

Regenerierung der Ölfüllung und der Hauptisolation von Transformatoren

Autor(en): **Wolff, K.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins :
gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen
Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes
Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **54 (1963)**

Heft 23

PDF erstellt am: **07.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916532>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

längst besetzt sind, und dass das dortige Preisniveau heute fast überall wesentlich höher ist. Ausserdem braucht schon die Fahrt durch die Stadt Zürich vom Tiefenbrunnen nach Westen meistens mehr Zeit, als nötig ist, um 30 km nach Osten zu fahren. Wenn sich also nach langer, erfolgloser Suche die seltene Gelegenheit bietet, ein günstiges Grundstück, erschlossen, mit guter Strasse und Bahnanschluss, in 30 km Distanz vom Tiefenbrunnen bei Rapperswil gelegen, zu erwerben, dann muss man zugreifen. Der nächste Vorstand kann dann, wenn die Situation gleich wie heute oder noch dringlicher geworden ist, die Umsiedlung ganz oder etappenweise nach richtiger Vorbereitung vornehmen. Für diese Umsiedlung wurde in der Rechnung 1962 die erwähnte Rückstellung gemacht. — Sollte wider Erwarten die

Konjunktur ganz zusammenbrechen, so kann die Umsiedlung unterbleiben, und das Grundstück bildet seiner günstigen Lage wegen eine gute Kapitalanlage für den Verein.

Ich möchte nicht schliessen, ohne im Namen des Vorstandes, wie auch in meinem eigenen und in Ihrem Namen, meine Herren, Herrn Marti und allen Mitarbeitern des Sekretariates, der Verwaltungsstelle und der Buchhaltung für ihre grosse Arbeit und ihren unermüdlichen Einsatz aufs herzlichste zu danken. Ich möchte nur noch einen Namen erwähnen, Herrn W. Naegeli, Chef der Verwaltungsstelle, dem wir auch dieses Jahr für die vorzügliche Organisation unserer Generalversammlung zu danken haben.

Adresse des Autors:

H. Puppikofer, alt Direktor, In der Au 3, Meilen (ZH).

Regenerierung der Ölfüllung und der Hauptisolation von Transformatoren

Von K. Wolff, Baden

621.314.212 : 621.315.2

In Transformatoren mit dem üblichen Öl-Expansionsgefäss altert das Öl unter der Einwirkung des Luftsauerstoffs. Die damit Hand in Hand gehende Verschlechterung des dielektrischen Zustandes auch der festen Isolationen kann durch eine zweckentsprechende Behandlung der Ölfüllung rückgängig gemacht werden. Besonders bewährt hat sich hierfür das «Spül-Regenerierverfahren»; das mit Bleicherde regenerierte Altöl wird dabei zunächst zum Durchspülen der mit Alterungsprodukten durchsetzten festen Isolationen benützt, wodurch sowohl eine sofortige als auch eine weiter nachwirkende Verbesserung des dielektrischen Zustandes der Isolationen erreicht wird. Im Anschluss daran erfolgt eine Nachregenerierung des Öles und gleichzeitige Inhibierung zum Schutz gegen die Wiederalterung. Durch eine genügend grosse Anzahl von Ölschlitzten können auch dicke Isolationen gegen die Auswirkungen der Ölalterung unempfindlich gemacht werden.

L'huile des transformateurs munis d'un conservateur vieillit sous l'influence de l'oxygène de l'air. L'état diélectrique des isolants solides, qui est également altéré, peut être rétabli par un traitement approprié de la charge d'huile. Le procédé de régénération par rinçage donne de très bons résultats; la vieille huile, qui est régénérée avec de la terre à foulon, sert d'abord à rincer les isolants solides imprégnés de produits de vieillissement, ce qui permet d'obtenir une amélioration immédiate de l'état diélectrique de ces isolants, amélioration qui se poursuit. On procède ensuite à une postrégénération de l'huile et à son inhibition, qui doit la protéger contre un nouveau vieillissement. Si le nombre des canaux d'huile est suffisamment grand, même des isolations épaisses peuvent être ainsi rendues insensibles aux effets du vieillissement de l'huile.

1. Die Ölalterung und ihre Auswirkung

Isolieröle unterliegen im Betrieb hauptsächlich infolge des Kontaktes mit dem Sauerstoff der Luft einer Alterung, deren Ablauf, ausser von den konstruktiven Eigenheiten des Transformators, noch stark von der Betriebstemperatur und der Konstitution des Öles abhängt. Des weiteren vermögen auf die Alterung die im Transformatorenbau verwendeten Werkstoffe einzuwirken; so leistet vor allem blankes Kupfer der Alterung Vorschub.

Gealterte Öle lassen sich oft schon am Aussehen und Geruch erkennen. Genauerem Aufschluss geben spezielle Messungen bezüglich ihres chemischen und physikalischen Verhaltens, so zum Beispiel die Neutralisationszahl [1]¹⁾ oder der dielektrische Verlustfaktor; dagegen wird die elektrische Durchschlagfestigkeit durch den blossen Alterungsprozess so gut wie nicht beeinflusst. Eine besonders rasche Zunahme des Verlustfaktors, bei anfänglich kaum messbarer Versäuerung, hat man zum Beispiel vielfach bei den sog. gasfesten, d. h. den aromatenreichen [2] Ölen gefunden.

Der mit der Alterung stark zunehmende Verlustfaktor des Öles bewirkt auch eine Verschlechterung der dielektrischen Qualität der vom Öl durchtränkten und umspülten festen Isolationen im Transformator. Bei ausreichend langer Einwirkdauer des gealterten Öles auf die feste Isolation würde

diese ungefähr die gleiche dielektrische Verschlechterung wie das Öl selbst erfahren; im allgemeinen ist aber mit einem Nachhinken der festen Isolation im Alterungsverlauf zu rechnen. Bei stark gestiegenem Verlustfaktor der Isolation kann es dann soweit kommen, dass die im Inneren der Isolation entstehende dielektrische Verlustwärme ($\omega CU^2 \text{tg } \delta$) nicht mehr voll abgeführt wird — vor allem bei hoher Betriebstemperatur könnte dies der Fall sein —, was einen weiteren Anstieg der Temperatur und infolgedessen auch wieder des $\text{tg } \delta$ der Isolation am «heissen Punkt» zur Folge hätte und zum Wärmedurchschlag führen könnte. Für den Wärmedurchschlag ist dabei nur die an einer durch Öl gekühlten Isolation unmittelbar anliegende Spannung, unabhängig von der Isolationsdicke, massgebend [3]. Durch eine mehrfache Unterteilung der Gesamt-Hauptisolation (z. B. Papierwickel) mit Ölkanälen kann man daher die an den so entstehenden Teilwickeln anfallenden Teilspannungen beliebig klein wählen. Durch solche Anordnung gelingt es auch Transformatoren mit Papierwickel-Hauptisolation weitgehend unempfindlich gegen die Ölalterung zu machen [4].

Eine Verschlechterung des dielektrischen Zustandes des Öles durch die Isolation ist dagegen nicht zu erwarten. Nur dann, wenn die feste Isolation nicht in genügender Reinheit vorliegt (so könnte sie beispielsweise vor der Ölprägnierung bereits mit Öl-Oxydationsprodukten behaftet oder in sonsti-

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

ger Weise verschlechtert sein), kann das eingefüllte Neuöl infiziert werden.

2. Möglichkeiten zur Verbesserung des dielektrischen Zustandes der Isolation

Ob eine kompakte Isolation (Pressspan, eventuell in mehreren übereinanderliegenden Schichten, dichte Papierumwicklungen usw.) überhaupt von eingedrungenem Altöl wieder befreit werden kann, war zunächst nicht bekannt. Zur Abklärung dieser Frage wurden Modellversuche unter der Wirklichkeit angenäherten Bedingungen durchgeführt. Sie hatten zum Ergebnis, dass zumindest mit Altöl durchtränkte Papierwickel in ihrem dielektrischen Zustand durch Neuölfüllungen sofort verbessert werden konnten; die vollständige Regenerierung des Wickels erstreckte sich jedoch über einen längeren Zeitraum, weil das Ausschwemmen der Alterungsprodukte aus dem Wickel bei ruhendem Umgebungöl nur äusserst langsam vonstatten geht und selbst bei weitgehendem Austropfenlassen des Altöls aus dem Wickel vor der Neufüllung noch beträchtliche Mengen an Alterungsprodukten im Wickel zurückbleiben. In gleicher Weise wird bei der blossen Neuölfüllung eines gealterten Transformators das neue Öl durch den allmählichen Austritt von Alterungsprodukten aus den Isolationen wieder verunreinigt; selbst eine nachträgliche Filtrierung des Öles vermag diese öllöslichen Produkte nur zum geringsten Teil wieder zu entfernen.

Dieses höchst unerwünschte Verhalten bei Neuölfüllung wird dagegen durch eine Regenerierung des gealterten Öles in Verbindung mit einem gründlichen Durchspülen der Isolationen vermieden. Zum Regenerieren wird dabei das zu behandelnde Öl unter Druck durch eine mit Bleicherde gefüllte Vorlage geleitet. Die Aktiverde, eine körnige Tonerde unterschiedlicher Herkunft und dann auch unterschiedlicher Wirksamkeit, besitzt dank ihrer grossen Oberfläche von hoher Adsorptionskraft die Fähigkeit, die Alterungsprodukte des Öles an sich zu binden. Werden die Isolationen dann mit dem frischen Ölregenerat zunächst kräftig durchgespült, wobei die daran haftenden Alterungsprodukte weitgehend ausgewaschen werden, und erfolgt anschliessend eine Nachregenerierung des jetzt mit Verunreinigungen durchsetzten Öles, so spricht man vom «Spül-Regenerierverfahren». Hierbei ist also Gewähr dafür geboten, dass das am Ende des Aufbereitungsprozesses in den Transformator gefüllte Ölregenerat praktisch nicht mehr durch Altölrückstände in seiner Qualität beeinträchtigt wird. Dieses Verfahren bietet dazu noch den Vorteil einer gleichzeitigen Trocknung, eine zum Beispiel nach vorangegangener Reparatur oder Umbau des Transformators sowieso meist gebotene Massnahme.

Natürlich besteht auch die Möglichkeit, in einen Transformator eingefülltes Neuöl bei Vorhandensein einer Regenerieranlage nachzubehandeln, und so die Verunreinigungen dem Öl wieder zu entziehen. Die Gefahr einer Wegnahme auch der im Öl enthaltenen natürlichen alterungshemmenden Wirkstoffe durch eine Bleicherdebehandlung wird im allgemeinen weit überschätzt; der Verfasser konnte noch in keinem Fall einen ungünstigen Einfluss einer Bleicherdebehandlung auf die Qualität eines Öles feststellen. In diesem Zusammenhang sei auch vermerkt, dass durch die Regenerierung eines mit «2,6-ditertiär-butyl-para-Kresol» inhibierten Öles mit der von der Firma des Verfassers verwendeten Bleicherde der Inhibitor dem Öl nicht wieder entzogen wird.

Man wird in beiden Fällen — Neuölfüllung oder Ölregenerierung — mit Vorteil dem frischen Öl ein Antioxydanzusetzen, d. h. es inhibieren, eine vielerorts mit vollem Erfolg erprobte Massnahme ohne jede Nachteile bei richtig ausgewähltem Inhibitor und richtiger Anwendung, um einer raschen Wiederalterung entgegenzutreten. Dies ist vor allem dann nötig, wenn zu einer Neuölfüllung oder Regenerierung geschritten wurde, ohne dass die Möglichkeit einer Spülung der Isolationen und Nachregenerierung des Öles bestand. Als Inhibitor wird heute in grossem Umfang das bereits erwähnte «2,6-ditertiär-butyl-para-Kresol» (DBPK) in einer Gewichtskonzentration von 0,1...0,5 % verwendet.

Im nachfolgenden wird, herausgegriffen aus einer grösseren Anzahl in der Praxis durchgeführten Behandlungen, an zwei Fällen der Erfolg einer blossen Neuölfüllung und der bessere einer Ölvollbehandlung mit Regenerieren und Spülen aufgezeigt. Bei allen Transformatoren, wo Massnahmen zur Verbesserung des dielektrischen Zustandes des Öles und der Isolation angebracht erschienen, handelte es sich um solche von 10- bis 20jähriger Betriebszeit mit oft erheblicher Überlastung. Ausnahmslos waren es solche höherer Nennspannung (> 110 kV) und Leistungen von ca. 10 MVA oder höher. Alle Transformatoren besaßen ein hochliegendes Ausgleichsgefäss mit Luftzutritt über eine Trocknungsvorlage.

3. Beispiele durchgeführter Transformatorbehandlungen

3.1 Neuölfüllung, ohne Spülung der Isolation und Nachregenerierung

Bei einem 23 MVA, 150/50 kV-Netzkupplungstransformator war nach nahezu 20jähriger Betriebszeit das Öl sehr stark gealtert; es wies eine Neutralisationszahl von 0,22 mg KOH/g und einen Verlustfaktor von $\text{tg } \delta = 350$ % bei 90°C auf. (Zum Vergleich sei hier vermerkt, dass bei einem guten Neuöl die Neutralisationszahl unter 0,05 mg KOH/g und der $\text{tg } \delta$, gemessen bei 90°C , unter 1 % liegen und Neutralisationszahlen von über 0,5 mg KOH/g bereits als bedenklich gelten. Für $\text{tg } \delta$ kann kaum eine feste Grenze genannt werden, doch mahnen Werte von ≈ 50 ...100 % (gemessen bei 90°C) in jedem Fall zur Vorsicht.) Die Messung des Verlustfaktors der Papierwickel-Hauptisolation des Transformators ergab den sehr hohen Wert von $\text{tg } \delta = 44$ % bei 60°C . Eine Verbesserung des dielektrischen Zustandes erschien demnach dringend angezeigt; aus betrieblichen Gründen konnte das Öl nicht regeneriert werden, man musste sich vielmehr mit einer Neuölfüllung nach vorherigem gründlichem Austropfen des Aktivteils zufrieden geben.

Aus Fig. 1 ist das Fallen des $\text{tg } \delta$ der Hauptisolation mit der Zeit nach dem Ölwechsel ersichtlich. Man ersieht, dass

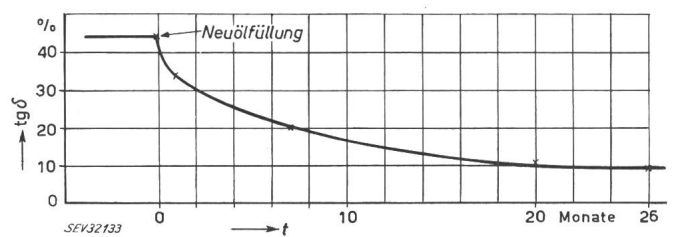


Fig. 1
Verlustfaktor $\text{tg } \delta$ der Hauptisolation eines Transformators bei 60°C in Abhängigkeit von der Zeit t nach einer Ölregenerierung und Spülung der Isolation

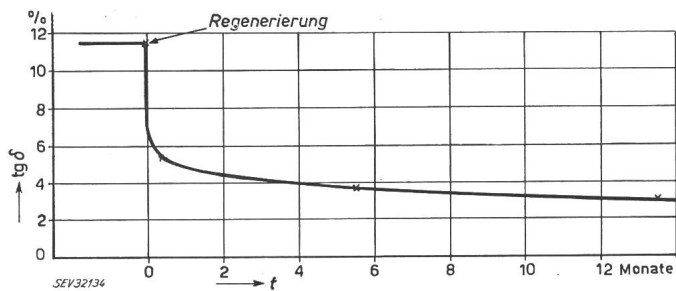


Fig. 2

Wie Fig. 1, aber nach einer Neufüllung

die Verbesserung des dielektrischen Zustandes der Hauptisolation sofort nach dem Ölwechsel zwar recht beträchtlich ist, dass sie aber erst nach 2 Jahren als abgeschlossen gelten kann.

Da bei diesem Transformator nach erfolgtem Ölwechsel noch mit erheblichen Mengen aus der festen Isolation in das Neuöl übergehenden Alterungsprodukten zu rechnen war, welche die Qualität des Neuöls beeinträchtigt hätten, wurden zusätzliche Massnahmen zur Entfernung dieser Verunreinigungen aus dem Öl getroffen. Durch Einbau eines Silikagel-Aktivfilters in den Ölkreislauf des Transformators gelang es auch tatsächlich mit bestem Erfolg, noch eine beträchtliche Menge solcher unerwünschter Produkte aus dem Neuöl zu entfernen. Erwartungsgemäss stieg der Verlustfaktor des Neuöls als Folge der Verunreinigung durch ausgeschwemmte Altölreste aus den Isolationen an; er betrug 3 Wochen nach dem Ölwechsel etwa 4 % bei 90 °C, nach 7 Monaten 8 %, nach 2 Jahren 9,7 %. Der tg δ-Wert ist damit zwar niedrig geblieben, aber doch schon mehr angestiegen, als dies nach einer Spülung der Isolation und Nachregenerierung des Öles der Fall gewesen wäre.

3.2 Spül-Regenerierung

Bei einem Transformator gleicher Daten wie unter Ziff. 3.1 angegeben, wies das Öl nach 17jähriger Betriebszeit eine Neutralisationszahl von 0,14 mg KOH/g und einen Verlustfaktor von 120 % bei 90 °C auf. Eine Messung des tg δ der Papierwickel-Hauptisolation ergab einen Wert von 11,5 % bei 60 °C. Zur durchgreifenden Verbesserung der dielektrischen Eigenschaften wurde das Öl regeneriert und die Isolation zweimal durchgespült bei gleichzeitiger Nachregenerierung des Öles, das dann zum Schluss noch inhihiert wurde.

Fig. 2 zeigt das durch die Ölregenerierung erzielte Fallen des Verlustfaktors der Hauptisolation. Augenfällig ist der Vorteil des angewendeten Spülverfahrens mit weitgehendem Auswaschen der Alterungsprodukte aus dem Wickel und sofortiger kräftiger Verbesserung des dielektrischen Zustandes der Isolation.

Dass die in der festen Isolation enthaltenen Alterungsprodukte beim Spülen zum grössten Teil entfernt werden konnten, lässt sich auch am späteren Verlauf des Verlustfaktors des regenerierten Öles erkennen:

1½ Wochen nach Regenerierung: tg δ = 1,1 % (90 °C)
 5 Monate nach Regenerierung: tg δ = 1,3 % (90 °C)
 1 Jahr nach Regenerierung: tg δ = 3,6 % (90 °C)

Die 1 Jahr nach Regenerierung für das Öl ermittelte Neutralisationszahl betrug 0,06 mg KOH/g. Das Öl befand

sich also in einem durchaus einwandfreien Zustand, obwohl kein Silikagelfilter zum Nachreinigen verwendet wurde.

Ähnlich gute Resultate wurden auch bei einer grösseren Zahl anderer in dieser Weise behandelten Transformatoren erzielt. Damit besteht bereits eine grosse Erfahrung in der Behandlung von Transformatoren verschiedenen Alters und recht unterschiedlichen dielektrischen Zustandes und es kann in jedem Fall mit grosser Sicherheit das zweckmässigste Vorgehen bei der Regenerierung angegeben werden.

4. Praktische Durchführung des «Spül-Regenerierverfahrens»

Am einfachsten wird das Öl eines Transformators im Umlaufverfahren regeneriert, wobei das im Transformatorkasten befindliche Öl solange durch die Bleicherde-Vorlagen geleitet wird, bis der gewünschte Aufbereitungsgrad erreicht ist. Dieses Verfahren ist jedoch mit dem Nachteil behaftet, dass selbst bei Verwendung einer modernen, leistungsfähigen Regenerieranlage [2] die Durchflussleistung bei eingeschalteten Regenerierstufen bei *Transformatoren mit grossem Ölvolumen* nicht ausreicht, um eine zur wirksamen Um- und Durchspülung der Hauptisolation notwendige Ölströmung im Transformatorinnern zu erzeugen. Das Umwälzverfahren eignet sich daher dann, wenn gleichzeitig auch die feste Isolation wirksam verbessert werden soll, nur für Transformatoren mit kleinem Ölvolumen (bis ca. 4000 Lit.); bei grösseren Transformatoren ist, wenn es die jeweiligen Verhältnisse in den Stationen irgendwie zulassen, dem «Spül-Regenerierverfahren» mit Hilfsöltank der Vorzug zu geben.

Eine «Spül-Regenerierbehandlung» gliedert sich dabei in die vier Hauptphasen:

- Regenerieren des Öles (ausserhalb des Transformators);
- Spülen der Hauptisolation mit frischem Regenerat;
- Nachregenerieren des Öles;
- Inhibieren.

Im einzelnen setzt sich dabei die Behandlung des Transformators aus folgenden Arbeitsgängen zusammen:

- Ablassen des im Transformator befindlichen Öles in einen separaten Tank bei gleichzeitiger Regenerierung;
- Fertigregenerieren des im Tank befindlichen Öles im Umlaufverfahren; während dieser Zeit Abtropfen des Aktivteils des unter Vakuum gehaltenen Transformators;
- Ablassen des Tropföls im Transformatorkasten;
- Einfüllen des regenerierten Öles in den Transformator;
- Umwälzen des in den Transformator eingefüllten Öles mit der Aufbereitungsanlage mit grösstmöglicher Durchflussgeschwindigkeit (*ohne* gleichzeitige Regenerierung) bei Erwärmung auf ca. 50 °C.
- Nochmaliges Ablassen des jetzt mit aus den Isolationen ausgeschwemmten Alterungsprodukten durchsetzten Öles in den Tank bei gleichzeitiger Evakuierung des Transformators auf möglichst niedrigem Druck (< 2 mm Hg), jedoch unter Beachtung des aus konstruktiven Gründen für den Transformatorkasten zulässigen Unterdrucks;
- Nachregenerieren des in den Tank abgelassenen Öles im Umlaufverfahren;
- Einfüllen des fertig regenerierten Öles in den Transformator bei gleichzeitigem Inhibieren.

Wenn dieses Vorgehen auch etwas mehr Aufwand erfordert, so hat doch die Erfahrung gezeigt, dass gegenüber einer blossen Umwälzregenerierung nur wenig mehr Zeit benötigt wird, jedoch der Effekt der Durchspülung und damit des Auswaschens von Alterungsprodukten aus der festen Isola-

tion beim vorstehend angegebenen Prozess um ein Mehrfaches besser ist und ausserdem das endgültig im Transformator befindliche Ölregenerat nur noch unwesentlich durch Restalterungsprodukte aus der festen Isolation verunreinigt wird.

Der bereits erwähnte Vorteil einer gleichzeitigen Trocknung des Transformators bei der «Spül-Regenerierung» wird durch die Vakuumbehandlung des während der Spülphase e) über das zirkulierende Öl aufgeheizten Aktivteils, nach raschem Ablassen des Öles aus dem Transformatorkasten, erzielt [5]. Ging der Ölregenerierung ein Umbau oder eine Reparatur des Transformators voraus, und muss daher mit einem stärkeren Feuchtigkeitsgehalt der Isolationen gerechnet werden, so empfiehlt sich eine Aufheizung des Aktivteils während des Ölumlaufs auf 80...90 °C (statt nur ca. 50 °C). Dadurch wird eine raschere und intensivere Trocknung beim nachfolgenden Evakuieren herbeigeführt. Fallen während dieser Vakuumphase f) grössere Kondenswassermengen an oder war das Öl des Transformators sehr stark gealtert, ist eine Wiederholung des Spül-(Aufheiz-)prozesses mit frisch nachregeneriertem Öl und anschliessender Vakuumbehandlung am Platze.

5. Wirtschaftlichkeit des Regenerierverfahrens, Kosten und Zeitbedarf

Durch die Regenerierung eines gealterten Öles wird, von recht seltenen Fällen (durch Bleicherdebehandlung allein nicht entfernbare Verunreinigungen) abgesehen, ein neuwertiges, einem Neuöl ebenbürtiges Öl erhalten, wobei durch Inhibieren des Regenerats dessen Alterungstendenz noch wesentlich verbessert werden kann.

Die Kosten der Aufbereitung des Öles eines Transformators nach dem «Spül-Regenerierverfahren» betragen nach den bisherigen Erfahrungen 40...50 Rp./kg Öl. Darin sind inbegriffen: Kosten für die Bleicherde, Inhibitor, Anlagemiete, Löhne, Transport, durch Regenerierung entstandener Ölverlust. Stellt man diese Kosten denen für eine Neuöl-

füllung gegenüber, bei einem Preis des neuen Öles von etwa 60...70 Rp./kg (in der Schweiz) und den noch zusätzlich notwendigen Kosten für die Behandlung dieses Öles in einer normalen Trocknungsanlage, so ist festzustellen, dass praktisch für die Hälfte der Kosten oder wenig mehr ein hochwertiges Regenerat erhalten werden kann, dabei aber der blossen Neuölfüllung die angegebenen erheblichen Nachteile anhaften.

Der Zeitaufwand für das «Spül-Regenerierverfahren» ist allerdings etwas grösser als bei einer blossen Neuölfüllung; bei einem Transformator mittlerer Leistung mit etwa 15 t Öl ist mit einer Aufbereitungsdauer von etwa 7 Tagen bei durchgehendem Betrieb der Regenerieranlage zu rechnen. Findet die Regenerierung aber zum Beispiel im Anschluss an einen Umbau oder eine Reparatur des Transformators statt, kann von einem zusätzlichen Zeitaufwand überhaupt nicht mehr gesprochen werden, wäre doch auch bei Neuölfüllung zur Trocknung des Aktivteils ebenfalls mit 7...10 Tagen Behandlungsdauer zu rechnen.

Die Ölregenerierung darf also in jeder Hinsicht als ein technisch voll befriedigendes und wirtschaftlich günstiges Verfahren zur Pflege von Grosstransformatoren und Sicherung eines guten dielektrischen Zustandes auf lange Zeit angesehen werden.

Literatur

- [1] Schweizerischer Elektrotechnischer Verein: Regeln für Transformator- und Schalteröl. 5. Aufl.; Publ. Nr. 0124.1960. Zürich: SEV 1960.
- [2] Stoll, P. und R. Schmid: Neue Erkenntnisse über die Eigenschaften der Mineralöle im Hinblick auf die Pflege von Transformatorölen. Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. 26(1960)12, S. 455...477.
- [3] Berger, K.: Der Wärmedurchschlag fester Isolierstoffe. Brown Boveri Mitt. 13(1926)5, S. 115...121.
- [4] Goldstein, A.: Trocknung und Vakuumimpregnierung von Hochspannungstransformatoren. Bull. SEV 52(1961)19, S. 757...764.
- [5] Hartmann, H.: Vakuumanwendung bei der Inbetriebnahme und Reparatur von Hochspannungstransformatoren. Bull. SEV 52(1961)19, S. 70...774.

Adresse des Autors:

K. Wolff, Ingenieur, AG Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).

Probleme bei der Anwendung der Supraleitung

Von B. Bürgel, Baden

537.312.62

Die für die Technik wichtigsten Begriffe und Tatsachen werden zusammengestellt und erläutert, und die Herstellungsmethoden für Hochfeld-Supraleiter kurz erwähnt. Anschliessend wird ein Überblick über die bekannten Vorschläge zur Anwendung der Supraleiter gegeben. Es zeigt sich, dass sich die ursprünglichen Hoffnungen wahrscheinlich nicht so leicht erfüllen lassen: Bei den bisher bekannten Hochfeld-Supraleitern treten Wirbelstromverluste auf, und bei den Schaltelementen der Elektronik können die an sich möglichen hohen Schaltfrequenzen infolge Schwierigkeiten bei der Wärmeableitung bei weitem nicht erreicht werden. Auf die Theorie der Supraleitung wird nicht eingegangen. Die angegebene Literatur ermöglicht ein tieferes Eindringen in die besprochenen Probleme.

1. Einleitung

Bei einem Metall sinkt der elektrische Widerstand mit abnehmender Temperatur zunächst linear, dann viel rascher. Im allgemeinen fällt er bis auf den sog. Restwiderstand, welcher häufig ein Tausendstel bis ein Hundertstel seines Wertes bei

L'auteur énumère et explique les notions et les faits les plus importants au sujet de la supraconductivité et il mentionne les méthodes de fabrication de supraconducteurs pour champ intense. Il donne également un aperçu des propositions faites pour l'utilisation des supraconducteurs. Les espoirs que l'on avait formulés dans ce domaine ne pourront probablement pas être réalisés facilement. Dans les supraconducteurs pour champ intense, il se produit des pertes par courants de Foucault et, pour des éléments de couplage de l'électronique, les hautes fréquences de couplage qui seraient en soi possibles ne peuvent pas être atteintes, à cause des difficultés dues à l'évacuation de la chaleur. L'auteur ne s'étend pas sur la théorie de la supraconductivité. La bibliographie qu'il indique permet une étude plus approfondie de ces problèmes.

Zimmertemperatur beträgt [1]¹⁾. Bei einem Supraleiter ist der Widerstand unterhalb der Sprungtemperatur unmessbar klein.

Das Verschwinden des Widerstandes wurde zum ersten Mal von Kamerlingh Onnes [2] im Jahre 1911 bei der Abkühlung

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.