

Prüfung von Leistungstransformatoren

Mobiles Prüfsystem für die Vor-Ort-Prüfung

Prüfberichte aus dem Herstellerwerk liefern keine verlässlichen Informationen über den Zustand eines Leistungstransformators nach dessen Transport und Installation beziehungsweise nach Service oder Reparatur. Um Informationen über den aktuellen Zustand des Transformators zu erhalten, kann auf mobile Systeme für die Vor-Ort-Prüfung zurückgegriffen werden.

Mit der mobilen Prüftechnik kann der Erfolg vor Ort durchgeführter Reparaturarbeiten bewertet werden, ohne dass hierfür der Rücktransport des Transformators zum Werk erforderlich ist. Unter Betrachtung der Kosten für den Transport, die einen erheblichen Anteil an den Investitions- oder Reparaturkosten verursachen, sowie die Verkürzung der Ausfallzeiten durch schnelle Fehlerdiagnose und -behebung, gewinnt die Vor-Ort-Prüfung an Attraktivität. Zur Bewertung des Leistungstransformators werden unterschiedliche Prüfungen durchgeführt. Dazu zählen unter anderem die induzierte Spannungsprüfung zur Bewertung der dielektrischen Festigkeit und die Leerlauf- und Kurzschlussprüfung zur Bestimmung der Eigenverluste eines Transformators.

Im Folgenden wird auf die praktische Anwendung mobiler Prüfsysteme näher eingegangen. In *Bild 1* und *2* ist ein solches System im praktischen Einsatz in

Deutschland und in *Bild 3* im prinzipiellen Aufbau zu sehen.

Induzierte Spannungsprüfung

Mit der induzierten Spannungsprüfung können vor allem die Hauptisolation der Ober- und Unterspannungsseite sowie die Spannung zwischen den einzelnen Phasen bewertet werden. Die verwendete Prüfspannung von $1,8 \cdot U_N$ ist viel höher als die Nennspannung des Transformators. Um die daraus resultierende Übererregung und die einhergehenden Sättigungseffekte des Eisenkerns zu vermeiden, wird die Prüffrequenz angehoben. Die verwendeten Prüffrequenzen liegen üblicherweise im Bereich von 120 bis 150 Hz. Dabei ist zu beachten, dass die benötigte Prüfleistung stark von der Prüffrequenz abhängt. Besonders Leistungstransformatoren verhalten sich in diesen Frequenzbereichen typischerweise wie eine Kapazität. Neben der reinen Spannungsprüfung ist die empfindliche

Messung der Teilentladungen (TE) von besonderer Bedeutung, da die daraus resultierenden Erkenntnisse mit keinem anderen Messverfahren gewonnen werden können. Diese Messung kann durch das verwendete Prüfsystem gestört werden, so dass zusätzliche Maßnahmen zur Störunterdrückung ergriffen werden.

Der typische Grundstörpegel eines umrichterbasierten Systems ist $< 20 \text{ pC}$, wodurch empfindliche und aussagekräftige TE-Messungen gut möglich sind. Dennoch kann bei der Vor-Ort-Prüfung in Kraft- oder Umspannwerken die Teilentladungsmessung durch benachbarte Störquellen negativ beeinflusst werden, da die Störsignale in aller Regel viel größer als die zu messenden Signale sind. Unter diesen Umständen sind weitere Filter- und Entstörmaßnahmen anzuwenden, wobei die moderne Messtechnik vielfältige Möglichkeiten bietet [1]. So kann es zum Beispiel sinnvoll sein, von den in der IEC 60270 vorgeschriebenen Messfrequenzen abzuweichen. Die Aussagekraft des Werts der scheinbaren Ladung in Picocoulomb ist eingeschränkt, was kein nennenswerter Nachteil ist, da bei einer Messung vor Ort der generelle Nachweis von TE, die Bestimmung des Teilentladungstyps und -orts diagnostisch im Vordergrund stehen. Die Aufgabe des Prüffingenieurs besteht darin, eine optimale Messfrequenz zu finden. Im Hinblick auf die Änderungen der IEC 60076-3 (2013) wird bei induzierten Spannungsprüfungen mit gleichzeitiger Teilentladungsmessung ein Pegel von 100 % der Prüfspannung nach dem Werksabnahmeprotokoll empfohlen. Eine Reduzierung der Prüfpegel – zum Beispiel auf 80 % – bei Wiederholungsprüfungen ist nur noch in seltenen Fällen möglich. Die Anhebung der Prüfspannung hat einen erhöhten Bedarf an Prüfleistung zur Folge. In diesen Fällen ist es möglich, das Prüfsystem durch die Verwendung



Bild 1. Seit Jahren im Einsatz – Vor-Ort-Prüfsysteme der Highvolt Prüftechnik Dresden



Bild 2. Teilentladungsmessung an einem 800-MVA-Transformator mit $1,7 \cdot U_n$ (714 kV); links: der geöffnete Trailer des Prüfsystems; rechts: der Kompensationsreaktor

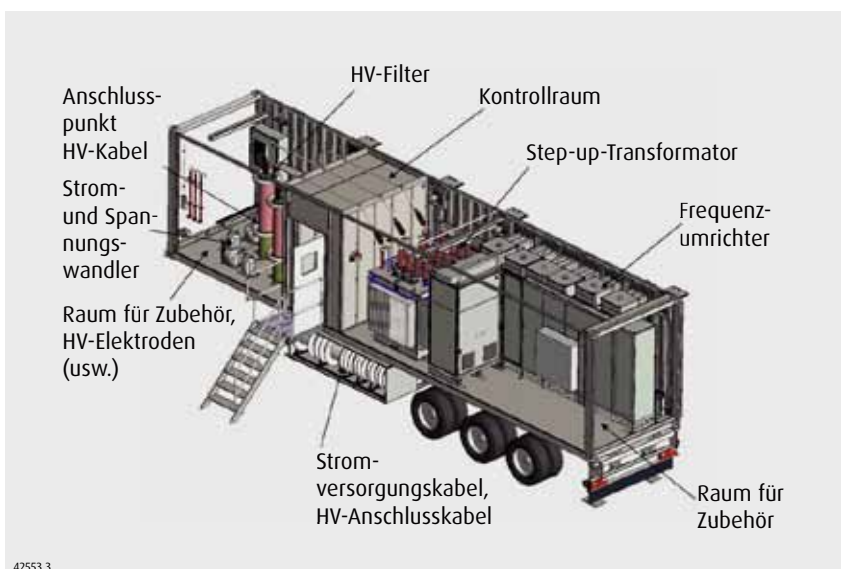


Bild 3. Aufbau eines umrichterbasierten, mobilen Prüfsystems zur Prüfung von Leistungstransformatoren

einer induktiven Kompensation zu ergänzen.

Leerlaufprüfung nach Reparatur oder Wartung

Mit der Leerlaufprüfung können die Verluste besonders nach einer Reparatur oder Instandhaltung verifiziert werden. Gerade die Eisenverluste können sich durch das zeitweise Entfernen des Jochs am Eisenkern – zum Beispiel beim Austausch ganzer Wicklungen – ändern. Bei der Leerlaufprüfung steht besonders die Qualität der Spannungsform im Vordergrund. Entsprechend der IEC 60076-1 darf der Klirrfaktor (THD) der Prüfspannung

nicht > 5 % sein (Bild 4). Besonders bei der Leerlaufprüfung mit den auftretenden nichtlinearen Prüfströmen ist dies eine besondere Herausforderung für die Prüfquelle. Grund hierfür sind die Impedanzen der verwendeten Anpasstransformatoren und des Prüfobjekts, die zu nicht sinusförmigen Spannungsabfällen und damit zu Verzerrungen der Prüfspannung führen. Umrichterbasierte Prüfsysteme bieten – im Vergleich zum Motor-Generator-Satz – den Vorteil einer deutlich geringeren Innenimpedanz, um diese Verzerrungen zu minimieren.

Darüber hinaus bietet die Ausnutzung des dynamischen Regelverhaltens der

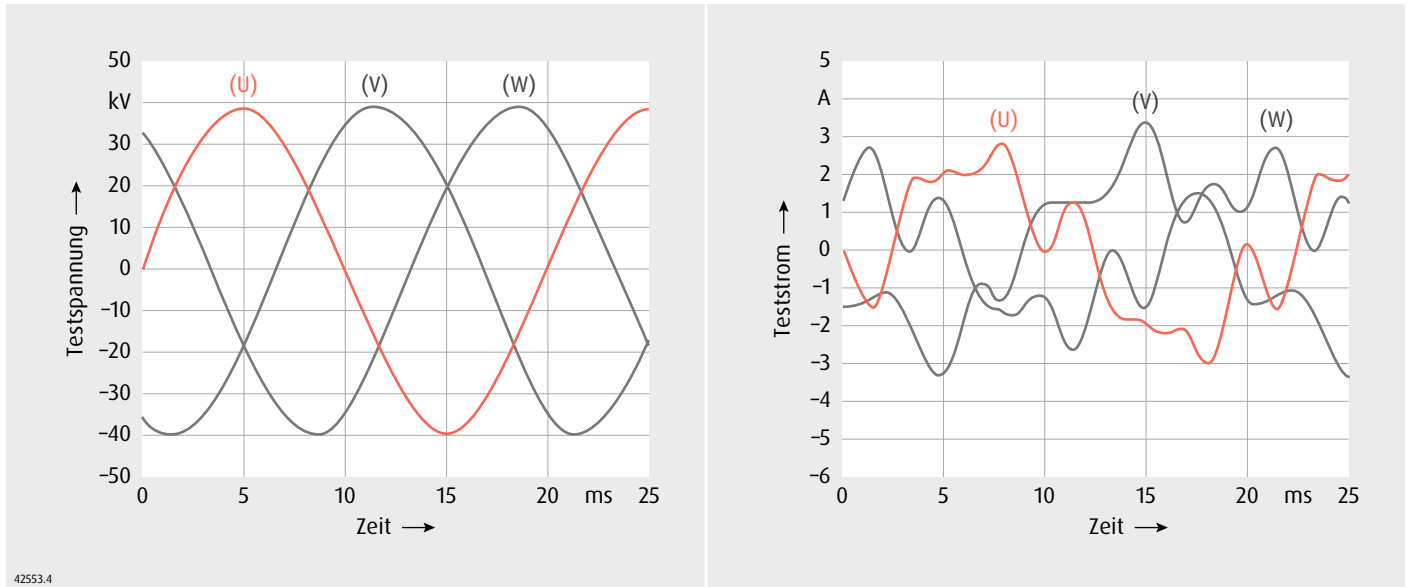


Bild 4. Stark nichtlinearer Prüfstrom und dennoch normkonforme sinusförmige Prüfspannung mit einem Klirrfaktor < 5 % beim Leerlauf-test an einem 120-MVA-Leistungstransformator: Durch die schnelle Reaktionszeit des Frequenzumrichters können auch stark nichtlineare Ströme kompensiert werden, so dass stets eine normkonforme Wellenform für die Spannung erreicht wird.

Wechselrichtertechnik weitere Möglichkeiten zur systematischen Unterdrückung entstehender Oberwellen in der Prüfspannung. Damit sind – bei vergleichbarer Nennleistung der Prüfspannungsquelle – bei der Verwendung von Quellen, die auf Frequenzumrichter basieren, viel größere Leistungstransformatoren

normkonform prüfbar als mit einem Motor-Generator-Satz. Ein weiterer Vorteil besteht in der Möglichkeit der Parallelschaltung von bis zu drei Umrichtersystemen. Durch diese Skalierbarkeit können auch größte Leistungstransformatoren mit > 1500 MVA normkonform geprüft werden.

Kurzschlussprüfung/Wärmefahrt

Die Kurzschlussprüfung wird zum Nachweis der Wicklungsverluste eines Leistungstransformators unter Nennbetriebsbedingungen durchgeführt. Zusammen mit den Leerlaufverlusten ist diese Kennzahl besonders bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung und bei der effizienten Gestaltung der Transport- und Verteilungsnetze von Interesse. Darüber hinaus liefert die ermittelte Kurzschlussimpedanz eine wichtige Kenngröße für die Netzberechnung.

Bei der Durchführung der Kurzschlussprüfung ist von der Prüfquelle der Nennstrom in den Leistungstransformator einzuspeisen. Die Norm ermöglicht zwar die Prüfung bei 50 % des Nennstroms und anschließender Hochrechnung, dennoch müssen rund 3 bis 5 % der Nennleistung eines Leistungstransformators bereitgestellt werden.

Für diese Prüfung wird neben der Wirkleistung auch ein nicht unerheblicher Teil an Blindleistung benötigt. Hierfür wurden mobile Kondensatorbänke entwickelt und für den Straßentransport optimiert (Bild 5 und 6). Aufgrund der in einer Kondensatorbank gespeicherten Energie birgt deren Einsatz ein Gefährdungspotenzial. Zum Schutz gegen unkontrollierte Entladungen, Ausfälle von Kondensatoren und deren Auswirkungen auf die Umgebung wurde die gesamte Kompensationseinheit in einem 12 m langen Container installiert. Ausgestattet mit der entsprechenden Überwachungs- und Sicherheitstechnik



Bild 5. Mobile Kondensatorbank einschließlich Präzisionsstromwandlermesssystem



Bild 6. Innenraum einer mobilen Kondensatorbank, ausgestattet mit Schutz- und Sicherheitstechnik

ermöglicht die Kompensationseinheit Kurzschlussprüfungen an Transformatoren mit einer Nennleistung bis 150 MVA. Für die Durchführung von Erwärmungsprüfungen ist eine Reduzierung des Nennstroms auf 50 %

nicht sinnvoll. Die Erwärmungsprüfung liefert nur bei vollem Nennstrom belastbare Ergebnisse. Diese Prüfungen dienen zur Feststellung der Öl- und Wicklungstemperaturen unter Nennbetriebsbedingungen.

Fazit

Durch die Entwicklung mobiler, leistungsstarker Prüffelder haben sich die Möglichkeiten zur Zustandsdiagnose an Leistungstransformatoren in den vergangenen Jahren verbessert. Besonders bei immer häufiger bevorzugten Vor-Ort-Reparaturen besteht die Möglichkeit, eine aussagekräftige Zustandsbewertung eines Leistungstransformators vornehmen zu können.

Literatur

- [1] Kraetge, A.; Hoek, St.: Akustische Ortung von Teilentladungen in Transformatoren. ew Jg. 112 (2013), H. 11, S. 39 – 44.

- >> **Mathias Schmidt** M. Sc.,
Power Electronics Design Engineer,
Highvolt Prüftechnik Dresden GmbH,
Dresden
- Dr. Alexander Kraetge**,
Sales Direktor,
Highvolt Prüftechnik Dresden GmbH,
Dresden
- Dipl.-Ing. (FH) **Thomas Steiner**,
Technischer Direktor,
Highvolt Prüftechnik Dresden GmbH,
Dresden
- Dipl.-Ing. **Andreas Pollack**,
Area Sales Manager,
Highvolt Prüftechnik Dresden GmbH,
Dresden

>> sales@highvolt.de

>> www.highvolt.de

42553