

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 26 (1935)
Heft: 5

Artikel: Das Konvektorprinzip für Wechselstrom-Hochspannungsschalter
Autor: Thommen, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060295>

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: 19.02.2026

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

VERLAG UND ADMINISTRATION:

A.-G. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zürich 4
Stauffacherquai 36/40

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXVI. Jahrgang

N^o 5

Mittwoch, 27. Februar 1935

Das Konvektorprinzip für Wechselstrom-Hochspannungsschalter.

Von H. Thommen, Baden.

621.316.57.064.25

Das Konvektorprinzip konnte dank der seit einigen Jahren geschaffenen Möglichkeit, die Forschungsarbeiten an Abschaltlichtbogen auf höchste Leistungen auszudehnen, auf Grund umfangreicher Untersuchungen durchgebildet werden. Es wird die Arbeitsweise dieses Prinzips bei verschiedenen Spannungen und Stromstärken erläutert. Die erzielte sehr gute Löschwirkung veranlasste, in der Oelschaltertechnik für die höheren Spannungen neue Wege zu gehen. Dabei konnte der Oelinhalt der Schalter stark reduziert werden. Im weiteren wurden absolut ruhiges und regelmässiges Schalten, kleinste Schaltzeiten usw. erreicht. Bis heute wurden trotz der kurzen Zeit seit der Fabrikationsaufnahme über 100 Schalterpole bis zu den höchsten Spannungen nach dem Konvektorprinzip ausgeführt.

La possibilité d'étudier l'arc de rupture sous les plus hautes puissances a permis de développer, après de longues recherches, le principe du convecteur. L'auteur en décrit le fonctionnement sous diverses tensions et pour différentes intensités. Les excellents résultats obtenus quant à l'extinction de l'arc ont contribué à orienter dans des voies nouvelles la technique des interrupteurs à huile pour très haute tension. Le volume d'huile des interrupteurs a pu être sensiblement réduit. On a également obtenu une coupure tranquille et régulière dont la durée est excessivement petite. Malgré que la fabrication soit tout à fait récente, déjà plus de 100 pôles d'interrupteurs ont été exécutés selon le principe du convecteur, et cela jusqu'aux plus hautes tensions.

Die Schaltertechnik machte in den letzten Jahren ausserordentlich weitgehende Umwandlungen durch. Durch den Bau von Hochleistungsversuchsanlagen wurde es möglich, die systematische Erforschung der Abschaltvorgänge auf grösste Leistungen auszudehnen. In früheren Jahren war die Verwendung der offenen Unterbrechung unter Oel als sicherste Methode anerkannt, um Schalter mit höchsten Garantiebedingungen bauen zu können. Diese Löschart des Lichtbogens besitzt gegenüber anderen den Vorteil, dass die Schalterbeanspruchung vorausberechnet werden kann. Dabei genügen für die Vorausberechnung Versuchsergebnisse, die mit verhältnismässig kleiner Abschaltleistung gewonnen wurden.

Die von Brown Boveri bis vor kurzem empfohlene Schaltertype mit Vielfachunterbrechung hat sich in der Praxis sehr gut bewährt. Die Löschung der Lichtbogen erfolgt sicher und im Vergleich mit anderen, älteren Konstruktionen sehr regelmässig. Es ist jedoch auf einfache Weise nicht möglich, die entstehende Lichtbogendauer unter 0,12 bis 0,25 s herabzusetzen. Damit bleibt auch die beim Schalten erzeugte Schalterarbeit verhältnismässig gross. Da die Kübelabmessungen hauptsächlich durch innere Isolierabstände gegeben sind, lassen sich die zu verwendenden Oelmengen nicht unter ein gewisses Mass vermindern. Die heutige Tendenz im Schalterbau geht jedoch dahin, das Oel völlig zu vermeiden oder doch die Oelmenge auf ein Minimum zu reduzieren.

Erst mit der Möglichkeit, die Forschungen auf das heute sehr grosse Leistungsgebiet auszudehnen, konnte an die Entwicklung neuartiger Einrichtungen für die Lichtbogenlöschung herangetreten werden. Dabei wurde nach umfangreichen Untersuchungen das Brown Boveri-Konvektorprinzip gefunden, das veranlasste, in der Oelschaltertechnik für die höheren Spannungen neuartige Wege zu gehen.

Die Wirkungsweise der Konvektoren.

Fig. 1 zeigt einen vollständig mit Oel gefüllten Schaltzylinder mit eingebautem Konvektor. Beim Abschalten bildet sich in diesem der Lichtbogen und es entsteht eine langgestreckte Gasblase. Das in den einzelnen Zellen zurückgehaltene Oel kann der Lichtbogeneinwirkung nicht ausweichen. Die grosse Nähe des Lichtbogens zu den Wandungen der Gasblase in Verbindung mit eintretender Oelverdampfung und Vergasung übt eine stark entionisierende Wirkung auf ihn aus. Werden sehr grosse Ströme unterbrochen, so entsteht rasch ein Druck von einigen kg/cm², worauf das untere Entlastungsventil sich öffnet. Dadurch ist einerseits vermieden, dass der Druck im Konvektor unzulässige Werte erreicht, andererseits beginnt eine gegen den Lichtbogen geführte Oeldampf- und Gasströmung. Die Temperaturverhältnisse sind ungefähr derart, dass im Lichtbogen selbst eine Temperatur von mehreren tausend Grad Celsius herrscht, während die Oeldämpfe in der Nähe der Gasblasenoberfläche

Temperaturen von nur ca. 500° C besitzen (Fig. 1). Die Heftigkeit der selbsterzwungenen Strömung und damit die gesteigerte Löschwirkung wächst mit grösser werdendem Abschaltstrom und passt sich den Abschaltverhältnissen automatisch an.

Die Bemessung der Ventile muss derart erfolgen, dass sich die Löschgebiete bei kleineren und grö-

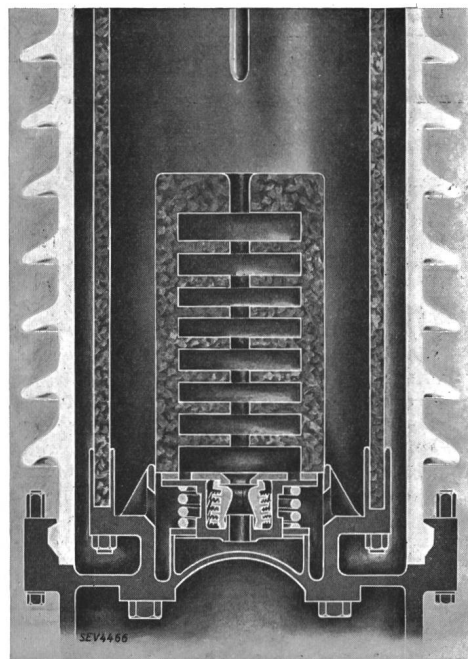
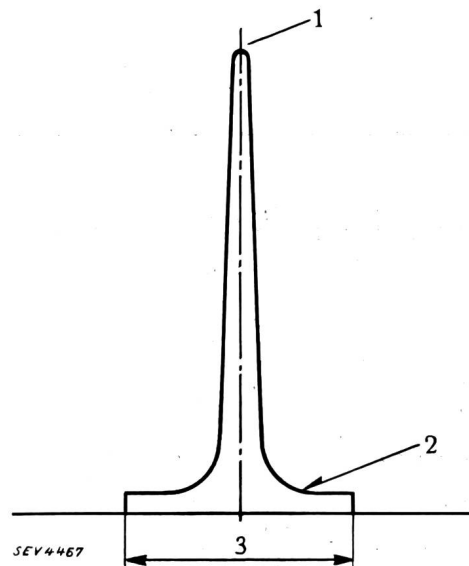


Fig. 1.

Schnitt durch einen Konvektor und Temperaturverteilung um den Lichtbogen.



- 1 Temperatur im Lichtbogenkern, mehrere Tausend ° C.
- 2 Temperatur an der Gasblasenoberfläche, ca. 500 ° C.
- 3 Durchmesser der Gasblase; Grössenordnung desselben gleich dem Durchmesser des links oben ersichtlichen Schaltstiftes.

seren Strömen zweckmässig überlappen. Um dies zu erreichen, waren ausgedehnte Versuchsreihen nötig, von denen in Fig. 2 das generelle Endergebnis zusammengestellt ist. Man erkennt daraus, dass der Lichtbogen in allen Stromgebieten absolut gleichmässig löscht. Dabei steigt die Druckbildung

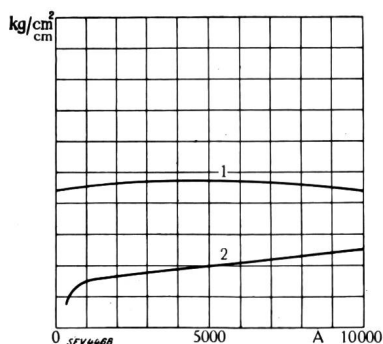


Fig. 2.

Verhalten des Konvektors bei verschiedenen Stromstärken.

- 1 Lichtbogenlänge.
- 2 Maximaldruck im Konvektor.

mit grösser werdendem Abschaltstrom nur sehr langsam an. Alle Konvektoren sind so bemessen, dass sie bei kleinstem Druck ein Optimum an Abschaltfähigkeit abgeben können.

Die maximal auftretende Lichtbogenlänge wächst weniger als proportional mit der Betriebsspannung, was bedeutet, dass die Wirksamkeit des Konvektorprinzips bei höchsten Betriebsspannungen besonders ausgeprägt ist. Die Lichtbogendauer bei

Höchstspannungsschaltern ist deshalb relativ zu den mit offener Vielfachunterbrechung erhaltenen Zeiten stark reduziert. Der ausserordentlich günstige Charakter der in Fig. 3 dargestellten Kurve erlaubt, selbst den 220-kV-Schalter mit nur einer einzigen Unterbrechungsstelle auszuführen. Die erreichte Löschfähigkeit weist Werte auf, die in der Literatur

bis jetzt nicht bekannt geworden sind. Pro cm Lichtbogenstrecke werden unmittelbar nach dem Ausschalten über 3000 V_{eff} wiederkehrender Spannung ausgehalten. Dabei ist das Ueberschwingen der Spannung nicht in die Rechnung einbezogen. Bei höchsten Spannungen wurden bis zu 10 000 V_{eff}/cm bestimmt. Diese Angaben geben einen Eindruck davon, welche ungeheure Wandlungen in der Lichtbogenstrecke in äusserst kurzer Zeit vor sich gehen.

Mit der Lichtbogendauer wird auch die Schalterarbeit kleiner. Es ist jedoch nicht nur die kurze Dauer, sondern ein sehr günstiger Verlauf der Licht-

bogenspannung, dem die Verkleinerung verdankt werden muss. In Fig. 4 sind Mittelwerte der Auswertung einer grossen Anzahl Oszillogramme eingetragen. Die spezifische Lichtbogenspannung besitzt während des grössten Teiles des Abschaltvorganges Werte, die von denjenigen der offenen Unterbre-

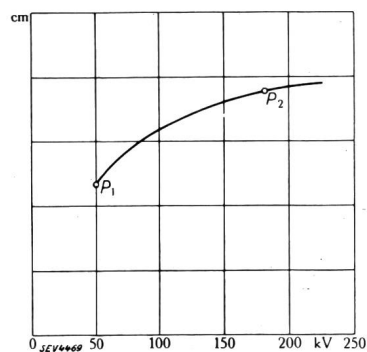


Fig. 3.

Abhängigkeit der maximal auftretenden Lichtbogenlänge von der Betriebsspannung.

Die Kurvenwerte zwischen P_1 und P_2 wurden durch zahlreiche Versuche ermittelt.

chung nicht verschieden sind. Der Grund dieses vorteilhaften Verhaltens ist darin zu suchen, dass die Konvektoren mit verhältnismässig kleinem Druck arbeiten. Erst in der letzten Phase der Löschung, dort, wo die Entlastungsventile geöffnet haben, wächst die Lichtbogenspannung an; gleichzeitig tritt jedoch auch die Löschwirkung ein, welche auf der ganzen Lichtbogenlänge erzwungen wird.

Beim Einschalten entsteht schon vor der eigentlichen Kontaktberührung ein Funke. Durch zweckmässige Ausbildung der Konvektoren in isoliertechnischer Hinsicht und durch Vergrösserung der Einschaltgeschwindigkeit gelang es, die Dauer dieses Einschaltfunken derart klein zu halten, dass er in den Oszillogrammen nicht mehr nachgewiesen werden kann.

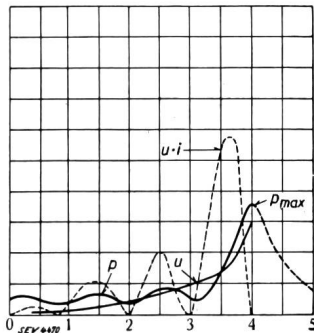


Fig. 4.
Lichtbogenspannung u ,
Druckanstieg p und Licht-
bogenleistung $u \cdot i$ in
Abhängigkeit der Zeit.

Abschaltstrom 5400 A, wie-
derkehrende Spannung
58,3 kV, Abschaltleistung
315 MVA. Schalterarbeit

$$= \int_0^{t_0} u \cdot i \cdot dt = 210 \text{ kWs.}$$

Lichtbogendauer t_0
4 Halbperioden.

den kann. Dabei ist hervorzuheben, dass alle Einschaltversuche absichtlich mit sehr schlechtem, stark verrusstem und wasserhaltigem Schalteröl durchgeführt wurden. Diese Untersuchungen haben neuerdings gezeigt, dass es besonders bei Höchstspannungsschaltern sehr nötig ist, die Einschaltversuche bei voller Spannung durchzuführen, eine Tatsache, deren Wichtigkeit nicht von allen Fachleuten berücksichtigt wird.

Auf Grund der günstigen Löschverhältnisse ist der Kontaktabbrenn gegenüber andern bekannten Schalterarten ausserordentlich gering. Wegen der kurzen Zeit der Lichtbogeneinwirkung und infolge der auf der Isolationsoberfläche verbleibenden Schutzölhaut kann ein Ausbrennen der Oeffnungen in den Konvektorplatten praktisch nicht festgestellt werden. Die Isoliereigenschaften der Konvektoren sind auch nach schwersten Abschaltungen vollständig aufrecht erhalten, da der weitaus grösste Teil der innern Isolationsfläche von den Lichtbogen unberührt bleibt.

Aufbau der Konvektorschalter.

Die Abschaltverhältnisse in modernen Oelschaltern kleiner Spannung sind schon mit offener Unterbrechung sehr günstig. Bei diesen Schaltertypen würde der Einbau einer Einrichtung für verbesserte Lichtbogenlöschung unwirtschaftlich sein. Im Gebiete der höchsten Spannungen hingegen, dort, wo bisher mehrere Tonnen Öl pro Schalterpol eingefüllt und gewartet werden mussten, bringt der Uebergang zum Konvektorprinzip grosse Vorteile mit sich. Die löschtechnischen Eigenschaften der Konvektoren sind nämlich derart, dass es ohne weiteres möglich ist, bis zu den höchsten Spannungen nur eine einzige Unterbrechungsstelle zu verwenden. Dies führt zur sog. Stützerbauart der Schalter.

Den Aufbau einer dreipoligen 150-kV-Konvektorschaltergruppe zeigt Fig. 5. Die Schaltstiftbetätigung sowie das automatische Aus- und Einschalten eines mit dem Schalter in Serie geschalteten Trenners geschieht von der geerdeten Seite aus über Zugstangen aus zähem Isolierstoff. Diese sind durch

hohle Porzellankörper gegen Witterungseinflüsse geschützt. Die Spannungsverteilung der inneren Isolierzugstangen ist durch besondere Ausbildung der Metallarmaturen sorgfältig gesteuert. Eine vollständige Versuchsanordnung dieser Bewegungsübertragung wurde während eines ganzen Jahres mit

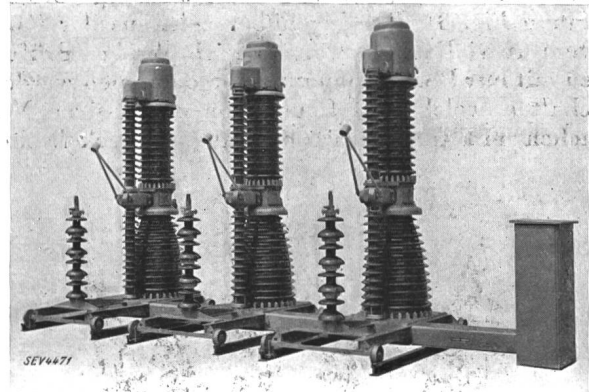


Fig. 5.
Dreipolige Konvektorschaltergruppe für 150 kV.
Abschaltleistung 1800 MVA.
In den Stützisolatoren sind Stromwandler eingebaut.

2,5facher Betriebsspannung im Freien belastet, ohne dass irgendwelche Veränderungen beobachtet werden konnten.

Die Serientrennstrecke kann, wie eingehende Versuche zeigten, besonders bei Spannungen unterhalb 100 kV ohne Bedenken weggelassen werden. Dies ergibt einerseits einen einfacheren Aufbau der Schalter für die niederen Höchstspannungen. Andererseits wird die für das Ein- und Ausschalten aufzubringende Antriebsenergie stark verringert.

Der Oelinhalt beträgt nur $1/30$ bis $1/100$ des in den Kesselschaltern aufgewendeten. Im gleichen Verhältnis stehen die beim Schalten höchsten Leistungen entwickelten Schalterarbeiten. Daraus geht hervor, dass die vom Abschaltvorgang herrührende Oelverschlechterung trotz geringster Oelmengen nicht

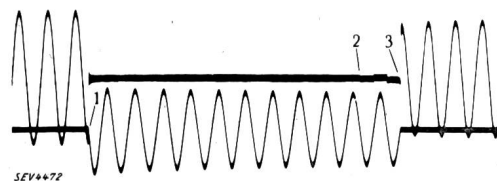


Fig. 6.
Oszillogramm einer einphasigen Ein- und Abschaltung im
150-kV-Konvektorschalter.

Spannung vor dem Kurzschluss 154 kV.
Abschaltstrom 2430 A.
Wiederkehrende Spannung 132 kV.
Einphasige Abschaltleistung 320 MVA.
Entsprechende Dreiphasenschaltleistung 640 MVA.
Lichtbogendauer 3 Halbperioden.

- 1 Beginn des Kurzschlusses.
- 2 Beginn der Unterbrechung.
- 3 Ende der Abschaltung.

grösser ist als bei älteren Konstruktionen. Dazu kommt noch, dass die Oelbeschaffenheit keinen Einfluss auf die Schaltfähigkeit ausübt. Der Oel- und auch Kontaktwechsel kann übrigens sehr leicht in wenigen Minuten an Ort und Stelle vorgenommen werden.

In Fig. 6 ist der Verlauf der einphasigen Ein-Ausschaltung in einem Pol, eines 150-kV-Schalters dargestellt. Die Prüfung geschah dabei mit der 1,5fachen Phasenspannung, da die wiederkehrende Spannung über dem erstlöschenden Pol bei äquivalenten dreiphasigen Abschaltungen ebenfalls diesen Wert besitzt (vgl. z. B. das dreiphasige Oszillogramm Fig. 8). Demgegenüber geht aus der Fachliteratur vielfach hervor, dass einphasige Prüfungen mit nur Phasenspannung vorgenommen werden. Schalter, welche auf Grund von einphasigen Versuchen mit nur Phasenspannung entwickelt sind,

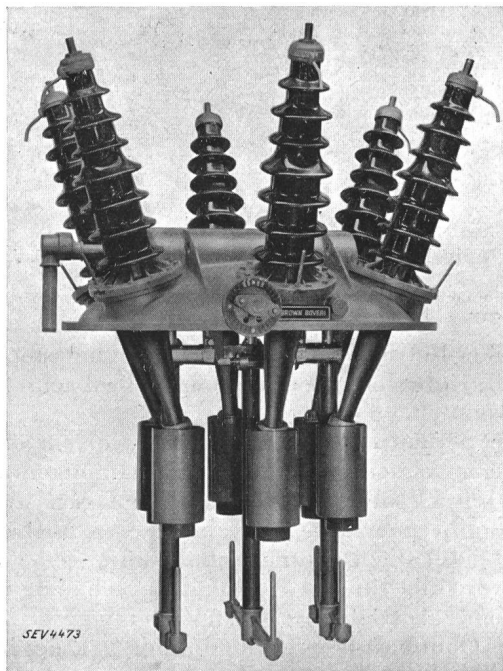


Fig. 7.

Dreipoliger Oelschalter für 87 kV, mit Konvektoren.
Abschaltleistung 750 MVA.
Aktiver Teil des Schalters ohne Oelkessel.

weisen entsprechend kleinere Abmessungen der aktiven Teile auf. Der Sicherheitsgrad für den Dreiphasenbetrieb ist jedoch bei solchen Apparaten als ungenügend zu bezeichnen. Die Anhänger der Prüfmethode mit Phasenspannung errechnen aus dem Oszillogramm Fig. 6 eine äquivalente Dreiphasenleistung von 960 MVA, während die Vertreter der sichereren Richtung 640 MVA erhalten. Diese Erläuterungen zeigen, dass beim Vergleich verschiedener Schalterfabrikate, wie auch bei der Beurteilung von einphasigen Schaltversuchen, besonders darauf zu achten ist, welche Methoden für die Berechnung zu Grunde gelegt sind.

Die Lichtbogendauer in den Konvektorschaltern beträgt selbst bei den grössten Spannungen und in allen Stromgebieten 0,03 bis 0,05 s. Das schalttechnische Verhalten ist so hervorragend, dass der Zyklus von je 3 Schaltungen z. B. nach dem neuen Entwurf der CEI mehrere Male hintereinander ohne Zwischenrevision durchgeführt werden kann.

Dreipolige Oelschalter mit Konvektoren.

Infolge der geringen Gasentwicklung beim Abschalten ist es möglich, unter Verwendung des Konvektorprinzips dreipolige Oelschalter für sehr hohe Nennspannungen zu bauen. Solche Schalter besitzen die ähnlichen elektrischen Eigenschaften wie die soeben beschriebenen Konvektorschalter, benötigen jedoch naturgemäss ein grösseres Oelquantum.

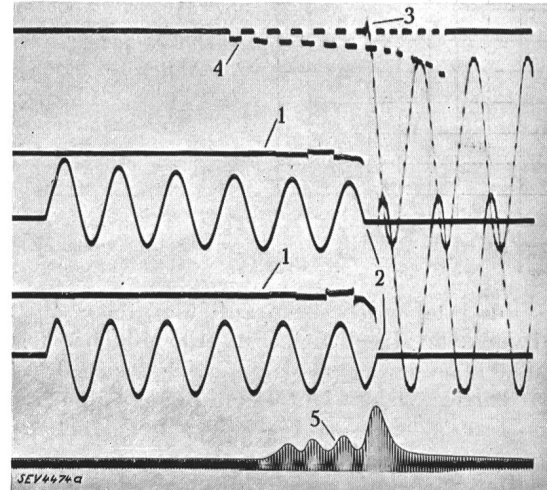


Fig. 8.

Oszillogramm einer dreiphasigen Abschaltung im 87-kV-Oelschalter mit Konvektoren.

Abschaltstrom 3780 A.
Verkettete wiederkehrende Spannung 89 kV.
Abschaltleistung 580 MVA.
Lichtbogendauer 4 Halbperioden.
1 Beginn der Unterbrechung.
2 Ende der Abschaltung.
3 Wiederkehrende Spannung über der erstlöschenden Phase gleich ca. 1,5mal Phasenspannung.
4 Aufnahme der Kontaktbewegung.
5 Druckverlauf in einem Konvektor.

Ein Vergleich der Oelmengen der verschiedenen Schalterarten von ähnlicher Leistungsfähigkeit bei 110 kV Nennspannung geht aus folgender Zusammenstellung hervor:

3-Kesselölschaltergruppe mit Vielfachunterbrechung	5700 kg
Dreipoliger Kesselölschalter mit Konvektoren	2450 kg
Konvektorschaltergruppe	150 kg

Fig. 7 zeigt einen aus dem Oelkübel ausgezogenen dreipoligen Oelschalter mit Konvektoren für 87 kV. Die Einbaumasse und damit der Raumbedarf sind geringer als bei einer entsprechenden dreipoligen Konvektorschaltergruppe. Aus diesem Grunde kann diese Schalterart überall dort Verwendung finden, wo es mehr auf den Preis ankommt, dafür aber die grössere Oelmenge in Kauf genommen wird. Fig. 8 ist das Oszillogramm einer Abschaltung im dreipoligen 87-kV-Oelschalter mit Konvektoren.

Schlussbetrachtungen.

Die Einführung des Konvektorprinzips stellt auf dem Gebiete der Schaltertechnik einen bedeutenden Fortschritt dar, indem es grösste Betriebssicherheit mit andern sehr beachtenswerten Vorteilen, wie geringe Oelmenge, absolut ruhiges und regelmässi-

ges Schalten, kleinste Schaltzeiten usw. in sich vereinigt. Zur Entwicklung dieses Prinzips bedurfte

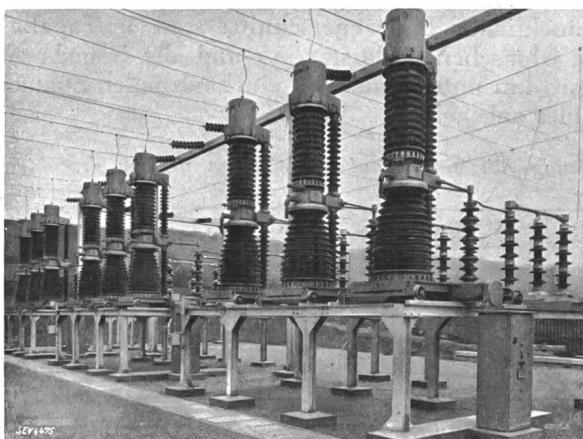


Fig. 9.
Schaltanlage Chèvres des E. W. Genf mit
135-kV-Konvektorschaltern.

es mehrerer tausend Abschaltungen, von denen jede einzelne sorgfältig ausgewertet und gedeutet

werden musste. Dazu kommen noch sehr viele Versuche, die Vergleichsresultate mit andern Schaltsystemen liefern mussten. Bis heute wurden trotz der verhältnismässig kurzen Zeit seit der Fabrikationsaufnahme über 100 Schalterpole bis zu den höchsten Spannungen ausgeführt. Die Schaltanlage des Kraftwerkes Chandoline der S. A. La Dixence wurde als erste mit 64- und 135-kV-Konvektorschaltern in Betrieb genommen. Gleichzeitig erfolgte auch die Inbetriebsetzung von Konvektorschaltern im Kraftwerk Bois Noir des E. W. Lausanne und in der Schaltanlage Chèvres des E. W. Genf (Fig. 9), wo nächstens 3 weitere dreipolige Gruppen zur Aufstellung gelangen.

In Netzbetrieben werden die Abschaltungen durch den günstigen Einfluss der Parallelbelastung und der verhältnismässig kleinen auftretenden Eigenfrequenz der Stromkreise gegenüber den Beanspruchungen im Prüffeld stark erleichtert. Die Konvektorschalter wurden für einen Frequenzbereich entwickelt, der in den Anlagen nicht auftreten wird. Dies bedeutet für den praktischen Betrieb die Einführung eines weiteren Sicherheitsfaktors.

Beitrag zur Untersuchung von Normalspannungsnetzen in Bezug auf Fehlerströme und Berührungsspannungen beim Auftreten von Erdschlüssen.

Von H. Ludwig, Bern.

621.316.99

Beim Auftreten von Erdschlüssen in Normalspannungsnetzen können unter gewissen Bedingungen gefährliche Berührungsspannungen zwischen Erde und genullten Apparategehäusen usw. entstehen und unter Umständen zu Unfällen führen, wenn die Erdungsanlage des betreffenden Netzes nicht vorschriftsgemäss erstellt ist. Der Betriebstechniker muss deshalb in der Lage sein, sowohl neu zu erstellende als auch im Betriebe befindliche Netze in Bezug auf die beim Auftreten von Erdschlüssen entstehenden Fehlerströme und Berührungsspannungen rasch und einwandfrei dimensionieren, bzw. nachprüfen zu können.

Nachstehend wird ein einfaches Rechnungsverfahren zur Lösung der Aufgabe angegeben, welches genaue Resultate liefert und sich auf alle praktisch vorkommenden Fälle anwenden lässt. Sodann wird ein Modell beschrieben, in welchem alle Netzdaten durch veränderliche Widerstände eingestellt und die beim Einleiten eines Erdschlusses auftretenden Fehlerströme und Berührungsspannungen an eingebauten Messinstrumenten abgelesen werden können. Zum Schluss folgen noch einige praktische Winke für die Durchführung von Erdwiderstandsmessungen und deren Verwertung bei der Bestimmung der Fehlerströme und Berührungsspannungen.

Lors des pertes à la terre dans les réseaux à tension normalisée, des tensions dangereuses sous certaines conditions peuvent prendre naissance entre la terre et des carcasses d'appareils, etc., mises à la terre par le neutre, tensions qui peuvent occasionnellement être la cause d'accidents, si la mise à la terre du réseau en question n'est pas conforme aux prescriptions. L'exploitant doit donc être à même de dimensionner correctement et de contrôler rapidement aussi bien les réseaux neufs que ceux en service en vue de limiter les courants de fuite et les tensions dangereuses lors de mises à la terre.

Dans ce but, l'auteur expose une méthode de calcul simple qui donne des résultats exacts et s'applique à tous les cas pouvant se présenter en pratique. Il décrit ensuite un fantôme sur lequel on peut reproduire à l'aide de résistances variables toutes les caractéristiques d'un réseau et lire sur des instruments les courants de fuite et tensions dangereuses qui se produisent lors d'une perte à la terre. L'article se termine par quelques conseils pratiques pour la mesure de la résistance des terres et pour le calcul des courants de fuite et des tensions dangereuses à l'aide de ces valeurs.

Zur Verhütung von Unfällen in Niederspannungsnetzen schreibt die «Verordnung über die Erstellung, den Betrieb und den Unterhalt von elektrischen Starkstromanlagen» vom 7. Juli 1933 in Art. 26 vor, dass beim Auftreten von Erdschlüssen keine Spannungen über 50 Volt gegenüber Erde an genullten, der Berührung ausgesetzten Apparategehäusen, Metallumhüllungen von Leitern und dergleichen auftreten, bzw. länger als einige Sekunden bestehen dürfen.

Als geeignete Schutzmassnahme zur Vermeidung gefährlicher Potentialdifferenzen zwischen Nulleiter und Erde dient in erster Linie die direkte Er-

dung des Systemnullpunktes der Wechselstrom-Niederspannungsanlagen. Ausserdem sind in den Hausinstallationen die nicht stromführenden Metallteile von Apparaten und Metallumhüllungen von Leitungen, soweit für diese besondere Schutzmassnahmen vorgeschrieben sind, an den geerdeten Nulleiter anzuschliessen («Nullung»). Da zwischen fehlerhaften genullten Objekten und der Erde immerhin gewisse Spannungen auftreten, welche dem Menschen und Tieren gefährliche Werte annehmen können, so sind gemäss Erläuterung zu Ziffer 4 Art. 26 die Verhältnisse der so auftretenden Spannungen und Kurzschlußströme sowie deren Dauer