

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 23 (1932)
Heft: 23

Artikel: V. Referat
Autor: Roth, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059351>

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>

V. Referat

gehalten von Dr. A. Roth, technischer Direktor der

Ateliers de Constructions Electriques de Delle, Lyon (ACED).

Nach kurzer Erörterung des Beanspruchungsgrades der Schalter je nach dem Aufstellungsort im Netz werden die Grundlagen der Entwicklung eines Druckluftschalters dargestellt; der Schalter, seine Wirkungsweise und Eigenschaften werden beschrieben, wobei auch die Frage der Schalldämpfung gestreift wird.

Après un bref exposé sur la sollicitation des interrupteurs suivant leur emplacement dans un réseau, l'auteur décrit le développement d'un interrupteur à air comprimé, son fonctionnement et ses propriétés, en touchant rapidement à la question de l'amortissement des bruits qu'il engendre en fonctionnant.

Alle bisherigen Untersuchungen ergaben, dass im Betriebe die meisten Kurzschlussabschaltungen den Schalter weniger beanspruchen als eine Abschaltung mit gleichem Strom und Spannung (Definition des SEV) in der Prüfanlage. Es zeigt sich aber doch, dass im Betriebe Fälle vorkommen, in denen die Beanspruchung ebenso schwer ist, nämlich dann, wenn der unterbrechende Schalter direkt an den Sammelschienen liegt, ohne dass gleichzeitig andere Leitungen an diesen Schienen angeschlossen sind. Es scheint deshalb richtig, für die Beurteilung des Abschaltvermögens eines Schalters immer den Versuch in der Prüfanlage zugrunde zu legen.

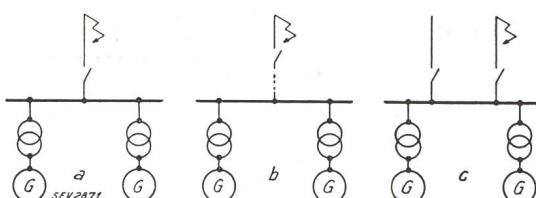


Fig. 1.

Die hinsichtlich Schalterbeanspruchung grundsätzlichen Arten der Schalteraufstellung.

Fig. 1 zeigt die hinsichtlich Schalterbeanspruchung grundsätzlichen Arten der Schalteraufstellung:

- a) ungünstiger Fall: Schalter an der Sammelschiene, keine anderen Leitungen parallel;
- b) und c) günstige Fälle: entweder nur eine Leitung, aber Schalter am Ende dieser Leitung, oder Schalter an der Sammelschiene und andere Leitungen parallel.

In den beiden letzten Fällen ist eine zusätzliche Kapazität zu dem unterbrechenden Schalter parallel geschaltet, welche die Eigenfrequenz des Unterbrechungskreises heruntersetzt und damit den Spannungsanstieg $\frac{du}{dt}$ verlangsamt, die Löschung also erleichtert.

Die oben vorgebrachte Ansicht über die Beurteilung der Versuche im Hinblick auf die oft abweichenden Spannungsanstiege im Netz ist wohl kaum allgemein anerkannt. Eine eingehende Diskussion derselben, z. B. an der nächsten Versammlung der «Conférence Internationale des Grands Réseaux» (1933) bzw. im schweizerischen Komitee derselben, entsprechend dem Vorschlag des Autors, wäre sehr wünschbar.

Die von den verschiedenen Firmen heute mitgeteilten Werte für die Eigenschwingungen der Prüfstationen weisen erfreuliche Übereinstimmung auf. Messungen mit dem Kathodenoszillographen ergaben im Laboratorium der ACED

für 9 kV $f = 23\,000$ Per./s; $\frac{du}{dt} = 2,4 \cdot 10^9$ V/s,

für 110 kV $f = 5\,000$ Per./s; $\frac{du}{dt} = 5,5 \cdot 10^9$ V/s.

Zum Vergleich seien die Werte aus der Praxis für typische 15- und 132-kV-Anlagen angeführt:

Kraftwerk mit einigen km Leitung, 15 kV:

3200 Per./s; $0,5 \cdot 10^9$ V/s;

Kraftwerk, 132 kV (nach amerikanischen Versuchen)¹⁾:

ohne Leitung:

$f = 3500$ Per./s; $\frac{du}{dt} = 2,4 \cdot 10^9$ V/s,

mit 35 km Leitung:

$f = 880$ Per./s; $\frac{du}{dt} = 0,6 \cdot 10^9$ V/s,

mit 350 km Leitung:

$f = 400$ Per./s; $\frac{du}{dt} = 0,27 \cdot 10^9$ V/s.

Was die physikalischen Vorgänge beim Abschalten anbelangt, so soll hier auf ein auffallendes Ergebnis der Forschungen an Öl-, Wasser- und Luftschattern hingewiesen werden, welches von allgemeinem Interesse sein dürfte. Es zeigte sich nämlich, dass sich nie Polaritätserscheinungen des Lichtbogens nachweisen ließen. Besonders auffallend ist dies für Wasser- und Luftschatter, wo jede der beiden Elektroden verschiedene Formen besitzt und durch das Löschenmittel verschieden beaufschlagt wird.

Die Tatsache, dass seit einigen Jahren den verschiedenen Firmen Hochleistungsprüfgeräte zur Verfügung stehen, hat eine wahre Revolution im Schalterbau hervorgerufen. Die Schalterkonstrukteure haben heute das Glück, in einer Periode zu leben, wo sich die Technik ihres Spezialgebietes vollständig umgestaltet, vergleichbar etwa der Periode des Maschinenbaus, wo Generatoren und Motoren zu den heute verwendeten Grundlagen und Formen übergingen. Es darf dabei festgestellt werden, dass der Schalterbau in Europa die nach dem Kriege an Amerika verloren gegangene Führung

¹⁾ Spurck and Strang, JAIEE, Bd. 50, 1931, S. 746.

wieder an sich gerissen hat, wenigstens was die neuen Gebiete der Verwendung von Luft und Wasser als Lösungsmittel anbelangt.

Die Entwicklung bewegt sich in bezug auf die Lösungsmittel in drei Richtungen, gekennzeichnet durch die Verwendung von Öl, Wasser und Luft. Wenn es auch heute sicher ist, dass die Verwendung jedes dieser Medien zum Ziele führt, so kann wohl nur die hundertfältige Erfahrung des praktischen Betriebes zeigen, welche dieser Lösungen die meisten Vorteile für den Betrieb aufweist und deshalb allein bestehen bleiben wird.

Oelschalter.

Die bisher gebauten Typen sind in den letzten Jahren so umgeformt worden, dass heute ihre Abschaltleistung erhöht und ihre Sicherheit vollkommener ist. Der Mangel an Raum erlaubt leider nicht, auf diese ausserordentlich interessante Seite der Entwicklung einzugehen.

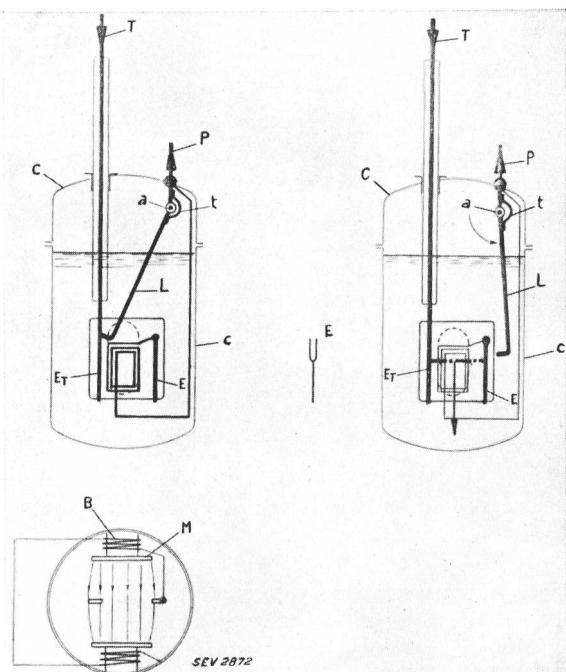


Fig. 2.

Prinzipschema des Translationsschalters.
 B Blassspule. T Zuleitung.
 M Polplatte. P Ableitung.
 E, Et Elektroden. L Kontaktarm.
 C Kessel.

Anderseits sind in den letzten Jahren eine Reihe neuer Prinzipien auch im Bau der Oelschalter eingeführt worden. Als Beispiel dafür soll nur der *Translationsschalter* nach Bresson aufgeführt werden, der dem Vortragenden besonders gut bekannt ist. Fig. 2 zeigt diesen Schalter schematisch. Der Lichtbogen wird hier, nachdem er auf die für das Löschen kritische Länge ausgezogen worden ist, einem starken elektromagnetischen Blasfeld ausgesetzt, welches auf den Bogen selbst sowie auf seine Ansatzpunkte einwirkt und den Bogen mit

grosser Geschwindigkeit durch das Öl treibt, ohne seine Länge weiter unnötig zu vergrößern. Die Lichtbogenlänge ist damit auf ein Minimum ver-

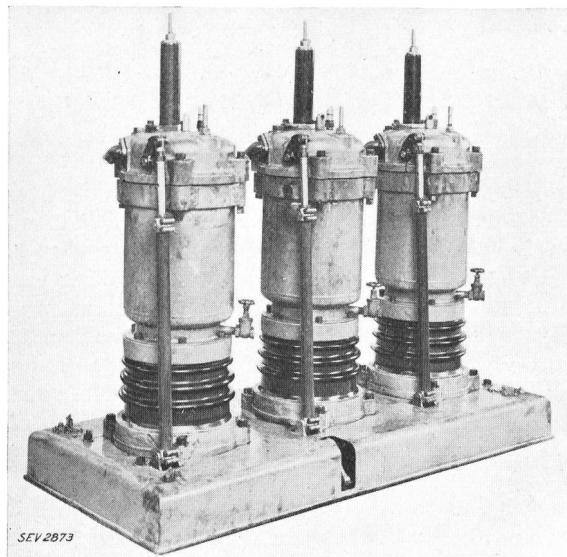


Fig. 3.

Ansicht eines Translationsschalters für 25 kV Nennspannung, 500 A Normalstrom und 500 MVA Abschaltleistung.

ringert, z. B. auf 6 cm für 15 kV. Die Gasentwicklung bei dieser Spannung beträgt 56 l pro Pol bei Unterbrechung von 12 000 A (gegen 176 l bei Unterbrechung derselben Leistung im Einkesselschalter und 600 l im Dreikesselschalter), die im Lichtbogen umgesetzte Energie 250 kW (gegen 700 bzw. 1200 bei den anderen Oelschaltern), das Oelvolumen 15 l pro Pol, der Betriebsdruck 5 kg/cm². Entsprechend sind Brand- und Explosionsgefahr verringert. Fig. 3 zeigt einen solchen Schalter für 25 kV und 30 l Oelinhalt pro Pol.

Wasserschalter

wurden in den verschiedenen Vorträgen bereits eingehend behandelt. Es soll deswegen nicht näher

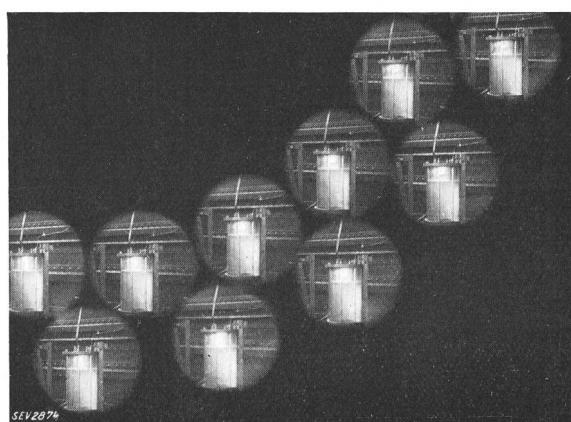


Fig. 4.
Zeitlupeaufnahmen eines Lichtbogens in Wasserschalter mit Wasserkathode.

darauf eingegangen werden. Ein interessantes Forschungsergebnis mag indessen gestreift werden, nämlich die Existenz des Lichtbogens ohne glühende Kathode. Fig. 4 zeigt in der Tat einen Lichtbogen, wo einmal die Kathode und einmal die Anode aus Wasser besteht.

Schalter mit Löschung durch Druckluft

zeigen bei eingehender Betrachtung eine Reihe von Eigenschaften, welche die Verwendung dieses Prinzips in Schaltern als ganz besonders aussichtsreich erscheinen lassen. Dazu gehört auch, dass der Lichtbogen im Luftstrom mit einfachen Mitteln leicht beeinflusst werden kann. Die Forschungen führen in dieser Beziehung zu immer neuen Ueberraschungen. Dazu zeigt die neueste Entwicklung der Apparate, von denen Bilder leider noch nicht vorliegen, eine Präzision in Form und Zeitablauf des Lichtbogens, welche wohl nur mit derjenigen des Bogens im Gleichrichter vergleichbar ist.

Das für die Entwicklung der Schalter gesteckte Ziel war folgendes: Es soll ein Schalter geschaffen werden, welcher weder Brand- noch Explosionsgefahr aufweist; der Schalter soll mit möglichst wenig Geräusch arbeiten, kleine Abmessungen besitzen und mit einem Minimum von Luftverbrauch auskommen. Er soll eine grosse Zahl von Kurzschlüssen ohne jede Revision aushalten.

Die Entwicklung ist auf einer Reihe von Grundideen aufgebaut, welche im folgenden dargelegt werden sollen.

1. Grundidee. Die vom Lichtbogen entwickelte Energie (Schalterarbeit)²⁾ erschwert im allgemeinen den Abschaltvorgang, da sie mit ihren verschiedenen Auswirkungen (Ionisierung der Luft, Steigerung der Temperatur, Steigerung des Druckes, Dissoziation von Gas) im Sinne der Aufrechterhaltung des Lichtbogens wirkt.

Es muss also vor allem versucht werden, diese Energie klein zu halten, was zur Folge hat, dass der Energieaufwand, welcher für die Unterbrechung des Bogens notwendig ist, ebenfalls klein wird.

Diese Erkenntnis der Wichtigkeit der Energieabgabe im Lichtbogen ist ausserordentlich fruchtbar gewesen, nicht nur bei der Entwicklung der Luftschatler, sondern auch gewisser Oel- und Wasserschalter.

2. Grundidee. Im Augenblick des Nulldurchgangs muss die Festigkeit des Dielektrikums eines Schalters rascher ansteigen als die dasselbe beanspruchende Spannung. Der Anstieg ist von L und C des Unterbrechnungskreises abhängig³⁾.

3. Grundidee. Basierend auf der eben erwähnten Erkenntnis wird ein Hilfsmittel angewendet, um den Anstieg dieser Spannung zu verlangsamen und zu steuern: die Unterbrechung in zwei Stufen. Auf der ersten Stufe wird dabei ein Widerstand in den Kreis eingeschaltet, auf der zweiten wird der

²⁾ Bauer, Bull. SEV 1915, S. 157.

³⁾ Roth, Hochspannungstechnik, S. 385; Kesselring, ETZ 1929, S. 1010; Kopeliowitsch, Bull. SEV 1928, S. 552; Biermanns, ETZ 1929, S. 1077.

Strom, welcher durch diesen Widerstand begrenzt ist, abgeschaltet, und zwar unter günstigem $\cos \varphi$, da der Widerstand so gewählt ist, dass für grosse Leistungen sein Wert denjenigen der Reaktanz übertrifft.

Dieses Hilfsmittel ist seit langem bei Oelschaltern bekannt. Es bietet aber beim Luftschatler ganz neue Vorteile, da die Einschaltung durch den Luftstrom, also ohne jedes mechanische Hilfsmittel, erreicht werden kann.

Sehr wesentlich für die Unterbrechung grösserer Ströme ist die Druckentlastung des Unterbrechungsraumes während derjenigen Zeit, in der die Stromstärke im Lichtbogen gross ist. Für die Unterbrechung selbst kommt allerdings nur die Zeit unmittelbar vor und nach dem Nulldurchgang des Stromes in Frage. Während der vorhergehenden Zeit hat aber der Bogen, entsprechend seiner grossen Stromstärke, einen Teil der Luft ionisiert und erhitzt. Es muss verhindert werden, dass diese Erhitzung eine Drucksteigerung hervorbringt, denn diese würde ihrerseits den Spannungsabfall im Bogen, d. h. die Energieabgabe erhöhen, was wiederum Drucksteigerung zur Folge hätte usw. Die

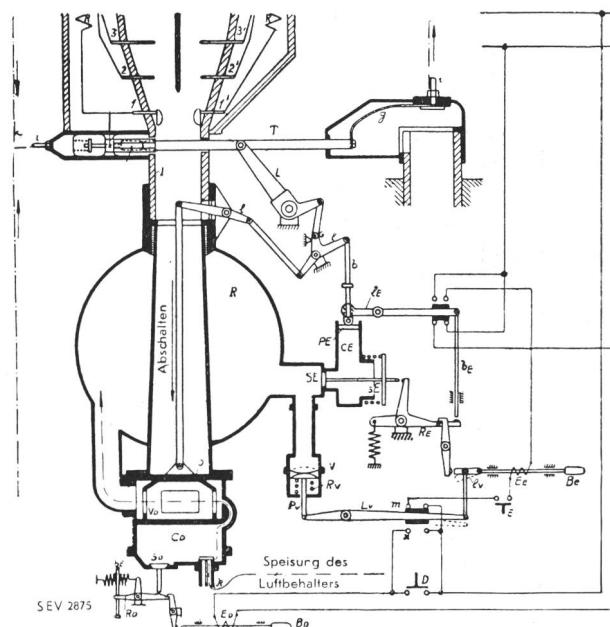


Fig. 5.
Schematische Darstellung des mechanischen Teils eines Druckluftschatlers.

- C Fester Kontakt.
- T Beweglicher Kontakt.
- R Luftbehälter.
- CE Einschaltkolben.
- CD Ausschaltkolben.
- Bd Einstelldruckknopf.
- Bd Ausschaltdruckknopf.
- Pv Verriegelung.
- Ee Einschaltmagnet.
- Eo Auslösemagnet.

Lösung im Nullmoment würde so verunmöglicht. Die Druckentlastung verringert also die Energieabgabe und ermöglicht, dass der Bogen im Augenblick des Nulldurchgangs, d. h. bei Beginn des Löschvorganges, von reiner Luft unter Atmosphä-

rendruck umgeben ist. Diese Ideen sind zum grossen Teil von Clerc entwickelt worden⁴⁾.

Fig. 5 zeigt den pneumatischen Teil des Schalters. Ein- und Ausschaltbewegung werden durch Druckluft bewirkt, derart, dass Zwangsläufigkeit für Kontaktbewegung und Lichtbogenlöschung gesichert ist. Der Schalter besitzt die üblichen Signalkontakte und Auslösespulen für Ein- und Abschaltung. Das Reservoir R enthält die für eine Abschaltung nötige Druckluft. Die Druckluft wird für Einzelschalter durch eine normale automatische Pumpe mit Reservoir für sechs Ein- und Abschaltungen geliefert.

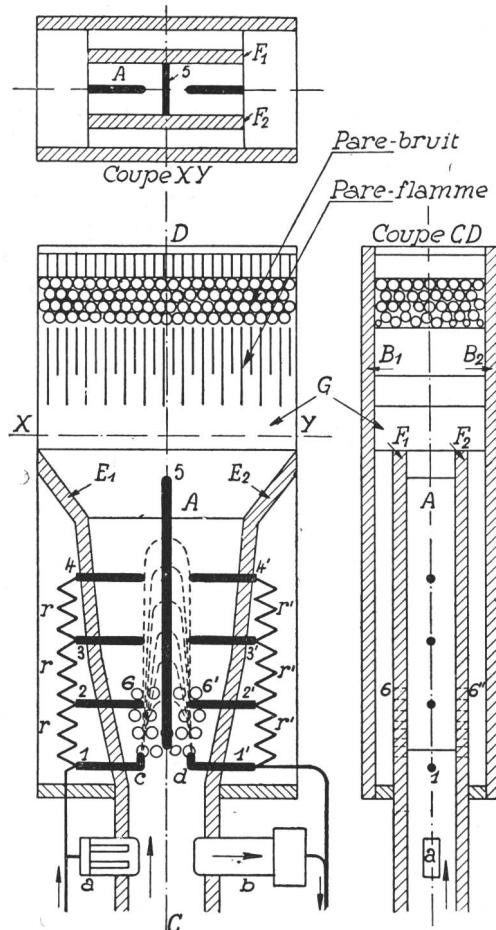


Fig. 6.
Schematische Darstellung des elektrischen Teils eines Druckluftschalters.

- a, b Hauptkontakte.
- c, d Funkenkontakte.
- r, r' Widerstände.
- C Luftstrom.
- A Leitende Trennwand.
- E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , B_1 , B_2 , Isoleirkamin mit Außedehnungskammer.
- D Gaskühler und Schalldämpfer.
- 6 Löcher für Druckentlastung und Gasabfuhr.

Fig. 6 zeigt den elektrischen Teil (Hauptkontakte a b , Funkenkontakte c d , Widerstände r und r').

Der Abschaltungsvorgang soll nun anhand der Fig. 9 verfolgt werden. Die Hauptkontakte öffnen sich in einem beliebigen Moment, also bei einem

beliebigen Stromwert. Unmittelbar nachher setzt die Blasung ein. Der Luftdruck von 2 kg/cm^2 dient nur dazu, der Luft die nötige Geschwindigkeit von ungefähr 200 m/s zu geben. Der Lichtbogen selbst befindet sich andauernd unter Atmosphärendruck. Die Luft treibt den Lichtbogen sofort auf die Abbrechkontakte c d , wo er vorläufig verbleibt und annähernd eine Gerade zwischen den beiden Kontakten bildet. In den Bildern sind die ionisierten Gase zu sehen, welche vom eigentlichen Lichtbogen weggeblasen werden.

Hier beginnt die Anwendung der ersten Grundidee: Für die völlig unnötige Periode vor dem Nulldurchgang soll der Lichtbogen möglichst wenig Energie abgeben, also ja nicht unnötig verlängert werden, da jedem cm Lichtbogenlänge ein gewisser Spannungsabfall und damit eine Energieumsetzung entspricht. Der Abstand der beiden Kontakte c d wird infolgedessen nur wenig grösser gewählt als derjenige, welcher zur Vermeidung des Ueberschlags in reiner Luft unter dem Einfluss der Spannung nach dem Abschalten nötig ist (ungefähr 3 cm für $10 \text{ kV}_{\text{eff}}$). Der Lichtbogen behält seine kleine Länge bis zu dem Augenblick, in dem die Stromstärke unter einen Wert von der Grössenord-

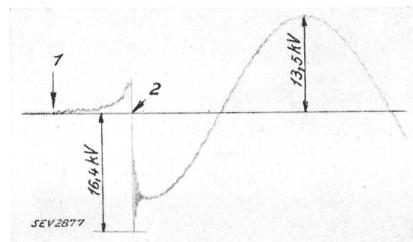


Fig. 7.
Kathodenstrahlzosillogramm des Spannungs-Verlaufs im Augenblick der Stromunterbrechung.
 $I = 2200 \text{ A}$ $U = 9500 \text{ V}_{\text{eff}}$ $f_0 = 10000 \text{ Per./s.}$
1 Trennung der Kontakte.
2 Stromunterbrechung.

nung 4000 A sinkt, d. h. also z. B. bei Unterbrechung von $10000 \text{ A}_{\text{eff}}$ bis $\frac{1}{1000} \text{ s}$ vor dem Nulldurchgang. Dies erklärt sich dadurch, dass erst bei kleinen Werten des Stromes die Blasluft genügende Energie besitzt, um den Bogen zu verlängern. Der Vorgang kann angenähert mit demjenigen verglichen werden, der auftritt, wenn ein Wasserstrahl aus einem Wendrohr bei starkem Seitenwind austritt. Der Strahl wird erst dann vom Wind beeinflusst, wenn das Wasser beinahe abgestellt wird.

Unmittelbar vor dem Nulldurchgang ist also der Lichtbogen verlängert und auf die Kontakte 4 $4'$ getrieben worden. Der Spannungsanstieg unmittelbar nach dem Nulldurchgang, zwischen den Kontakten 4 und $4'$, erfolgt äusserst rasch, entsprechend L und C des Netzes (zweite Grundidee).

Fig. 7 zeigt ein Kathodenstrahlzosillogramm dieses Spannungsanstieges in einem Falle ohne Wiederzünden (kleine Stromstärke). Im allgemeinen erfolgt unter dem Einfluss dieses raschen Spannungsanstieges sofort Wiederzünden des Lichtbogens zwischen 4 und $4'$ (Fig. 9, Bild 11).

⁴⁾ Clerc, Bull. SFE 1932, S. 73.

Zwischen 1 und 4 bzw. 1' und 4' steigt dagegen die Spannung nur sehr langsam an, da diese Elektroden ja unter sich durch einen niederohmigen Widerstand verbunden sind. Dieser Spannungsanstieg ist gleich $\frac{du}{dt} = U \cdot \sqrt{\frac{2}{L}} V/s$, die Stromamplitude $i_{\max} \sim \frac{U \sqrt{2}}{R}$.

Für eine Unterbrechung von beispielsweise 15 000 A bei 9000 V_{eff} Phasenspannung steht also eine Zeit von $\frac{1}{200}$ s zur Verfügung, um an jedem der beiden Widerstandspakete 1 bis 4 und 1' und 4' eine Festigkeit gleich der Hälfte dieser Spannung, d. h. $\frac{4500}{\sqrt{2}}$ V wieder herzustellen.

Bei der Luftgeschwindigkeit von 200 m/s ist dies leicht zu bewerkstelligen.

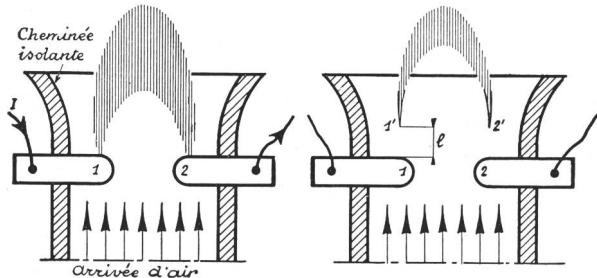


Fig. 8.

Schematische Darstellung der Blaswirkung im Luftschalter.

Nach $\frac{1}{4}$ Welle setzt dann ein neuer Nulldurchgang des Stromes ein und damit die endgültige Abschaltung. Unter Anwendung der zweiten Grundidee finden wir nämlich, dass auch hier wieder die Luftfestigkeit rascher zunehmen muss als der Spannungsanstieg. Der Strom ist jetzt in Phase mit der Spannung, der Spannungsanstieg im Nullmoment also ausserordentlich langsam, $\frac{du}{dt} = 2\pi$

$\cdot f U \sqrt{2} V/s$, worin f die Betriebsfrequenz bedeutet. Schematisch wird der Vorgang durch Fig. 8 wiedergegeben: die beiden Enden der ionisierten Gasstrecke entfernen sich von den Elektroden und die in reiner Luft verbleibenden beiden Ueberschlagswege werden proportional mit Zeit und Luftgeschwindigkeit vergrössert (s. Fig. 9, Filmbild 21). Gewisse Feststellungen scheinen zu zeigen, dass die Erhöhung der dielektrischen Festigkeit der ionisierten Luftstrecke selbst unter dem Einfluss der Blasluft ebenfalls eine Rolle spielt, bei gewissen Anordnungen vielleicht sogar massgebend ist.

Es zeigt sich also, dass die Anwendung des Widerstandes eine Verlangsamung des Spannungsanstieges $\frac{du}{dt}$, sowohl auf der ersten als auch auf der zweiten Abschaltstufe ergibt, und damit die Löschung ganz wesentlich erleichtert. Diese Feststellung bezieht sich auf grosse Ströme. Bei kleinen Strömen ist die Verlangsamung auf der zweiten Stufe unwesentlich, da ja ωL grösser wird als R , der $\cos \varphi$ also ungünstig bleibt. Hier geht indessen wegen der kleinen Stromstärke im Bogen die Löschung ohnehin leicht vor sich; sie findet schon in der ersten Halbwelle unter Einschaltung des Widerstandes statt.

Die Verwendung des Widerstandes hat auch den Vorteil, die Abschaltung von der Kapazität C des Netzes unabhängig zu machen, da ja $\frac{du}{dt}$ nicht von C , sondern nur noch von L des Netzes und R des verwendeten Widerstandes abhängig ist. Für diese Schalter ist also die Abschaltleistung eindeutig durch U und I bestimmt und vom Aufstellungsort unabhängig.

Der heutige Stand der Entwicklung⁵⁾ möge durch einige Zahlen gekennzeichnet werden. Die

⁵⁾ Anfang 1932.

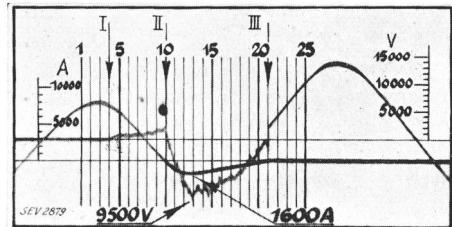
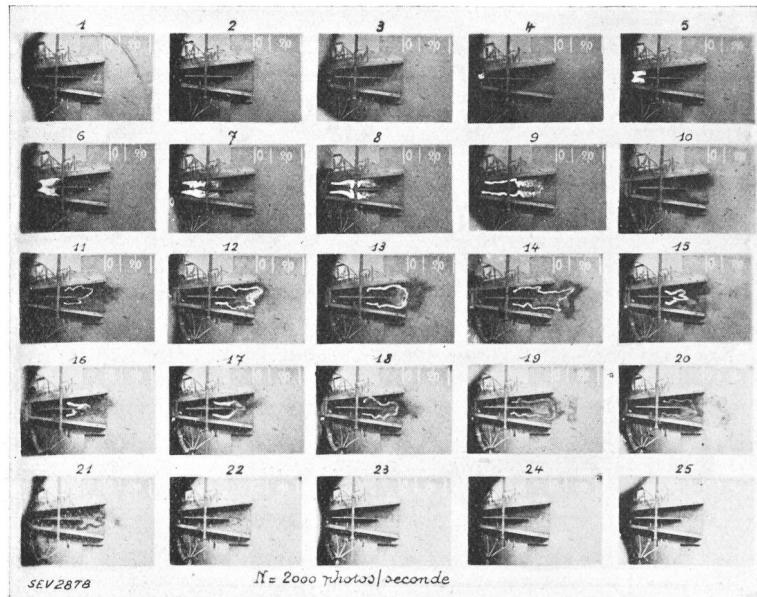


Fig. 9a (Bild links).

Zeitlupenaufnahme einer Abschaltung von 5800 A_{eff} bei 9600 V_{eff} Phasenspannung mit Luftschalter.

Fig. 9b (Bild oben).

Oszillogramm der Abschaltung Fig. 9a.
I Trennung der Kontakte.
II Nulldurchgang.
III Löschung des Lichtbogens.

Schalter wurden bis 15000 V entwickelt und erlaubten, 12000 A, d. h. 300000 kVA (Definition SEV) zu unterbrechen. Natürlich wurden die Kontakte so

infolgedessen die Schwierigkeit auf, welche allerdings in vielen Fällen mit Erfolg gelöst wurde, für jede Stromstärke die für ihre Löschung genügende

Menge des Löschmittels zu erzeugen bzw. einzuspritzen, welche Menge ja ebenfalls eine Funktion, aber eine andere, der Stromstärke ist. Für den Luftschatz ist demgegenüber die Aufgabe wesentlich vereinfacht, indem die verfügbare Luftmenge konstant ist.

Es soll auch noch das Problem der Schallbekämpfung erwähnt werden, welches im Anfang gewisse Schwierigkeiten bot. Wenn auch der niedrige Druck die Aufgabe wesentlich erleichterte, so war der Knall doch ganz unzulässig. Es wurden deshalb Schalldämpfer in jedes der drei Kamine eingebaut, welche die Lautstärke auf $\frac{1}{10}$ reduzierten. Fig. 10 und Fig. 11 zeigen Aufnahmen der Schallstärke mit und ohne

Schalldämpfer, welche mit Mikrofon und Oszillograph aufgenommen wurden. Man beachte dabei, dass die Schallstärke dem Produkt aus u und du/dt entspricht.

Fig. 12 zeigt die Durchbildung des pneumatischen Teiles eines Luftschatz, Fig. 13a diejenige des ganzen Schalters in teilweise geöffnetem und Fig. 13b in betriebsmässigem Zustand.

Es soll zum Schlusse darauf hingewiesen werden, dass die Gefahrlosigkeit verschiedener dieser neuen

durchgebildet, dass auf Kurzschluss eingeschaltet werden kann (60 000 A Scheitelwert). Erfolgreiche Versuche wurden bis 35 000 A Abschaltstrom bei 2500 V gemacht.

Besonders interessant sind die Werte, welche die Energieabgabe kennzeichnen: während diese für die erwähnte Abschalteistung bei den besten Oelschaltern der beiden gebräuchlichen Typen (ohne und mit Löschkammer) mindestens 700 kW pro Pol erreicht, beträgt sie für den Luftschatz 35 kW, d. h. $\frac{1}{20}$. Dazu kommen 25 kW, welche im Widerstand verbraucht werden. Diese Erscheinung findet auch in der kleinen Lichtbogenspannung ihren Ausdruck, welche nur noch 200 V beträgt gegenüber etwa 3000 V bei Oelschaltern.

Die Schalter arbeiten mit 2 kg/cm^2 Ueberdruck der Betriebsluft. Versuche zeigen, dass dieser Wert für kleinere Leistungen auch auf $0,6 \text{ kg/cm}^2$ verringert werden kann. Der Luftverbrauch beträgt bei diesem geringen Druck 25 l pro Abschaltung, eine Luftmenge, welche ungefähr $\frac{2}{5}$ derjenigen beträgt, welche in einem Automobilreifen enthalten ist. Die gesamte Abschaltzeit beträgt 0,1 s, wovon im Maximum $\frac{2}{100}$ s auf die Lichtbogendauer entfallen.

Beiläufig soll ein Vorteil dieser oder ähnlicher Schalter erwähnt werden: die bisherigen Schalter arbeiteten in der Weise, dass die Menge und räumliche Verteilung des in den Bogen eingespritzten Löschmittels (Öl, Wasser, Gas, Dampf usw.) von der Stromstärke im Lichtbogen abhängt. Es trat

Schalter, übrigens auch die freiere Wahl in der räumlichen Anordnung der Zu- und Ableitungen, von Einfluss auf die Gestaltung der Schaltanlage sein wird. Der Erbauer wird freier, kann an Raum sparen und vermutlich auch andere Gesichtspunkte in die Disposition hineinbringen.

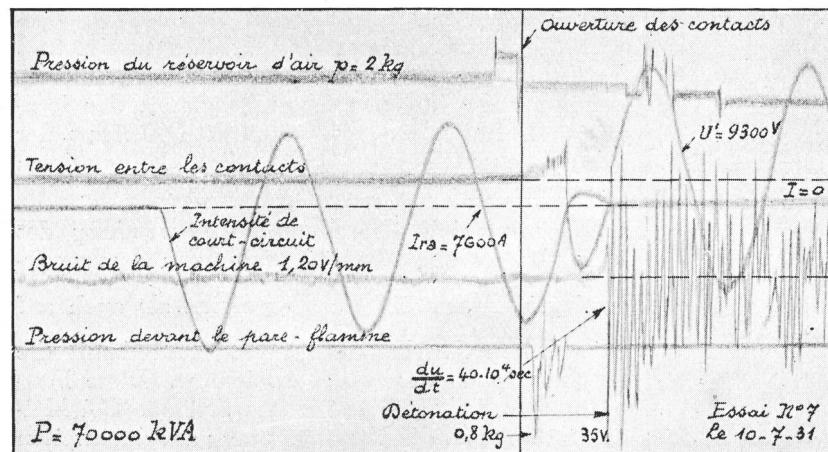


Fig. 10.

Schallstärke des Luftschatz ohne Schalldämpfer bei Unterbrechung von 210 000 kVA bei 15 kV.

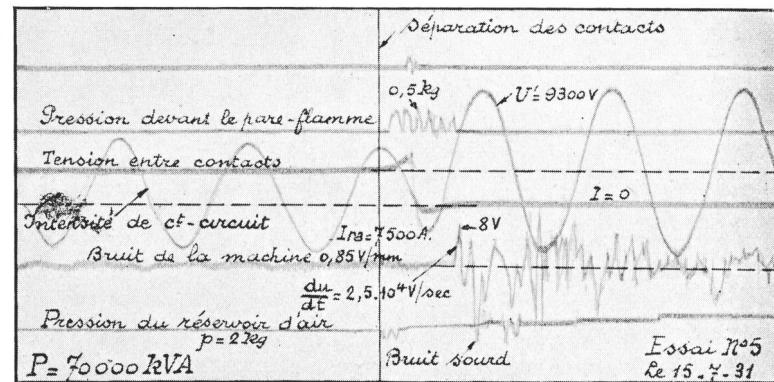


Fig. 11.

Schallstärke des Luftschatz mit Schalldämpfer bei Unterbrechung von 210 000 kVA bei 15 kV.

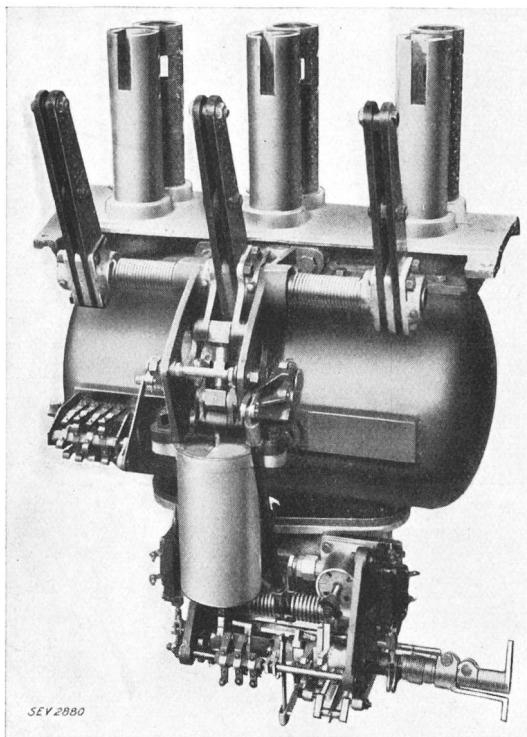
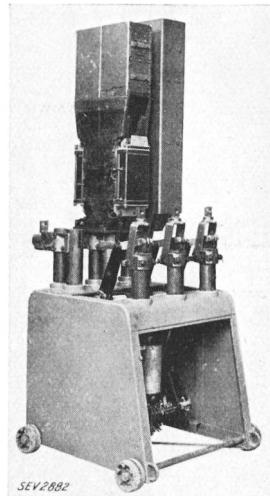
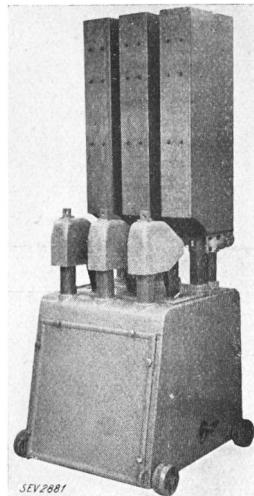


Fig. 12.

Mechanischer Teil des Luftschatzers Fig. 13: Luftkammer, Antrieb und Ventile.



a



b

Druckluftschalter für 15 kV Nennspannung, 500 A Normalstrom und 300 MVA Abschaltleistung,
a teilweise geöffnet, b im Betriebszustand.

Diskussion.

(Unter Mitwirkung der Diskussionsredner zusammengetellt
von F. G. Ruegg, Dipl.-Ing., Assistent an der ETH, Zürich).

Prof. Dr. B. Bauer dankt den Referenten für die sehr interessanten und aufschlussreichen Ausführungen im Namen aller Anwesenden und besonders im Namen der elektrotechnischen Abteilung der Eidgenössischen Technischen Hochschule und eröffnet die allgemeine Diskussion.

1. Votum Dr. K. Berger, Ingenieur beim Schweizerischen Elektrotechnischen Verein.

Wenn ich in Ihrer akademischen Diskussionsversammlung das Wort ergreife, so ist es, um nach den interessanten, reichlich theoretischen Erörterungen die Diskussion überzuleiten auf die in elektrischen Anlagen gewonnenen Erfahrungen mit Oelschaltern. In den Referaten wurde uns mitgeteilt, dass die Gefahr des Neuzündens des Schalterlichtbogens darin begründet ist, dass die an den Schalterpolen wiederkehrende Spannung rascher ansteigt, als die beim Stromnulldurchgang des Schalterstromes verschwindende Lichtbogen definitiv gelöscht bleibt oder ob er neu zündet. Im letzten Fall kommt es zu verlängerter Lichtbogendauer, grösserer Schalterarbeit und allen Folgeerscheinungen. Bei gleichem Abschaltstrom und gleicher Abschaltspannung ist die Abschaltung um so schwieriger, je rascher die Spannung an den Schalterpolen wiederkehrt. Da im kritischen Moment stets die Eigenschwingung des Netzes entsteht, kommt es vor allem auf die Eigenfrequenz der Stromkreise auf beiden Schalterseiten an. Am gefährlichsten ist nach Fig. 1, S. 619, wenn der Schalter unmittelbar bei den Generatorklemmen steht, weil sich für den Generator mit den kleinen Zuleitungskapazitäten bis zum Schalter eine sehr hohe Eigenfrequenz ergibt. Dieser

Fall ist zugleich der in den Schalterprüfstellern nachgeahmte. Am wenigsten gefährlich ist nach derselben Figur die Abschaltung eines Kurzschlusses durch einen Schalter am Ende der Leitung, weil der Generator mit der gesamten Leitungskapazität nur langsam schwingt und demgemäß die Spannung an den Schalterpolen langsam wiederkehrt.

Ich möchte Ihnen nun einige mit dem Kathodenstrahl-oscillographen gewonnene Oszillogramme zeigen, die bei diesem für die Abschaltung als günstig bezeichneten Schema im 132-kV-Netz der Schweizerischen Bundesbahnen aufgenommen wurden. Bei Kurzschlussversuchen, die Herr Ing. Habich in diesem Netz durchführte, hatten sich unerwartete Ueberspannungen ergeben, die mit dem Schleifen-oscillographen nicht erfasst und nicht erklärt werden konnten. Der Kathodenstrahl-oscillograph zeigte, dass im Verlaufe der Kurzschlussabschaltung durch den Versuchsschalter am Leitungsende des Netzes (siehe Schema der Versuchsanlage im Bull. SEV 1929, Nr. 20, S. 682, Fig. 1) sehr steile Spannungssprünge aufraten, welche in bestimmter Weise das Netz auf unerträgliche Ueberspannungen aufzuhüpfen, bis irgendwo Ueberschläge entstanden. Einige Beispiele von Oszillogrammen mögen Ihnen Höhe und Steilheit dieser Spannungssprünge am Schalter illustrieren (Fig. 1 bis 4).

Daraus ist ersichtlich, dass die quasi-stationäre Eigenschwingung des Netzes beim Versuch sehr tiefe Eigenfrequenz von der Grössenordnung 100 Per./s aufwies. Im Verlauf der Abschaltung traten aber innerhalb jeder Halbwelle der Betriebsfrequenz mehrfache Unterbrechungen und neue Zündungen des Schalterlichtbogens auf, wobei die letzteren deutlich durch steile Spannungstöße verursacht sind. Die nähere Untersuchung an Hand der Oszillogramme ergab, dass der Kurzschlussstrom und der wellenmässige Entladestrom der Leitung gleicher Grössenordnung sind. Das begünstigt ein frühzeitiges Löschen des Schalterlichtbogens.