

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 13 (1922)
Heft: 10

Artikel: Schaltversuche an selbsttätigen Luftschaltern
Autor: Schälchlin, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059787>

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: 17.02.2026

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

der beschriebenen Versuche zu ersehen, wobei der Uebersicht halber jeweils das dritte Diagramm in einem grösseren Masstabe gezeichnet ist. Besonders beachtenswert ist in Fig. 6c die starke Abweichung von der Kreislinie.

Wenn auch im allgemeinen den Porzellanfirmen die Scheitelfaktoren der einzelnen Maschinen und Versuchsanordnungen bekannt sein dürften, empfiehlt sich trotzdem eine oszillographische Untersuchung der Prüfspannungsform durch den betreffenden Abnahmeingenieur. Die angeführten Oszillogramme, ihre Analyse und die Rekonstruktion der Spannungskurven geben ein deutliches Bild über den Einfluss des jeweiligen Scheitelfaktors, der sich mit jeder Prüfungsanordnung ändert.

Schaltversuche an selbsttätigen Luftschaltern.

Von W. Schälchlin, Genf.

Der Autor untersucht zunächst die beim Öffnen der Kontakte von Luftschaltern auftretenden Strombahnen und gibt darauf Mittel an, durch welche das seitliche Abblasen des Lichtbogens in einfacher Weise vermieden werden kann.

L'auteur examine quel chemin poursuit le courant dans les différentes positions de l'interrupteur et indique comme il est possible d'empêcher l'arc de s'échapper latéralement.

Die bedeutende Entwicklung der elektrischen Traktion erforderte, neben der Ueberwindung einer Reihe von Schwierigkeiten, ein sorgfältiges Studium der für sie in Betracht kommenden elektrischen Apparate. Dieselben sollen bei kleinsten Dimensionen auch im schwersten Betrieb ein absolut sicheres Arbeiten gewährleisten. Bei den immer grösser werdenden Leistungen der Schaltapparate sind es, neben dem mechanischen Aufbau derselben, die Kontakte, welche die grösste Aufmerksamkeit erfordern. Wie weit dabei die magnetische Funkenlöschung mittels zusätzlicher Blasspule notwendig ist, hängt einerseits von der Kontaktanordnung, anderseits von den Betriebsbedingungen ab, denen der Schalter unterworfen ist, wie z. B. Abschaltleistung, bzw. dem Verhältnis von Spannung zur Stromstärke usw. In der vorliegenden Arbeit soll diese Frage speziell für Einphasen-Wechselstrom von 16 Perioden pro Sekunde näher untersucht werden.

Einfluss der Kontaktform auf das Verhalten des Abschaltlichtbogens.

Zündet man zwischen zwei Elektroden, wie in Fig. 1 angedeutet, einen Lichtbogen, so wird derselbe, abgesehen von äusseren Einflüssen,

wie Luftbewegung usw., bei nicht zu grosser Elektrodenabstand und genügend hoher Spannung stehen bleiben. Ein Einfluss des eigenen magnetischen Feldes auf den Lichtbogen ist infolge der Elektrodenanordnung unmöglich.



Fig. 1

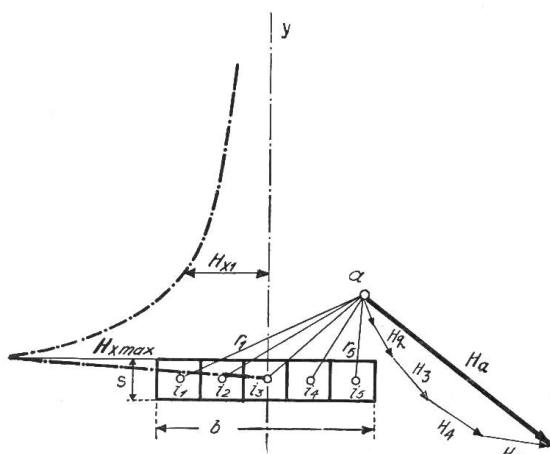


Fig. 2

Es ist daher naheliegend, die Kontakte so auszubilden, dass eine möglichst grosse Einwirkung des magnetischen Eigenfeldes auf den Lichtbogen erfolgt. Dieses ist bei den sogenannten Schlaufenkontakten verwirklicht (Fig. 4a). Dabei ist jedoch wichtig, dass der Lichtbogen durch das Feld immer in bestimmter Richtung gegen die Kontaktspitzen gedrückt wird und dort abreisst.

Grösse des magnetischen Eigenfeldes.

Das auf den Lichtbogen einwirkende Magnetfeld wird, wie bekannt, von den beiden Teilen I und II der Stromschleife erzeugt (siehe Fig. 4a und 4b). Die

Kraftwirkung der Schlaufe lässt sich beispielsweise dadurch erklären, dass innerhalb derselben eine Verdichtung der Kraftlinien entsteht, wodurch der Lichtbogen nach aussen gedrückt wird.

Die Grösse des Blasfeldes einer Schlaufe ergibt sich durch Uebereinanderlagerung der von den Leitern *I* und *II* erzeugten Eigenfelder. Dabei sei ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, dass die Länge der Schlaufe keine Rolle spielt; die Kraftwirkung hängt nur von der Feldstärke ab, die in unmittelbarer Nähe des Lichtbogens herrscht. Da es sich in der Praxis meist um Leiter mit rechteckigem Querschnitt handelt, so soll die Feldverteilung für einen solchen bestimmt werden.

Zu diesem Zwecke unterteilen wir den Leiter in Fig. 2 in kleine Quadrate von der Seitenlänge *s*. Jedes derselben wird, gleichmässige Stromverteilung im Leiter vorausgesetzt, vom Teilstrom $i = \frac{s}{b} J$ durchflossen und erzeugt im Punkte *a* eine Feldstärke, die sich mit grosser Annäherung berechnet zu

$$H = \frac{s}{5 b r} \cdot i$$

Ihre Richtung ist immer senkrecht zum betreffenden Radius *r* und dargestellt durch die Grössen $H_1, H_2, H_3 \dots$. Die totale Feldstärke entspricht der Resultierenden H_a . Bestimmt man diese für mehrere Punkte und verbindet diejenigen gleichen Potentials, so ergeben sich die in Fig. 3 ersichtlichen Niveaulinien. Es ist also eine ganz grobe Annäherung, wenn man den Verlauf der Kraftlinien als koachsiale Rechtecke zum Leiter annimmt.

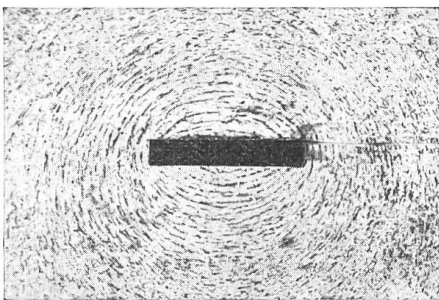


Fig. 3

Fig. 4b veranschaulicht das unter Einwirkung beider Leiter erzeugte Feld längs der beiden Achsen. Je grösser die Distanz der beiden Kontakte, umso kleiner ist die auf den Lichtbogen einwirkende Feldstärke H_x . Man wird ferner bestrebt sein, den Lichtbogen, wenn möglich, in der Mitte der Kontakte zünden zu lassen, um ihn unter den Einfluss einer möglichst grossen Feldstärke H_y zu bringen.

Die Kraft, mit welcher ein sich im homogenen Feld *H* befindendes Leiterstück von der Länge *dl* abgestossen wird, berechnet sich nach Biot-Savart zu

$$dP = \frac{H J dl}{9,81 \cdot 10^3} \text{ Gramm}$$

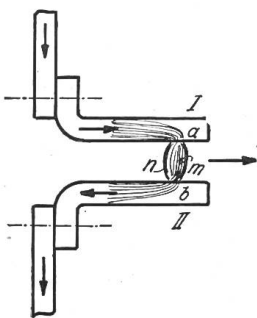


Fig. 4a

Diese Formel setzt jedoch voraus, dass das Magnetfeld beidseitig des Leiters besteht, was bei der Schlaufe nicht der Fall ist. Das Eigenfeld derselben umgibt wohl die Stromfäden *n* des Lichtbogens, dagegen übt es keinen Einfluss aus auf die Stromlinien *m* auf der Aussenseite derselben (Fig. 4a). Es ist demnach die Kraft, die auf den Lichtbogen ausgeübt wird

$$P = \frac{J}{2 \cdot 9,81 \cdot 10^3} \int_a^b H dl \text{ Gramm}$$

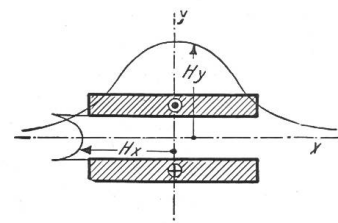


Fig. 4b

Zum gleichen Resultat kommt man durch die Ueberlegung, dass bei der Schlaufe die Differenz des resultierenden Kraftlinienfeldes der inneren und äusseren Seite

des Lichtbogens nur halb so gross ist, als bei dem fremden Magnetfeld, das den Lichtbogen beidseitig umgibt.

Für kleine Abstände der Kontakte, also für den Moment des Oeffnens, kann die Feldstärke längs des Lichtbogens als konstant angenommen werden, somit

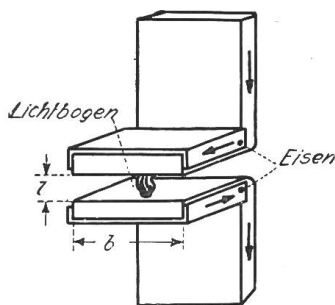


Fig. 5

$$P = \frac{J H l_{a-b}}{2 \cdot 9,81 \cdot 10^3} \text{ Gramm}$$

Versieht man ferner die Rückseiten der Hörner mit einem Eisenfutter nach Fig. 5, so dass nur noch die Kraftlinienlänge innerhalb der Schlaufe in Betracht kommt, das Eigenfeld also verstärkt wird, so ist annähernd

$$H = \frac{4\pi}{5} \cdot \frac{J}{b} \quad \text{und} \quad P = \frac{l}{8000 b} \cdot J^2 \text{ Gramm}$$

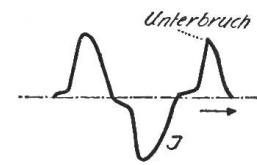


Fig. 6

Die Versuche haben gezeigt, dass das magnetische Eigenfeld der Schleifenkontakte genügt, um Ströme von über 1000 A bei Spannungen bis 800 V und 16 Per. pro Sekunde einwandfrei abzuschalten, wobei der Schaltvorgang nicht länger als eine Halbperiode dauert, unter Annahme rein induktiver Belastung mit stark verzerrter Kurvenform nach Fig. 6. Das Orzillogramm zeigt deutlich den Moment des Unterbruches. Sehr gut ist die kräftige Blaswirkung des Schlaufenkontaktes veranschaulicht durch Fig. 7. Es ist dies eine Abschaltung von 800 A bei 600 V und 16 Per. pro Sekunde im Kamin, jedoch ohne künstliche Blaswirkung, mit Kontakten aus leicht schmelzbarem Material (Aluminium). Die flüssigen Metalltröpfchen wurden mit grosser Wucht mehrere Meter weit geschleudert.

Richtung des magnetischen Eigenfeldes.

Der besseren Uebersicht halber sei die Aufsicht auf einen Schlaufenkontakt nach Fig. 4 in Fig. 8 vergrössert dargestellt. Zündet der Lichtbogen beispielsweise bei a , so wird die Stromverteilung im Kontakt im allgemeinen der Richtung nach dargestellt durch die eingezeichneten Linien 1–7. Dabei ist allerdings homogenes Material, sowie ein gleichmässiger

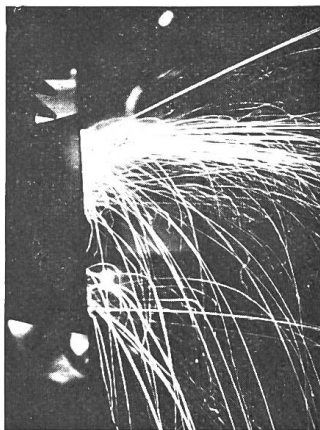


Fig. 7

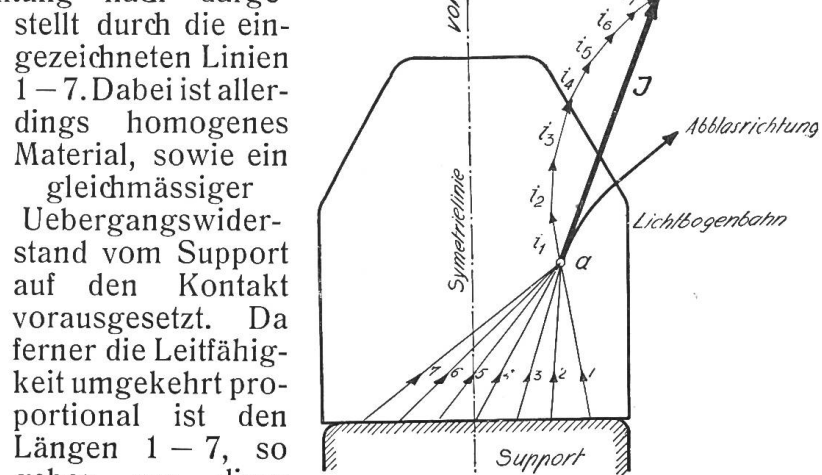


Fig. 8

Uebergangswiderstand vom Support auf den Kontakt vorausgesetzt. Da ferner die Leitfähigkeit umgekehrt proportional ist den Längen 1–7, so geben uns diese auch ein Mass für die Grösse der einzelnen Teilströme. Die resultierende Stromstärke wird somit der Grösse und Richtung nach dargestellt durch die Resultierende J . Da diese kleiner ist als die algebraische Summe aller Komponenten, so sind die oben abgeleiteten Formeln mit einem entsprechenden Reduktionsfaktor zu multiplizieren, der mit zunehmender Breite der Kontakte grösser wird. Im weiteren wirkt die abstossende Kraft nicht mehr parallel zur Symmetrielinie, sondern drückt nun den Lichtbogen auf die Seite. Fällt die

Lichtbogenbahn im Punkte a mit der Richtung der resultierenden Stromstärke J zusammen, so weicht der Lichtbogen auf seinem Wege immer mehr nach aussen ab, da die Unsymmetrie grösser wird (siehe Fig. 8). Die Folge dieses seitlichen Abblasens ist, dass der Lichtbogen gegen die seitwärts angebrachten Wände des Schutzkamins geschleudert, dort aber zurückgeworfen wird. Er bleibt also einige Zeit bestehen, wobei so viel Luft ionisiert wird, dass häufig infolge Ueberschlag auf das Eisen ein Kurzschluss entsteht.

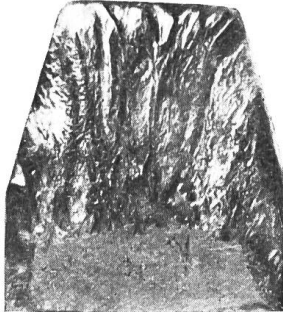


Fig. 9a

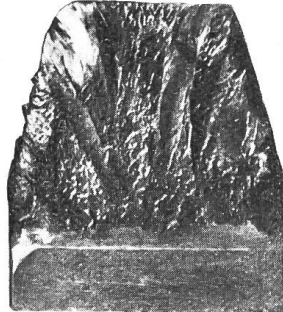


Fig. 9b

Man kann nun allerdings das seitliche Abblasen des Lichtbogens durch die Anwendung eines künstlichen Feldes kompensieren, dessen Kraftlinien genau senkrecht zur Symmetrielinie des Kontaktes stehen. Dass damit aber das Uebel noch nicht vollständig beseitigt ist, zeigen die Kontakte in Fig. 9. Kontakt a zeigt die Lichtbogenbahnen von Abschaltungen bei 1000 A, bei

einem künstlichen Blasfeld von zirka 200 Linien. Kontakt b bei denselben Beanspruchungen, jedoch ohne künstliches Blasfeld.

Man wird also in erster Linie die Kontaktform so wählen, dass der Lichtbogen in der Mitte zündet (siehe Fig. 10). Dies hat aber den Nachteil, dass z. B. bei schwerem Betrieb das Material in der Mitte nach verhältnismässig kurzer Zeit weggebrannt wird; die Ausnützung des Kontaktmaterials ist also eine sehr schlechte. Zudem wird die Richtung der Lichtbogenbahn längs der Symmetrielinie umso weniger eingehalten, je mehr die Abnützung fortschreitet.

Um diese Schwierigkeiten zu beheben, hat der Verfasser den Kontakt längs der Symmetrielinie unterteilt (Fig. 11). Die Form der Kontakte wurde dabei so gewählt, dass der Lichtbogen durch das Eigenfeld immer gegen den Unterteilungsschlitz gedrückt wird. Die Wirkung dieser Anordnung geht aus folgendem hervor: Zündet z. B. der Lichtbogen bei Punkt a (Fig. 11), so fliesst der Strom in dieser Hälfte schräg auf a zu, und der Lichtbogen wird durch das Eigenfeld der Schlinge über den Unterteilungsschlitz

nach b gedrängt. In diesem Moment wird also die Hälfte von a stromlos und der Strom fliesst nun in gleicher Weise in der andern Hälfte auf b zu. Das magnetische Eigenfeld ist jetzt so gerichtet, dass der Licht-

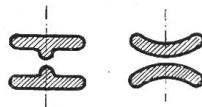


Fig. 10

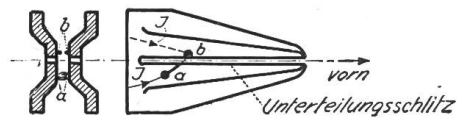


Fig. 11

bogen wieder über den Unterteilungsschlitz auf die Hälfte von a gedrückt wird. Das Spiel wiederholt sich so lange, bis er an den Kontaktspitzen abreisst. Bei engem Unterteilungsschlitz wird der Lichtbogen, einmal an diesem angelangt, an seinen beiden Kanten nach vorn wandern. Dasselbe gilt auch für den Fall, in welchem der Lichtbogen auf beiden Hälften a und b gleichzeitig zündet. Beide Lichtbogen wandern unter dem Einfluss des durch die Kontaktschlinge gebildeten Eigenfeldes und ihrer gegenseitigen Anziehung dem Unterteilungsschlitz zu.

Um die Kontakte besser auszunützen, können sie auch mehrfach unterteilt werden. Es kann dies durch Einschlitzn nach Fig. 12 geschehen, oder durch gänzliche Trennung bei Anordnung nebeneinander montierter Kontaktfinger. Wichtig ist dabei, dass von den äussersten Teilen nur je deren innere Hälften zum Berühren kommen. Im übrigen gilt für die Richtung des Lichtbogens das soeben Gesagte.

Die ausserordentliche Wirksamkeit dieser Anordnung zeigt der Kontakt Fig. 12. Es werden mit demselben Kurzschlusse von mehreren tausend Ampères

abgeschaltet, nur unter Benützung des magnetischen Eigenfeldes. Die Kontaktdistanz betrug im geöffneten Zustand zirka 50 mm. Fig. 12 zeigt auch wie genau der Lichtbogen die vorgeschriebene Bahn wandert. Zu beachten ist ferner, dass die Kontaktträger bis gegen die Spitze nicht angegriffen werden.

Die Unterteilung hat noch den weiteren Vorteil, dass durch sie gleichzeitig das magnetische Eigenfeld bedeutend verstärkt wird, da die Kraftlinienlänge innerhalb der Schlaufe, entsprechend der Unterteilung, auf einen Bruchteil reduziert wird.

Ausbreitung des Lichtbogens.

Diese ist einerseits eine Funktion des magnetischen Feldes, das auf die einzelnen Teile des Lichtbogens einwirkt, andererseits eine solche des Bewegungswiderstandes, der sich der Ausbreitung des Lichtbogens entgegenstellt. Da die Feldstärke bei kleiner Hörnerdistanz auf der ganzen Länge des Lichtbogens ziemlich konstant und andererseits die Reibung der Luft an den Kontaktoberflächen am grössten ist, so bildet sich im ersten Moment ein spitzer Lichtbogenkegel, der nach vorn geworfen wird. Dieser hat aber das Bestreben sich zu öffnen, und zwar werden die beiden Hälften mit verhältnismässig grosser Kraft auseinandergeschleudert. Es entstehen dadurch unten und oben Schleifen, die durch ihre Ausdehnung den Lichtbogen auch nach rückwärts drücken (siehe Fig. 13 und 14). Auf diese Eigenschaft des Lichtbogens sollte bei der Konstruktion des Schalters Rücksicht genommen werden. Wird das vernachlässigt, so kann ein erneutes Zünden an weiter rückwärts befindlichen Metallteilen stattfinden. Fig. 14 zeigt eine Abschaltung von 950 A bei 700 V und 16 Per. pro Sekunde mittels kurzer Hauptkontakte und Abreisshörnern. Die Rückzündung des Lichtbogens am oberen Teil ist deutlich sichtbar, der Einfluss des Abreisshorns ist gering.



Fig. 12

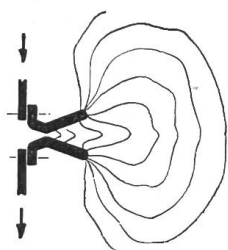


Fig. 13

Es ist für ein gutes Abblasen des Lichtbogens wichtig, dass die Hörner einerseits genügend lang sind ($l \geq \sim 100$ mm) und dass andererseits der Lichtbogen *zwangsweise* bis zu deren Spitzen geführt wird und erst dort abreißen kann.

Von grossem Einfluss auf die Löschwirkung ist auch die Divergenz der Kontakte. Es nimmt nicht nur bei steigender Öffnung die Feldstärke *ab*, sondern es bilden sich sogar starke Luftwirbel, die das Nachvorschleudern des Lichtbogens abschwächen.

In Fig. 15 betrug der äussere Abstand der Kontakte 30 mm, in Fig. 16 bei geöffnetem Schalter 110 mm; alle übrigen Dimensionen und Bedingungen waren für beide Versuche dieselben. Die Abschaltleistung betrug bei beiden 1000 A bei 700 V und 16 Per. pro Sekunde. Die Anordnung nach Fig. 15 ergab immer ein bestimmtes Abschalten innerhalb einer Halbperiode, verbunden mit kurzem, scharfem Knall, diejenige nach Fig. 16 glich eher einem Rauschen, wie es auch bei Blitzhörnern auftritt. Die Fig. 14–16 wurden an Hand von Zeitaufnahmen hergestellt.

Damit die Abnützung der Kontakte beim Ausschalten möglichst gering sei, muss die Lichtbogengeschwindigkeit schon innerhalb der Kontakte eine grosse sein. Dazu ist neben einer grossen Feldstärke auch ein rasches Ausschalten notwendig, insbesondere sollten die Kontakte in kürzester Zeit so weit geöffnet werden, dass die Luftreibung an ihren Oberflächen möglichst klein wird.

Will man den Lichtbogen noch durch ein Kamin begrenzen, so soll dieses genügend gross sein. Es ist wichtig, dass es sich dem Lichtbogen (siehe Fig. 15) mehr oder weniger anpasst, damit dieser nicht nach rückwärts geworfen

wird und Nachzündungen hervorruft (Fig. 17). Meistens genügen jedoch zwei seitliche Trennwände bei entsprechendem Schutz rückwärts gelegener Teile des Schalters.

Zum Schluss sei noch kurz auf die Wirkung eines Lichtbogenteilers hingewiesen (Fig. 18). Diese Vorrichtung wurde zuerst in Amerika angewendet und



Fig. 14

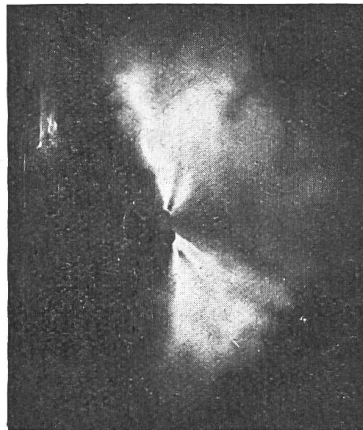


Fig. 15

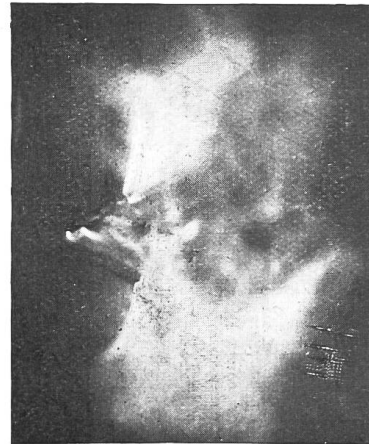


Fig. 16

findet sich dort ziemlich häufig. Der Lichtbogenteiler *a*, der mit einem Metallbelag *b* versehen ist, hat den Zweck, die Spannung pro Lichtbogen auf die Hälfte zu reduzieren, somit also den Lichtbogen zu verkleinern. Diese Wirkung erfolgt allerdings nur dann, wenn der Lichtbogen in der angegebenen Pfeilrichtung abblasen kann.

In Fig. 18 werden seine beiden Hälften zu stark nach vorn geschleudert, sodass sie sich bei genügend grosser Abschaltleistung nach dem Lichtbogenteiler wieder vereinigen, also dessen Wirkung aufheben.

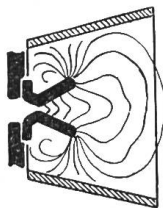


Fig. 17

Von einer gleichzeitigen Kühlung des Lichtbogens durch den Metallbelag, eine Eigenschaft, die letzterem vielfach zugeschrieben wird, kann wohl keine Rede sein, da er ja zu einer Doppelelektrode wird und somit selbst grosse Wärme erzeugt. Der Lichtbogen würde also nur dann gekühlt, wenn man den Metall-

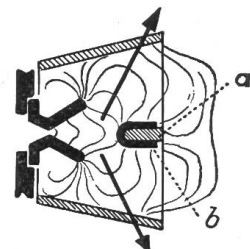


Fig. 18

belag entfernte. In diesem Falle bildet jedoch der Lichtbogen selbst eine Schleife, die ihn aus bekannten Gründen an die Kontakte zurückwirft und somit die Löschwirkung verschlechtert.

Remarque sur le calcul des fils suspendus.

Par J. Favarger, ingénieur, Pully.

Der Verfasser weist auf die Tatsache hin, dass die Zugbeanspruchung von Drähten am Aufhängepunkt am grössten ist. Bei der mechanischen Berechnung von Leitungen wird meistens mit der geringsten Beanspruchung im Scheitelpunkt gerechnet, was für gewöhnlich vorkommende Spannweiten durchaus genügt. Bei sehr grossen Spannweiten muss aber diese Vereinfachung fallen gelassen werden. Zwei Zahlenbeispiele erläutern die theoretischen Ausführungen.

L'auteur rapelle le fait que la tension dans les fils est maximum près du point de suspension alors que l'on se contente généralement de calculer la tension au point le plus bas de la chaîne. Il démontre que pour des très fortes portées cette simplification n'est plus admissible et il fait le calcul exact pour deux cas concrets.

Dans les formules usuelles, la valeur de la traction que l'on fait généralement intervenir est celle de la traction la plus faible du fil et non pas celle de la traction la plus forte. Pratiquement, dans la plupart des cas qui se présentent habituellement,