

Dipl.-Ing. Michael Schäfer

„Thermische Überwachung von Transformatoren“

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

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. H. J. Gutt

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Oktober 2000

Kurzfassung:

Die thermische Belastung der Isolationsmaterialien in den Wicklungen von Transformatoren stellt schon seit den Anfängen des Transformatorenbaus ein wichtiges Auslegungskriterium dar. Die Lebensdauer und damit die Wirtschaftlichkeit eines Transformators hängt stark von einer günstigen Temperaturverteilung in den Wicklungen ab. Bei Transformatoren großer Leistung ist man durch äußere Vorgaben zu einer kompakten Bauweise gezwungen. Die Wicklungstemperatur muß dann durch eine erzwungene Ölströmung auf ein vertretbares Maß begrenzt werden. Auf definierten Fließwegen wird Öl durch Kühlkanäle in den Wicklungen gepumpt. Die gängigen Berechnungsverfahren gelten nur für die mittlere Übertemperatur der Wicklung.

Das in dieser Arbeit beschriebene thermische Berechnungsmodell basiert auf einer Betrachtung der Größen, die für die Erwärmung und Kühlung von Transformatorwicklungen maßgebend sind. Wirbelstromverluste im Leitermaterial führen zu lokal unterschiedlicher Erwärmung. Zur Berechnung dieser Zusatzverluste wird der Verlauf des magnetischen Streufeldes ermittelt. Zusammen mit dem örtlich unterschiedlichen Kühlverhalten ergibt sich eine für den jeweiligen Wicklungsaufbau charakteristische Temperaturverteilung. Der Wärmeübergang an der Oberfläche der Kühlkanäle hängt von der Fließgeschwindigkeit des Kühllöls ab. Die Berechnung des Wärmeüberganges in jedem Kühlkanal geht deshalb auf eine Modellierung der Strömungsverteilung in Kühlkanalnetzen zurück. Die einzelnen Scheiben einer Wicklung, welche aus Lackisolation, Zwischenlagen und Papierumspinnung aufgebaut sind, werden mit Hilfe eines Wärmequellennetzwerkes beschrieben. Dieses Wärmequellennetz wird aus den Konstruktionsdaten einer Wicklungsscheibe und der verwendeten Leiter gebildet. Dessen Analyse liefert die Temperatur eines jeden Teilleiters in der betrachteten Wicklungsscheibe. Als Randbedingungen werden die Wärmeübergangszahl an der Oberfläche und die Umgebungstemperatur verwendet.

Die Gültigkeit des thermischen Berechnungsmodells wurde mit Messungen an Modellanordnungen überprüft. Dabei konnte festgestellt werden, daß Fertigungstoleranzen

und ungenaue Angaben zur Wicklungsgeometrie zu Abweichungen in der Temperaturverteilung führen.

Zur thermischen Überwachung von Transformatoren wurde ein modulares Monitoring-system für Leistungstransformatoren entwickelt. Die Überwachung findet in drei Stufen mit steigendem Aufwand statt. Die erste Stufe bildet eine Überwachung von Grenzwerten und Temperaturdifferenzen der gemessenen Öl- und Lufttemperaturen. Dieses Verfahren eignet sich besonders zur Diagnose des Betriebszustandes der Kühlanlage. In einem weiteren Schritt werden die über einen längeren Zeitraum aufgezeichneten Betriebsdaten ausgewertet. Durch Verknüpfung der Daten können scheinend auftretende Fehler erkannt werden. Betriebswirtschaftliche Auswertungen zur Betriebsweise des Transformators sind ebenfalls möglich. Die letzte Stufe beinhaltet den Einsatz eines thermischen Modells für die Transformatorwicklungen. Die Temperaturverteilung in den Wicklungen kann damit, ausgehend von aktuellen oder frei wählbaren Betriebsbedingungen, berechnet werden.

Es ergeben sich verschiedene Einsatzgebiete für das beschriebene thermische Berechnungsmodell. Beim Entwurf von Wicklungen kann die Temperaturverteilung durch Variationen an der Wicklungsgeometrie optimiert werden. Die äußeren Betriebsbedingungen bleiben dabei konstant und entsprechen den Bemessungsbedingungen. Bei einer Verwendung in einem Monitoringsystem kann die Heißpunkttemperatur und damit die Alterung der Isolation bestimmt werden. In diesem Fall bleibt die Wicklungsgeometrie konstant. Mit frei gewählten Betriebsparametern lassen sich Prognosen für das thermische Verhalten eines Transformators im Überlastbetrieb ermitteln.