Alterung und Verluste von Imprägniermitteln für Kondensatoren

Autor(en): **Elsner, H.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **51 (1960)**

Heft 15

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-917046

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

GEMEINSAMES PUBLIKATIONSORGAN
DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS (SEV) UND
DES VERBANDES SCHWEIZERISCHER ELEKTRIZITÄTSWERKE (VSE)

Alterung und Verluste von Imprägniermitteln für Kondensatoren [1]

Von *H. Elsner*, Fribourg

621.319.4.027.3

I. Einleitung

Die Verwendung von Kondensatoren in Hochspannungs-Anlagen, besonders zur Verbesserung der Übertragungsverhältnisse grosser Leistungen, findet in allen industrialisierten Ländern der Welt mehr und mehr Verbreitung. Da besonders der Transport von Blindleistung vom Generator zum Verbraucher mit hohen Kosten verbunden ist und nur ein kleiner Teil der Blindleistung beim Konsumenten kompensiert werden kann, sind die Produzenten und Verteiler der elektrischen Energie dazu übergegangen, die benötigte Blindleistung längs der Übertragungsleitungen möglichst gleichmässig durch Kondensatoren zu erzeugen, wobei selbstverständlich das Prinzip, dort zu erzeugen, wo verbraucht wird, auch für dieses Problem seine volle Gültigkeit hat.

Kondensatoren können heute unter Beachtung verschiedener Grundsätze so gebaut werden, dass sie eine praktisch unbeschränkte Lebensdauer aufweisen, d. h. dass die Alterung der Imprägniermittel, welche neben dem Papier als Dielektrikum den elektrisch tragenden Bestandteil des Hochspannungskondensators darstellen, auf ein Minimum beschränkt wird. Will man aber eine Alterung feststellen, so kann dies nur durch Vergleiche über die ganze Einschaltdauer geschehen. Für Forschungszwecke wäre diese Zeit in der heute rasch sich entwickelnden Technik zu lang, so dass man versucht, durch Kurzzeitprüfungen für künstliche Alterung usw. Einblick zu gewinnen in die Vorgänge im Innern eines Kondensators. Man muss sich dabei bewusst sein, dass dies in idealer Art unmöglich ist, können doch kaum alle auftretenden Betriebsverhältnisse über die ganze Einschaltdauer auf eine kurze Zeit von einigen Tagen oder Wochen zusammengedrängt werden.

II. Art der Imprägniermittel

Kannte man bis zu den 30er Jahren nur das Mineralöl und im besonderen das Transformatoröl als Imprägniermittel für grössere Papierkondensatoren für Hochspannung, so zeigte sich, dass die Chlornaphthalene, und vor allem die Chlordiphenyle in den USA besonders als Transformatorkühlmittel entwickelt, sich auch als Imprägniermittel für Kondensatoren sehr gut eignen. Diese Diphenyle, welche heute als Pyranol, Pyralène, Aroclor, Clophen, Inerten usw. in den Handel gelangen, weisen in der Tat chemische und elektrische Eigenschaften auf, welche dazu führen, dass die Mineralöle für den Kondensatorbau mehr und mehr verdrängt werden. Es wäre jedoch falsch zu sagen, dass damit das Mineralöl ganz ersetzt würde, weist es doch im Vergleich mit den Diphenylen Eigenschaften auf, welche für besondere Verwendungszwecke nur Vorteile bringen können. Es ist auch da dem Fachmann überlassen, eine eingehende Beurteilung an Hand der auftretenden Betriebsverhältnisse die Wahl zu treffen, um Vor- und Nachteile beider Mittel zum besten Einsatz zu bringen.

Stellt man diese Vor- und Nachteile einander gegenüber, so ergibt sich folgendes Bild, wobei nur die wichtigsten Gesichtspunkte berücksichtigt sind:

1. Mineralöl:

A. Vorteile:
- a) Grosse Stabilität der Kapazität und der dielektrischen Verluste auch über grossen Temperaturbereich (— 60 bis + 80 °C);
- b) Geringere Anfälligkeit auf Verunreinigungen;
- c) Gute Eindringfähigkeit, kleine Viskosität;
- d) Niedrige Verluste.

B. Nachteile:
- a) X-Wachsbildung und deshalb raschere Alterung bei starker dielektrischer Beanspruchung;
- b) Dielektrizitätskonstante geringer (2,5) als beim Papier, daher ungleiche Feldverteilung im kombinierten Dielektrikum;
- c) Brennbarkeit.

2. Chlordiphenyle:

A. Vorteile:
- a) Hohe Dielektrizitätskonstante wie beim Papier, daher gleichmässige Feldverteilung und geringeres Volumen;
- b) grössere Alterungsbeständigkeit, da keine X-Wachsbildung auftritt;

[1] Vortrag, gehalten an der International Conference for the Protection against Corrosion of Structures and Equipments of hydro-electric power Plants, am 18. September 1959 in Belgrad.

c) Höherer Ionisationseinsatz und Gasfestigkeit;
d) Unbrennbarkeit.

B. Nachteile:

a) Dispersion bei tiefen Temperaturen, infolge grosser Viskosität, daher ändern Kapazität und Verluste stark unter 0 °C je nach Chlorierungsgrad;
b) Starke Anfälligkeit auf Verunreinigungen;
c) Bei der Verarbeitung Möglichkeit von Entwicklung schädlicher Gase (Hautkrankheiten).

Fig. 1 zeigt die Abhängigkeit von Kapazität und von Verlusten der Mineralöl- und Chlordiphenyl-Kondensatoren. Es würde zu weit führen, hier auf einzelne Punkte näher einzutreten, es soll lediglich darauf aufmerksam gemacht werden, dass der starke Anstieg der Verluste bei Chlordiphenylkondensatoren kein Hindernis ist, solche Typen auch bei sehr niedrigen Temperaturen bis — 50 °C unter Spannung zu setzen [1; 2; 3] [2]).

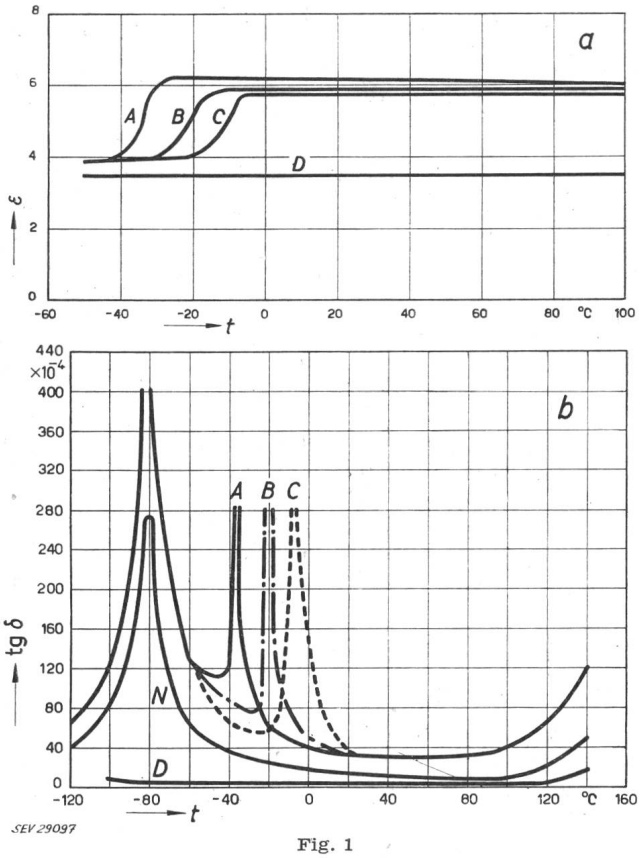

Fig. 1

Einfluss der Temperatur auf die Verluste (*a*) und auf die Dielektrizitätskonstante (*b*) von imprägniertem Papier

ε Dielektrizitätskonstante; tg δ Verlustfaktor; *t* Temperatur
A Trichlordiphenyl; *B* Tetrachlordiphenyl; *C* Pentachlordiphenyl; *D* Mineralöl; *N* nicht imprägniert

III. Beurteilung der Imprägniermittel

Das Comité International des Grands Réseaux Electriques (CIGRE) in ihrem Studienkomitee Nr. 1, sowie die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) befassen sich mit Untersuchungen und Prüfungen besonders von Transformator- und Kabelölen. Wohl besteht eine gewisse Ähnlichkeit mit den für den Kondensatorbau verwendeten Imprägniermitteln, jedoch ist es wichtig, vor allem darauf hinzuweisen, dass die dielektrische Beanspruchung des Tränkmittels in den Kondensatoren um ein Mehrfaches diejenige in Transformatoren und Kabeln übertrifft. Aus diesem prinzipiellen Unterschiede heraus erklärt sich auch das unterschiedliche Verhalten und besonders die Auswirkungen im Betrieb. Ein kleines Beispiel möge dies illustrieren. Eine Alterung des sich in einem Grosstransformator befindlichen Öles und daher X-Wachsbildung und Ablagerung fester Substanzen muss nicht unbedingt eine Ausserbetriebsetzung des Transformators, einen Durch- oder Überschlag zur Folge haben. Erst bei starker Verschmutzung und nach längerer Zeit besteht diese Möglichkeit. Auch kann durch Regenerierung des verschmutzten Öles und durch Neuimprägnierung der Transformator wieder in neuwertig betriebsfähigen Zustand gesetzt werden. Im Kabel sind die Verhältnisse im wesentlichen ähnlich dem Kondensator, jedoch sind die im Dielektrikum, d. h. in der Isolation vorhandenen Feldstärken wesentlich geringer und auch die Quantität des Imprägniermittels im Vergleich mit den verwendeten organischen Werkstoffen gering. Dies ist nicht der Fall beim Kondensator. Die hohe oder vielleicht zu hohe Beanspruchung des Dielektrikums, bestehend aus fast zu gleichen Teilen Papier und Imprägniermittel, führt zu rascher Alterung, und bereits Spuren von chemischen Zersetzungen und X-Wachsbildungen führen zum Verlustanstieg und deshalb zu thermischem Durchschlag oder zu dielektrischem Durchbruch oder Überschlag, was die sofortige Zerstörung und Ausserbetriebsetzung des Kondensators bedeutet.

Das Studienkomitee Nr. 18 (Kondensatoren) des CIGRE hat es sich zur Aufgabe gestellt, die besonderen Eigenschaften der Kondensator-Tränkmittel in einer Unterkommission zu behandeln und durch Erfahrungsaustausch gewisse Prüfmethoden zu empfehlen, welche es erlauben, durch praktische Versuche abzuklären, ob die speziellen Anwendungsbedingungen sich bereits beim Material, also beim Tränkmittel, bestimmen lassen und die Eignung für den Bau von Kondensatoren beweisen. Eine absolute Sicherheit, ob sich ein Tränkmittel für den Bau von Kondensatoren gut oder nicht eignet, kann mit solchen kurzzeitigen Untersuchungen nicht erreicht werden. Vergleiche mit anderen Materialien jedoch ergeben untereinander und mit solchen, welche gute Betriebserfahrungen zeigten, einen wesentlich besseren Gradmesser der Qualität, als eine nur oberflächliche Untersuchung, z. B. auf Säurezahl, Durchschlagfestigkeit und Verluste.

Zur Zeit stehen folgende Prüfmethoden zur Diskussion:

a) Alterung und Oxydation.

Eine bestimmte Menge des zu untersuchenden Öles wird unter Luftatmosphäre oder unter Luftabschluss ohne und mit Kupferkatalisator während 7...28 Tagen bei 115 °C gealtert. Die dielektrischen Verluste wurden bei 500 V, 50 Hz, und der Isolationswiderstand bei 85 V⎓ zu Beginn und während des Versuches in bestimmten Zeitabständen gemessen. Die Messungen zeigten, dass die Bestim-

[2]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

mung der Säurezahl keine genügend genaue Angabe über das Fortschreiten der Alterung bietet (Fig. 2).

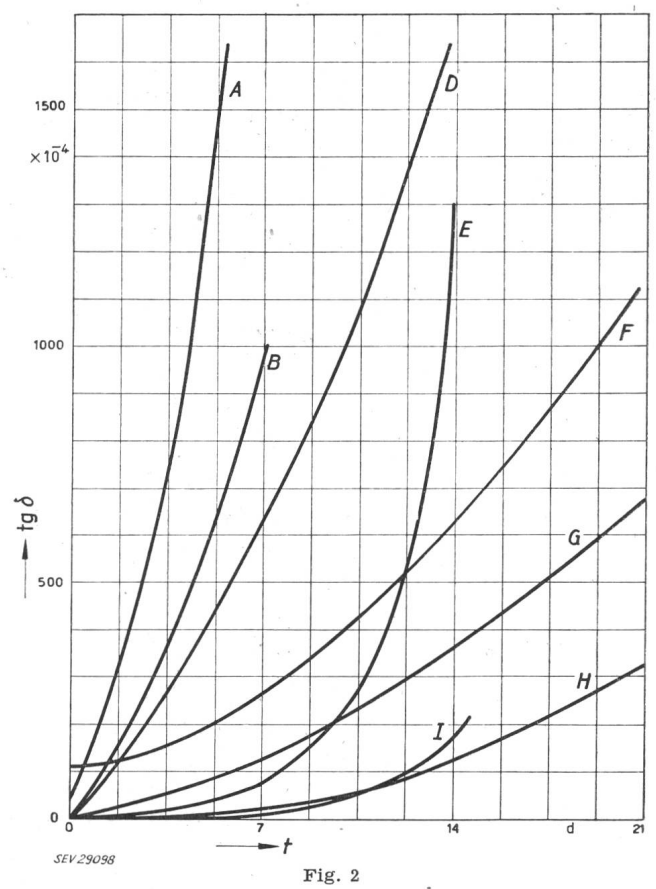

Fig. 2

Alterung verschiedener Mineralöle

Verlustfaktor tg δ in Funktion der Zeit t
Alle Werte von tg δ wurden bei 60 °C gemessen
A...I Kurven verschiedener Markenprodukte

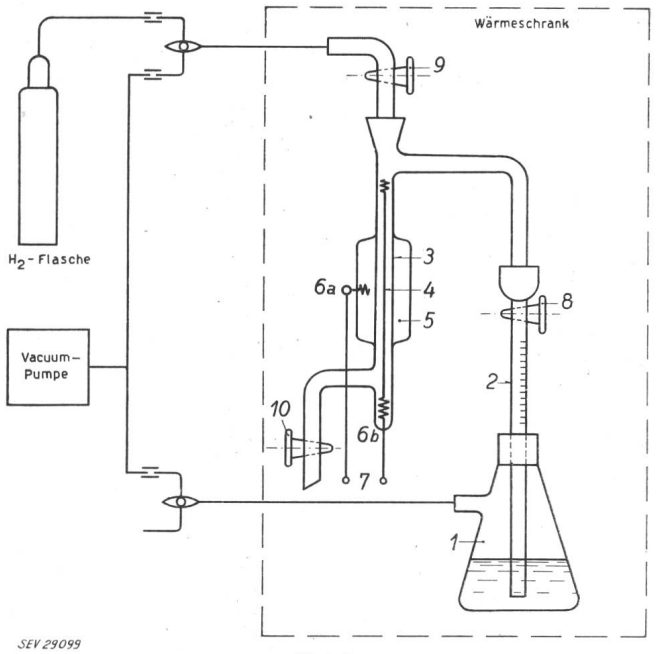

Fig. 3

Versuchsapparatur nach Dussek zur Prüfung der Gasfestigkeit eines Öles

1 Erlenmeyerkolben, 100 cm³, zur Aufnahme der Ölprobe; *2* Manometerrohr, 10 mm = 0,1882 cm³; *3* Versuchszelle; *4* innere Elektrode, 0,8 mm Platindraht; *5* äussere Elektrode, gefüllt mit H_2SO_4 2n; *6a, 6b* Elektrodenanschlüsse; *7* Spannungsquelle, 10 kV ± 0,5 kV, 50 Hz; *8, 9, 10* Absperrhahne

b) Gasaufnahme oder -abgabe.

Ob ein Tränkmittel für Kondensatoren eine eventuelle Ionisation infolge von Überspannungen ertragen, d. h. die entstehenden Gase absorbieren kann, ist im hohen Masse von seiner Gasaufnahmefähigkeit abhängig. Dies ist ein wesentlicher Grund dazu, warum bei der Condensateurs Fribourg S. A. dieser Prüfung grosse Wichtigkeit beigemessen wird. Die Untersuchungen stützen sich auf das Verhalten einer Grenzschicht Öl—Luft im elektrischen Feld. Unter Einwirkung des elektrischen Feldes kann man ein Sprudeln beobachten; geschieht dies in einem abgeschlossenen Gefäss, so tritt eine Volumenveränderung ein. Fig. 3 zeigt eine für solche Versuche geschaffene Einrichtung, welche mit Wasserstoff arbeitet. Laut [4] ist massgebend für die Bewertung die in 100 min aufgenommene oder abgegebene Gasmenge. *Wörner* [5] schlug vor, die Furfurolzahl als Bewertungsmass für Isolieröle zu verwenden. Diese zeigt jedoch kleine Unterschiede bei gasaufnehmenden Ölen und erlaubt deshalb eine nur ungenügende Beurteilung.

Aus all diesen Untersuchungen ist ersichtlich, dass Öle mit viel aromatischen Kohlenwasserstoffen gasaufnehmend sind und sich deshalb für die Verwendung in Kondensatoren besonders in Hinsicht auf ihre Ionisationsfestigkeit eignen würden. Hingegen sind es gerade diese Aromaten, welche eine

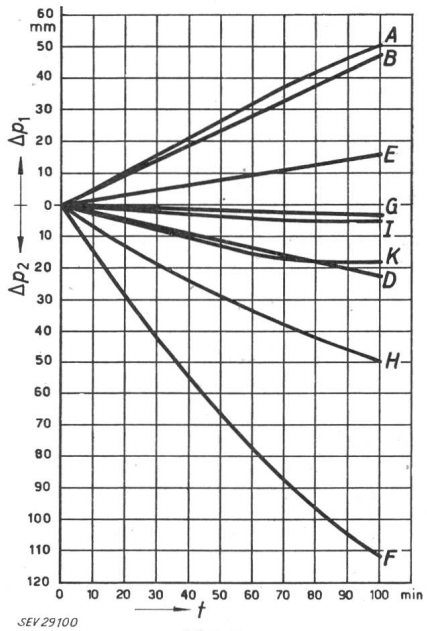

Fig. 4

Gasverhalten von Mineralölen in der Versuchsapparatur nach Dussek

Abgabe bzw. Aufnahme in cm³ = mm × 0,01882
Δp_1 Gasaufnahme; Δp_2 Gasabgabe; t Zeit
A...I Kurven verschiedener Markenprodukte

Alterung beschleunigen. Auch hier wird deshalb ein Kompromiss verlangt. Man hat auch versucht, einen hohen Raffinationsgrad, d. h. Ausscheidung der Aromate zu erreichen, um nachträglich Zusätze zum Öl zu mischen, welche ohne die Gasaufnahmefähigkeit wesentlich zu verschlechtern, die Alterungseigenschaften verbessern. Fig. 4 zeigt einige Kurven von Ölen verschiedener Herkunft, welche auf die Verschiedenheit der Gasaufnahme bzw. Gasabgabe hinweisen sollen.

c) Physikalische und chemische Eigenschaften.

Es würde zu weit führen, in diesem Rahmen alle weiteren Prüfmethoden zu besprechen, da sie zur Mehrzahl nicht die Alterung, sondern nur physikalische und chemische Eigenschaften des Öles aufzeigen, wobei es oft schwer ist, Rückschlüsse auf die Eignung der Öle als Kondensatortränkmittel zu ziehen. Verwiesen sei nur auf einige Prüfungen:

α) Der Adhäsionsfaktor mit Wasser (Interfacial tension Test — Hocking Test).

β) Ultraviolett-Absorption unter Wasserstoff-Atmosphäre.

γ) Infrarot-Spektrum-Test.

Auf einen sehr wichtigen Versuch am fertigen Kondensator, am sog. Testtyp mit kleiner Kapazität, jedoch mit dem gleichen Wickelaufbau und gleichen Imprägnation wie bei dem nachher in der Praxis verwendeten Typ, muss besonders hingewiesen werden. Zusammenfassend sollte man diese Prüfungen bezeichnen als:

d) Modell-Versuche und Ionisationstest.

Um die Untersuchungen und die Messmethoden zu vereinfachen und zu beschleunigen, werden mit den zu untersuchenden Ölen Kondensatoren von z. B. 0,5...1 µF für 500...1000 V~, 50 Hz, hergestellt. Dabei muss auf absolute Gleichmässigkeit des verwendeten Papiers, des Imprägnationsvorganges, besonders dessen Temperatur und das Vakuum geachtet werden, um Vergleiche bei den Prüfungen nicht durch Fremdeinflüsse zu verfälschen. Die so hergestellten Kondensatoren werden nun möglichst innerhalb derselben Bauweise bei verschiedenen Temperaturen mit einer gegenüber der normalen Betriebsspannung erhöhten Feldstärke während mehreren Tagen oder Wochen beansprucht. Dadurch wird eine künstliche, forcierte Alterung eingeleitet. Indem man den Verlustfaktor und den Isolationswiderstand vor, während und nach dieser Prüfung misst, erhält man bereits ähnliche Resultate wie bei der Untersuchung des Tränkmittels allein. Auch hier können Vergleiche mit Messungen an Serien von Kondensatoren, welche unter normalen Betriebsbedingungen jahrelang arbeiteten, gezogen werden.

Mit solchen Testkondensatoren kann nun auch eine andere Prüfung mit Erfolg durchgeführt werden, welche, wie keine andere, die Qualität des verwendeten Tränkmittels im Hinblick auf den Betrieb aufzeigen kann. Es ist dies die Ionisationsprüfung. Die Höhe der Ionisations-Einsatzspannung ergibt die Möglichkeit, den Sicherheitsfaktor im Normalbetrieb zu beurteilen. Überschreitet man diese Schwelle, so ist der Kondensator auf jeden Fall gefährdet, leitet doch eine nur geringe Ionisation eine starke Verminderung der Betriebssicherheit eines Kondensators ein. Verwendet man ein Imprägnieröl, dessen Gasaufnahmefähigkeit gut ist, so wird die sog. Regenerierfähigkeit bei kurzzeitiger Überspannung und längerer Ruhezeit bei konstanter Betriebsspannung dazu führen, dass das durch die Ionisation gebildete Gas voll absorbiert wird. Dauern die Überspannungen längere Zeit oder entstehen sie in schneller Folge und ist ihre Grösse höher als die Ionisations-Einsatzspannung, so hat dies eine sehr starke Herabsetzung der Ionisationsschwelle zur Folge. Dies führt, je nach angewandtem Sicherheitsfaktor, zu Ionisation und unter Umständen bereits bei normaler Betriebsspannung zur raschen Zerstörung des Kondensators, d. h. zum Wärmedurchschlag oder zum Durchbruch des Dielektrikums.

Für die Bestimmung der Ionisationsspannung wird heute die übliche Messung des Verlustfaktors als überholt und ungenau betrachtet (Ionisationsknick). Neuere Messgeräte basieren auf dem Prinzip, dass die während der Ionisation auftretenden Entladungen hochfrequenten Charakter haben. Gelingt es, diese hochfrequenten Schwingungen durch Filterung zu trennen, zu verstärken und durch oszillographische oder durch andere geeignete Messmethoden zu erfassen, so erreicht man eine wesentlich präzisere Erfassung der Ionisationsvorgänge. Auch hier sei auf die eingehende Studienarbeit des CIGRE-Komitees Nr. 18 (Kondensatoren) verwiesen [6].

e) Eigenschaften von Chlordiphenylen.

Die bisher erwähnten Prüfungen und Ausführungen zur Beurteilung der Imprägniermittel von Kondensatoren bezogen sich eindeutig auf Mineralöle. Wie bereits unter Kapitel II erwähnt wurde, haben die aufgeführten Eigenschaften der Chlordiphenyle dazu geführt, dass ihre Verwendung als Tränkmittel von Kondensatoren mehr und mehr zunimmt. In einzelnen Ländern, wie z. B. Deutschland, den USA und Frankreich werden fast ausschliesslich Kondensatoren mit diesem Imprägniermittel hergestellt. Würde man die am Mineralöl vorgenommenen Untersuchungen auf Chlordiphenyle übertragen, so zeigte sich sofort ihr grosser Vorteil. Eine messbare Alterung findet nicht statt. Diphenyle zeigen auch ein ganz anderes Verhalten bei einer Untersuchung auf Gasaufnahme oder -Abgabe. Ist bei den Mineralölen eine Zunahme der sich entwickelnden Gase und eine langsame Absorbierung durch Aromate

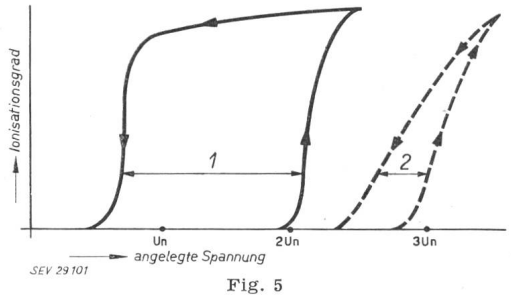

Fig. 5
Ionisation in Kondensatoren
1 mit Mineralöl-Imprägnation
2 mit Chlordiphenyl-Imprägnation

feststellbar, so zeigt sich bei den Diphenylen keine Gasentwicklung. Wenn eingeschlossene Luftmoleküle ionisieren, so hat dies keine Volumenzunahme der Gasmoleküle zur Folge: die Auswirkung einer Ionisation ist deshalb klein und lokal abgeschlossen, so dass sich mit Diphenylen imprägnierte Kondensatoren bei einmal aufgetretener Ionisation sehr rasch erholen. Zudem ist bei einzelnen Produkten dieser Art die zur Ionisation nötige Feldstärke höher als diejenige für Mineralöle. Fig. 5 zeigt die typischen Kurven solcher Ionisationen [7]. Der Um-

stand, dass Feuchtigkeit und Verunreinigungen all diese Eigenschaften wesentlich verändern können, soll im nachfolgenden noch gezeigt werden.

IV. Imprägnation

Da die Behandlung oder die Imprägnation des aktiven Teiles eines Kondensators den wohl wichtigsten Vorgang bei der Fabrikation darstellt, soll darauf besonders eingegangen werden.

Die Dauer, die Temperatur und das erreichte Vakuum bei diesem Fabrikationsabschnitt spielen für die Alterungsbeständigkeit eine primäre Rolle. Stellte man früher Kondensatorenbatterien aus grossen Einheiten bis 1000 kVar zusammen, so hat heute mit Ausnahme weniger Fabrikate z. B. in Japan, die Bausteinmontage den Vorzug erhalten. Kleine Einheiten bis max. 50 kVar werden auf Gestellen zu Batterien zusammengebaut. Dies hat auch einen wesentlichen Vorteil für die Imprägnation ergeben. Der aktive Teil wird in die Kessel vor der Imprägnation eingebaut, der Kessel teilweise bis zu einer kleineren oder grösseren Öffnung verschlossen und in dieser Form der aktive Teil in den Kesseln imprägniert. Dieses Vorgehen mit Abschliessen der noch bestehenden Öffnung sofort nach Beendigung des Imprägnationsvorganges ergibt den Vorteil, dass nachträglich keine Feuchtigkeit oder Fremdkörper (Staub usw.) in den Kondensator eindringen können. Besonders wichtig ist es selbstverständlich, dass während der Trocknung alle Feuchtigkeit, im idealen Falle die letzten Wassermoleküle aus dem zu imprägnierenden Kondensator entfernt werden. Dies wird heute, besonders bei Diphenylkondensatoren mit sehr hohen Vakua bis 10^{-3} mm Hg-Säule erreicht. Es sei hier auch speziell darauf hingewiesen, dass die zur Verwendung gelangenden Materialien für die Isolation des aktiven Teiles gegen den Kessel, der Kabel usw. sehr sorgfältig ausgewählt werden müssen. Verunreinigungen durch Lösung einzelner Substanzen wie Lacke, Harze usw. können zur vorzeitigen Alterung oder chemischen Zersetzung des Tränkmittels führen. Dies ist von besonderer Wichtigkeit bei Imprägnation mit Diphenylen, existieren doch sehr wenige Isolierstoffe, welche nicht von Chlordiphenylen angegriffen werden. Bei dieser Tränkmittelart kann die Restfeuchtigkeit bei schlechter Imprägnation zur Bildung von Salzsäure und zu einer starken Ionisation im Lichtbogen Anlass geben. Dass dies zu Korrosionserscheinungen führen kann, muss wohl nicht besonders betont werden.

V. Prüfung und Beurteilung von Kondensatoren

Dass der Verwender von Kondensatoren eine gewisse Gewähr für Betriebssicherheit und Lebensdauer der Kondensatoren erhalten will, ist eine Selbstverständlichkeit. In einer internationalen und vielen nationalen Vorschriften sind die Prüfbedingungen festgelegt. Mit einer Ausnahme, der Stabilitätsprüfung, mit welcher als Typenprüfung die thermischen Eigenschaften der Kondensatorenkonstruktion kontrolliert werden, handelt es sich um Kurzzeitprüfungen, wie Prüfung der Spannungsfestigkeit, des Verlustfaktors usw.

Die Alterung der Imprägniermittel, auch mit einer Messung des Verlustfaktors, kann damit nicht erfasst werden. Messungen an einzelnen Kondensatoren von längerer Dauer können jedoch eine Kontrolle der Qualität der Imprägnation ermöglichen, um eine frühzeitige Alterung auf ein Minimum zu beschränken. Aus diesen Messungen seien erwähnt:

a) Dauerprüfung.

Eine gewisse Anzahl einer Serie gleicher Imprägnationscharge werden 48...72 h mit 1,2 × Betriebsspannung geprüft, die Verluste vor und nach der Prüfung gemessen und miteinander verglichen. Die Verluste sollen dabei nicht ansteigen.

b) Stabilitätsprüfung.

Ein oder mehrere Kondensatoren derselben Imprägnationsserie werden bei einer Umgebungstemperatur von 40 °C an die 1,2fache Betriebsspannung angeschlossen, der Verlust und eventuell die im Innern der Wickel und an der Aussenwand des Kessels auftretende Temperatur gemessen. Die Messung erfolgt so lange, bis eine Temperatur-Stabilität erreicht ist. Aus den erhaltenen Werten kann erwogen werden, ob nicht z. B. durch zu hohe Temperatur im Innern des Kondensators eine rasche Alterung möglich ist. Als Maximaltemperaturen ohne Sicherheitsfaktor werden für Mineralölkondensatoren 70...80 °C gefordert, für Chlordiphenylkondensatoren 85...90 °C.

c) Überspannungsversuche.

Um die Untersuchungen am Kondensator den praktischen Bedingungen anzupassen, d. h. um sich durch möglichst kurzzeitige Prüfungen ein Bild zu machen, in welchem Masse auftretende Überspannungen im Netz auf den Kondensator schädlich wirken könnten, belastet man in einer Typenprüfung den zu untersuchenden Kondensator mit kurzzeitigen Überspannungsimpulsen in relativ rascher Folge. Durch Vergleich des Verlustfaktors vor und nach der Prüfung kann ermittelt werden, ob durch Ionisation eine Veränderung des Tränkmittels stattfindet, was wiederum erlaubt, Rückschlüsse auf das einwandfreie Verhalten im Betrieb zu ziehen. Nur nebenbei sei erwähnt, dass diese Prüfung auch zur Ergründung der schwächsten Stelle im Dielektrikum oder in der Isolation dienen kann.

d) Untersuchungen auf Verunreinigungen.

Wie bereits erwähnt, geben Verunreinigungen des Tränkmittels in grossem Masse Anlass zu frühzeitiger Alterung. Am dicht verschlossenen Kondensator ist schwer festzustellen, ob kleinste Fremdkörper während der Fabrikationsvorgänge eingedrungen sind. Sorgfältige, peinlich saubere, staubfreie Behandlung ist deshalb Voraussetzung. Besonders die Messung der Verlustfaktoren ist eine Methode, die geeignet ist, solche Fehler aufzudecken, jedoch nur, wenn man Vergleiche zieht und das Ansteigen in anomalem Masse feststellt. Die Grösse des Verlustfaktors selbst ist kein Mass für die Qualität, sie ist von der Art des Tränkmittels, den verwendeten Isoliermaterialien, dem Papier usw. abhängig. Einige praktische Erfahrungswerte weisen den Weg für beste Fabrikationsart, an die man sich bei den Kontrollmessungen hält.

Für Chlordiphenyle ist es möglich, durch die Bestimmung der Kennlinie der dielektrischen Ver-

luste und deren Beeinflussung der Meßspannung bei 2...3 verschiedenen Temperaturen festzustellen, ob Verunreinigungen im Tränkmittel vorhanden sind. Würden bei einer Typenprüfung Werte gemessen, wie sie Fig. 6 zeigt, so wäre es bestimmt vorteilhafter, wenn solche Kondensatoren nicht in Betrieb gesetzt werden, da ihre Lebensdauer kurz sein wird.

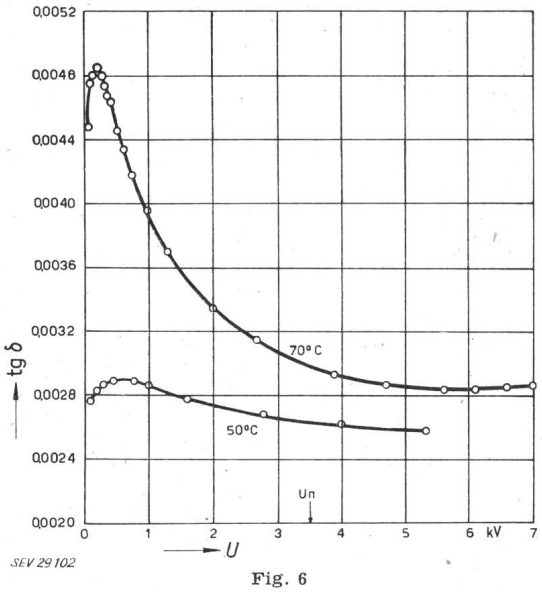

Fig. 6

Einfluss der Spannung U auf die dielektrischen Verluste tg δ von Kondensatoren mit verschmutztem Clordiphenyl

U_n Nennspannung

VI. Betriebserfahrungen

Es scheint, dass all die vorgeschlagenen und ausgeführten Versuche vor Inbetriebsetzung der Kondensatoren dazu führen sollten, dass eine maximale Betriebssicherheit und Lebensdauer erreicht wird. Trotzdem ist eine Alterung, natürlich in wesentlich kleinerem Masse, möglich. Daraus erklärt sich auch, dass an Kondensatoren im Betriebe gewisse Schutzmassnahmen getroffen werden, dies besonders, um Katastrophen und Betriebsunterbrüche zu vermeiden. Die erzeugte Blindleistung benötigt man, ob es sich um eine Shuntbatterie handelt oder noch mehr bei Seriekompensation, ja vor allem in kritischen Situationen. Ein längerer Betriebsunterbruch der Batterie kann bedeutende Verluste finanzieller und betrieblicher Art verursachen.

Wesentlich ist vor allem, dass die Betriebsbedingungen, Überspannungen, Einschaltdauer, Minimal- und Maximaltemperatur usw. der Kondensatoren bekannt sind und diese entsprechend dimensioniert werden. Überspannungen können beim Ein- und Ausschalten durch Rückzündungen der Schalter auftreten und es ist deshalb von besonderer Wichtigkeit, zum Schalten von Kondensatoren nur rückzündungsfreie Schalter zu verwenden oder solche mit Seriewiderstand oder Drosselspule.

Die fortschreitende Alterung der Kondensatoren kann durch periodische Kontrolle der Verluste festgestellt werden. Ein stetiges Ansteigen derselben weist auf ein Anwachsen der Alterung hin. Bei Batterien mit grosser Anzahl von Einheiten ist diese Kontrolle allerdings nur durch Stichproben möglich. Neuerdings wird von *Fabre* [8] empfohlen, mit einem Absorptiometer die remanente Ladung an einem Kondensator zu messen. Dieses Messgerät arbeitet nach folgendem Prinzip:

Der zu prüfende Kondensator wird mit einem Gleichstrom von 200...400 V geladen. Ein Galvanometer misst den mittleren Entladestrom und darauf in anderer Schaltart die nach Kurzschliessung des Kondensators verbleibende remanente Ladung infolge der Polarisation des Dielektrikums. Das Verhältnis der beiden Werte ergibt eine Grösse, welche sich auf den Zustand des aktiven Teiles des Kondensators, unabgesehen von seiner Grösse, in Beziehung bringen lässt, d. h. die Alterung, Aufnahme von Feuchtigkeit, Oxydation, Verschmutzung des Tränkmittels beeinflussen diese Messwerte sehr stark. Da eine Messung sehr kurze Zeit erfordert, ergibt diese Kontrolle grosse Vorteile für die periodische Überwachung einer Kondensatorenbatterie. Mit dieser Methode liegen noch wenig praktische Ergebnisse vor und weitere Grundlagenforschungen sind am Platze. Der Absorptiometer kann auch für die laufende Kontrolle des Tränkvorganges verwendet werden.

Der Schutz einer Kondensatorenbatterie gegen Alterungsdefekte kann auf verschiedene Art erfolgen. Es sei hier nur darauf hingewiesen, dass z. B. der Vergleich des Stromes zweier Teile einer Batterie gegenüber den Sternpunkt mittelst eines Relais eine Überwachung ermöglicht. Bei Ausfallen eines Teiles wird die gesamte Batterie ausgeschaltet. Andere Systeme führen zum selben Resultat, haben aber den Nachteil, dass die defekten Einheiten in teils langwieriger Sucharbeit ersetzt werden müssen. In den USA ist man zur Absicherung einzelner Gruppen von Elementen oder aller Einheiten übergegangen, wobei z. B. anzeigende Sicherungen verwendet werden, um die defekte Einheit sofort aufzufinden. Absicherung der einzelnen Wickel im Innern des Kondensators ist besonders bei Serieschaltungen nicht vorteilhaft, da die Kurzschlussströme zu klein sind. Eine Überwachung der Phasenströme durch Überstrom-Relais, periodische Kontrolle des Zustandes der Kondensatoren auf Aufblähung infolge Gasbildung, Vergleiche der Phasenströme usw. können relativ einfache Massnahmen sein, den einwandfreien Betrieb einer Batterie zu überwachen.

VII. Zusammenfassung

Es ist nicht sehr leicht, die Alterung der Tränkmittel für Kondensatoren ganz zu verhindern. Geeignete Massnahmen und Messungen, sorgfältige und saubere Fabrikation sowie zahlreiche Prüfungen können jedoch dazu beitragen, dass Ausfälle an Batterien auch nach sehr langer Betriebsdauer auf ein Minimum beschränkt werden. Die Art des Tränkmittels hat einen sehr grossen Einfluss auf das Verhalten der Kondensatoren, und es scheint, dass besonders die Chlordiphenyle grosse Vorteile in dieser Hinsicht bringen, obwohl hier Verunreinigungen einen wesentlich grösseren Einfluss haben können als bei Mineralöl. Eine den Betriebsbedingungen angepasste Feldstärke im Dielektrikum, sorgfältige Wahl der Konstruktionsmaterialien und laufende Kontrolle der im Betrieb eingesetzten Kondensatoren dienen dazu, den Ausfall ganzer Batterien zu vermeiden. Kurzzeitprüfungen, erfolgen sie noch so

gründlich, können nie die jahrelange Erfahrung ersetzen und es kann nicht genügend darauf hingewiesen werden, dass nur die Kenntnis aller, die Qualität eines Kondensators beeinflussenden Faktoren Gewähr bietet, die Lebensdauer als unbeschränkt zu betrachten.

Literatur

[1] *Liebscher, F.:* Leistungskondensatoren für tiefe und hohe Temperaturen. Elektr.-Wirtsch. Bd. 56(1957), Nr. 8, S. 245...250.

[2] *Elsner, H.:* Quelques aspects comparatifs sur les nouveaux imprégnants pour condensateurs. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 17. Session 1958, Bd. 2, Rapp. 130.

[3] *Claussnitzer, W.:* Untersuchungen über das Betriebsverhalten von Starkstromkondensatoren mit Clophen-Papier-Dielektrikum bei Aussentemperaturen von — 50 bis + 80 °C. VDE-Fachber. Bd. 19(1956), Teil I, S. I/81...I/92.

[4] *Wörner, Th.:* Über die Gasfestigkeit von Isolierölen im elektrischen Feld. ETZ Bd. 72(1951), Nr. 22, S. 656...658.

[5] *Wörner, Th.:* Die Furfurolzahl als Bewertungsmass für Isolieröle. ETZ-A Bd. 74(1953), Nr. 17, S. 513...514.

[6] *Zanobetti, D., Ph. R. Coursey, C. G. Garton, A. Déjou, P. Gaussens* und *G. Soulages:* L'ionisation dans les condensateurs industriels. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 17. Session 1958, Bd. 2, Rapp. 141.

[7] *Clark, F. M., Ph. R. Coursey, F. Liebscher, K. W. Potthoff* und *F. Viale:* Emploi des liquides ininflammables d'imprégnation dans les condensateurs et transformateurs électriques. Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), 17. Session 1958, Bd. 2, Rapp. 119.

[8] *Fabre, J.:* Un nouvel appareil d'essais des isolations au papier imprégné: L'absorptiomètre à récurrence. Rev. gén. Electr. Bd. 66(1957), Nr. 9, S. 447...457.

[9] *Meier, K.:* Elektrische Eigenschaften von Starkstromkondensatoren. Bull. SEV Bd. 49(1958), Nr. 2, S. 37...45.

Adresse des Autors:
H. Elsner, Direktor der Condensateurs Fribourg S. A., Fribourg.

Poste de couplage à 220 kV de Chamoson

Par *J. Dietlin*, Lausanne

621.311.4-742.027.82(494.444)

Le poste de couplage à 220 kV de Chamoson de la S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse, centre d'interconnexion des réseaux à très haute tension, construit en Valais, est une des installations les plus importantes de ce genre en Suisse. Plusieurs innovations ont été apportées dans cette réalisation, entre autres, une charpente métallique d'une conception nouvelle, l'utilisation de sectionneurs du type à «pantographe» avec commande à distance hydraulique, un poste de commande avec pupitres de forme moderne et schéma lumineux incorporé en 5 couleurs commutables désignant les services séparés. Un de ces pupitres est équipé d'un dispositif très développé de téléréglage et télémesure avec 2 régulateurs de réseau électroniques. Enfin un équipement d'engins modernes de transport et de levage spécialement étudié, a facilité considérablement les travaux de montage en en réduisant la durée.

Die in Chamoson (Unterwallis) durch die S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse erstellte 220-kV-Freiluftanlage ist einer der wichtigsten Knotenpunkte des schweizerischen Höchstspannungsnetzes. Diese Schaltanlage weist einige technisch interessante Neuerungen auf, u. a. neuartige Eisengerüste; in grosser Anzahl verwendete Pantographentrennschalter mit hydraulischer Fernsteuerung; einen Kommandoraum mit voneinander abhängigen neuartigen Schaltpulten mit kombiniertem Schalt- und Leuchtschema, umschaltbar auf 5 verschiedene Farben entsprechend den verschiedenen Betriebsarten. Ein Schaltpult ist ausgerüstet mit weitgehend entwickelten Geräten für Fernsteuerung und Fernmessung mit 2 Digital-Netzreglern. Moderne, schienenlose Hebe- und Transportgeräte gestatteten eine Vereinfachung der Montage der Gerüste und eine Verkürzung der Montagezeit.

I. Introduction

Le poste de couplage à 220 kV de Chamoson, appartenant à la S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS), à Lausanne, a été projeté et construit par cette société dans le cadre des nouveaux équipements hydro-électriques du Valais, en particulier ceux de la Grande Dixence S. A. (GD), comme centre d'interconnexion des réseaux à très haute tension.

Il est situé à proximité immédiate de l'usine de Nendaz de GD, mais sur la rive droite du Rhône à 1 km environ au Sud-Est du village de St-Pierre de Clages.

Cette installation permet, entre autres:

a) de relier les 2 usines de Fionnay et de Nendaz, de la Grande Dixence S. A., sur le réseau de lignes à 220 kV traversant le Valais;

b) de servir de point de départ aux différentes lignes allant vers la Suisse romande et la Suisse alémanique, d'une part, et vers les réseaux français et italiens, d'autre part;

c) de servir de poste de couplage entre les réseaux d'EOS à 130 kV et 220 kV avec possibilité, après transformation, d'injecter dans les réseaux 220 kV toute la production des usines d'EOS en Valais;

d) de fonctionner comme centre de téléréglage et de télémesure des réseaux raccordés.

II. Description des ouvrages

(fig. 1)

A. Généralités

Le poste de couplage de 300 m de long sur 200 m de large environ, c'est-à-dire un des plus grands de Suisse, est implanté parallèlement au Rhône dans l'axe de la vallée, soit dans la même direction que celle des lignes à 220 kV traversant le Valais. Le raccordement de l'usine de Fionnay au poste de couplage est réalisé par 2 lignes aériennes venant du Sud et traversant le Rhône. Enfin, les groupes alternateurs-transformateurs de l'usine de Nendaz, en montage bloc, sont raccordés au moyen de câbles à 220 kV traversant également le Rhône et répartis par moitié, sur un pont de service et sur une passerelle.

Le raccordement du poste aux réseaux interconnectés est réalisé au moyen des lignes à 220 kV suivantes:

du côté Est:	2 ternes vers le Creux de Chippis–Mörel; 2 ternes vers le Sanetsch–Mühleberg;
du côté Ouest:	2 ternes vers Riddes–Génissiat; 2 ternes vers Riddes–Col des Mosses–Mühleberg; 1 terne vers le Grand St-Bernard et l'usine d'Avise, dans le Val d'Aoste; 1 terne vers Romanel–Lausanne.