

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 52 (1961)
Heft: 19

Artikel: Vakuumanwendung bei der Inbetriebnahme und Reparatur von Hochspannungstransformatoren
Autor: Hartmann, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916870>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

öles ist ein besonderer Heizkreislauf vorgesehen, indem ein 120-kW-Ölwärmer eingeschaltet ist. Die Zahnradpumpe 1 mit einer Leistung von 9000 l/h fördert das Öl zum Mengenregler 2. An diesem kann die Ölmenge, die durch die Anlage zirkulieren soll, eingestellt werden. Der grösste Teil des Öles wird aber über den Hauptölwärmer wieder in den Transformator-kessel zurückfliessen. Der Regulierbereich der Ölmenge, die aufbereitet werden soll, erstreckt sich von 100...4000 l/h.

In der Anlage durchfliesst das Öl zuerst eine Filterpresse, in der eine mechanische Reinigung stattfindet. Der Kühler 4 gestattet es, zu heisses Öl beispielsweise bei einer Transformatorentrocknung auf die Aufbereitungstemperatur von 40...60 °C abzukühlen. Die ganze Aufbereitung muss mit einer Öltemperatur von 60 °C erfolgen, da sonst die Destillation zu gross würde. Im ersten Entgasungskessel 5 wird der grösste Teil des Wassers dem Öl entnommen. Das vorgetrocknete Öl gelangt dann in die drei parallel geschalteten Fullerkessel 8, bei denen die Filterelemente auch im Betrieb gewechselt werden können.

Zur Auswechslung der Filtercharge kann das im Kessel befindliche Öl in die erste Entgasungsstufe 5 entleert werden. Im zweiten und dritten Entgasungskessel 9 und 11 wird das Öl bis auf einen Wassergehalt von < 1 g Wasser pro t Öl und einen Begasungsdruck von $\approx 0,15$ Torr gebracht. Bemerkenswert ist der Zusatzfilter, der zwischen der 2. und 3. Stufe zur Ausscheidung eventuell mitgeschwemmter Fullererde-körner angebracht ist. In der Inhibieranlage 16 wird der Inhibitor in genau dosierter Menge dem Öl beigegeben. Während in der ersten Stufe eine Drehschieberpumpe von $s_s = 100$ m³/h arbeitet, besitzt die zweite Stufe bereits eine Kombination Rootspumpe ($s_s = 1600$ m³/h) Drehschieberpumpe ($s_s = 80$ m³/h). Die dritte Stufe ist nochmals mit einer Rootspumpe ($s_s = 1600$ m³/h) ausgerüstet, die in Kaskade zu der Pumpenanordnung für den Kessel 2 läuft. Der Ölkondensator 15 ist zum Schutze der Rootspumpe eingebaut. Das abdestillierte Öl wird dem aufbereiteten Öl wieder zugegeben. Neben den üblichen Überwachungsinstrumenten verfügt die fahrbare Regenerierungsanlage über zwei Öl-Widerstands-Messzellen, die vor und nach dem Fullerkessel eingeschaltet sind. Die spezifischen Widerstandswerte zeigen die Wirksamkeit der Fullierung an und erlauben auch, eindeutig den Zeitpunkt des Filterwechsels anzugeben. Zur Evakuierung der Transformatoren ist eine von der Ölanlage unabhängig arbeitende Pumpengruppe mit Rootspumpe ($s_s = 1000$ m³/h), Vorpumpe und Zwischenkondensator vorgesehen.

Die Hauptfrage, ob ein regeneriertes und inhibiertes Öl auch in bezug auf die elektrischen Daten und Alterung einen Vergleich mit einem Neuöl aushält, kann wie folgt beantwortet werden:

Ein Regenerat mit 0,3 % Diter. Butyl p. Kresol inhibiert darf in den meisten Fällen mit einem uninhibierten Neuöl mit normaler Alterungstendenz verglichen werden. Dabei erhält man einen Regenerationspreis von 25...30 Rp./kg Öl [2]. Für die Amortisation der Anlage werden 8 Rp./kg Öl eingesetzt.

Diese Regenerationskosten dürfen unter keinen Umständen mit dem Neuölpreis verglichen werden. Durch die kombinierte Anlage wird auch der aktive Teil des Transformators gepflegt. Diese echte Leistung am Transformator muss berücksichtigt werden.

Auch beim Einziehen von Neuölen in gealterten Transformatoren kommt man um eine Ölaufbereitung nicht herum. Will man den Ölwechsel besonders sorgfältig gestalten, so sind auch die anfallenden Alterungsprodukte aus dem Wickel in Neuöl durch Fullierung zu entfernen. Die beschriebene kombinierte Anlage eignet sich auch für die klassische Aufbereitung von Neuölen und selbst für die Trocknung ganzer Transformatoren.

Zuletzt dankt der Autor W. Redle und R. Scheidegger für ihre wertvollen Anregungen.

Literatur

- [1] Fabre, J. und A. Pichon: Processus et agents de dégradation du papier dans l'huile. Application aux transformateurs. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 18. Session 1960, Bd. 2, Rapp. 137.
- [2] Stoll, P. und R. Schmid: Neue Erkenntnisse über die Eigenschaften der Mineralöle im Hinblick auf die Pflege von Transformatorenölen. Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. 26(1960)12, S. 455...477.
- [3] Oetjen, G. W. und F. Gross: Gas- und Wasserdampf-Absorption hochsiedender Flüssigkeiten bei Drucken unter 10 Torr. Chem.-Ing.-Techn. 26(1954)1, S. 9...13.
- [4] Kaufman, R. B., E. J. Shimanski und K. W. MacFadyen: Gas and Moisture Equilibria in Transformer Oil. Trans. AIEE I, Commun. & Electronics, 74(1955)19, S. 312...318.
- [5] Brinkmann, K. und M. Beyer: Über die Hochvakuum-Trocknung und -Entgasung von Isolierölen für Höchstspannungskabel. ETZ-A 81(1960)20/21, S. 744...749.
- [6] Siciński, Z.: Application de la valeur de $\tan \delta$ en basse fréquence et à température supérieure à la normale à l'appréciation de la qualité des huiles minérales isolantes. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 17. Session 1958, Bd. 2, Rapp. 137.
- [7] Buchholz, H. H.: Einfluss des Gasgehaltes auf das dielektrische Verhalten von Isolierölen. ETZ-A 75(1954)22, S. 763...768.
- [8] Ölbuch: Betriebsanweisungen für Prüfung, Überwachung und Pflege der im elektrischen Betrieb verwendeten Öle. Göttingen: Elektrizitätswirtschaft 1950. S. 128...130.
- [9] Ericson, G.: Testing Inhibited Transformer Oils. Asea J. 31 (1958)1/2, S. 16...20.
- [10] Goldstein, A.: Die Trocknung und Vakuumimprägnierung von Hochspannungs-Transformatoren. Bull. SEV 25(1961)17.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. P. Stoll, Micafil AG, Badenerstrasse 780, Zürich 9/48.

Vakuumanwendung bei der Inbetriebnahme und Reparatur von Hochspannungstransformatoren

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 16. Mai 1961 in Zürich,
von H. Hartmann, Baden

533.5 : 621.314.2.027.3

1. Einleitung

Die Erhöhung der Isolierfestigkeit der Hochspannungstransformatoren durch die Vakuumbehandlung wurde auch im Elektrizitätswerkbetrieb schon frühzeitig erkannt. So erfolgte als Beispiel der Einbau einer Vakuumanlage im Kraftwerk am Löntsch, dem ersten grösseren Hochdruckwerk der Schweiz, bereits

im Jahre 1913. Diese, später auch in anderen Kraftwerken und Unterwerken fest montierten Vakuumkessel, erlaubten das Einfahren und somit die Behandlung des mit dem eigenen Kasten zusammengebauten Transformators.

Die Vakuumkessel sind aber bald für Transformatoren grösserer Leistung zu klein geworden. Man ist

daher dazu übergegangen die eigenen Kasten und Deckel vakuumfest zu bauen und ermöglichte damit die Vakuumbehandlung an jedem Aufstellungsort der Transformatoren.

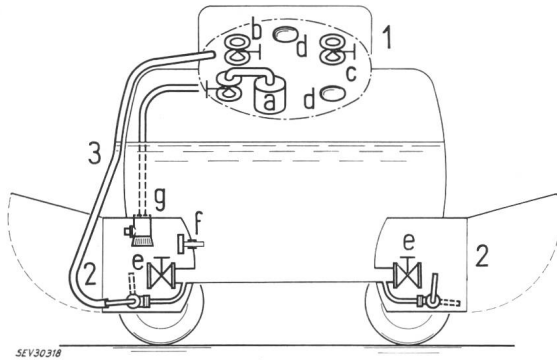


Fig. 1

Armaturen des fahrbaren vakuumfesten Transportbehälters für Isolieröl

1 Mannloch; 2 Anschlussbehälter; 3 Ölstandsschlauch (bei Transport im Anschlussbehälter 2 aufgerollt)
a Luftentfeuchter; b Vakuumanschluss; c Anschlußschieber;
d Schauglas; e Anschlußschieber; f Thermometer; g Belüftung

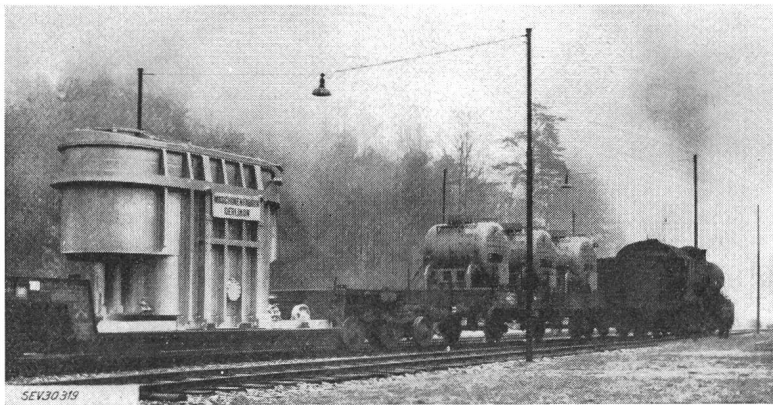


Fig. 2

Bahntransport des Nachfüll-Isolieröles in drei Behältern
 $\frac{220/150}{\sqrt{3}}$ -kV-Einphasen-Regulierttransformator, 140 : 3 MVA

Der grosse Anstieg des Energieverbrauches in den Jahren nach dem letzten Weltkriege brachte den Bau vieler neuer Kraftwerke mit sich. Zur Verteilung der Energie mussten und müssen immer noch eine wesentlich grössere Anzahl Unterwerke erstellt werden, deren Anordnung heute bis zur Betriebsspannung von 220 kV möglichst dezentralisiert erfolgt. Der grösste Teil dieser Unterwerke erhält heute weder Montagehallen, noch fest eingebaute Ölbehälter- oder Vakuumanlagen. Für Montage-, Revisions- und Reparaturarbeiten an Transformatoren müssen somit fahrbare Ölbehandlungs- und Behälteranlagen eingesetzt werden können. Die gleichen mobilen Einrichtungen gelangen naturgemäss auch in den Kraftwerken zur Anwendung. Dies ermöglicht die teuren und zufolge des seltenen Gebrauchs unwirtschaftlichen fest eingebauten Isolierölaufbereitungsanlagen in den Kraftwerken ebenfalls wegzulassen.

Zur Behandlung von Transformatoren ist eine leistungsfähige fahrbare Ölaufbereitungsanlage, deren Arbeitsweise Prof. Stoll [1]¹⁾ beschrieben hat, unbedingt erforderlich. Für Transformatoren höchster Spannungen wird zudem eine ebenfalls fahrbare Isolieröl-Behälteranlage benötigt. Die Nordostschweizerischen Kraftwerke AG, Baden, und anschliessend alle grossen Transformatorenfabriken der Schweiz haben

sich entsprechende Tanks nach dem System der «Swiss-Containers» beschafft. Diese Behälter, von je 5 t Fassungsvermögen sind speziell vakuumfest gebaut und mit entsprechenden Armaturen nach Fig. 1 ausgerüstet. Das Öl kann in diesen Behältern geschützt durch Luftentfeuchter oder sogar unter Vakuum transportiert und gelagert werden. Damit fällt der zeitraubende Transport der in den meisten Fällen zahlreichen Ölfässer weg. Diese Fässer konnten zudem kaum einwandfrei gereinigt und die Kondenswasserbildung bei Abkühlung nicht vermieden werden. Fig. 2 zeigt einen Spezial-Bahntransport, bei teilweise ausgeschalteter Fahrleitung, eines $\frac{220/150}{\sqrt{3}}$ kV-Einphasen-Regulierttransformators für eine Gruppenleistung von 140 MVA. Das Nachfüllöl für vier Einphasentransformatoren wird in drei der beschriebenen Behälter auf einem Bahnwagen mitgeliefert. Auf Fig. 3 ist ersichtlich wie einer der gleichen Behälter mit Hilfe der von Behälter zu Behälter umsetzbaren Chassis auf der Strasse bis unmittelbar zum Transformator transportiert werden kann.

2. Inbetriebnahme

Bei Montagen vor der Inbetriebnahme erfordern die sog. Wandertransformatoren keine zusätzliche Vakuumbehandlung. In der Schweiz hat sich jedoch diese Bauart aus verschiedenen Gründen nicht eingeführt.

Bei den stationären Transformatoren üblicher Bauart werden die separaten oder die angebauten Kühlvorrichtungen vielfach ohne Ölfüllung getrennt vom

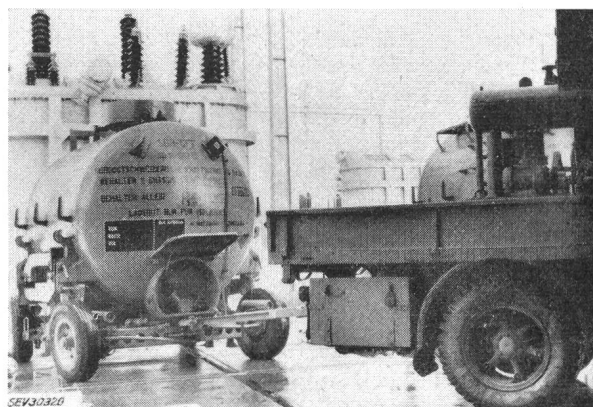


Fig. 3

Strassentransport des Nachfüll-Isolieröles in einem Behälter
Strassenchassis von Behälter zu Behälter umsetzbar

Transformator spedit. Die Gründe können sein: viele Einzelteile und Anschlußstellen die gut abgedichtet werden müssten; Gewichtsverminderung zur Vereinfachung des Transportes und der in den meisten Fällen fehlende Expansionsraum.

¹⁾ Siehe Literaturverzeichnis am Schlusse des Aufsatzes.

Dazu kommen zum Teil lange Einlagerungszeiten bis zur definitiven Montage, so dass die Kühler im Innern Feuchtigkeit und bei der Montage selbst auch Schmutzteile aufnehmen können. Unter solchen Umständen montierte Anlagen müssen vor dem Verbinden mit dem ölgefüllten Hochspannungstransformator eine Ölbehandlung mit Hilfe der Vakuumanlage erhalten.

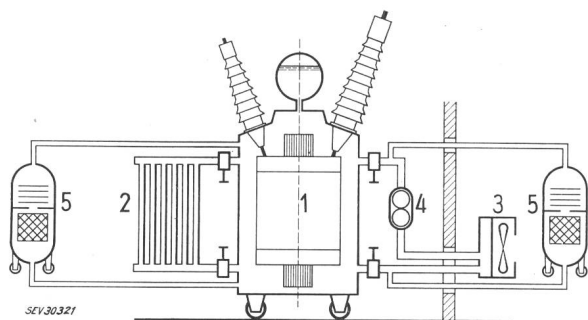


Fig. 4

Separate Aufbereitung des Isolieröles der Kühlanlagen bei Montage der Transformatoren

1 Transformator; 2 mehrere direkt am Kasten angeflanschte Kühlradiatoren; 3 separate Kühlanlage (Luftkühler, Wasserkühler oder separat fahrbare Radiatorenatterie; 4 Umwälz-Ölpumpe; 5 Vakuum-Ölaufbereitungsanlage

Fig. 4, links, zeigt einen Transformator mit einer grossen Zahl am Umfang angeordneter Einzel-Kühlradiatoren. Hier ist es nicht möglich, vor der Inbetriebnahme das Öl in jedem Radiator getrennt vom Transformator zu behandeln. Es empfiehlt sich in diesem Falle, am gesamten Transformator die Ölaufbereitungsanlage einzusetzen. Diese Bauart eignet sich daher besser für kleinere Leistungen, wenn der Transport des Transformators mit fertig angebauten und gefüllten Radiatoren möglich ist und somit eine Nachbehandlung wegfällt.

Auf der gleichen Fig. 4 ist rechts ein Transformator mit getrennter Kühleinrichtung dargestellt. Anstelle des eingezeichneten Luftkühlers kann auch ein Wasserkühler oder eine separat fahrbare Radiatorenatterie eingebaut sein. Vor dem Öffnen der beiden Schieberhahnen zwischen dem Transformator und der Kühlanlage empfiehlt es sich, die Ölfüllung der Kühlanlage selbst mit Hilfe der Ölaufbereitungsanlage zu behandeln. In Kraftwerken müssen vielfach lange Verbindungsrohre an Ort und Stelle zusammenschweisst werden. Diese sind innen vom Zunder und Rost zu befreien. Anschliessend sollte in diesem Falle die Kühlanlage mit einem Altöl und als Abschluss mit dem Betriebsöl des Transformators behandelt werden. Dazu ist die Vakuum-Ölaufbereitungsanlage bei kaltem und nach Möglichkeit anschliessend bei betriebswarmem Öl vor dem definitiven Verbinden mit dem Transformator einzusetzen.

Auch in der Schweiz stehen zur Zeit Transformatoren von 380 kV verketteter Betriebsspannung und 400 MVA Gruppenleistungen in Betrieb. Solche von 600-MVA-Leistung werden zur Zeit gebaut. Die Energieübertragung mit dieser hohen Spannung ist am wirtschaftlichsten, wenn die Generatoren direkt in die Auftransformatoren einspeisen. Dies bedeutet, dass diese zum Teil über 100 t schweren Einphasentransformatoren bis in die Maschinenhäuser der Kraftwerke im Gebirge zu transportieren sind. Unter Umständen stehen dazu nur Schmalspurbahnen oder Strassen und

Brücken mit kleiner Tragkraft zur Verfügung. Dies erfordert, diese Höchstleistungs- und Höchstspannungstransformatoren ohne Isolierölfüllung zu transportieren. Das Transportgewicht kann auf diese Weise bis zu 30 t reduziert werden. Das Isolieröl selbst muss im Transformator während des Transportes durch ein trockenes Gas ersetzt werden.

Auf Fig. 5 erkennt man, wie in einen Einphasentransformator von 380/220 kV verketteter Spannung und 400 MVA Gruppenleistung nach dem Transport, im Maschinenhaus Sils der Hinterrhein Kraftwerke AG, das Isolieröl unter Vakuum eingefüllt wird. Ab Isolieröl-Transportbehälter wird das Öl über eine Ölaufbereitungsanlage in den unter Vakuum stehenden Transformator eingezogen. Der Transport des Isolieröles selbst erfolgte zur Vermeidung der Kondenswasserbildung ebenfalls unter Vakuum mit Hilfe der beschriebenen 5 t Isolierölbehälter.

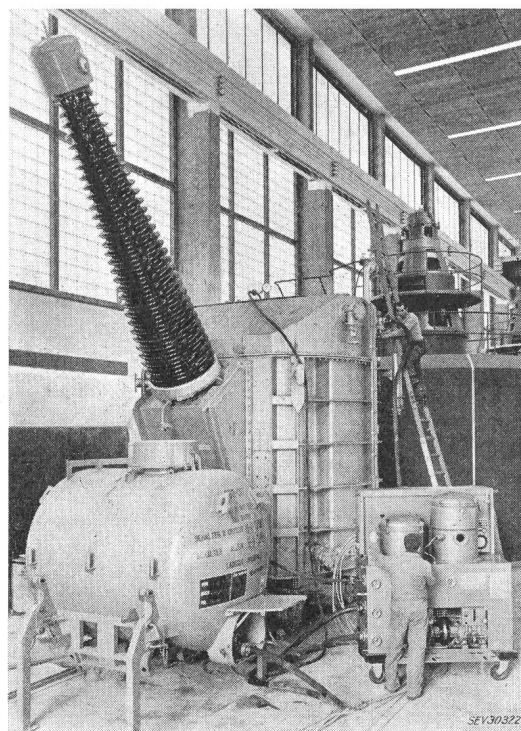


Fig. 5

Vakuuminprägnierung mit Isolieröl nach dem Transport mit Trockengas

$\frac{380/200}{\sqrt{3}}$ -kV-Einphasen-Autotransformator, 400 : 3 MVA im Maschinenhaus Sils der Kraftwerke Hinterrhein

3. Revision und Reparatur

Obwohl, seit der Einführung der Stoßspannungsprüfung, die Betriebssicherheit der Transformatoren wesentlich verbessert werden konnte, bringt der grosse Anstieg der in Betrieb stehenden Einheiten vermehrte Revisionsarbeiten. Dazu kommt, dass die Transformatoren unter dem Zwang der höheren Spannungen und der grösseren Leistungen bei gleichbleibenden Transportprofilen in den Transformatorenfabriken heute wesentlich verbessert getrocknete und imprägnierte Dielektrikums erhalten [2]. Die Elektrizitätsunternehmen stehen somit vor dem Problem, diese hervorragenden Eigenschaften auch im jahrzehntelangen Betrieb durch Nachbehandlungen mit der Vakuumölaufbereitungsanlage zu erhalten.

Berücksichtigt man zudem die ständige Erhöhung der Kurzschlussleistung der Netze, welche auch grössere Beanspruchungen der Wicklungsabstützungen und Kontakte in den Transformatoren mit sich bringt, so werden auf Grund der bisherigen Erfahrungen, die periodischen Revisionskontrollen und auch die Reparaturen, nicht zu umgehen sein. Für diese Arbeiten müssen die aktiven Teile, somit auch die Isolationen, während kurzer oder längerer Zeit ausser Öl genommen werden. Diese teilweise noch mit Restöl behafteten Teile nehmen dabei in der gleichen Zeiteinheit ganz wesentlich mehr Feuchtigkeit auf als zum Beispiel das Isolieröl selbst. Es stellt sich somit die Frage, wie muss der Transformator nach Abschluss dieser Arbeiten behandelt werden, damit er wieder voll betriebsfähig ist und auch eventuelle Überspannungen ohne Schaden aushalten kann?

Folgende Faktoren sind dabei zu berücksichtigen:

- a) Art der Isolation;
- b) Zeit während welcher der aktive Teil ausser Öl war;
- c) Relative Feuchtigkeit der Luft am Behandlungsorte;
- d) Höhe der Überspannung;
- e) Zustand des allfällig neu eingebauten Ersatzmaterials.

Die in der Folge angegebenen Zeiten, welche für die Behandlungsart ausschlaggebend sind, können nur als praktische Richtwerte betrachtet werden. Bei Messung der Isoliertüte besteht die Schwierigkeit, dass der Anteil der inneren oder nur oberflächlichen Feuchtigkeit nicht getrennt erfasst werden kann.

Mit Lack imprägnierte Isolierteile, wie Hartpapierhüllen und Kappen, sowie entsprechend behandelten Drahtisolationen nehmen zunächst nur an der Oberfläche Feuchtigkeit auf. Sind diese Teile bei wenig feuchter Luft und möglichst konstanter Temperatur nur während ungefähr 12 h ausser Öl, so genügt nach dem Wiedereintauchen des aktiven Teiles in Öl eine oberflächliche Trocknung im Umlaufverfahren mit Hilfe der Ölaufbereitungsanlage alleine. Der Transformator selbst muss dabei nicht unter Vakuum gesetzt werden.

Bei der dielektrisch hochwertigen, ausschliesslich mit Öl imprägnierten Papierisolation dringt nach dem Herausziehen aus dem Öl die Feuchtigkeit sofort in das Innere. Eine nur oberflächliche Trocknung kann daher nur dann verantwortet werden, wenn der aktive Teil nicht länger als während ungefähr 5 h ausser Öl, in trockener Luft gelagert wurde.

Besteht die Hauptisolation zwischen den Wicklungen ebenfalls aus Papier, so muss berücksichtigt werden, dass diese beim Ausziehen aus dem Öl sofort auch Luft aufnimmt. Diese Transformatoren müssen nach jedem Hochziehen des aktiven Teiles, zur Vermeidung von Ionisationszerstörungen, gut evakuiert werden.

Ist der aktive Teil bei mit Lack behandelten Isolationen länger als ungefähr 12 h und bei ölprägniertem Papier länger als 5 h ausser Öl, so genügt zur einwandfreien Trocknung der alleinige Umlaufbetrieb mit der Hochvakuum-Ölaufbereitungsanlage nicht. Diese Behandlung bewirkt nur eine rasche Trocknung der Isolationsoberflächen. Dadurch wird aber, wegen der Vergrößerung des Kapillarwiderstandes, eine Entfernung der inneren Feuchtigkeit erschwert.

Die einwandfreie Trocknung, wie sie in den fest eingebauten Vakuumkesseln der Fabriken an neuen Transformatoren erreicht wird [2], kann wegen den folgenden Verhältnissen bei der Behandlung am Aufstellungsorte kaum erhalten werden:

- a) Das an den Isolationen haftende Restöl behindert die Feuchtigkeitsabgabe und erfordert die Vakuumbehandlung oder die komplizierte Trocknung mit Hilfe von Stickstoff;
- b) Die vielen, unter Umständen gealterten Dichtungsstellen des Transformator-Kessels und -Deckels können die Anwendung des Hochvakuums verhindern;
- c) Die ausserhalb des Transformators befindliche und zudem beschränkte Heizleistung, sowie die gute Wärmeableitung des Kessels, erschweren die Anwendung hoher Temperaturen. Diese sind allerdings mit Rücksicht auf das Restöl auch nicht erwünscht.

Trotzdem gelingt es, im besondern mit der von der S. A. des Ateliers de Sécheron, Genève, angewendeten Trocknungsart, nach kurzer Zeit recht gute Trocknungsergebnisse zu erreichen. Wie aus Fig. 6 ersicht-

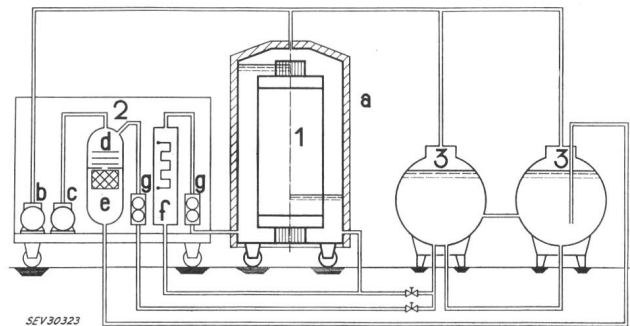


Fig. 6

Vakuumtrocknung eines umgebauten Transformators am Aufstellungsort

Trocknungsart der S. A. des Ateliers de Sécheron, Genève

1 Transformator; 2 Vakuumölaufbereitungsanlage;

3 Isolierölbehälter

a Wärmeisolation; b Vakuumpumpe für Transformator und Ölbehälter; c Vakuumpumpe für Ölaufbereitungsanlage; d Filter-

presse; e Vakuumkessel für Ölaufbereitung; f Ölheizung;

g Ölumwälzpumpen

lich ist, muss der Transformator möglichst gut wärmeisoliert werden. Dies geschieht am einfachsten mit Hilfe von Isolierkissen auf dem Deckel und des Bedeckens des gesamten Transformators mit einigen Blachen. Zunächst wird der Transformator, wie links eingezeichnet, mit dem Isolieröl gefüllt. Mit Hilfe der getrennten Hochleistungs-Heizeinrichtung der Ölaufbereitungsanlage wird er im Umlaufverfahren aufgeheizt. Gleichzeitig sind zur Schonung des Öles der Transformator und die noch leeren Behälter unter Vakuum zu setzen. Wichtig ist, dass zum Evakuieren des Transformators und der eigentlichen Ölaufbereitungsanlage je eine getrennte Vakuumpumpe eingesetzt werden kann. Denn obwohl, wie bereits erwähnt, im Transformator kaum ein Hochvakuum erreicht werden kann, besteht damit doch die Möglichkeit, mit dem zweiten Pumpensatz ein unabhängig hohes Vakuum im Ölaufbereitungskessel zu erzeugen. Die Vakuumwirkung ergibt bereits beim Aufheizen eine geringe Trocknung, insbesondere im oberen Teil des Transformators. Der intensiven inneren Verdampfung wirkt der Widerstand durch die Isolation selbst und der Druck der Ölsäule entgegen. Diese Aufheizung muss so lange durchgeführt werden, bis auch die innersten Teile des aktiven Teiles eine Temperatur von 80...90 °C sicher erreicht haben. Nun erfolgt, wie in Fig. 6 rechts eingetragen ist, die Absenkung des Öles im Transformator und die Füllung der unter Vakuum stehenden Ölbehälter. Damit der Transformator weiter geheizt werden kann, verbleibt darin noch ungefähr $\frac{1}{4}$ des Öles zur Wärmeübertragung. Durch Aufhebung, bzw. wesentliche Verkleinerung der Ölsäule, tritt nun

die angestrebte raschere Verdampfung der Feuchtigkeit im Innern der Isolation auf. Mit Hilfe des Ölaufbereitungskessels wird nun gleichzeitig in den getrennten Behältern das Öl hochwertig behandelt. Von Zeit zu Zeit kann das restliche Heizöl des Transformators mit dem aufbereiteten Öl des Behälters durchmischt werden. Nach der Trocknung des Transformators und des separaten Öles erfolgt die Vakuum-Ölimprägnierung des gesamten Transformators. Anschliessend kann

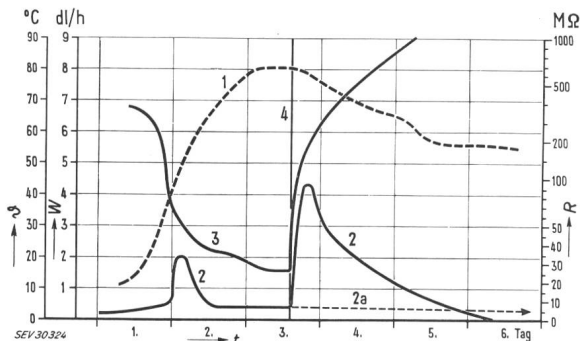


Fig. 7

Diagramm der Vakuumtrocknung eines umgebauten Transformators am Aufstellungsort

θ Temperatur; R Isolationswiderstand; W Wasserausscheidung; t Zeit
1 Temperatur im Transformator; 2 ausgeschiedene Kondenswassermenge der Vakuumpumpe des Transformators; 2a Verlauf von 2 ohne Absenken des Öles im Transformator; 3 Isolationswiderstand des Transformators (Oberspannung gegen Unterspannung und Eisen); 4 Absenken des Ölspiegels

er nochmals mit der gesamten Ölaufbereitungsanlage nachbehandelt werden.

Fig. 7 zeigt das Diagramm einer entsprechenden Trocknung. Man erkennt wie der Wasseranfall W zunächst bei steigender Temperatur, im besondern aber anschliessend nach dem Absenken des Ölspiegels stark ansteigt. Zugleich wird die angestrebte Erhöhung des Isolationswiderstandes R erreicht. Die gestrichelte Linie der Wasserausscheidung zeigt, wie die Trocknung ohne das Absenken des Ölspiegels verlaufen würde. Mit einer wesentlich längeren Behandlungszeit hätte der angestrebte Trocknungszustand kaum erreicht werden können.

Transformatoren können auch in Betrieb, somit unter Spannung, mit den Ölaufbereitungsanlagen behandelt werden. Dabei darf aber am Transformator selbst kein Vakuum auftreten. Schon bei kleinem Unterdruck kann das Isolieröl Gase ausscheiden, so dass Ionisationserscheinungen auftreten, die Zerstörungen an der Isolation zur Folge haben könnten.

Literatur

- [1] Stoll, P.: Die Aufbereitung und Regenerierung von Mineralölen unter besonderer Berücksichtigung der Transformatorenöle. Bull. SEV 52(1961)19, S. 764...770.
- [2] Goldstein, A.: Die Trocknung und Vakuumimprägnierung von Hochspannungstransformatoren und Messwandlern. Bull. SEV 52(1961)19, S. 757...764.

Adresse des Autors:

H. Hartmann, Ingenieur, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Baden (AG).

L'emploi du vide dans le séchage et le dégazage des câbles à haute tension

Conférence donnée à l'Assemblée de discussion de l'ASE, le 16 mai 1961 à Zurich
par G. Martin, Cossonay-Gare

533.5 : 621.315.2.027.3

Comparaison entre l'isolation des câbles et celle des transformateurs et étude de l'importance du séchage et du dégazage pour les câbles à masse, à huile et à pression de gaz. Enfin, description d'une installation moderne d'imprégnation des câbles à masse.

C'est l'invention de la presse à plomb par François Borel en 1879 qui a permis l'isolation des câbles selon une technique encore utilisée actuellement, car sans la protection d'une gaine métallique, le papier imprégné absorbe l'humidité et les gaz et perd rapidement ses qualités diélectriques [1]¹⁾.

En 1881 déjà, pour l'exposition de Paris, François Borel réalisait un câble isolé par du jute imprégné d'un mélange d'huile et de colophane, protégé par une gaine de plomb.

Si le jute fut remplacé plus tard par du papier, l'isolation des câbles est toujours imprégnée par des huiles minérales et protégée par une gaine de plomb, comme cela se faisait il y a 80 ans. Je m'empresse d'ajouter que si le principe n'a pas changé, la technique s'est considérablement améliorée depuis.

Contrairement à l'usage dans la fabrication des transformateurs, la viscosité des huiles employées pour les câbles varie énormément. Depuis les huiles ultrafluides des câbles à très hautes tensions jusqu'aux vaselines additionnées de polyisobutylènes et de cires microcristallines, en passant par les mélanges huile colophane, on couvre en effet à peu près toute l'échelle des viscosités.

Pour ce qui nous intéresse, ces différences de viscosité ne jouent qu'un rôle secondaire, car toutes les

Die Isolation der Kabel wird verglichen mit derjenigen der Transformatoren und die Bedeutung der Trocknung und Entgasung von Masse-, Öl- und Druckgaskabeln wird unterstrichen. Abschliessend wird eine moderne Imprägnierungsanlage für Massekabel beschrieben.

huiles minérales ont à peu près la même capacité, ou pour être plus juste la même incapacité de dissoudre l'eau [2].

Ces différentes viscosités se feront sentir dans la rapidité avec laquelle un papier imprégné reprendra l'humidité de l'air ambiant. La teneur en eau qu'attein-

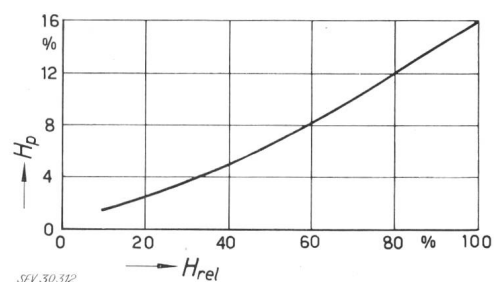


Fig. 1

Valeur finale de la teneur en humidité du papier imprégné placé dans de l'air à 20 °C en fonction de l'humidité de l'air
 H_p Humidité dans le papier; H_{rel} Humidité de l'air

dra finalement un tel papier placé dans de l'air plus ou moins humide, ne dépendra pratiquement pas de l'imprégnant. Cette valeur finale est donnée à la fig. 1 pour une température de 20 °C. Cette reprise d'eau se fait selon une courbe exponentielle avec une constante de temps pouvant aller d'environ 1 1/2 h pour du

¹⁾ Voir bibliographie à la fin de l'article.