



# Dem Wasser auf der Spur



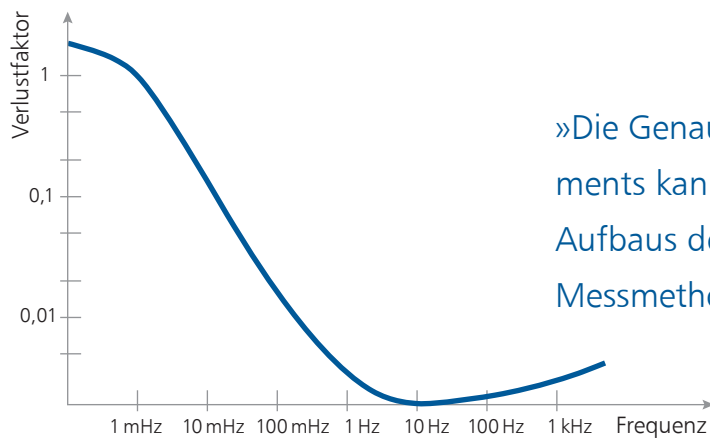
## Effektives Management des Feuchtigkeitsgehaltes in Leistungstransformatoren – Teil 1

Die Wilson Transformer Company ist ein führender Hersteller von Leistungs- und Verteiltransformatoren in Australien. Wasser in der Isolation von Transformatoren ist ein entscheidender Faktor für deren Alterung. Daher ist ein effektives Management des Feuchtigkeitsgehaltes im Transformatoröl und im Isolationssystem von großer Bedeutung. Der Dielectric Response Analyzer DIRANA von OMICRON ermöglicht eine exakte Messung des Feuchtigkeitsgehaltes.

*Autoren: Kenneth Budin und Meng Lee,  
Wilson Transformer Company, Australien*

Es gibt mehrere mögliche Gründe für das Vorhandensein von Wasser in Transformatoren. Ein geringer Wassergehalt, typischerweise zwischen 0,5% und 1,0%, bleibt bereits bei der Herstellung in der Isolation des Transformators zurück. Auch durch eine schlechte Abdichtung kann Wasser in den Transformator eindringen, beispielsweise durch defekte Dichtungen oder mangelhafte

Stellen bei Schweißnähten. Außerdem ist Wasser ein natürliches Nebenprodukt bei der Alterung von Zellulose-Isolationen. Beim Abbau von Papier entsteht  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ , sodass selbst bei einer vollständigen Kontrolle aller anderweitigen Feuchtigkeitsquellen alleine bei der Alterung der Isolation schon Wasser entsteht. Bei frei atmenden Transformatoren dringt auch bereits durch die



Messkurve einer Verlustfaktormessung

»Die Genauigkeit des Feuchtigkeitsmanagements kann durch Kenntnis des internen Aufbaus des Transformators und moderne Messmethoden erheblich verbessert werden.«

durchströmende Luft Wasser ein, selbst wenn am Einlass ein Silica Gel-Filter angebracht ist. Nicht zuletzt können auch unzureichende Schutzmaßnahmen gegen Umwelteinflüsse beim Zusammenbau oder bei Wartungsarbeiten zu einer erheblichen Kontamination mit Feuchtigkeit führen.

Wasser kann entweder in der Isolation gespeichert oder im Öl gelöst sein, oder sich als freies Wasser auf waagerechten Oberflächen innerhalb des Transformators niederschlagen. Wasser migriert aufgrund der Temperaturschwankungen innerhalb des Transformators ständig zwischen dem Öl- und dem Papierisolationssystem. Da die Temperatur von der Belastung und den Umgebungsbedingungen des Transformators abhängt, gestaltet sich die Erkennung und exakte Messung des Feuchtigkeitsgehaltes als sehr komplex.

#### Starke Beschädigung möglich

Wasser ist der wichtigste Faktor bei alternder Isolation. Ein zu hoher Feuchtigkeitsgehalt (oft in Form von freiem Wasser) kann auch zu einem katastrophalen Ausfall durch Teilentladungen, leitfähige Kriechstrecken oder Überschlüge zwischen Leitern beziehungsweise zwischen einem Leiter und Erde führen. Daher ist für eine Maximierung der Lebensdauer von Transformatorbetriebsmitteln ein effizientes Management des Feuchtigkeitsgehaltes im Transformatoröl und im Isolationssystem von entscheidender Bedeutung.

#### Effektives Management des Feuchtigkeitsgehaltes

Die beste Strategie für ein erfolgreiches Management des Feuchtigkeitsgehaltes ist Vorbeugung. Neben der Verwendung von Schutzmaßnahmen gegen Umwelteinflüsse kann während der Herstellung der in der Isolation zurückbleibende Feuchtigkeitsgehalt

durch effektive Trocknungsprozesse wie beispielsweise dem Vapor-Phase-Prozess auf unter 0,5% reduziert werden. Bei der Installation oder Wartung kann durch bewährte Praktiken eine Kontamination mit Feuchtigkeit minimiert oder ganz verhindert werden.

Bestehende Ausdehnungsgefäße von Transformatoren können jederzeit so modifiziert werden, dass ein Luftkontakt vermieden wird, beispielsweise durch eine Nachrüstung von neuen Ausdehnungsgefäßen mit sogenannten COPS-Systemen (Conservator Oil Preservation System) oder den Anbau eines am Boden montierten Stickstoffpolsters am bestehenden Entlüftungsrohr.

#### Verfahren zur Erkennung von Feuchtigkeit

Für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit und des Alterungszustands eines Betriebsmittels ist das Verhalten der Isolation einer der wichtigsten Indikatoren. Bei der Wilson Transformer Company werden unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes verwendet. Bei Öl-Isolationen wird mit einer Glaspritze eine Ölprobe gezogen. Durch chemische Reaktion kann die Anzahl der Wassermoleküle gemessen und auf dieser Basis anhand eines Gleichgewichtsdigrammes der Wassergehalt der festen Isolation abgeschätzt werden. Dieses Verfahren ist allerdings nicht für ältere Geräte geeignet, da sich die Gleichgewichtsbedin-



Kenneth Budin

Kenneth Budin ist Services Manager bei der Wilson Transformer Company und Direktor der TJ | H2b Analytical Services Pty Ltd., beide in Melbourne/Australien. Außerdem ist er Mitglied des CIGRÉ Australian Panel A2.

## 14 Anwendung

ungen im Verlauf der Alterung verändern. Andere Ansätze sind die Messung des Polarisations-/Depolarisationsstromes über die Zeit, auch PDC-Methode genannt (Polarization and Depolarization Current), und die Frequenzbereichsspektroskopie FDS (Frequency Domain Spectroscopy). Beide Messungen zeigen Mängel in der Isolation auf und ermöglichen eine Analyse des Wassergehaltes. Die Messergebnisse können dann anhand einer Datenbank interpretiert werden. Das FDS-Verfahren liefert den Verlustfaktor über einen breiten Frequenzbereich von 100  $\mu$ Hz bis 1 kHz hinweg und ermöglicht aus diesen Ergebnissen die Ableitung des Wassergehaltes. Allerdings dauert eine solche Messung sehr lange, da die Periodendauer mit fallender Frequenz ansteigt.

### DIRANA mit besten Ergebnissen in Fallstudien

Durch eine Kombination der beiden Messverfahren FDS und PDC kann OMICRON´s DIRANA die dielektrischen Eigenschaften in der Hälfte der üblicherweise benötigten Zeit ermitteln. Die Wilson Transformer Company hat die Ergebnisse konventioneller Messverfahren mit denen von DIRANA verglichen. Dabei wurden verschiedene Transformatoren betrachtet: Ein Transformator direkt nach der Herstellung, einer, der während des Transports beschädigt wurde, einer, aus dem Öl gestohlen wurde, und ein bereits gealterter Transformator.

Der direkt nach der Herstellung gemessene Transformator wurde als trocken eingestuft, da die üblichen Messungen einen Feuchtigkeitsgehalt in der Isolation von weniger als 0,5% ergaben. Die Messung mit DIRANA bestätigte diese Ergebnisse.

Bei dem während des Transports beschädigten Transformator waren die Ergebnisse vollkommen verschieden. Die konventionelle Ermittlung der Ölfeuchtigkeit ergab einen Wassergehalt von 5% in der Papierisolation, während die Messung mit DIRANA einen für einen neuen Transformator zu erwartenden Feuchtigkeitsgehalt von nur etwa 1% ergab. Weitere daraufhin durchgeführte Messungen bestätigten das DIRANA-Messergebnis. Ohne die Messung mit DIRANA wären wir davon ausgegangen, dass die Isolation dieses Transformators sehr viel Wasser enthält, was zu unnötig hohen Kosten geführt hätte.

Im Fall des Transformators, bei dem in Malaysia das Öl gestohlen wurde, zeigte DIRANA ebenfalls einen Feuchtigkeitsgehalt von unter 1%, obwohl man eigentlich auch hier erwartet hätte, dass die Isolation aufgrund des Ölverlustes sehr viel Wasser enthält. Eine spätere Inspektion offenbarte auch hier die Richtigkeit der von DIRANA gelieferten Messergebnisse. Die COPS-Tasche dieses

## Messverfahren zur Erkennung von Feuchtigkeit in der Feststoffisolation von Leistungstransformatoren

### Karl Fischer Titration von Papier-/Pressspanproben

Messung des Wassergehaltes in Papier-/Pressspanproben durch chemische Reaktion.

- +
- 
- 

### Karl Fischer Titration von Ölproben und Anwendung des Gleichgewichtsdiagrammes

Messung der Anzahl von Wassermolekülen in Ölproben durch chemische Reaktion. Das Gleichgewichtsdiagramm wird zur Abschätzung des Wassergehaltes in der Feststoffisolation verwendet.

- +
- 
- 

### Kapazitive Messfühler

Messung der Kapazitätsänderung durch Eindringen von Feuchtigkeit in den hygroskopischen Polymerfilm.

- +
- 
- 

### Recovery Voltage-Methode (RVM)

Messung der Wiederkehrspannung (Recovery Voltage) nach dem Laden der Isolation mit Gleichspannung. Abschätzung des Wassergehaltes aus der Zeitkonstante im Polarisationspektrum.

- +
- 

### Polarisations- und Depolarisationsströme (PDC)

Messung der Polarisations- und Depolarisationsströme nach dem Anlegen einer Gleichspannung an die Isolation. Interpretation der gemessenen Kennlinie anhand einer Datenbank.

- +
- +
- 

### Frequenzbereichsspektroskopie (FDS)

Verlustfaktormessung von Feststoffisolationen in einem breiten Frequenzbereich (100  $\mu$ Hz bis 1 kHz). Interpretation der gemessenen Kennlinie anhand einer Datenbank.

- +
- +
- 



Weitere Informationen zur Analyse des Feuchtigkeitsgehaltes in Transformatoren auf [www.youtube.com/omicronenergy](http://www.youtube.com/omicronenergy)



**Singapur – Transportschäden:** Die DIRANA-Messergebnisse wiesen im Gegensatz zu den Erwartungen auf eine intakte Isolation des Transformators hin.



**Malaysia – Transformatoröl-Diebstahl:** Das Team bei der Prüfung der dielektrischen Eigenschaften eines Leistungstransformators mit DIRANA bei starken Regen.

Transformators war zwar gerissen, da aber ein Teil der Tasche anschließend das Rohr abgedichtet hatte, konnte eine Kontamination der Isolation verhindert werden.

Auch bei dem bereits gealterten Transformator erzielten die DIRANA-Messungen eine höhere Genauigkeit der Ergebnisse als die anderen Messverfahren. Ein 1965 hergestellter Transformator wurde als trocken eingestuft, da die Ermittlung der Ölfeuchtigkeit einen Feuchtigkeitsgehalt der Papierisolation von etwa 2% ergab. Diese Messung berücksichtigte allerdings nicht, dass das Öl erst kürzlich gewechselt wurde und ein Feuchtigkeitsgleichgewicht möglicherweise noch nicht hergestellt war. Erst die Messung mit DIRANA offenbarte Feuchtigkeit in der Isolation. In diesem Fall lag diese bei etwa 5,4%, was als extrem nass eingestuft wird. Auch hier wurde die Richtigkeit der DIRANA Ergebnisse durch andere elektrische Messergebnisse bestätigt.

### Schnelle und exakte Diagnose

Das Vorhandensein von Feuchtigkeit in einem Leistungstransformator hat negative Auswirkungen auf dessen Betriebsbereitschaft und Lebensdauer. Durch entsprechende Spezifikation der Eigenschaften und Auswahl beim Kauf können die negativen Auswirkungen von Feuchtigkeit und Sauerstoff bereits weitgehend reduziert werden. Die exakte Messung der Feuchtigkeit in der Isolation ist ein komplexer Vorgang. Die Genauigkeit des Feuchtigkeitsmanagements kann durch Kenntnis des internen Aufbaus des Transformators und moderne Messmethoden erheblich verbessert werden. OMICRON's DIRANA kompensiert Alterungseffekte und ermöglicht eine hochgenaue Messung, unabhängig davon, ob das Feuchtigkeitsgleichgewicht erreicht ist. Gleichzeitig spart die Messung mit DIRANA 50% der Zeit gegenüber konventionellen Messmethoden. 🚩

*Lesen Sie in der nächsten Ausgabe des OMICRON Magazins mehr zur Überwachung des Feuchtigkeitsgehaltes während des Trocknungsprozesses.*



**Meng Lee**

Meng Lee ist Electrical Engineer im Services Department bei der Wilson Transformer Company, Australien.

### Wilson Transformer Co.

Die Wilson Transformer Company ist ein führender Hersteller von Leistungs- und Verteiltransformatoren in Australien. Das Unternehmen stellt sowohl konventionelle, als auch kundenspezifische Transformatoren bis 400 MVA / 400 kV her. Außerhalb Australiens produziert Wilson auch in Joint Ventures in Malaysia und Saudi Arabien.