraktive Feldsteuerung sorgt. Durch Kontaktierung

des Messbelags mit einer Litze kann die Spannung an der Messanzapfung abgegriffen und für die Diagnose herangezogen werden.

Alterung von Durchführungen

Aufgrund der Betriebsbelastung unterliegen Durchführungen einer ständigen elektrischen, thermischen und mechanischen Belastung, hinzukommt die Alterung aufgrund der Umweltbedingungen (Feuchtigkeit, Korrosion udgl.). Aufgrund dieser Belastung kann es zur Bildung von Fehlstellen, chemischen Veränderung des Isoliersystems (X-Wachsbildung), Austrocknung einzelner Lagen, Belagsdurchschlägen und der damit verbundenen Kapazitätserhöhung sowie Verfeuchtung kommen. Die Folge ist eine verminderte Festigkeit der Durchführung und die damit verbundene Reduktion der Lebensdauer bzw. erhöhte Ausfallwahrscheinlichkeit. Werden diese Schwach- bzw. Fehlstellen nicht rechtzeitig erkannt, kann es zur Fortpflanzung des Fehlers von der Durchführung in den Transformator bis hin zum Totalausfall und Verlust desselben kommen. Ein frühzeitiges Erkennen von Abweichungen zum Normalzustand ist daher von großer Bedeutung, um einen sicheren Betrieb langfristig zu gewährleisten.

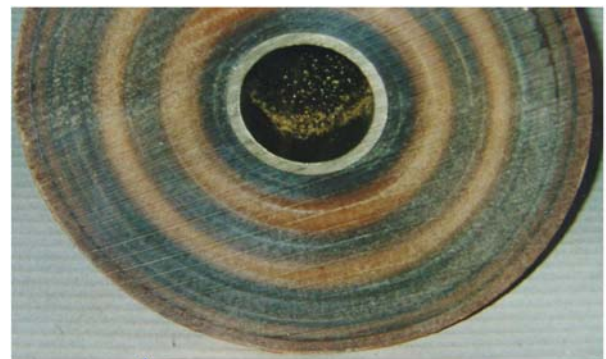


Bild 2: Beispiel einer Hartpapierdurchführung mit ungleichmäßiger Öldurchtränkung [2]

In Bild 2 ist ein typisches Fehlerbild einer RBP Durchführung ersichtlich. Die einzelnen Papierlagen sind ungleichmäßig mit Öl getränkt, wodurch sich eine Änderung in der Feldverteilung aufgrund des unterschiedlichen ϵ_r und damit eine stärkere Feldbelastung der trockenen Lagen einstellen. Die trockenen Lagen sind klar erkennbar.

Zu den wichtigsten Alterungsfaktoren von Durchführungen zählen hohe Betriebstemperaturen, häufige Last- und Temperaturschwankungen, Korrosionsschäden und Leckagen, die ein Eindringen

von Feuchtigkeit ermöglichen, Überspannungen, äußere Überschläge sowie Blitzeinschläge.

Durch Temperaturzyklen oder Nachschwund wird die Rissbildung begünstigt, ein ungleichmäßiger Anstieg der Kapazität durch das Eindringen von Öl und der damit verbundenen lokalen Feldstärkeerhöhung ist die Folge. Das in den entstandenen Rissen eingedrungene Öl wandelt sich unter Teilentladungsbelastung zu X-Wachs um und bedingt damit einen Anstieg des Verlustfaktors.

Problematisch bei RBP- Durchführungen ist auch die Trocknung von Transformatoren, da durch das angelegte Vakuum im Isolierkörper Hohlräume entstehen können. Die so entstandenen Lunker füllen sich nach dem Befüllen des Transformators nicht mehr vollständig mit Öl, was unmittelbar zu höheren Teilentladungen führt und damit Frühausfälle begünstigt. Für die Trocknung sollten daher die Durchführungen demontiert werden. RBP-Durchführungen sollten aus selbigem Grund immer nur unter Ölumgebung gelagert werden.

Bei OIP- Durchführungen stellt der Ölverlust infolge von Haarrissen am Porzellanunterteil eine häufige Fehlerursache dar. Durch hohe mechanische Belastungen (Kurzschlüsse) auf die Durchführung können Undichtigkeiten entstehen. Ebenso können Dichtungen verschleifen oder im Extremfall sogar versagen und Öl kann ungehindert austreten. Die Überwachung des Ölstands ist daher von großer Bedeutung. Teilentladungen infolge von Lufteinschlüssen können aufgrund falscher Lagerung bzw. Transport entstehen. Kommt es zu einem inneren Überschlag, so besteht die Gefahr der Explosion durch die Ölverdampfung in der Durchführung. Wird der Transformator mit Überlast betrieben, so unterliegt der Wickel der Durchführung aufgrund der hohen thermischen Auslastung einer beschleunigten Alterung. Der Vorteil von OIP liegt in der Möglichkeit der Ölprobenentnahme und der damit anwendbaren Gas-In-Öl Analyse (DGA). Die Auswertung der DGA ermöglicht das Erkennen charakteristischer Fehler (thermische, elektrische, Teilentladungen) in der Durchführung.

Alterungsmodelle

Aufgrund der bereits beschriebenen Alterungsfaktoren kann es zum Abbau des Harzes oder zur Erosion des Papiers aufgrund von Teilentladungen kommen. In weiterer Folge kann Öl in die Hohlräume eindringen, womit eine Schwächung der Klebefestigkeit der einzelnen Lagen oder Potenzialverbindungen untereinander verbunden sind, ein Anstieg des Verlustfaktors ist die Folge. Der temperaturabhängige

Verlustfaktor ist daher ein wichtiger Indikator für den Alterungszustand.

Dringt Feuchtigkeit in die Durchführung ein, so ist auch damit ein Anstieg des Verlustfaktors verbunden. Feuchtigkeit kann jedoch nur bei sehr kleinen Frequenzen gut detektiert werden, beziehungsweise mittels der dielektrischen Antwortfunktion im Zeit- oder Frequenzbereich.

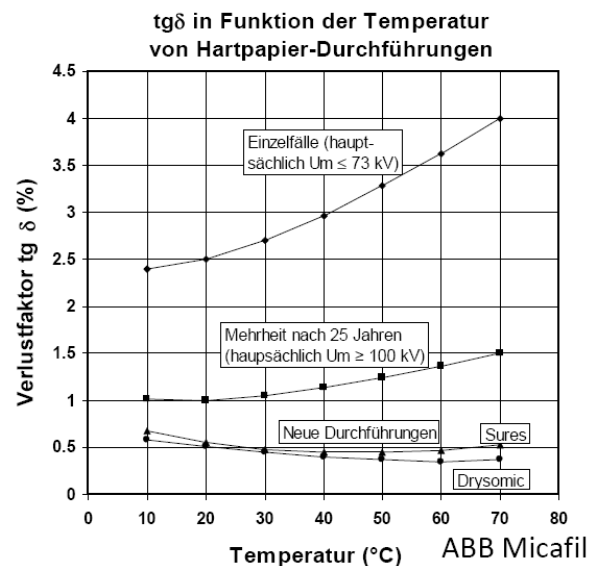


Bild 3: Temperaturabhängiger Verlustfaktorverlauf von RBP- Durchführungen in Abhängigkeit des Betriebsalters [2]

Diagnostik an Durchführungen

Zur Detektion von Fehlern empfiehlt es sich im Rahmen der Transformatorinstandhaltung auch die Durchführungen zu überprüfen. Ziel ist die Beurteilung hinsichtlich Verlustfaktor, Feuchtegehalt und Teildurchschlägen von Belägen sowie die Detektion von Heißstellen. Hiefür werden unterschiedliche Messmethoden angewendet.

Für die Messung des Verlustfaktors werden Scheringbrücken oder automatisch abgleichende Messverfahren eingesetzt. Die Messung erfolgt bei Netzfrequenz unter Anlegen einer externen regelbaren Hochspannungsquelle oder durch Anlegen der Netzspannung auf der Unterspannungsseite (bedingte Regelbarkeit durch Stufenschalter). Die gemessene Kapazität ist einer Temperaturkorrektur zu unterziehen, wobei für RBP ein Faktor von 0,06 bis 0,08% je °C und für OIP und RIP 0,03% je °C gemäß Herstellerangaben zu verwenden ist. Liegt das Prüfprotokoll einer ausgebauten Durchführung vor, so ist die geänderte Kapazität wegen des Einbaus in den Transformator (ΔC ca. 4pF für 123kV-Typ) zu berücksichtigen.

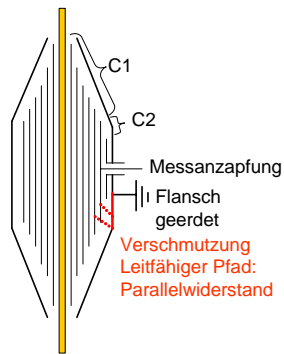


Bild 4: Schematischer Aufbau einer Durchführung und Einfluss der Feuchtigkeit

Aufgrund der Änderung der Kapazität zu früheren Messungen können Belagsschlüsse detektiert werden. Der Sprung der Kapazität kann einfach abgeschätzt werden, indem man die Ausgangskapazität durch die Anzahl der Isolierlagen dividiert. Beispielsweise tritt bei einem Belagsschluss einer 123-kV Durchführung mit 28 Lagen eine Kapazitätserhöhung um 3,6% auf.

Kommt es aufgrund von leitfähigen Schichten an den äußeren Lagen der Durchführung (Feuchtigkeit) zur Ausbildung eines parallelen resistiven Zweigs zum Messbelag (C2 in Bild 4), so kann auch das Phänomen des negativen Verlustfaktors auftreten. Dieser scheinbar negative Verlustfaktor ist auf die Winkeldrehung des Messstroms am C2 durch den leitfähigen Pfad zurückzuführen. In diesem Fall empfiehlt sich eine Reinigung, bzw. die Messung mittels Guardringanordnung durchzuführen (Anbringung von Cu-Bändern).

Für die Bewertung des Feuchtegehalts ist der frequenzabhängige Verlustfaktor am aussagekräftigsten. Hiefür ist eine externe Spannungsquelle erforderlich, die zumindest in einem Frequenzspektrum zwischen 15 und 400Hz arbeitet. In Bild 5 sind Beispiele neuer Durchführungen dargestellt.

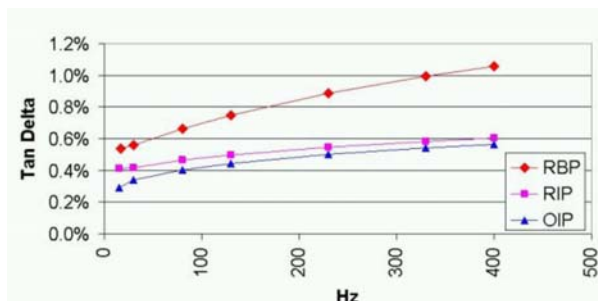


Bild 5: Frequenzabhängiger Verlustfaktor zwischen 15 und 400Hz an neuen Durchführungen [3]

Besser geeignet sind Geräte, die ein noch weiteres Spektrum erfassen (Messprinzip der dielektrischen Antwortfunktion mittels FDS oder PDC). Bei RBP und RIP können zwar keine absoluten Aussagen über den

Feuchtigkeitsgehalt oder das innere Feuchteprofil erstellt werden, eingedrungene Feuchtigkeit kann jedoch sehr wohl detektiert werden [4]. In Bild 6 ist ein Beispiel für eine feuchte (blau) und getrocknete (grün) RBP sowie eine trockene RIP (rot) Durchführung dargestellt.

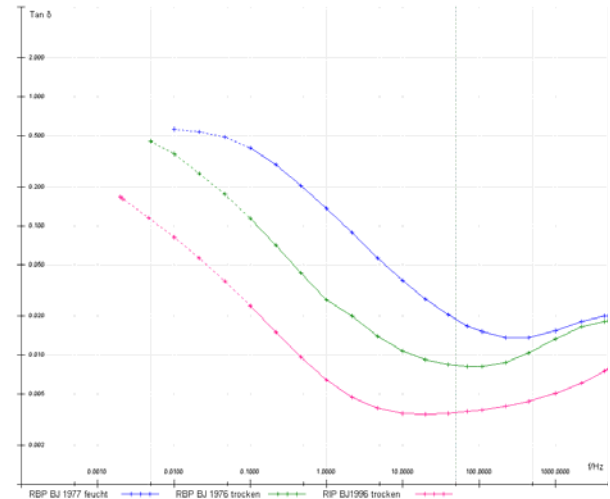


Bild 6: Dielektrische Antwortfunktion an getrockneten und feuchten RBP und RIP Durchführungen

Für die Detektion von Heißstellen hat sich die Anwendung von Infrarotkameras bewährt. Durch schlechte Verbindungen (z.B. gelockerte Verschraubung, Korrosion) kann es zu einer Widerstandserhöhung an den Kontakten kommen, die unmittelbar zu einer Temperaturerhöhung am Leiter führt. Die Wärmeentwicklung kann zu einer unzulässig hohen thermischen Belastung führen, oder sich bis in den Transformatorkessel fortsetzen. Thermische Alterung bis hin zum Abbrand der Durchführung sind die möglichen Folgen. Die Thermovision hat den Vorteil, dass sie während des Betriebs berührungslos durchgeführt werden kann, jedoch sollte auf die richtigen Reflexionsfaktoren der Oberfläche sowie Umgebungsstrahlung (Sonne, Wärmeabstrahlung benachbarter Objekte) geachtet werden. In Bild 7 ist ein Beispiel einer Heistelle am Anschluss der Durchführung an das Leiterseil ersichtlich.

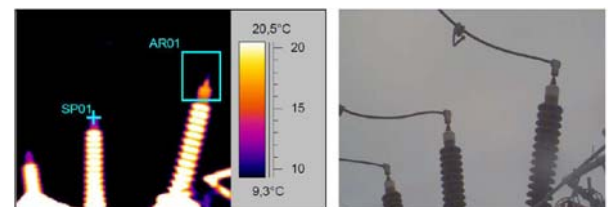


Bild 7: Thermovisionsmessung an Durchführungen [2]

Lagerung von Durchführungen

Ein weiteres Problem stellt die oftmals unsachgemäße Lagerung von Durchführungen dar. Im Regelfall werden Reservedurchführungen am Lager gehalten. Die Durchführungen werden seitens des Lieferanten in Kisten angeliefert und in Folien verpackt. Diese Kunststofffolien stellen einen unzureichenden Schutz gegen die Feuchtigkeitsaufnahme während der Lagerung dar. Die besten Bedingungen für Langzeitlagerung erzielt man in einem Sack aus Aluverbundfolie, der zur Gewährung der geforderten Luftfeuchte Silikageleinslagen hat, optimaler Weise ausgestattet mit einem Hygrometer. Alle anderen „losen“ Lagerungsarten müssen permanent auf Feuchtigkeitseintritt inspiziert werden.

Den Anweisungen des Lieferanten betreffend Position (schräg, liegend, stehend) während der Lagerung ist unbedingt Folge zu leisten, denn ansonsten kann es zur Austrocknung einzelner ölgetränkter Isolierpapierlagen in der Durchführung kommen.

Zusammenfassung

Einleitend wurden die unterschiedlichen Transformatordurchführungen sowie deren Aufbau und mögliche Alterungsmechanismen sowie klassische Fehler dargestellt.

Durch ausgewählte diagnostische Messungen können Belagsschlüsse und Feuchtigkeit detektiert werden. Hiefür ist der Verlustfaktor unter Berücksichtigung seiner Frequenz- und Temperaturabhängigkeit ein aussagekräftiger Parameter. Fehler können frühzeitig erkannt und gegebenenfalls entsprechende Maßnahmen eingeleitet bzw. der Austausch durchgeführt werden.

Bei der Lagerung von Reservedurchführungen ist auf die richtige Aufbewahrung in trockener Atmosphäre zu achten, um einen langfristigen Einsatz zu gewährleisten.

Literatur

- [1] Rätzke S.: Kapazitäts- und Verlustfaktormessung an Durchführungen, Vortrag TU Graz, 28. April 2010
- [2] Koch N.: Aufbau und Fehlerdetektion an Durchführungen, Vortrag TU Graz, 28. April 2010
- [3] Krüger M., Koch M., Kraetge A., Pütter M., Hulka L., Muhr H. M., Sumereder C.: Diagnose an Hochspannungsdurchführungen - Unkonventionelles Messverfahren. - in: EW 109 (2010) 4, S. 43 – 49
- [4] Sumereder C., Muhr H. M., Weingärtner M.: Diagnose von Durchführungen mit Hilfe von frequenzabhängigen Verlustfaktormessungen. - in:OMICRON-Workshop Diagnose von Leistungstransformatoren ; 2007, S. 4.1 - 4.4