

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 38 (1947)
Heft: 15

Rubrik: CIGRE : Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension : 11. Session, Paris 1946 [Fortsetzung]

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.01.2026

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

CIGRE

Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension

11. Session, Paris 1946

(Fortsetzung von Seite 381)

061.3 : 621.3

1. Sektion

Gruppe 15: Leistungsschalter

621.316.57

621.316.92 : 621.316.57.064.22

A. Die ultraschnelle Wiedereinschaltung der automatischen Schalter. — Theoretische Erwägungen. — Prüfversuche. — Praktische auf dem Netz des Verbandes der Elektrizitätswerke Linalux erworbene Erfahrung. Referat von S. Margoulies und E.-H. Hubert. Das Referat, Nr. 105 (Belgien), umfasst 15 Seiten Text mit 10 Figuren und 2 Tabellen im Text.

Die ultraschnelle Wiedereinschaltung der automatischen Schalter einer Verbindungsleitung zwischen zwei Netzen muss folgenden Bedingungen entsprechen:

1. Ultraschnelle Beseitigung des Fehlers, der die Öffnung der automatischen Schalter hervorgerufen hat;
2. die Wiedereinschaltung in einer genügend kurzen Zeit, damit die Wiederaufnahme des Synchronbetriebes zwischen den Netzen möglich ist, wobei jedoch diese Zeit zur sicheren Entionisierung der Stelle des Fehlerlichtbogens genügen muss, damit eine neue Zündung im Augenblick des Wiedereinschaltens verhindert wird.

Indem die Verfasser die Bedingungen des Gelingens einer Wiedereinschaltung vom theoretischen Standpunkt aus untersuchen, ziehen sie 1. die Faktoren in Betracht, die die Wiederaufnahme des synchronen Betriebes zwischen den durch eine Ausschaltung voneinander getrennten Netzen beeinflussen, untersuchen sie 2. die Möglichkeit einer Bestimmung des Gelingens der Wiedereinschaltung, 3. die Kenngrößen der Netze, welche die Wahrscheinlichkeit oder Sicherheit des Wiedereinschaltens abzuschätzen gestatten, und 4. die Wirtschaftlichkeit.

Verschiedene Varianten, welche die gestellten Fragen beantworten und auf alle Netze anwendbar sind, wurden von den Verfassern ausgearbeitet, wobei vor allem die Phasenverschiebung zwischen den Spannungen der beiden verbundenen Netze als wichtiges Element benützt wurde.

Die erhaltenen theoretischen Ergebnisse wurden durch die praktischen Versuche, welche die Verfasser auf dem 70-kV-Netz des Verbandes der Elektrizitätswerke Linalux durchgeführt haben, recht gut bestätigt. Die Doppelleitung Rimièr-Aubange, für 150 kV gebaut, wurde 1941 mit Druckluftschaltern mit ultraschneller Wiedereinschaltvorrichtung ausgerüstet. Auf dieser Leitung wurden künstlich einphasige oder dreiphasige Ueberschläge eingeleitet, deren Abschaltungen im Referat oszillographisch dargestellt sind. Die Wiedereinschaltanlage wurde 1942 endgültig in Dienst gestellt. Während der Zeit vom November 1945 bis Februar 1946 sprach die Anlage 13mal an; 7mal gelang die Wiedereinschaltung, 6mal ergab sich die endgültige Ausschaltung; es ist zu erwähnen, dass diese sechs Fälle durch Kriegseinwirkung verursacht wurden. Die Verfasser glauben trotz der kurzen Betriebszeit sich über die Anlage günstig aussprechen zu können.

621.316.92 : 621.316.57.064.22

B. Die Wirksamkeit der ultraschnellen Wiedereinschaltung. Referat von Philipp Sporn und J.-H. Kinghorn. Das Referat, Nr. 106 (Vereinigte Staaten von Amerika), umfasst 12 Seiten Text mit 6 Figuren und 1 Tabelle im Text.

Es wird eingangs erwähnt, dass die Gesamt-Abschaltzeiten der in den ersten Anlagen mit ultraschneller Wiedereinschaltung verwendeten Oelschalter 8 Perioden entsprachen. Bei den modernen Schaltern ist diese Dauer für Apparate für 132 kV auf 5 Perioden herabgesetzt worden, beträgt aber immer noch 8 Perioden für Apparate, deren Spannung zwischen 14 und 66 kV liegt.

Die ersten Schalter mit ultraschneller Wiedereinschaltung enthielten eine von einem Motor vorgespannte Feder und eine Vorrichtung zum gewöhnlichen Einschalten. In den modernen Schaltern führt ein Druckluftmechanismus diese beiden Funktionen aus. Die Druckluft wird von einem Kompressor geliefert, der durch einen von der Akkumulatoren-

batterie der Anlage gespeisten 220-V-Motor angetrieben wird, so dass man keine Leiter mit grossem Querschnitt und keine Akkumulatorenbatterien grosser Kapazität braucht.

Die anfänglich gewählte Abschaltdauer von 10 Perioden hat sich als hinreichend zur Sicherstellung der Entionisierung des Lichtbogens an der Fehlerstelle erwiesen. Die Verfasser glauben, dass die Gesamt-Wiedereinschaltdauer für die in 5 Perioden abschaltenden Schalter auf 15 Perioden herabgesetzt werden könnte, und auf 12 oder 13 Perioden für die in 3 Perioden abschaltenden Schalter, sofern diese Ausführung möglich ist.

Die Verfasser legen die Ergebnisse dar, die im Netz der American Gas and Electric Company gemacht wurden. Dieses Netz umfasst 91 Anlagen, welche mit Schaltern mit ultraschneller Wiedereinschaltung in Speiseleitungen von 154 kV (72 km), 132 kV (4000 km), 110 kV (103 km) und 66 kV (1100 km) versehen sind.

Während 9 Jahren Betrieb führten 635 durch Ueberschläge eingeleitete Abschaltungen in 89,8% zu erfolgreichen Wiedereinschaltungen.

Die Verfasser zeigen, dass die erfolglosen Wiedereinschaltungen hauptsächlich auf den Doppelleitungen auftreten; in 80% dieser Fälle resultierte eine normale Wiedereinschaltung einer der Leitungen. Die Verfasser kommen zum Schluss, dass die ultraschnelle Wiedereinschaltung die wirtschaftlichste und sicherste Massnahme zur Verbesserung der Betriebssicherheit der Hochspannungsfernleitungen bildet.

621.316.5.064.2

C. Probleme der Abschaltung von Wechselströmen sehr hoher Spannung bis 400 kV. Referat von H. Thomen. Das Referat, Nr. 109 (Schweiz), umfasst 18 Seiten Text mit 11 Figuren im Text.

Die zur Ausführung von Fernübertragungen mit Wechselstrom von 400 kV aufgestellten Projekte führten zur Untersuchung der besonderen Verhältnisse bei den zum Schutz dieser Netze bestimmten Schaltern. In dieser Hinsicht bildet die maximale wiederkehrende Spannung an den Klemmen eines der Pole der Schalter einen der wichtigsten Faktoren für die Bestimmung der Schalterabmessungen. Diese Spannung erreicht den höchsten Wert bei Abschaltung während der Opposition der Phasen, was bei Fernübertragung von hohen Leistungen auf grosse Distanzen nicht mehr vernachlässigt werden kann; die maximale Spannung beträgt 1,6mal die Phasenspannung mal 1,5, wenn die Nullpunkte der Netze direkt, und 2,3mal diesen Wert, wenn sie über Löschspulen geerdet sind, was die Vorteile einer direkten Erdung zeigt.

Die Schnelligkeit des Anstiegs der maximalen wiederkehrenden Spannung an den Klemmen eines Pols bildet einen wichtigen Faktor für das Ausschaltvermögen der Schalter, gleich welchen Typs. Die Berechnung für 400-kV-Netze basiert auf Ersatzschemata mit Induktivitäten und Kapazitäten. Es zeigt sich, dass die maximal vorkommende Kurzschlussleistung an einem Netzknoten nie gleichzeitig mit dem maximalen Spannungsanstieg vorkommt.

Der Verfasser betont das Interesse an 400-kV-Schaltern mit mehrfachen Löschkammern, welche durch den Versuch mit beschränkter Leistung an einer einzigen Kammer das Ausschaltvermögen eines Schalters sehr hoher Leistung zu bestimmen erlauben. An diesen Schaltern gestattet die Verwendung von Kapazitäten und Regulierwiderständen, eine günstige Spannungsverteilung zu erreichen. Die Druckluftschalter mit mehrfachen Löschkammern und intensiver Spülung eignen sich besonders zur Abschaltung leerlaufender, langer 400-kV-Leitungen; bei diesem Vorgang bleibt die Leitung nach Abschalten des Stromes bei seinem Durchgang durch Null auf dem Wert der Betriebs-Spitzenspannung, sodass die Spannung an den Klemmen des Schalters 0,01 s nach der Abschaltung doppelt so hoch wird. Es ist nötig, dass die Spülung während dieser kurzen Zeit zwischen den Kontakten eine genügende Durchschlagfestigkeit herstellt, damit keine Rückzündungen auftreten.

Im letzten Teil des Referats erwägt der Verfasser das Problem der schnellen Wiedereinschaltung in einem 400-kV-Netz. Hier kommen die Kapazitätsrestströme zur Wirkung, welche bei Anwendung der ein- und zweipoligen Wiedereinschaltung die Entionisierung an der Kurzschlußstelle erschweren oder sogar verhindern. Es ist deshalb zu empfehlen, die Leitung in einzelne Strecken aufzuteilen, oder rasch arbeitende Erdungsvorrichtungen zu verwenden, die mit dem Schalter zusammenarbeiten.

621.316.5.064.2

D. Untersuchung der grössten Ströme und Spannungen, die einen Leistungsschalter in einem Einphasen- oder Mehrphasennetz bei der Ausschaltung von Kurzschlüssen beanspruchen können. Referat von E. Vogelsanger. Das Referat, Nr. 119 (Schweiz), umfasst 29 Seiten Text mit 43 Figuren und 1 Tabelle im Text.

Der Verfasser betrachtet einen Kuppelschalter, der zwei ein- oder mehrphasige Erzeugernetze miteinander verbindet und untersucht die Ströme und wiederkehrenden Spannungen, die in den einzelnen Schalterpolen auftreten, wenn Kurzschlüsse ausgeschaltet oder die ausser Tritt gefallenen Netze getrennt werden müssen.

Für die Wahl des Schalters wird im allgemeinen die grösste Beanspruchung beim Ausschalten eines allphasigen Kurzschlusses zugrunde gelegt. Im isolierten Dreiphasennetz ist dies z. B. der einfache Phasen-Kurzschlußstrom als zu unterbrechender Strom und die anderthalbfache Phasenspannung als wiederkehrende Spannung. Ist der Schalter ein Kuppelschalter, welcher zwei Erzeugernetze miteinander verbindet, so können sich aber in besonderen Fällen für einzelne Schalterpole noch weit grössere Beanspruchungen ergeben. Die besonders ungünstigen Fälle sind:

1. Das gleichzeitige Auftreten von zweiphasigen Kurzschlüssen und Erdschlüssen in bestimmter Verteilung in den beiden gekuppelten Netzen.
2. Das Aussertrittfallen der gekuppelten Netze, besonders wenn es mit zwei Erdschlüssen beidseits des Schalters verbunden ist.

Für isolierte Dreiphasennetze ergeben sich aus den erstgenannten Störungen, also aus Kurzschlüssen und Erdschlüssen in beiden Netzen, die folgenden grössten Beanspruchungen eines Schalterpols: Der grösste Strom ist grösser als der des Kurzschlußstromes des einen Netzes ($\sqrt{3}$ mal, wenn die beiden Netze annähernd gleicher Leistung sind), aber kleiner als der gesamte Kurzschlußstrom der verbundenen Netze. Von den 3 Polen des Schalters führt nur einer diesen Strom, und auch nur solange bis einer der anderen beiden Pole gelöscht hat. Die grösste wiederkehrende Spannung wird gleich der 2,3fachen Phasenspannung oder gleich der 1,33fachen verketteten Netzspannung. Sie tritt am zuletzt löschenden Schalterpol auf und muss daher von diesem bewältigt werden können. Die grösste Ausschaltleistung eines Poles überschreitet in keinem Fall diejenige des dreiphasigen Kurzschlusses in einem Netz (d. h. die Hälfte der dreiphasigen Kurzschlussleistung des stärkeren Netzes). Dabei werden allerdings Störungen nicht berücksichtigt, welche vor dem Ausschalten des Schalters parallele Kurzschlusskombinationen enthalten. Solche Fälle sind nur dann möglich, wenn in beiden Netzen gleichzeitig metallische Kurzschlüsse bestehen, oder wenn ein weiterer Kurz- oder Erdschluss entsteht, nachdem schon ein Schalterpol gelöscht hat. Praktisch dürften sie wohl kaum auftreten; will man sie dennoch berücksichtigen, so erhöht sich (bei einer bestimmten Verteilung von Erdschlüssen und zweiphasigen Kurzschlüssen) die grösste wiederkehrende Spannung auf die 2,6fache Phasenspannung und die grösste Ausschaltleistung auf $\frac{3}{4}$ der dreiphasigen Kurzschlussleistung der gekuppelten Netze.

Bei einer Trennung ausser Tritt gefallener Netze kann die wiederkehrende Spannung an einem Schalterpol bis zur dreifachen Phasenspannung ansteigen. Sind beide Netze noch von annähernd derselben Leistung, so muss ein Schalterpol die Hälfte der dreiphasigen Kurzschlussleistung der gekuppelten Netze bewältigen, d. h. doppelt so viel als beim dreiphasigen Kurzschluss in einem der beiden Netze. Erfolgt das Aussertrittfallen der Netze im Zusammenhang mit Kurzschlüssen oder Erdschlüssen in beiden Netzen, so kann als grösste wiederkehrende Spannung die 3,46fache Phasenspannung oder die doppelte verkettete Spannung an einem Schalterpol auftreten. Alle diese Beanspruchungen sind allerdings

daran gebunden, dass sich die beiden Netzspannungen im Schaltmoment gerade in Phasenopposition bzw. in einer anderen ganz bestimmten Phasenlage befinden.

Sind die Sternpunkte der Stromerzeuger in beiden Netzen geerdet, so treten dieselben höchsten Ausschaltleistungen und derselbe grösste Strom auf wie in isolierten Netzen, doch bleibt die wiederkehrende Spannung auf die verkettete Spannung — bzw. auf die doppelte Phasenspannung in ausser Tritt gefallenen Netzen — beschränkt.

Zweiphasennetze ergeben ähnliche Verhältnisse wie Dreiphasennetze. Einphasennetze dagegen verhalten sich viel einfacher. Hier ist die doppelte Phasenspannung als wiederkehrende Spannung beim Trennen von in Phasenopposition befindlichen Netzen die einzige ausserordentliche Beanspruchung, die an einem Schalterpol auftreten kann.

Der Verfasser macht darauf aufmerksam, dass alle Störungen, die zu ausserordentlichen Schalterbeanspruchungen führen, sehr selten sind. Sieht man vom Aussertrittfallen der Netze ab, so müssen zweiphasige Kurzschlüsse oder Kurzschlüsse und Erdschlüsse gleichzeitig auf beiden Seiten des Schalters auftreten; was aber sehr unwahrscheinlich ist. Von praktischer Bedeutung ist dabei wohl nur der Doppelerdschluss, der im isolierten Dreiphasennetz an einem Schalterpol eine wiederkehrende Spannung von der Höhe der verketteten Spannung ergibt.

Auch das Aussertrittfallen der Netze ist eine Störung, die im modernen Netzbetrieb nur selten vorkommen sollte. Durch die Schnellregulierung von Frequenz und Spannung, sowie durch die automatische Schnellwiedereinschaltung innert kürzester Zeiten wird solchen Störungen entgegengewirkt. Ferner gehen die Netzspannungen beim Aussertrittfallen der Netze zunächst von der Gleichphasigkeit aus und benötigen mindestens einige Zehntelsekunden, bis sie in Phasenopposition auseinandergefallen sind. Der Schalter kann daher, falls er durch die Ausgleichströme momentan ausgelöst wird, die beiden Netze trennen, bevor eine gefährliche Phasendifferenz erreicht ist.

621.316.57.064.25

E. Neuere Untersuchungen über die Lichtbogenlöschung in ölarmen Schnellschaltern. Referat von E. Vogelsanger. Das Referat, Nr. 121 (Schweiz), umfasst 27 Seiten Text mit 13 Figuren im Text.

Der Verfasser berichtet über die Resultate von Ausschaltversuchen mit ölarmen Schaltern vom Typ «Invertex». Diese durch grosse Einfachheit und Betriebssicherheit gekennzeichneten Schalter werden für Spannungen von 10...220 kV und für Ausschaltleistungen bis zu 5 GVA¹⁾ gebaut. Sie eignen sich auch gut für die automatische Schnellwiedereinschaltung, was durch viele Versuche nachgewiesen wurde. Gegenüber ihrem Hauptkonkurrenten, dem Druckluftschalter, weisen sie unter anderem die folgenden Vorteile auf: Unabhängigkeit von einer Druckluftanlage, Unempfindlichkeit gegen hohe Eigenfrequenzen der wiederkehrenden Spannung und — als Folge der Oelisolierung — Unempfindlichkeit gegen Witterungseinflüsse bei Freiluftschaltern.

Nach einem allgemeinen Abriss über die Lichtbogenlöschung bei Wechselstrom tritt der Verfasser auf die Wirkungsweise der in seinen Schaltern verwendeten Löschkammer ein. Durch die besondere Konstruktion dieser Löschkammer wird der Lichtbogen auf seiner ganzen Länge in möglichst engem Kontakt mit der Oeloberfläche gehalten, während das entstehende Gas dauernd aus der Kammer abströmen kann. Aus der Beobachtung der Lichtbogenspannung lässt sich die Kühlwirkung des Gases auf den Lichtbogen beurteilen. Bei grösserem Strom ($I \geq 200$ A) nimmt die Lichtbogenspannung bei einer kritischen Lichtbogenlänge plötzlich stark zu, und zwar um so steiler, je grösser der Strom ist. Es ist anzunehmen, dass in diesem Augenblick eine lebhaftete Kühlung durch direkt in den Bogen eindringenden Oeldampf einsetzt. Die kritische Bogenlänge hängt vom Schalter ab, und zwar besonders von den Strömungsverhältnissen in der Kammer und von der Schaltgeschwindigkeit. Durch die Kühlung des Bogens ist auch die Löschwirkung gegeben. Die Abhängigkeit der Löschdistanz vom Strom und wiederkehrender Spannung zeigt dies sehr schön, indem — ausgenommen bei sehr kleinen Strömen oder sehr kleinen Spannungen — nie eine Löschung erfolgt, bevor die kritische Lichtbogen-

¹⁾ 1 GVA (Gigavoltampere) = 10^9 VA = 10^6 kVA (1 Million kVA).

länge erreicht ist. Nach deren Ueberschreiten vollzieht sich aber die Löschung um so rascher, je grösser der Strom ist, entsprechend der rascheren Zunahme der Kühlwirkung bei grösserem Strom. Dies bedeutet, dass der ölarme Schalter um so besser löscht, je grösser der auszuschaltende Kurzschlussstrom ist, und dass somit seine Ausschaltleistung nur durch die mechanischen Beanspruchungen infolge des entstehenden Gasdruckes begrenzt sein kann.

Für die mechanischen Beanspruchungen durch den Gasdruck erweist sich die im Lichtbogen umgesetzte Energie, die sogenannte Lichtbogenarbeit, als von ausschlaggebender Bedeutung. Aus der bekannten Proportionalität zwischen entwickelter Gasmenge und Lichtbogenarbeit folgt auch eine solche zwischen dem Druck in der Löschkammer und der Lichtbogenarbeit. Unter der Voraussetzung, dass der grösste Teil der Lichtbogenarbeit in der letzten Stromhalbwellen umgewandelt wird, berechnet der Verfasser den folgenden Ausdruck für den grössten Gasdruck (p) in der Löschkammer:

$$p \text{ (kg/cm}^2\text{)} \approx 0,8 \frac{A \text{ (kW s)}}{S \text{ (cm}^2\text{)}}$$

wobei A die Lichtbogenarbeit und S den Querschnitt der Düse bedeutet, durch welche das Gas aus der Kammer ausströmen kann.

Für die grösste auftretende Lichtbogenarbeit (die einzelnen Werte streuen naturgemäss sehr stark) ergibt sich aus einer grossen Zahl von Ausschaltversuchen die folgende Abhängigkeit vom Strom und von der wiederkehrenden Spannung:

$$A_{\max} = K \cdot I^{1,2} \sqrt{U}$$

Die Konstante K wird dabei durch den Schalter und die Schaltgeschwindigkeit bestimmt. Die Lichtbogenarbeit — und damit der Gasdruck in der Löschkammer — steigt also bei zunehmendem Strom steiler an als bei zunehmender Spannung.

Dieses Ergebnis ist von besonderer Bedeutung bei der Prüfung von Schaltern, deren Ausschaltleistung die Kurzschlussleistungen der bestehenden Prüfanlagen überschreitet. Es bedeutet nämlich, dass sich stets die der Nennausschaltleistung entsprechende Beanspruchung ergibt, wenn nur das Produkt $I^{1,2} \sqrt{U}$ gleich demjenigen bei der Nennausschaltleistung ist. Wird nun die Spannung gegenüber der Nennspannung im Verhältnis $1 : \alpha$ verkleinert, so muss der Strom zwar vergrössert werden, jedoch nur um den Faktor $\alpha^{0,5/1,2} = \alpha^{0,42}$; die notwendige Kurzschlussleistung verringert sich dabei im Verhältnis $\left(\frac{1}{\alpha}\right)^{0,58}$. Um einen Schalter

einwandfrei zu prüfen genügt es also, wenn mit voller Spannung bei kleinen und mittleren Strömen die Löschfähigkeit nachgewiesen und dann in einem weiteren Versuch mit reduzierter Spannung, aber entsprechend der oben angegebenen Beziehung vergrössertem Strom, die der Nennausschaltleistung entsprechende mechanische Festigkeit des Schalters nachgewiesen wird.

621.316.57.064.25

F. Die ölarmen Schalter und das Problem der schnellen Wiedereinschaltung. Referat von *A. Thibaudat* und *J. de Saegher*. Das Referat, Nr. 124 (Belgien), umfasst 12 Seiten Text mit 10 Figuren im Text.

Beim Ausschalten der Oelschalter oder der ölarmen Schalter bildet die aufgewandte Energie eine Grenze für das Ausschaltvermögen; man hat daher alles Interesse an der Herabsetzung dieser Energie. Die Faktoren, auf die man in dieser Hinsicht einwirken kann, sind einerseits die Lichtbogenlänge und die Variablen, von der sie abhängt, nämlich die Lichtbogenlänge und der Druck des Isoliermediums, andererseits die Lichtbogendauer.

Die Verfasser beschreiben eine mit einem pneumatischen Dämpfer versehene ölarme Löschkammer. Durch die Konstruktion werden die Lichtbögen derart geführt, dass sie kürzer werden. Der Dämpfer wirkt so, dass bei der Bildung der Druckwelle entsprechend Energie aufgespeichert und nachher unter Bildung einer Oelspülung abgegeben wird; diese verhindert die Wiederezündung des Lichtbogens beim Nulldurchgang des Stromes. Das Zusammenwirken dieser Vorgänge setzt die im Schalter frei werdende Energie herab, was unter sonst gleichen Bedingungen die Erhöhung der Ausschaltleistung gestattet.

Die Löschkammer ist mit Doppelkontakten versehen, die den beweglichen Kontakten gestatten, den Stromkreis durch Fortsetzung ihres Hubes ohne Umkehrung des Bewegungssinnes wieder einzuschalten. Die Isolierdauer kann ungefähr 0,1 s erreichen.

Die Verfasser beschreiben Versuche, die an einem mit Löschkammern des erwähnten Typs versehenen 220-kV-Schalter bei einer Ausschaltleistung von 3,5 MVA ausgeführt wurden.

An einem Pol konnten Versuche bei 250 kV nur bis 2000 A getrieben werden. Sie wurden an einer 125-kV-Zelle bei 5000 A durchgeführt, und die Ergebnisse zeigten die Abschaltmöglichkeiten des Schalters bei voller Spannung. Zur Nachprüfung des Ausschaltvermögens bei Kurzschluss wurde eine Methode mit herabgesetzter Spannung benützt, bei welcher die Konstanten der zu unterbrechenden Stromkreise derart gewählt wurden, dass Dauer und Spannungen der Lichtbögen gleich wie bei grossen Kurzschlüssen in wirklichen Netzen waren. Ein Oszillogramm der Abschaltung eines Stromes von 10 230 A zeigt, dass die Zeit zwischen der Erregung der Auslösespule und der Trennung der Kontakte 0,0352 s, und die Lichtbogendauer 0,0372 s betragen.

621.316.57.064.45

G. Das Phänomen der Rückstauung des elektrischen Lichtbogens und die thermodynamische Grenze des Ausschaltvermögens der Druckluftschalter. Referat von *J. Labouret*. Das Referat, Nr. 128 (Frankreich), umfasst 20 Seiten Text mit 11 Figuren im Text.

Das Ausschaltvermögen eines Druckluftschalters ist durch die Luftstauung begrenzt, die der Ausschaltlichtbogen in der Düse des Schalters erzeugt.

Beim Arbeiten eines Druckluftschalters wird die Bewegung der Luft in der Düse durch die Ausdehnung verlangsamt, die von der Wärme herrührt, welche von dem Lichtbogen zwischen den Kontakten entwickelt wird. Die Verlangsamung ist um so grösser, je grösser der abgeschaltete Strom ist. Für einen gewissen Wert dieses Stromes wird die Geschwindigkeit null, und für grössere Ströme sogar negativ; das heisst, dass Luft und Lichtbogen in die Düse und die Speisekammer zurückgestaut werden. Dieser Erscheinung, die einen pulsierenden Charakter annimmt, entspricht eine Grenze des Ausschaltvermögens des Schalters.

Nach Betrachtungen über den elektrischen Lichtbogen geht der Verfasser an eine thermodynamische Untersuchung der Rückstauerscheinung, was zur Aufstellung folgenden Ausdrucks des Grenz-Ausschaltvermögens führt:

$$I_{\max} = K \frac{S}{L},$$

wo S der Querschnitt des Düsenhalses, L die Länge der Düse und K ein vorausberechenbarer Koeffizient ist.

Das Auftreten der Rückstauerscheinung ist mit einem Versuchsschalter hinter einem Schauloch nachgeprüft worden, das die photographische Aufnahme des Ausschaltlichtbogens in der Kammer des Schalters gestattet. Andererseits wurde die Gültigkeit der theoretischen Formel sowohl für Gleich-, als auch für Wechselstrom an 38 verschiedenen Modellen von Druckluftschaltern für 3...220 kV (7500...72 000 A) überprüft. Die Uebereinstimmung der gemessenen Werte mit der theoretischen Formel ist befriedigend.

Zum Schluss zeichnet der Verfasser ein Diagramm, das die verschiedenen bekannten Grenzen des Ausschaltvermögens der Druckluftschalter darstellt.

621.317.2 : 316.57

H. Kurzschlussprüfungen und Eichungen der elektrischen Grossleistungsgeräte. Referat von *V.-A. Brown*. Das Referat, Nr. 138 (Grossbritannien), umfasst 20 Seiten Text.

Das Referat skizziert die wichtigsten Aspekte der von der «Association of Short Circuit Testing Authorities» ausgeführten Arbeiten. Diese Organisation, deren Mitglieder die wichtigsten Elektromaterialkonstrukteure in England sind, betreibt sechs Grossleistungs-Versuchsstationen und ist zur Ausstellung von Prüfbescheinigungen für das Schaltanlage-material ermächtigt, das den amtlichen Vorschriften, oder wo solche noch nicht bestehen, den eigenen Prüfbestimmungen entspricht. Die verschiedenen Kapitel des Berichtes betreffen die Bedingungen für die Ausstellung der Bescheinigungen, die Technik der Prüfversuche und deren Auswertung.

621.316.5 064.2

I. Verwendung der widerstandslosen Umschaltung bei Abschaltung der Hochspannungskreise. Referat von *A.-H. Pollard*. Das Referat, Nr. 136 (Grossbritannien), umfasst 16 Seiten Text mit 5 Figuren im Text.

In einem Schalter mit zwei oder mehreren Ausschaltstellen in Serie gestattet das Anbringen eines Nebenschluss-Widerstandes zwischen festem und beweglichem Kontakt je nach Wert und Charakteristik der Widerstände eine gleichmässige Verteilung des sonst veränderlichen Betriebszustandes der Wiederrzündung zu erhalten und den Schalter mit maximaler Wirkung zu benützen.

Die Widerstände sind entweder lineare induktionsfreie Widerstände verschiedener Grösse oder nichtlineare induktive Widerstände, das heisst solche, deren Wert mit der angelegten Spannung schwankt.

Die linearen Widerstände von hohem Wert steuern die Spannungsverteilung im veränderlichen Betriebszustand der Wiederrzündung; sie haben aber praktisch keine Wirkung auf die Form und Grösse dieser Spannung.

Die linearen Widerstände von mittlerem Wert (1000... 2000 Ohm) werden oft bei den Oelschaltern angewandt; sie steuern ausser der Verteilung der veränderlichen Spannungszustände der Wiederrzündung unter die Ausschaltpunkte Form und Grösse der Wiederrzündspannung bis zu einer vorbestimmten Stärke des Abschaltstromes.

Die linearen, niederohmigen Widerstände regeln die Verteilung und steuern Form und Grösse des veränderlichen Zustandes der Wiederrzündspannung bei allen Stromstärken bis zur vollen Ausschaltstromstärke. Der Strom im Widerstand und der Energieverbrauch sind höher als in den beiden ersten oben betrachteten Widerstandstypen. Diese Widerstände geringen Wertes werden in den Druckluftschaltern verwendet; sie haben, je nach der Spannung, einen Wert von einigen bis einigen hundert Ohm, und sind so angepasst, dass sie ein exponentielles Wachsen des veränderlichen Spannungszustandes der Wiederrzündung für Werte der Stromkreisinduktivität und -kapazität bewirken, die dem Maximum des Ausschaltvermögens entsprechen. Für Spannungen unter 33 kV ordnet man den Widerstand gewöhnlich so an, dass ein Pol an einen Gleitkontakt gelegt wird, der auf dem Schaft des Hauptkontaktes aufliegt, und der andere Pol an eine nach der Hauptdüse gelegene Hilfselektrode. Die Hilfselektrode selbst liegt so, dass eine geringe Spannung genügt, den Zwischenraum zwischen ihr und den an den Hauptkontakt gelegten Metallteilen zu überspringen. Die Wiederrzündspannung kann diesen Zwischenraum leicht überspringen und so den Widerstand parallel zum Hauptbogen legen. Dieser wird vom Luftstrahl abgeschaltet, der später den durch den Widerstand gehenden Strom unterbricht.

Die nichtlinearen Widerstände regeln am Anfang nur die Aufteilung des veränderlichen Spannungszustandes der Wiederrzündung; sobald aber die Spannung steigt, wird sie in Form und Grösse verändert. Während der Abschaltung eines grossen Stromes ist die Lichtbogen Spannung gering, und es geht nur ein kleiner Strom durch den Widerstand. Nach dieser Abschaltung steigt die Wiederrzündspannung; da nun aber der Widerstand abnimmt, überschreitet diese Zunahme den Spitzenwert der normalen Spannungserhöhung nur wenig. Nach Abschaltung des Hauptbogens wird der durch den Widerstand gehende Strom mit einem in Serie liegenden Trenner bei einem folgenden Nulldurchgang unterbrochen.

Die hochohmigen Widerstände sind Kohlewiderstände. Die mittel- und niederohmigen bestehen aus Chromnickeldraht und sind induktionsfrei gewickelt. Die nichtlinearen Widerstände bestehen aus Siliziumkarbidkristallen, die mit einer keramischen Mischung brikettiert und dann gebrannt wurden. Man kann sie in Form von metallisierten Scheiben herstellen. Die Verwendung der Widerstände je nach den beschriebenen Verhältnissen ermöglicht es, die Oelschalterkontakte serienmässig herzustellen, sodass statt Objekt-Typenprüfungen, wie bei den Druckluftschaltern, durchgeführt werden können. Dadurch werden die Verwendungsmöglichkeiten einer bestehenden Prüfanlage vermehrt.

621.316.92 : 621.316.57.064.22

J. Betriebsergebnisse einer mit Schnellwiedereinschaltung arbeitenden Hochspannungs-Verteilanlage. Referat

von *Amerigo Parrini*. Das Referat, Nr. 139 (Italien), umfasst 11 Seiten Text mit 3 Figuren im Text.

Der Verfasser beschreibt Anlage und Arbeitsweise der an den Oelschaltern der 8-kV-Leitungen in einer Transformatorstation 46/8 kV installierten Schnellwiedereinschaltung. Diese Vorrichtung, deren Wirksamkeit während einer Betriebszeit von vier Jahren erwiesen wurde, besteht aus normalen Organen, die bei automatischen Schaltanlagen gebräuchlich, also erprobt sind. Die für die Betriebssicherheit wichtigen Ergebnisse werden im Referat hervorgehoben. Der Verfasser zeigt, dass es bei Anwendung der Vorrichtung auf Verteilungen von Nutzen sein kann, wenn die Wiedereinschaltvorgänge nicht zu schnell vor sich gehen. Die Zeit bis zur Wiedereinschaltung muss so bemessen werden, dass der Schlupf der vom Netz gespeisten Asynchronmotoren nicht einen Wert erreicht, der ein Aussertrittfallen dieser Maschinen bewirkt.

621.316.92 : 621.316.57.064.22

K. Schalter und Arten des Selektivschutzes für die Schnellwiedereinschaltung in Netzen von sehr hoher Spannung. Referat von *A. Perrin* und *L. Roche*. Das Referat, Nr. 141 (Frankreich), umfasst 14 Seiten Text und 6 Figuren im Text.

Die Verfasser beschreiben eine polunabhängige Schnellwiedereinschaltanlage, bestimmt für die 150-kV-Leitung, welche die Schaltstation Le Soleil in St-Etienne mit der Schaltstation Givors verbindet.

Diese Anlage enthält Polwähler, die mit Relais die Spannung eines Polleiters gegen den Nullpunkt oder gegen Erde mit der Spannung zwischen den beiden anderen Leitern vergleichen¹⁾. Bei normalem Betrieb oder bei einem symmetrischen dreiphasigen Fehler bleiben diese Relais unerregt; bei asymmetrischen Fehlern, je nachdem dieser Fehler einen oder zwei Pole in Mitleidenschaft zieht, werden ein oder zwei Relais erregt und schalten den Speisestromkreis der Sperrspule eines auf die symmetrischen Komponenten der Leistung abgestimmten Richtrelais ab, welches die Funktion der Stromrelais bei Fehlern gegen Erde, und der Impedanzrelais bei Fehlern zwischen den Polleitern kontrolliert.

Die Verfasser beschreiben eine Schutzvorrichtung, die sich auf den Vergleich der Phasenverschiebung der Ströme an den beiden Enden der zu schützenden Leitung aufbaut. Diese Vorrichtung, System *A. Chevallier*, erfordert keine Phasenwähler und ist in der erwähnten Anlage ausprobiert worden. Sie arbeitet mit Hochfrequenz-Trägerströmen und enthält nur statische Apparate, nämlich Transformatoren und Trockengleichrichter.

Die in der Anlage zur Ermöglichung der Schnellwiedereinschaltung benützten Schalter sind ölarme Druckluftschalter mit pneumatischer Steuerung.

Die besonderen Versuche, bei welchen Störungen künstlich erzeugt wurden, gestatteten die für die Schnellwiedereinschaltung und Entionisierung benötigte Zeit zu bestimmen. Die Ergebnisse sind:

1. Arbeitsdauer der Schutzarten für einen Fehler zwischen Pol und Erde
 - a) Bei gerichtetem Wattmeterschutz 0,046 s
 - b) Bei Phasenmesserschutz 0,033 s
2. Arbeitsdauer des Schalters, von der Speisung der Auslösespule an bis zum Erlöschen des Lichtbogens 0,11 s
- Dauer der Unterbrechung des Polleiters durch den Schalter 0,21 s

Im Lauf einer ersten Versuchsreihe hatten die Verfasser für Ausschaltdauern von der Grössenordnung 0,11 s keine Lichtbogenneuzündung festgestellt. Bei neueren Versuchen dagegen gab es bei Ausschaltdauern von 0,19 s des vom Fehler betroffenen Pols Wiederrzündungen, während sich unter den gleichen Verhältnissen andere Wiedereinschaltungen für kürzere Unterbrechungen korrekt vollzogen. Nach den Feststellungen wurde die Unterbrechungsdauer für die normale Inbetriebsetzung auf 0,25 s eingestellt.

621.316.35

L. Die in Schleife liegenden Sammelschienen, und ihre Anwendung bei sehr hohen Spannungen. Referat von *J. Merrey* und *J. Christie*. Das Referat, Nr. 341 (Grossbritannien), umfasst 21 Seiten Text mit 13 Figuren im Text.

Roche L.: La protection des réseaux à haute tension. Rev. Gén. Electr. Bd. 54(1945), Nr. 4, S. 106...112.

Nach Darlegung der Vorteile, welche die Wahl doppelter Sammelschiensätze in den Kraftwerken und Unterwerken bietet, heben die Verfasser hervor, dass diese Anordnung für gewisse Werte der Spannung und des Ausschaltvermögens der automatischen Schalter platzraubend und kostspielig wird. In solchen Fällen erscheint es vorteilhaft, das System der in Schleife liegender Sammelschienen zu benützen; das ist ein System, bei welchem der Anschlusspunkt jeder Speiseleitung an die Schleife, welche die Sammelschienen bilden, zwischen zwei in diese eingeschalteten Trennern liegt. So entspricht jeder mit ihrem Schalter versehenen Speiseleitung ein Sammelschienenabschnitt mit zwei Trennern, welche dessen Abtrennung von der übrigen Anlage gestatten, um Instandstellungen oder Versuche durchzuführen. Die von den Sammelschienen gebildete Schleife wird im allgemeinen im geschlossenen Zustand betrieben; die Trenner sind aber derart verriegelt, dass nur ein Teilabschnitt auf einmal isoliert werden kann, was die Speisung aller anderen Stromkreise sicherstellt. Weiter brauchen, da die Schleife in einem gegebenen Augenblick nur in einem einzigen Punkt unterbrochen werden kann, die Trenner nicht als Leistungstrenner gebaut zu sein.

Die Verfasser beschreiben einige nach diesem Prinzip in England ausgeführte Anlagen. Unter diesen ist die Verwendung der gekapselten Schaltanlagenteile zur Bildung der Schleifenelemente hervorzuheben, welche jeder Speiseleitung entsprechen und nach der erwähnten Anordnung einen Schalter und die beiden Sammelschienen-Trenner umfassen. Jedes gekapselte Element ist mit Freon unter leichtem Ueberdruck gefüllt; der für eine Spannung von 33 kV vorgesehene Apparatetyp hat eine zulässige Ausschaltleistung von 1500 MVA. Die Kontrolle jedes einzelnen Teiles kann durchgeführt werden, ohne dass Gas aus einem anderen Teile entweicht.

Eine andere gekapselte Schaltanlage wurde für eine Spannung von 66 kV ausgeführt. Sie enthält Teleskop-Trenner, und die Füllung besteht aus Oel, nicht aus Freon. Der Oelschalter mit pneumatischer Steuerung hat ein Ausschaltvermögen von 1500 MVA; Spannungswandler, Erdschalter und Endverschluss sind im ölgefüllten Sockel untergebracht.

Eine modernere und wirtschaftlichere Anordnung wurde mit völliger Trennung der Polleiter und Füllung der Abteile mit konditionierter Luft unter leichtem Ueberdruck ausgeführt. Den Durchgang der Sammelschienen durch die Trennwände besorgen Durchführungsisolatoren, die in ihrer Mitte schwenkbar und als Trenner mit Vorrichtung zur Erdung in der Ausschaltstellung ausgebildet sind, was die zur Instandhaltung erforderliche Sicherheit verbürgt und die Messung der Leerlaufverluste der unter Spannung stehenden Isolatoren gestattet.

Die Verfasser zeigen die Möglichkeit, mit in Schleife liegenden Sammelschienen einfache Anlagen des Innenraumtyps mit nicht gekapselten Anlagenteilen und verwendbar für Spannungen bis 132 kV auszuführen.

Gruppe 16: Isolieröle

621.315.614.64

A. Beitrag zur Untersuchung der Dielektrika aus mit Flüssigkeit getränktem Papier von geringer Dicke. Referat von A. Liechti. Das Referat, Nr. 123 (Schweiz), umfasst 11 Seiten Text mit 7 Figuren im Text.

Die Dielektrika, von denen in diesem Referat die Rede ist, haben eine Dicke von 25 μm bis 270 μm und bestehen aus mehreren ölgetränkten Lagen satinierten Papiers von 8 μm bis 23 μm Dicke. Diese hauptsächlich im Bau von Wechselstromkondensatoren benützten Dielektrika waren Gegenstand von Forschungen, deren Ergebnisse zeigen, dass die Ursache des Durchschlages entweder in einem Ionisationsvorgang liegt, der die Zerstörung der Oelmoleküle unter Bildung von Gas zur Folge hat, oder in einer Alterung des Dielektrikums unter Einfluss der Temperatur und des elektrischen Feldes zu suchen ist; diese Alterung ist durch ein der Bildung von Produkten polarer Art nachfolgendes fortschreitendes Wachsen der dielektrischen Verluste gekennzeichnet.

Aus dieser Untersuchung ergibt sich die Möglichkeit, die Grenze der Beanspruchung festzulegen, unterhalb welcher Ionisierung nicht mehr auftreten kann; wenn die Dielektrika nach der Imprägnierung von der Luft abgeschlossen werden, so kann mit einer wesentlich höheren

Ionisationsspannung gerechnet werden. Die Alterung wirft Probleme auf, die durch eine kluge Anpassung der Konstruktion an die Betriebsbedingungen und eine strenge Auswahl der Rohstoffe gelöst werden können. Die betrachteten Dielektrika haben bei Kondensatoren und gewöhnlicher Temperatur eine Dielektrizitätskonstante von etwa 4,2, einen Verlustfaktor von 3 ‰ und einen Isolationswiderstand von über 20 000 M Ω pro μF Kapazität des Kondensators.

621.315.615.2

B. Gesamtbericht des Studienausschusses für Isolieröle. Referat von H. Weiss und T. Salomon. Das Referat, Nr. 142 (Frankreich), umfasst 7 Seiten Text.

Nach einem Nachruf auf H. W. Bruckman, gestorben 1944, Förderer des Studienausschusses der Konferenz für Isolieröle, zählen die Verfasser die Probleme auf, die sich während des Krieges auf dem Gebiet der Isolieröle ergeben haben, und skizzieren die gegenwärtige Lage durch Angabe der im Gang befindlichen und der in Angriff genommenen Arbeiten.

Wie vor dem Krieg sind die in Frage stehenden Arbeiten zwischen den Studienkomiteen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (CEI) und der CIGRE aufgeteilt. Das Comité d'Etudes der CEI behandelt alle mit dem künstlichen Altern der Öle zusammenhängenden Fragen, während sich das Comité d'Etudes der CIGRE die Untersuchung der Fragen über das natürliche Altern und deren Anwendung für Laboratoriumsmessungen vorbehält.

Auf dem Gebiet der physikalisch-chemischen Eigenschaften der Öle ist die Bewertung des Abnutzungsgrades eines Isolieröls durch die Messung seiner Interfazialspannung wichtig. Bei den elektrischen Eigenschaften der Öle wurde der Wert der Bruckmanschen Methode bestätigt; sie benützt als Kennzeichen für die Güte der Öle die Schwankung der dielektrischen Verluste in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Verfasser unterstreichen das Interesse an der Untersuchung der dielektrischen Verluste bei Hochfrequenz, weil sie wertvolle Aufschlüsse über die Natur der leitenden Körper liefern kann, welche das Altern der Öle verursachen. Auf diesem Gebiet während des Krieges durchgeführte Untersuchungen von R. Jouaust und P. Abadie sollten weitergeführt werden.

Es konnte keine Erklärung über die vorübergehende Abnahme der dielektrischen Verluste, die man zu Beginn des Alterns der Öle feststellt, gefunden werden. Diese Erscheinung führt zur Bedeutung des in den Mineralölen enthaltenen Wassers und seines Einflusses auf die dielektrischen Verluste. F. M. Clark hat in den Vereinigten Staaten eine Methode entwickelt, welche die Bestimmung geringer Wassermengen bis 0,0001 % gestattet; er fand, dass eine Änderung des Anteils an Wasser von 0,0005 auf 0,0015 % den Verlustfaktor (bei 60 Hz) eines Mineralöls von der Temperatur von 25 °C von 0,020 auf 0,075 erhöht und seinen spezifischen Widerstand von $55 \cdot 10^{14}$ Ohm \cdot cm auf $10 \cdot 10^{14}$ Ohm \cdot cm senkt; für Anteile an gelöstem Wasser von 0,0015 bis 0,004 % bleiben diese beiden Werte praktisch unverändert.

Eine andere Frage ist die des Durchschlages der öl- und papierisolierten Kabel und Kondensatoren; eine Erscheinung, bei der die Bedeutung der Blasen ionisierten Gases ziemlich klar ist. Es scheint jedoch, dass das Dielektrikum sich unter der kombinierten Wirkung des elektrischen Feldes und der Temperatur verschlechtern kann.

Die Verfasser heben die ungünstige Wirkung mancher Isolierlacke auf das Verhalten der Öle im Betrieb sowie auf die Rostbildung in den Transformatoren hervor. Ferner gab die schädliche Wirkung des sauren Zustandes der Öle auf die Isolation der Transformatoren zu widersprechenden Beobachtungen Anlass.

621.315.615.2

C. Der Stand der Forschungen über die Transformatorenöle im Laboratoire Central des Industries Electriques. Referat von R. Jouaust. Das Referat, Nr. 137 (Frankreich), umfasst 14 Seiten Text mit 7 Figuren im Text.

Bekanntlich rührt die Verschlechterung des für die Isolierung der Transformatoren benützten Oels von der Oxydation her, die es mit der Zeit infolge seiner Erwärmung bei Berührung mit dem Luftsauerstoff erleidet. Es bilden sich Wasser und polymerisierende Stoffe, sowie Niederschläge

mit schlechter Wärmeleitung auf den Wicklungen; daraus ergeben sich örtliche Erwärmungen.

Die periodische Erwärmung des Transformatorenöls erscheint also nötig; da es sich aber um eine kostspielige Arbeit handelt, ist es für den Betriebsleiter wichtig, ein Öl wählen zu können, in dem die Bildung der Niederschläge so spät wie möglich eintritt, und die Zeit genau zu bestimmen, nach der ein Wechsel nötig ist.

Diese Erwägungen haben zur Untersuchung des beschleunigten künstlichen Alterns der Öle geführt; ein Verfahren, das meist darin besteht, das Öl während einer gegebenen Zeit in Gegenwart des Luftsauerstoffs auf eine Temperatur zwischen 100 und 150 °C zu erhitzen und hierauf das Gewicht des gebildeten Niederschlags zu bestimmen. In dieser Hinsicht hat der Verfasser im Laboratoire Central des Industries Electriques festgestellt, dass — entgegen verbreiteten Auffassungen — bei höheren Temperaturen als der Betriebstemperatur die Reaktionen dieselben bleiben. Da andererseits dieses Verfahren nur Aufschlüsse über das Verhalten des Öls vom Beginn der Erwärmung bis zum Augenblick des Auftretens der Niederschläge liefert, wurden zwei Methoden benutzt; die eine basiert auf der Messung der Interfazialspannung, die andere auf der des p_H .

Bei der ersten Methode wurde als Kriterium des Oxydationszustands des Öls die Differenz zwischen der Oberflächenspannung Wasser-Luft und der Oberflächenspannung Öl-Wasser gewählt, welche Interfazialspannung genannt und mittels des Tensiometers von *Leconte du Noüy* gemessen wurde.

Die Messung des p_H wurde unter Benützung einer Chindronelektrode mit Bezug auf eine Kalomelektrode durchgeführt; die elektromotorische Kraft wurde mit einem Potentiometer mit Elektromoterröhre bestimmt. Diese Me-

thode, welche dieselben Resultate ergibt wie die vorhergehende, erfordert jedoch grosse Oelmengen. Die Verwendung der Ultraviolettstrahlen gestattet die Beschleunigung des Alterns.

Die mit der Methode der Oberflächenspannungsmessung im Laboratoire Central des Industries Electriques an einer grossen Zahl von Ölen ausgeführten Versuche haben gezeigt, dass je nach Art des Öls der Wert des dem Auftreten der Niederschläge entsprechenden Druckes zwischen 24 und 27 Dyn/cm² schwankt. Unter sonst gleichen Bedingungen schwankt aber die zur Erreichung dieses Grenzwertes nötige Zeit des Alterns von einem Öl zum anderen. Um die Bildungsgeschwindigkeit der Niederschläge an geringen Oelmengen zu untersuchen, hat der Verfasser eine elektrische und optische Methode (Methode *Minard*) benützt, bei der man mit einem Tropfen Öl einen Streifen von konstanter Dicke herstellt, den man unter ein Ultramikroskop bringt; dessen Okular ist durch eine Photozelle ersetzt, welche das zerstreute Licht empfängt, das von den im Streifen in Suspension befindlichen Partikeln herrührt. Der Strom der Photozelle ist ein Mass für die Menge des Niederschlags.

Der Verfasser betont das Interesse an der zum voraus erfolgenden Bestimmung der Art eines verwendeten Öls und seines Raffinationsgrades. Was diesen betrifft, so erwähnt er ein sehr einfaches physikalisches Verfahren, das auf der Messung der Farbenzerstreuung beruht. Es handelt sich um die Bestimmung des Quotienten der Differenz der Brechungsindizes zweier verschiedener Wellenlängen durch die Dichte des Mediums.

Gewisse Abweichungen zwischen den durch die Methode von *Watermann* und durch die Messung der Verdetschen Konstanten in der Analyse der Öle erhaltenen Ergebnissen werden im letzten Teil des Referates erörtert.

(Fortsetzung folgt)

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Induktive Belastung von Gleichrichtern

621.314.6.016.3

Wird ein Vollweggleichrichter (in Grätzschaltung) mit sinusförmigem Wechselstrom gespeist und durch einen induktionsfreien Widerstand belastet, so gibt er pulsierenden Strom von Sinusform ab. Bei Belastung durch einen induktiven Widerstand, z. B. eine Erregerspule, wird der gleichgerichtete Strom «geglättet», so dass ein fast konstanter Gleichstrom entsteht. Dementsprechend erhält der vom Gleichrichter aufgenommene Wechselstrom eine fast rechteckige Kurvenform, weil der Gleichrichter nur ein Schaltorgan ist, das weder Strom erzeugen noch aufnehmen kann, so dass die Momentanwerte von Primär- und Sekundärstrom stets gleich sein müssen. (Vgl. *Karl Maier*: Trockengleichrichter, S. 125.)

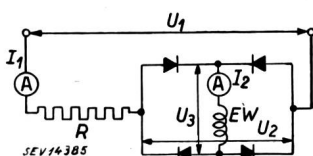


Fig. 1
Schaltung
eines Gleichrichters
 U_1, U_2 Wechselspannung; U_3
gleichgerichtete Spannung;
 I_1 Wechselstrom; I_2 Gleich-
strom; A Amperemeter;
 R ohmscher Widerstand;
 EW Erregerspule eines
Wechselstromgenerators

Was geschieht aber, wenn der Gleichrichter nicht an eine feste Spannung angeschlossen wird, sondern in einem Stromkreis liegt, der von einem fest gegebenen Strom durchflossen wird, dessen Kurvenform durch den Gleichrichter nicht beeinflusst werden kann? Dieser Fall tritt ein, wenn z. B. ein Wechselstromerzeuger derart kompondiert werden soll, dass eine zusätzliche Erregerspule (Compoundwicklung) an einen Gleichrichter angeschlossen ist, der vom Hauptstrom durchflossen wird. Da der Gleichrichter kein Speichervermögen besitzt, ist nicht ohne weiteres einzusehen, wie ein nahezu konstanter Gleichstrom zustande kommen kann, wenn der Wechselstrom sinusförmig verläuft. Wohin fließen die den Gleichstrom übersteigenden Wechselstromspitzen und wie wird der Gleich-

strom erzeugt, solange der Momentanwert des Wechselstroms niedriger ist als die Gleichstromstärke?

Die Praxis hat auf die theoretische Beantwortung dieser Fragen nicht gewartet; man hat bereits die Compoundspulen von Wechselstromgeneratoren durch ihren Hauptstrom über Trockengleichrichter erregt und auch festgestellt, dass dabei fast wellenloser Gleichstrom entsteht. Auffallend ist aber, dass die Gleichrichter sich dabei stärker erwärmen, als sonst bei gleicher Beanspruchung. Schon aus diesem Grunde, neben dem wissenschaftlichen Interesse, erschien eine Klärung der Verhältnisse von Bedeutung.

Fig. 1 zeigt die Schaltung. Die Erregerspule EW ist an 4 in Grätzschaltung verbundene Selengleichrichter an-

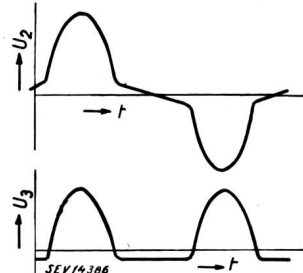


Fig. 2
Spannungscharakteristiken
 U_2 Wechselspannung; U_3
gleichgerichtete Spannung;
 t Zeit

geschlossen, die vom Wechselstrom I_1 durchflossen werden. Die Spannung U_1 beträgt ein Vielfaches der am Gleichrichter herrschenden Spannung U_2 , so dass der Strom I_1 von den Vorgängen im Gleichrichter-Kreis praktisch unbeeinflusst bleibt. Es werden nun zunächst Oszillogramme der Spannungen U_2 (Wechselspannung am Gleichrichter) und U_3 (Gleichspannung am Gleichrichter) aufgenommen, die in Fig. 2 wiedergegeben sind. Die von den Oszillogrammen gezeigten Spannungsspitzen sind doppelt so hoch, als die auf Grund des Widerstandes der Feldwicklung errechneten und vom Voltmeter angezeigten Werte. Zur Spannungsmessung wurde gleichstromseitig ein Drehspulinstrument und wechselstromseitig ebenfalls ein solches mit eingebautem Gleichrichter verwendet.