Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 23 (1932)

Heft: 22

Artikel: II. Referat

Autor: Biermanns, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059347

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: 07.08.2025

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

$$a^2 - \frac{r_1}{L}\, a + \frac{1}{L(C+c)} = 0$$

und daraus

$$a = \frac{r}{2L} \pm j \sqrt{\frac{1}{L(C+c)} - \frac{r^2}{4L^2}} = \alpha \pm j\,\omega_0$$

sowie für die Ströme:

$$i_1 = A\, e^{-\alpha\tau} \sin \omega_0 \tau$$

$$i_2 = -\frac{c}{C+c}\, A\, e^{-\alpha\tau} \sin \omega_0 \tau$$

$$i_1 + i_2 = \frac{C}{C+c}\, A\, e^{-\alpha\tau} \sin \omega_0 \tau$$

Die Spannung an den Klemmen des Kondensators C ist gegeben durch das Integral

$$U = \frac{1}{C} \int (i_1 + i_2)\, \mathrm{d}\tau = \frac{A}{C+c} \int e^{-\alpha\tau} \sin \omega_0 \tau\, \mathrm{d}\tau$$

dessen Lösung ergibt:

$$U = -\frac{A}{C+c}\, e^{-\alpha\tau} \cdot \frac{\alpha \sin \omega_0 \tau + \omega_0 \cos \omega_0 \tau}{\alpha^2 + \omega_0^2} + K$$

Die Grenzbedingungen erlauben die Konstanten A und K zu bestimmen:

$$\tau = \infty \quad U_\infty = \sqrt{2}\, E_0 \sin \varphi = K$$

$$\tau = 0 \quad U_0 = -e_B = -\frac{A}{C+c} \cdot \frac{\omega_0}{\alpha^2 + \omega_0^2} \sqrt{2}\, E_0 \sin \varphi$$

es wird darnach:

$$A = \frac{\sqrt{2}\, E_0 \sin \varphi + e_B}{\omega_0 L}$$

Der Verlauf der wiederkehrenden Spannung ist somit durch die Gleichung

$$U = -(\sqrt{2}\, E_0 \sin \varphi + e_B)\, e^{-\alpha\tau} \left(\frac{\alpha}{\omega_0} \sin \omega_0 \tau + \cos \omega_0 \tau \right) + \sqrt{2}\, E_0 \sin \varphi$$

dargestellt.

Die einfache Umrechnung zeigt, dass für stark induktive Kreise der Spannungsverlauf durch folgende Gleichung sehr angenähert wiedergegeben werden kann:

$$U = (\sqrt{2}\, E_0 \sin \varphi + e_B)\, e^{-\alpha\tau} \cos(\omega_0 \tau + \pi) + \sqrt{2}\, E_0 \sin \varphi$$

wobei der Dämpfungsfaktor α und die Frequenz der Ausgleichsschwingung durch die Beziehungen

$$\alpha = \frac{r}{2L}; \quad \omega_0 = 2\pi f_0 = \sqrt{\frac{1}{L(C+c)} - \frac{r^2}{4L^2}}$$

ausgedrückt sind. Die wiederkehrende Spannung erreicht für $\tau = \frac{1}{2 f_0}$ den maximalen Wert

$$U_{max} = (\sqrt{2}\, E_0 \sin \varphi + e_B)\, e^{-\frac{\alpha}{2 f_0}} + \sqrt{2}\, E_0 \sin \varphi$$
$$\cong 1{,}8 \sqrt{2}\, E_0 \sin \varphi + 0{,}8\, e_B.$$

Ist die Zusammensetzung des Schwingungskreises komplizierter oder treten Rückzündungen auf, so kann die wiederkehrende Spannung einen etwas anderen Verlauf haben und unter Umständen höhere Maximalwerte erreichen. Dieses Problem soll hier nicht weiter behandelt werden.

II. Referat

gehalten von Prof. Dr. *J. Biermanns*, Direktor der Transformatorenfabrik der

Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Berlin (AEG).

Es wird gezeigt, dass die Arbeitsweise aller heutigen Hochleistungsschalter: der Oelschalter mit und ohne Löschkammer, der Druckölschalter, der Oelschalter mit Gitterkontakt, der Druckgasschalter und der Wasserschalter auf ein gemeinsames, übergeordnetes Prinzip zurückgeführt werden kann, nämlich auf das Strömen des unionisierten Löschmediums. Je besser man die Strömung steuert, um so sicherer beherrscht man den Unterbrechungsvorgang. Die modernen Schalter, die nach diesem Prinzip arbeiten, weisen alle eine sehr kurze Lichtbogendauer auf, ein Verhalten, das der Pressgasschalter am ausgeprägtesten zeigt.

L'auteur montre que le fonctionnement de tous les disjoncteurs modernes à grande puissance: disjoncteurs à huile avec et sans chambre d'extinction, disjoncteurs à huile comprimés, disjoncteurs à huile avec contacts à grille, disjoncteurs à gaz comprimé, disjoncteur à eau, repose sur un principe général, celui des courants dans le milieu d'extinction non ionisé. Mieux on dirige ces courants, d'autant plus sûrement on est maître du phénomène de rupture. Les disjoncteurs modernes qui reposent sur ce principe présentent tous une très faible durée de l'arc, caractéristique la plus marquée pour les disjoncteurs à gaz comprimé.

Im folgenden seien zunächst die verschiedenen Ausführungsformen der heutigen Hochleistungsschalter und ihre Arbeitsweise dargestellt und dabei der Oelschalter mit und ohne Löschkammer, der neue Druckölschalter (Oil blast breaker), der Oelschalter mit Gitterkontakt (Deion grid), der Druckgasschalter und der Wasserschalter betrachtet.

Die in Fig. 1 gegebene vereinfachte Darstellung der Unterbrechungsstelle der eben aufgezählten Schalterhauptformen zeigt deutlich ein übergeordnetes Prinzip: Kein Schalter ohne Strömung des löschenden Mediums. Sie sehen in der oberen Reihe links die Löschkammer, in der der Lichtbogen hohen Druck erzeugt, der dem Stift im Augenblick des Austrittes aus der Kammer einen Oelstrom nachjagt. Betrachten Sie sodann den in der Mitte der unteren Reihe dargestellten Druckölschalter, bei dem ein eigener Druckgenerator, in Form eines Hilfslichtbogens, bei einer anderen Ausführungsart in Form eines Druckkolbens, die Erzeugung der Oelströmung übernimmt. Der Unterschied gegenüber der Löschkammer kann etwa als Einführung einer fremderregten Strömung gegenüber der selbsterregten gekennzeichnet werden. Der Oelschal-

terlöschkammer sind rechts oben zwei Ausführungsformen der Wasserschalter-Löschkammer (AEG und SSW) gegenüber gestellt. Man sieht, es handelt sich um eine einfache räumliche Umkehrung, bei der dem Stift ein nach oben gehender Dampfstrahl nachfolgt, dessen Rückkondensation zu Wasser in einer anschliessenden Kondensationskammer begünstigt werden soll. Die untere Reihe zeigt links die von *Ruppel* angegebene Düse des Druckgasschalters, eine Ausführungsform, die zur dampfbeblasenen Unterbrechungsstelle des Wasserschalters gleichfalls im Verhältnis der Fremderregung zur Selbsterregung, deutlicher gesagt, der äusseren Beblasung zur Selbsterzeugung des strömenden Löschmittels steht. Der Vergleich ist kein rein äusserlicher. Genau so wie die selbsterregte Gleichstrommaschine im Bereiche kleiner Spannungen die Stabilität vermissen lässt, muss man auch von Schaltern mit selbsterzeugter Löschmittelströmung, also vom Löschkammerölschalter und vom Wasserschalter feststellen, dass ihre Schwierigkeiten auf dem Gebiet kleiner Ströme zu suchen sind, wo der erzeugte Druck keine ausreichende

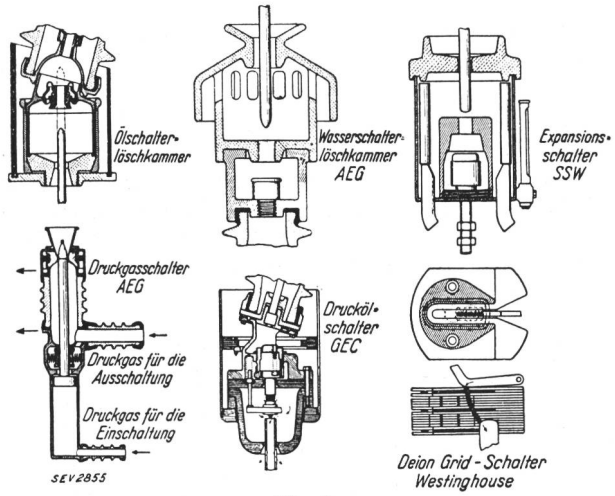

Fig. 1.
Schaltstellen moderner Hochleistungsschalter.

Strömung hervorzurufen vermag. Nun zum letzten Bild der unteren Reihe, dem Oelschalter mit Gitterkontakt: Der Lichtbogen wird hier zur Erzeugung magnetischer Wirkungen in den schwarz angelegten Eisenschichten ausgenützt, wird durch die magnetische Blasung in die Schlitze der Kammer getrieben, dort zur forcierten Gaserzeugung an den Wänden der vielfach unterteilten Kammer gezwungen und durch die Gasströmung zerrissen. Dass es sich auch hier um ein Ueberwiegen von Wirkungen handelt, die an ein Strömen des Löschmediums gebunden sind, sei mit den Worten eines Mitarbeiters des Erfinders belegt, der sich in der Zeitschrift Power (4. August 1931, S. 163) wie folgt äussert:

«Die Unterbrechung im Deion-Grid-Oelschalter vollzieht sich kurz gesagt folgendermassen:

1. Entstehung eines Lichtbogens unter Oel.
2. Entstehung eines magnetischen Eigenfeldes des Lichtbogens, das ihn auf eine vorgeschriebene Bahn zwingt.
3. Die Lichtbogenbahn ist eine tiefe, schmale Tasche, die von U-förmigen ölgetränkten Wänden aus Pressmaterial eingeschlossen ist.
4. Der heisse Lichtbogen bringt das eingeschlossene Oel zur Verdampfung.
5. Der Oeldampf durchbricht bei seinem Austreten den Lichtbogen.
6. Die turbulente Gasströmung bläst den Lichtbogen aus, indem sie ihm soviel Ionen entzieht, dass er beim Nulldurchgang erloschen bleibt.»

Der Autor fährt fort: «Bevor man grundsätzliche Untersuchungen über die Lichtbogenunterbrechung in Oel anstellte, sah man die Entstehung von Gas in Oelschaltern als notwendiges Uebel an, das mit der Löschung nichts zu tun hat. *Slepian* hat jedoch zeigen können, dass Oelschalter nur dadurch arbeiten, dass das vergaste Oel einen Strom nicht ionisierter Teilchen entwickelt, welche die Ionen aus dem hochionisierten Lichtbogen entfernen. Demgemäss ist der Deion-Grid-Schalter mit Recht ein gasbeblasener Oelschalter genannt worden.»

Diese oben zitierte Stelle zeigt, dass in der Tat die Strömung eines unionisierten Löschmediums das verbindende Glied aller bestehenden Arten der Hochleistungsunterbrechung vorstellt.

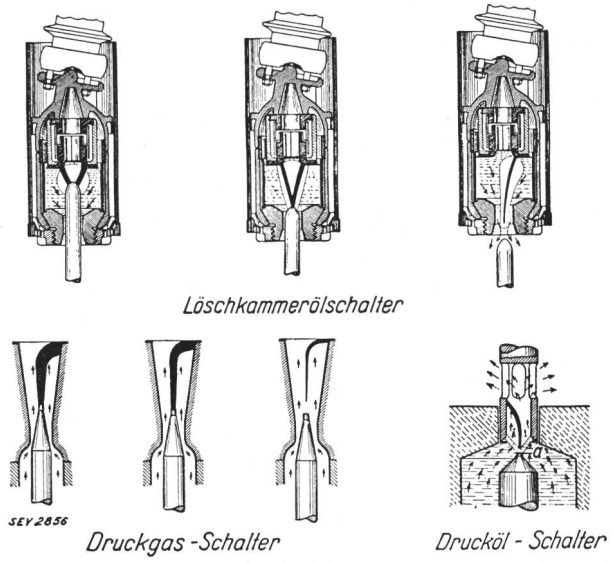

Fig. 2.
Lichtbogenunterbrechung im Hochleistungsschalter.

Innige Zusammenhänge zeigt Fig. 2, welche die Vorstellungen über den Verlauf des Unterbrechungsvorganges klarer herausarbeiten soll. Am Beispiel des Löschkammerölschalters und der Druckgasschalterdüse sieht man hier in je drei Phasen, wie sich der Lichtbogenkörper in der Nähe des Nulldurchganges zunächst zusammenzieht und dann durch die Strömung von der Elektrode abgeschnürt wird. Rechts unten sehen Sie denselben Vorgang am Beispiel des Druckölschalters. Es ist mit Nachdruck darauf hinzuweisen, wie hier an der Elektrode durch die Oelströmung eine durchschlagsfeste Oelschicht entsteht, welche offenbar um so stärker und daher wirksamer sein wird, je höher die Geschwindigkeit der Oelströmung ist. Wir werden auf dieses Beispiel noch zurückkommen, weil das Experiment hier eine überzeugende Bestätigung für die Richtigkeit der Vorstellung geliefert hat.

Vorher soll in Fig. 3 anhand von Zeitlupenaufnahmen (5000 Bilder/Sekunde) der Beweis geführt werden, dass der Lichtbogen im Druckgasschalter tatsächlich gegen Ende der Halbperiode durch Verringerung seines Querschnittes zusammenschrumpft und von der Elektrode fortgeblasen wird, wobei der Gasstrom die Schaltstrecke reinigt und mit durchschlagsfestem Gas anfüllt. Zum besseren Verständnis sei hier zunächst durch Fig. 4 der Aufbau des Lichtbogens verdeutlicht; sie soll Anhaltspunkte über die Verteilung der Ladungsträger im Lichtbogen vermitteln. Die verschiedene Beweglichkeit der positiven und negativen Ladungsträger (Ionen bzw. Elektronen) führt zu einer ungleichmässigen Verteilung der Ladungen und Spannungen in der Lichtbogensäule, so dass die in dem Bilde dargestellte Kurve je einen stärkeren Spannungsabfall an den Elektroden (Kathodenfall bzw. Anodenfall) und einen mässigen Spannungsabfall in der dazwischenliegenden Lichtbogensäule zeigt. Man hat es also im Lichtbogen mit einem hochionisierten Gaskörper zu tun, in welchem durch die von den Elektroden ausgehenden Ladungsträger eine ständige Erneuerung abwandernder oder unwirksam gemachter Ionen stattfindet. Die nächste Zeitlupenaufnahme (Fig. 5) zeigt nun die letzten Phasen des sterbenden Lichtbogens. Sie erkennen den Lichtbogenansatzpunkt an der Stiftspitze, den Schatten der nicht durchgeschnittenen Zwischenscheibe zwischen dem oberen Trichter und dem unteren Düsentragkörper. Sie sehen im letzten Teilbild das definitive Erlöschen des auf einen dünnen Faden zusammengeschrumpften Lichtbogens, der offenbar auf seiner ganzen Länge und am ganzen Umfang der entionisierenden Wirkung der strömenden Druckluft ausgesetzt ist. In Fig. 6 können Sie wahrnehmen,

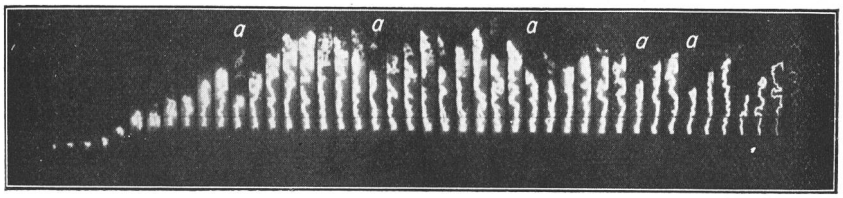

Fig. 3.
Zeitlupenaufnahme des Abschaltvorganges beim Druckgasschalter.

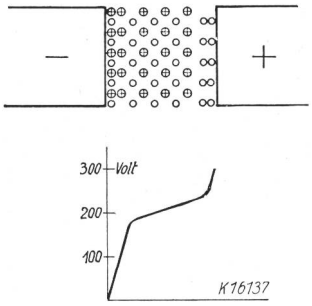

Fig. 4.
Unterbrechungsvorgang. Zustand der Schaltstrecke während des Stromflusses.

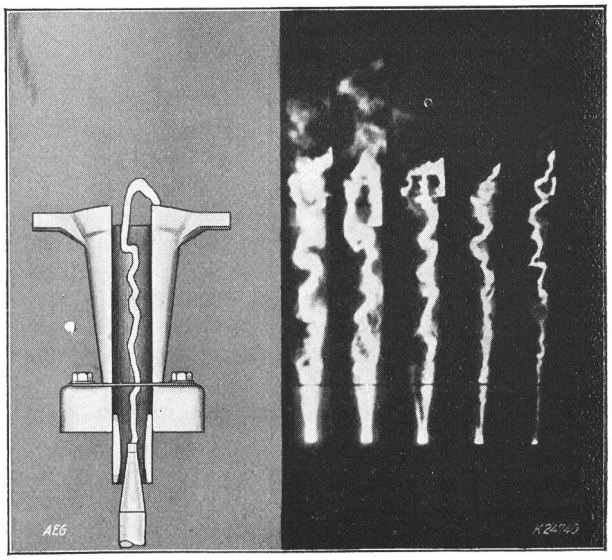

Fig. 5.
Zeitlupenaufnahme der letzten Phasen vor endgültiger Unterbrechung im Druckgasschalter.

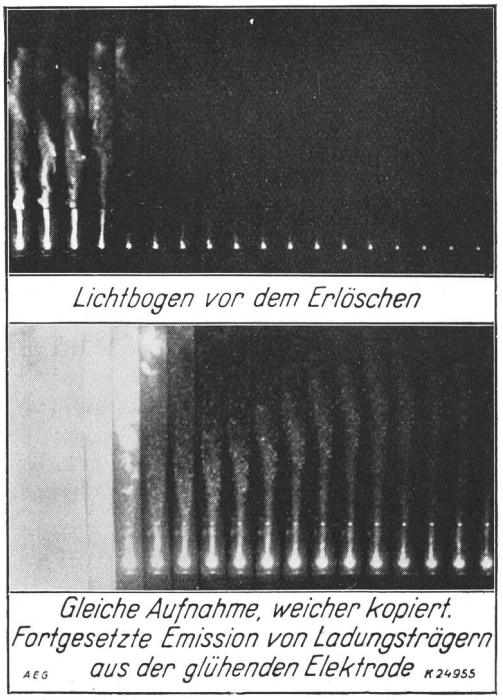

Fig. 6.
Unterbrechungsvorgang im Druckgasschalter.

wie sich der Lichtbogenkörper bei der endgültigen Unterbrechung an der Elektrode abschnürt und von ihr als Wolke abgehoben wird. Dass die Elektrode dann den Kampf noch nicht aufgibt, sehen Sie an der unteren Bildreihe, die mit der oberen völlig identisch und nur vom selben Negativ weicher kopiert ist. Sie sehen links die hellen Bildstreifen des brennenden Lichtbogens, in denen jetzt alle Einzelheiten durch Blendung verschwinden, rechts die nach der Unterbrechung aus dem Kontakt austretenden Wolken von Ladungsträgern, die von der Druckluft dauernd fortgeblasen werden. Beim Druckgasschalter ist der eben geschilderte Unterbrechungsvorgang in idealer Weise verwirklicht. Er ist darum der einzige Schalter, der in seinem ganzen Arbeitsbereich gleichmässig in einer Halbperiode zu unterbrechen vermag.

Dass wir aber berechtigt sind, auch bei anderen Schalterformen die hier behandelten Grundvorstellungen als zutreffend zu erachten, sei in Fig. 7

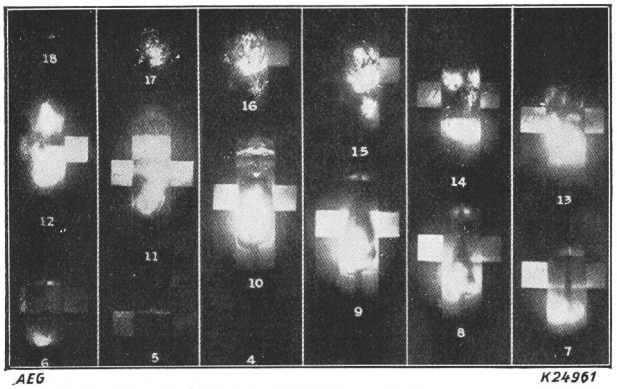

Fig. 7.
Lichtbogenunterbrechung im Oelschalter mit offenen Kontakten. 6 kV, 50 A, $\cos\varphi = 0{,}45$.

anhand des Modelles eines normalen Oelschalters mit offenen Kontakten bewiesen, bei dem es nicht unmittelbar einleuchtend ist, wieso die Bespülung mit einem unionisierten Löschmedium zustande kommt. Die drei übereinander befindlichen Bildreihen sind fortlaufend von rechts unten nach links oben zu verfolgen. Man erkennt zunächst das Entstehen des Lichtbogens nur an dem streifenförmigen Reflex am Oelspiegel (Teilbild 5), sieht dann, wie sich die Gasblase entwickelt (Teilbild 8) und gleichzeitig der Oelspiegel hebt (Teilbild 9), bis die Gasblase den Oelspiegel durchbricht (Teilbild 11). Nun stürzen die Oelwände der Gasblase ein, der Lichtbogen sinkt zusammen und wird erstickt (Teilbild 13 bis 18). Beim gewöhnlichen Oelschalter hat man es also offenbar mit einer ungeregelt verlaufenden Oelströmung zu tun.

Je besser man die Strömung steuert, um so sicherer beherrscht man den Unterbrechungsvorgang, um so schneller unterdrückt man den Lichtbogen. Es sei an das Bild von der durchschlagsfesten Oelschicht erinnert, die sich im Druckölschalter durch die Oelströmung ausbildet. Fig. 8 bringt eine schöne Bestätigung dieser Vorstellung. Zum besseren Verständnis sei aus dem Folgenden ein Punkt vorweg genommen. Aufgabe der durchschlagsfesten Schicht ist es, die nach dem natürlichen Nulldurchgang des Stromes auftretende Spannungsbeanspruchung mit Sicherheit aufzunehmen. Würde die volle treibende Spannung ohne jede Verzögerung an der Unterbrechungsstelle erscheinen, so wäre noch keine isolierende Zwischenschicht geschaffen; es müsste zu einer Rückzündung kommen. Glücklicherweise kann die Wiederkehr der Spannung an der Unterbrechungsstelle nicht sprunghaft erfolgen. Es kommt ein in der Regel hochfrequenter Anstieg zustande, der aber immerhin eine gewisse Zeit braucht, so dass man von einer in V/μs auszudrückenden, mit der Zeit wachsenden Beanspruchung der Schaltstrecke

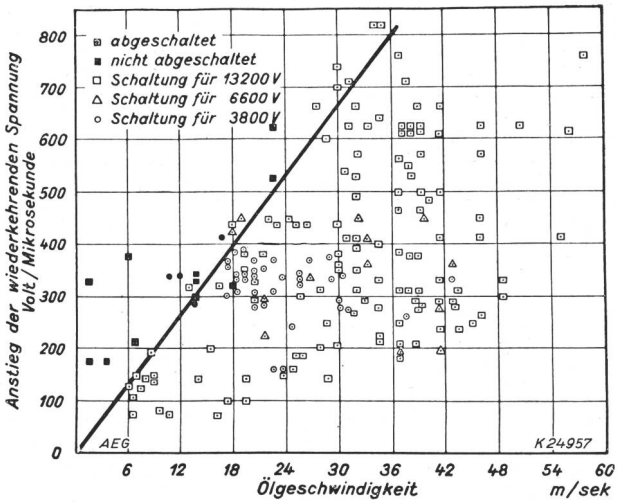

Fig. 8.
Zulässige Anstieggeschwindigkeit der wiederkehrenden Spannung, abhängig von der Oelgeschwindigkeit für verschiedene Spannungen.

sprechen muss. Wenn sich nun in der gleichen kurzen, aber doch endlichen Zeit die Durchschlagsfestigkeit der Schaltstrecke ausreichend zu regenerieren vermag, so ist die Rückzündung unterbunden, der Unterbrechungsvorgang vollzogen. Offenbar ist zur Herstellung einer ausreichenden Löschwirkung ein um so schnelleres Anwachsen der Dicke der Oelschicht und damit eine um so grössere Geschwindigkeit des in die Schaltstrecke gepressten Oeles erforderlich, je schneller die Spannung wiederkehrt. Es muss sogar strenge Proportionalität bestehen, d. h. es ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit des Spannungsanstieges und Geschwindigkeit der Oelströmung, welcher das Gebiet erfolgreicher Unterbrechung von dem Gebiet der Fehlschaltungen trennt. In der Tat sehen Sie aus der Eintragung der mit den verschiedensten Absolutwerten der Spannung angestellten Versuche, dass die voll markierten Fehlschaltungen mit einer Ausnahme oberhalb der eingetragenen Grenzgeraden liegen, welche die für eine bestimmte Geschwindigkeit des Spannungsanstieges erforderliche Mindestöl-

geschwindigkeit angibt. Die Lage der Grenzgeraden ergibt zurückgerechnet eine Oelfestigkeit von 200 kV/cm, ein Wert, der für kurzzeitige Beanspruchungen dünner Oelschichten durchaus in der richtigen Grössenordnung liegt. Damit erscheint aber die Vorstellung von einer die Schaltstrecke reinigenden Durchströmung des Lichtbogenraumes mit einem dielektrisch festen Löschmittel bei allen bekannten Schaltertypen zumindest als vollauf gerechtfertigte, zurzeit am besten bestätigte Arbeitshypothese. Es kann als bewiesen gelten, dass die Löschwirkung an eine Strömung des Löschmittels gebunden ist, wobei ich mich jedoch nicht unbedingt an die Vorstellung von dem Zwischenschieben einer durchschlagsfesten Schicht in die Lichtbogenbahn klammern möchte, sondern eine allgemeine Erklärung der regenerierenden Wirkung der Strömung offen lasse. Hier bleibt noch eine grosse Anzahl von Einzelheiten aufzuklären, auf die Herr Mayr im nächsten Referat näher eingehen wird.

Vorher möchte ich jedoch noch einiges über die Rückkehrzeit der wiederkehrenden Spannung und über ihren Einfluss auf den Unterbrechungsvorgang sagen. Wenn die Rückkehrzeit auch unter dem Einfluss der Netzkapazität und bis zu einem gewissen Grade unter dem Einfluss Ohmscher Belastungen grosse, den Unterbrechungsvorgang begünstigende Werte annehmen kann, so ist doch bei Betriebsspannungen bis 30 kV und mehr ein Umstand nicht ausser acht zu lassen: Man riegelt die Schaltstelle häufig gegen die übrige Anlage durch Strombegrenzungsreaktanzen ab, in denen bei Kurzschluss ein wesentlicher Teil der Spannung abgedrosselt wird. Es kommt also darauf an, wie schnell die vor der Reaktanz in nahezu voller Höhe wartende, dort in verschiedenen Kapazitäten aufgespeicherte Spannung durch die Reaktanz durchkommt und am Schalter selbst erscheint. Wie das Kathodenstrahloszillogramm Fig. 9 zeigt, geschieht

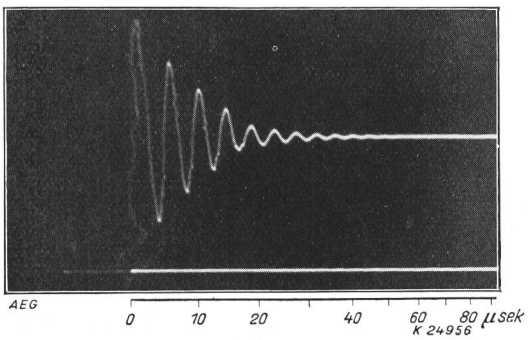

Fig. 9.
Eigenschwingung einer Strombegrenzungs-Drosselspule, $f = 220\,000$ Per./s.

dies in sehr kurzer Zeit, da die Eigenfrequenz der Reaktanzen ausserordentlich hoch, je nach ihrer Bauart in der Grössenordnung von 50 000 bis 500 000 Per./s liegt. Die Eigenschwingungen von Transformatoren und Generatoren erfolgen zehnmal langsamer. Fig. 10 zeigt eine in der Kurzschlussversuchsanlage der AEG eingebaute Strombegrenzungsreaktanz, welche zur Einstellung vorbestimmter Abschaltleistungen dient. Man erkennt die Bedeutung einer Prüfung der Schalter unter möglichst scharfen Verhältnissen, erkennt auch das stark wechselnde Schicksal, das dem Schalter durch

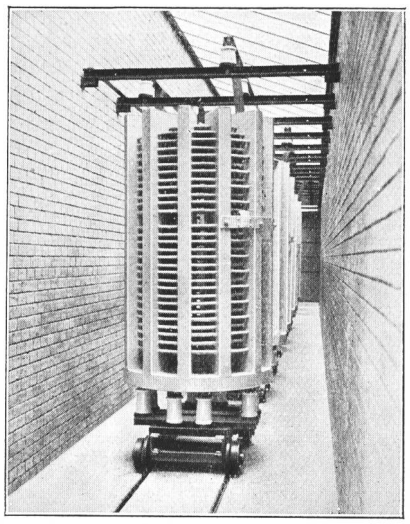

Fig. 10.
Reaktanzen zur Strombegrenzung im Kurzschlussversuchsfeld der AEG-Transformatorenfabrik.

die Einbauverhältnisse bereitet werden kann. Liegt mit dem Schalter eine Reaktanz unmittelbar in Reihe und zweigt die betreffende Leitung von einem Punkt mit erheblicher Kapazität der angeschlossenen Netzteile ab, so verschwindet gegenüber dem Einfluss der Reaktanz derjenige der Netzlast und der Transformatoren durchaus. Eben deshalb ist gerade bei Kurzschlussversuchsanlagen auf enge räumliche Nachbarschaft der Reaktanzen und der Prüfobjekte zu achten, damit letztere nicht durch die Kapazität langer Verbindungsleitungen zwischen Reaktanz und Schalter oder gar durch Anwendung von Verbindungskabeln eine in diesem Falle unerwünschte Begünstigung erfahren. Eine so durchgebildete Kurzschlussversuchsanlage gestattet dann tatsächlich, schärfere Beanspruchungen herzustellen, als sie die Praxis jemals bieten kann.

Auch die Empfehlung, älteren, unzureichenden Schaltern an entfernten Punkten des Netzes einen ruhigeren Lebensabend zu verschaffen, ist mit grosser Vorsicht aufzunehmen. Erstens gibt es kritische Kurzschlussentfernungen, in denen die Abschaltleistung ein Maximum erreicht; zweitens sind bei Stichleitungen grösserer Netze die Voraussetzungen für schnellen Wiederanstieg der Spannung häufig genug erfüllt. Von ausschlaggebender Bedeutung ist die Netzkapazität, welche, wenn sie durch den vorangegangenen Kurzschluss entladen wurde, die Wiederkehr der Spannung so wirksam verzögert, dass auch schwache, in der Prüfanlage versagende Schalter dem praktischen Betrieb ohne weiteres standhalten und dort ihre sogenannte Nennausschaltleistung tatsächlich beherrschen.

In diesem Zusammenhange sei noch auf die Frage eingegangen, ob es mit Rücksicht auf die grosse Erleichterung der Ausschaltbedingungen, die der Schalter durch die Netzkapazität im praktischen Betrieb häufig vorfindet, zweckmässig ist, bei Auswahl eines Schalters die im Kurzschlussversuchsfeld ermittelte Grenzausschaltleistung zu Grunde zu legen. Ganz abgesehen davon, dass diese im Prüffeld ermittelte sogenannte Nennabschaltleistung eines Schalters einen bequemen Maßstab darstellt, der einen mühelosen Vergleich verschiedener Schaltertypen unter gleichen Verhältnissen ermöglicht, so konnte ich im vorhergehenden zeigen, dass im praktischen Betrieb sehr kurze Rückkehrzeiten τ vorkommen können, die selbst die in Hochleistungsprüffeldern vorhandenen kleinen Rückkehrzeiten erreichen können. Es ist aber allgemein üblich, bei der Bemessung und Auswahl eines Apparates die ungünstigste Beanspruchung zugrunde zu legen, die im praktischen Betrieb auftreten kann.

Die Stromunterbrechung ist ein Entionisierungsvorgang. Es erhebt sich die Frage, ob die kurzen für die Entionisierung verfügbaren Zeiten τ, welche

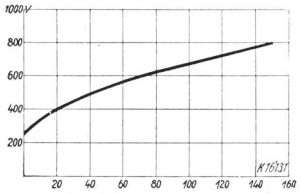

Fig. 11.
Unterbrechungsvorgang. Wiederkehr der dielektrischen Festigkeit einer kurzen Schaltstrecke mit kalten Elektroden (nach J. Slepian).

im praktischen Betrieb zwischen eintausendstel und einmillionstel Sekunde schwanken, für den Ablauf dieses Vorganges ausreichen. Es ist nun sehr interessant, dass diese Zeiten sich zufällig gerade mit den für die Entionisierung benötigten überschneiden. Stellen Sie sich vor, ein kurzer, zwischen zwei Elektroden brennender Lichtbogen sei sich selbst

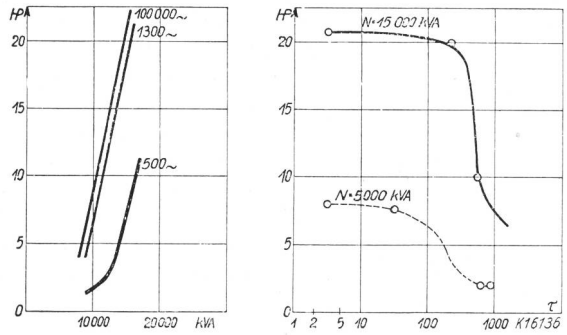

Fig. 12.
Einfluss der Netzkapazität auf die Lichtbogendauer bei einem Oelschalter.

überlassen. Dann wird nach der Kurve Fig. 11 ein Teil der Spannung sofort, also etwa in *einer* Mikrosekunde wiederkehren dürfen, ohne dass die Schaltstrecke durchbrochen wird. In einem Teil derselben wird offenbar die Entionisierung durch Rekombination positiver und negativer Ladungsträger sofort beendet sein. Wir gehen nicht fehl, wenn wir diesen Vorgang an die Elektroden selbst verlegen. In der eigentlichen Lichtbogensäule macht der Prozess hingegen viel langsamere Fortschritte. Man erkennt, dass der Vorgang dann Zeiten beansprucht, welche in die Grössenordnung der langsamen Eigenschwingungen des unterbrochenen Kreises fallen. Dies spiegelt sich deutlich in der in Fig. 12 gezeigten Abhängigkeit der Lichtbogenbrenndauer eines Oelschalters mit normalen offenen Kontakten bei veränderlicher Wiederkehrzeit. Erst bei erheblicher Vergrösserung von τ geht die Lichtbogendauer energisch herunter. Das wäre sozusagen der natürliche Entionisierungsvorgang. Steuert man hingegen die Durchströmung des Lichtbogens mit dem Löschmedium, so ist eine viel kräftigere Entionisierung zu erwarten. Es muss sich schon für viel kleinere Werte von τ ein erheblicher Rückgang der Lichtbogendauer zeigen. In der Tat zeigt Fig. 13, dass der Druckgasschalter schon bei ganz kurzen Wiederkehrzeiten entsprechend sehr kleinen Netzkapazitäten seine Licht-

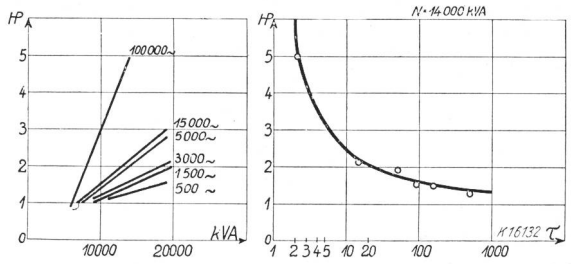

Fig. 13.
Einfluss der Netzkapazität auf die Lichtbogendauer beim Druckgasschalter.

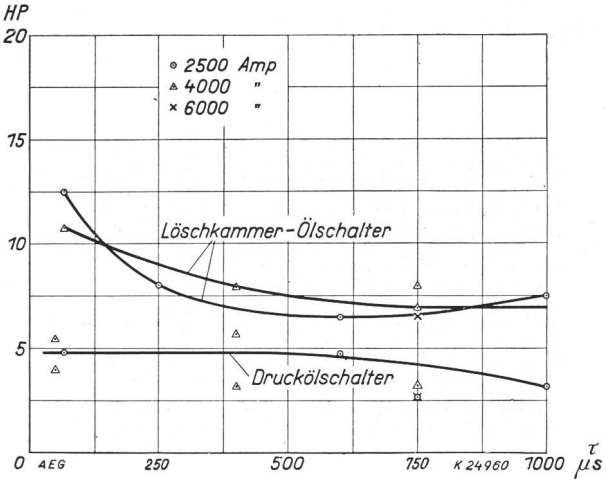

Fig. 14.
Einfluss der Netzkapazität auf die Lichtbogendauer beim Löschkammer- und Druckölschalter.

bogendauer auf eine einzige Halbperiode beschränkt. Sie sehen in Fig. 14, dass, wie nicht anders zu erwarten, auch der Löschkammerölschalter und in noch ausgeprägterem Masse der Druckölschalter jenes Verhalten aufweisen, das der Druckgasschalter gewissermassen in Reinkultur

repräsentiert. Sie alle haben auch bei schnellem Wiederanstieg der Spannung, also auch bei geringer Netzkapazität, eine kurze Lichtbogendauer.

Die eben angestellten Betrachtungen konnten klarstellen, welche Bedeutung den Vorgängen unmittelbar *nach* dem Nulldurchgang des Stromes für den Unterbrechungsvorgang zukommt. Es liegt nahe, auch den Vorgängen *vor* Erreichung des Nullwertes eine gewisse Bedeutung beizulegen. Sie sehen dies schon daraus, dass der Lichtbogen des Druckgasschalters nach der Aussage der Zeitlupenaufnahmen vor dem Nulldurchgang seine Form weitgehend verändert und insbesondere seinen Querschnitt nahezu vollständig einbüsst. Sicher wird also die Ionenbilanz schon in diesem Zeitpunkt gestört. Auf die verschiedenen Faktoren, die hier von Einfluss sind, wird Herr Mayr im nächsten Referat näher eingehen.

(Fortsetzung folgt.)

Die Nutzbarmachung der Hinterrhein-Wasserkräfte.

Von *A. Härry*, Ingenieur, Zürich.

621.311.21(494)

Es wird ein Ueberblick über den projektierten Ausbau der Hinterrheinwasserkräfte gegeben. Als erster Ausbau dieser Wasserkräfte ist ein Kraftwerk Splügen-Andeer mit $330 \cdot 10^6$ kWh reiner Winterenergie vorgesehen. Als zweite Etappe würde ein Werk Andeer-Sils mit $235 \cdot 10^6$ kWh Winter- und $210 \cdot 10^6$ kWh Sommerenergie, und im dritten Ausbau die Zuleitung des Averserrheins in den Stausee Splügen des ersten Werkes folgen, während weitere Ausbaumöglichkeiten einer späteren Zukunft vorbehalten bleiben. Die beiden Werke, inklusive Averserrhein, können $633 \cdot 10^6$ kWh Winter- und $465 \cdot 10^6$ kWh Sommerenergie erzeugen; der vorgesehene Ausbau beträgt 340 000 kW. Die Kosten werden (Basis 1930) auf $226 \cdot 10^6$ Fr. veranschlagt.

L'auteur donne un aperçu de l'aménagement projeté des forces hydrauliques du Rhin postérieur. Comme première étape, il est prévu une centrale Splugen-Andeer, produisant $330 \cdot 10^6$ kWh uniquement en hiver. La seconde étape prévoit une centrale Andeer-Sils, disposant de $235 \cdot 10^6$ kWh en hiver et de $210 \cdot 10^6$ kWh en été. Pour la 3me étape, on dériverait le Rhin d'Avers dans le lac artificiel du Splugen, tandis que d'autres possibilités d'aménagement resteraient réservées à l'avenir. Les deux centrales, y-compris la dérivation du Rhin d'Avers sont susceptibles de produire ensemble $633 \cdot 10^6$ kWh en hiver et $465 \cdot 10^6$ kWh en été; la puissance installée totale prévue est de 340 000 kW. Pour les frais d'aménagement (base 1930) le devis prévoit une somme de fr. $226 \cdot 10^6$.

Das Hinterrheingebiet, speziell der Teil oberhalb Thusis mit dem Averserrhein als wichtigstem Zufluss, hat längst die Aufmerksamkeit der wasserwirtschaftlichen Kreise auf sich gezogen. In den Jahren 1898 bis 1899 wurde durch die schweizerische Gesellschaft für elektrochemische Industrie in Bern die kurze Gefällstrecke des Hinterrheins von Rongellen bis zum Ausgang der Viamalaschlucht bei Thusis in einer Wasserkraftanlage ausgenützt. Bevor sich die Stadt Zürich definitiv für den Bau des Albulawerkes entschloss, wurden Studien über die Ausnützung der Wasserkräfte im Hinterrheingebiet durchgeführt, wobei man die Stufe Sufers-Andeer besonders in Erwägung zog. Die Studien wurden später von der Lonza A.-G., Nachfolgerin der oben genannten Gesellschaft, wieder aufgenommen und es wurde gleichzeitig mit den ersten Verleihungsverträgen in den Jahren 1917/18 die Abklärung der hydrologischen Verhältnisse durch die Errichtung von Limnigraphenstationen im Einzugsgebiet in die Wege geleitet.

Alle Studien und Beobachtungen ergaben, dass eine rationelle Ausnützung der Wasserkräfte des Hinterrheins nur in Verbindung mit grossen Akkumulieranlagen möglich sei. Zu diesem Resultat kamen auch die im Auftrage der Talsperrenkommission des schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes durch Ing. Froté in Zürich in den Jahren 1911 bis 1919 durchgeführten Erhebungen.

Mit dem Uebergang des Elektrizitätswerkes Thusis an die Rhätischen Werke für Elektrizität im Jahre 1920 wurde das Studienmaterial Eigentum dieser Gesellschaft, die sich unter der Leitung ihres Direktors, G. Lorenz, Thusis, in Verbindung mit der A.-G. Motor-Columbus, Baden, mit Umsicht und Energie der Weiterverfolgung der Projekte annahm. Umfassende topographische und geologische Erhebungen und Kostenberechnungen führten dazu, die Erstellung einer *sehr grossen Stauanlage* ins Auge zu fassen, die im ersten Ausbauprogramm der Werke *grosse Mengen reiner Winterenergie für den schweizerischen Energiemarkt* zur Deckung des Wintermankos der Flusskraftwerke liefert und die bei Vollausbau immer noch einen beträchtlichen Ueberschuss an Winterenergie ergibt. Es folgten dann umfangreiche Untersuchungen über die Entschädigungs- und Umsiedelungsfragen durch die schweizerische Vereinigung für Innenkolonisation und industrielle Landwirtschaft. So wurden in zäher, aufopfernder Arbeit die Bausteine zu dem heute vorliegenden Projekt der Ausnützung der Wasserkräfte des Hinterrheins zusammengetragen. In einer Serie von Publikationen unter dem Titel «Beiträge zur Nutzbarmachung der Hinterrhein-Wasserkräfte» hat Direktor Lorenz den ganzen Fragenkomplex gedrängt und übersichtlich dargestellt. Die Publikation umfasst folgende Abschnitte:

I. Teil: Allgemeines,
II. Teil: Die wirtschaftliche Bedeutung,
III. Teil: Die Staubeckenanlagen,
IV. Teil: Wirtschaft und Siedelung im Rheinwald, ihre Schädigung durch die projektierten Stauseen und die Wiederherstellung durch Realersatz,
V. Teil: Das Projekt von 1930/31,