Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 5 (1914)
Heft: 5

Artikel: Hochspannungs-Ölschalter
Autor: Roth, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1056627

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: 22.08.2025

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

Hochspannungs-Oelschalter.

Von *Gottfr. Roth,* Ing., Aarau.

Die teilweise unangenehmen Erfahrungen, die in letzter Zeit mit den Hochspannungs-Oelschaltern an verschiedenen Orten und mit verschiedenen Konstruktionen gemacht wurden, rechtfertigen es wohl, dass man ihnen in Kreisen der Konstrukteure wie der Abnehmer die vollste Aufmerksamkeit schenkt. Tatsächlich sind auch heute Theoretiker und Praktiker daran, alle Bedingungen eines zuverlässigen Apparates herauszusuchen.

Als anfangs der neunziger Jahre mit dem Bestreben, die Kraftübertragung auf grössere Strecken hin vorzunehmen, die Notwendigkeit der Spannungserhöhung wuchs, vermochten die damals gebräuchlichen *Luft- oder Trockenschalter* den an diese Apparate gestellten Anforderungen nicht mehr zu genügen. Wenn sie sich überhaupt noch bis knapp zum Jahre 1900 in der Fabrikation halten konnten, so haben sie dies dem Umstande zu verdanken, dass sie nie oder höchst selten unter Belastung betätigt wurden, und die abzuschaltenden Leistungen überhaupt relativ gering waren, denn die automatischen Hochspannungs-Schalter kannte man noch nicht; die Schmelzsicherungen standen damals noch in vollen Ehren.

Im Verein mit der Erhöhung der Spannung wuchsen auch die Leistungen der Kraftquellen, die Ausdehnungen der Leitungen nach Länge und Querschnitt, und die Manigfaltigkeit der Konsumstellen. Damit wurden die elektrischen und magnetischen Konstanten der Leitungsnetze mit den angeschlossenen Konsumstellen gegenüber früher merklich verändert. Die bekanntlich durch jede Aenderung des elektromagnetischen Zustandes eines Kreises hervorgerufenen sekundären Erscheinungen, Ueberspannungen und Ueberströme, nahmen dadurch an Intensität zu und gewannen erst jetzt wesentliche Bedeutung. Das zeigte sich z. B. besonders bei der Abschaltung der grösseren Netze und Leistungen mit den bisherigen sogen. Luft-Schaltern, von denen allgemein angenommen wird und die z. T. in ihrer Konstruktion grundsätzlich darauf abstellen, dass die Unterbrechung bei Wechselstrom ungefähr im Momente des Höchstwerts des Stroms vor sich gehe. Das musste zu besonders starken Nebenerscheinungen führen; diese Trockenschalter erwiesen sich für die gesteigerten Ansprüche als praktisch ungenügend. Auf die Anschauung, die man sich über die Vorgänge bei einem solchen Schalter machen kann und die daherige theoretische Erklärung kann wegen notwendiger Beschränkung hier nicht näher eingetreten werden; doch ist ohne weiteres verständlich, dass man, um die Ueberspannungen beim Unterbrechen auf ein Minimum zu reduzieren, nach einem Schalter suchte, der die Wechselstromstärke möglichst dann unterbrach, wenn sie selbst durch den Nullwert ging.

Diese Bedingung schien der in den neunziger Jahren auf den Markt gebrachte *Oelschalter* zu erfüllen. Im Jahre 1891 baute Partridge, vier Jahre später Ferranti, Oelschalter; und im Jahre 1897 sind solche von C. E. Brown im Kraftwerk Paderno bei Mailand erstmals eingebaut worden. Fast gleichzeitig kam eine Type von der General El. Co. in Schenectety auf den Kontinent, die fast bei allen Konstrukteuren in mehr oder weniger geänderter Form Eingang gefunden hatte. *Fig. 1* zeigt einen solchen Schalter, wie ihn z. B. die E. G. Alioth, Münchenstein baute. Die Durchführungs-Isolatoren waren zylindrisch und am Oberteil spitz gerillt, beidseitig vertieft zur Aufnahme des Anschlusstückes und der festen Kontakte, wie *Fig. 2* zeigt. Die Notwendigkeit, den Oelschalter etwas entfernt von seinem Antrieb zu installieren, hat dazu geführt, sich zu deren Betätigung der rotierenden Bewegung zu bedienen, weil dadurch die Möglichkeit leicht gegeben war, eine mechanische Fernbetätigung mittelst Ketten- oder Kegelräder herzustellen. Heute sind deshalb fast durchwegs alle Konstruktionen in Form und Prinzip insofern übereinstimmend, dass auf der sich drehenden Schalteraxe Excenter die drehende Bewegung mittelst Kurbelstangen in eine vertikale Bewegung umwandeln, die durch geeignete Kontaktträger die beweglichen Kontakte zum schliessen oder öffnen des Schalters nach oben oder unten bewegen.

Währenddem man sich von vorneherein über die Vorteile des Oelschalters als Unterbrecher hochgespannter Ströme wohl einigermassen bewusst war, konnte man sich über die genauen Ursachen der in den letzten Jahren durch diesen hervorgerufenen Katastrophen

infolge von Explosionen nicht so recht Rechenschaft geben, und man bekam allgemein den Eindruck, dass die Konstruktionen bezüglich der an sie gestellten Anforderungen nicht Schritt gehalten haben mit dem Anwachsen der Spannung, dem angestrengten Betrieb und vor allem der Zentralenleistungen. Heute sind nun die Konstrukteure daran, in einem Sturmlauf wieder Fühlung zu bekommen mit den durch die Verhältnisse hochgespannten Anforderungen, und sie suchen einen Oelschalter zu bauen, der

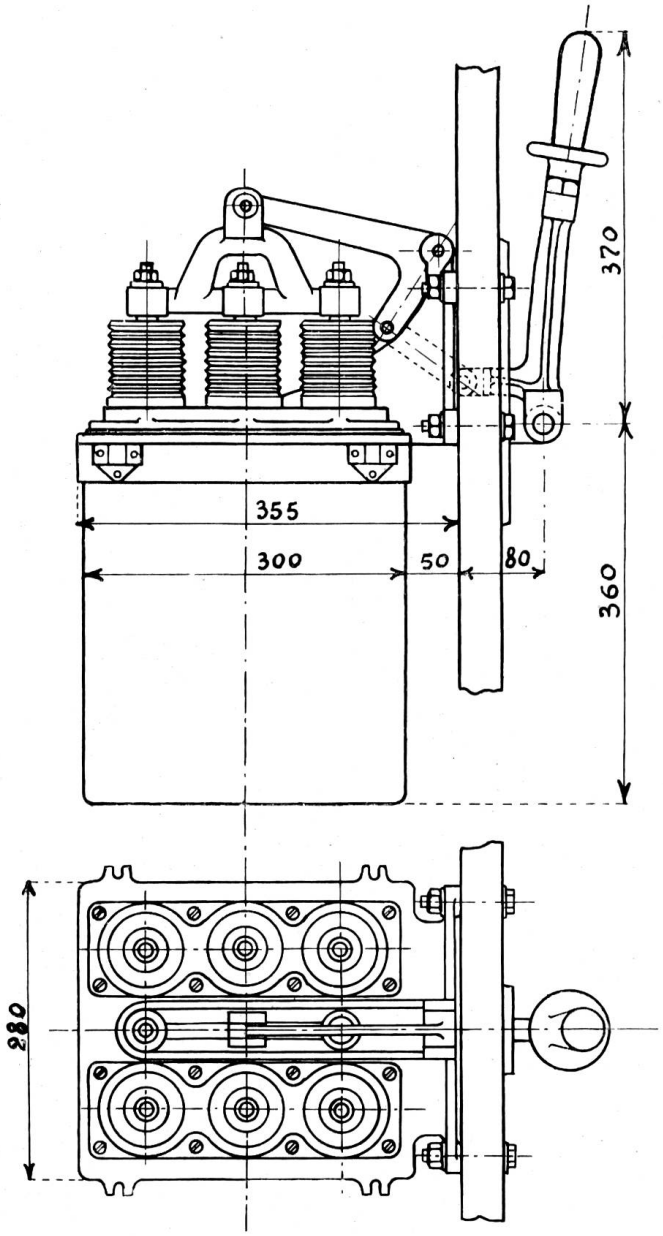


Fig. 1.

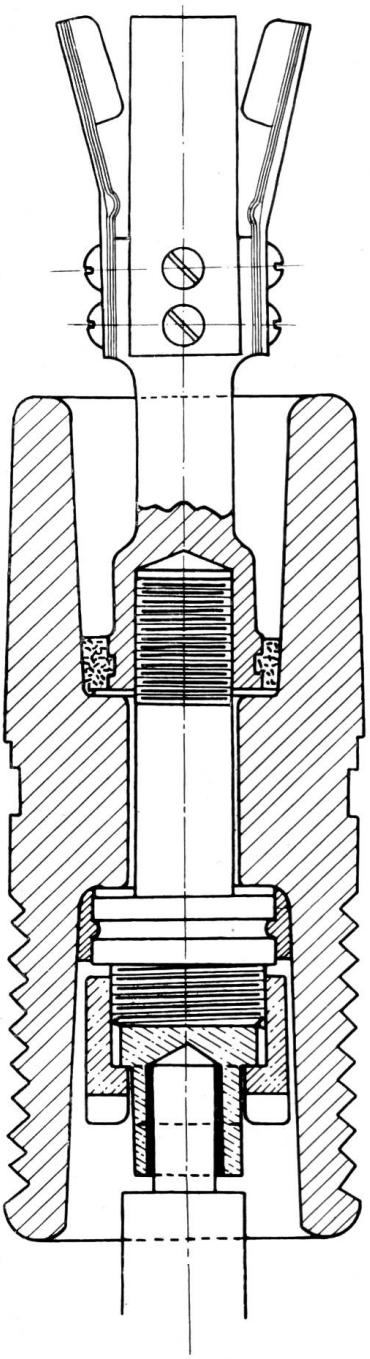


Fig. 2.

inbezug auf Sicherheit des Funktionierens, des überspannungslosen Ausschaltens, der Explosionen etc. jede Gefahr für eine Zentrale oder des zu bedienenden Netzes ausschliesst.

Der Hauptvorteil eines Oelschalters ist wohl unbestritten das überspannungslose Abschalten eines belasteten Stromkreises. Ohne diesen Vorteil wäre er einer der gefährlichsten Objekte der ganzen Apparatur einer Installation, und er kann dies trotzdem noch sein, wenn seine Konstruktion keine sachgemässe ist. Warum nun der Oelschalter beim Unterbrechen eines belasteten Stromkreises keine Ueberspannungen erzeugt, kann wohl nur in den Faktoren zu suchen sein, die zur Erzeugung dieser Ueberspannungen führen

können. Diese Faktoren sind: Kurzschlusstromstärke, Kapazität und Induktivität gemäss der Formel:

$$E = J \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Nachdem durch zahlreiche oscillographische Aufnahmen von Ausschaltevorgängen konstatiert worden ist, dass das Unterbrechen eines Lichtbogens unter Oel tatsächlich dann geschieht, wenn die Sinuskurve des Stromes durch Null geht, folgt aus obiger Formel, dass für $J = o$ im Ausschaltmoment keine Ueberspannung entstehen kann. Woher diese Tatsache rührt, ist schon oft zu beweisen versucht worden. Die allgemeine Annahme geht dahin, dass das von allen Seiten zuströmende Oel den entstandenen Lichtbogen abkühlt, die in der Abschaltezone entstandenen Metall- und Oeldämpfe verdrängt und sich gewissermassen als Keil zwischen die beiden Kontaktstücke legt, so dass in der zweiten Halbperiode der Strömung eine Neubildung des Lichtbogens verhindert wird. Bei stark phasenverschobenen Stromkreisen sind die Verhältnisse wesentlich ungünstiger, weil im Nullwert der Spannung der Strom noch einen gewissen Wert aufweist, wodurch beim Abreissen des Lichtbogens nicht nur die bekannten Ueberspannungserscheinungen auftreten können, sondern es kann infolge der grossen Wärmeentwicklung, bei eventuellen Konstruktions-Mängeln, der betreffende Oelschalter bis zur Explosion überansprucht werden. Es wird also der Lichtbogen nicht direkt durch das Oel zum Erlöschen gebracht, sondern nur an der Neuzündung verhindert. Eine andere Auffassung bezüglich des Erlöschens des Lichtbogens hat Herr Dipl. Ingr. Simon in Heft 32 der „Elektrotechnik und Maschinenbau" bekannt gegeben. Er sagt, dass die beim Ausschaltevorgang entstehenden Gase das Oel infolge ihres Druckes eher von der Abschaltzone zurückdrängen, als dass es zuströme und den Lichtbogen abkühle; es seien vielmehr diese Gase gerade der Grund des Erlöschens, weil diese unter einen verhältnismässig hohen Druck geraten. Gase unter Druck haben aber bekanntlich eine höhere Durchschlagsfestigkeit, sodass sie diejenige von Oel bedeutend übertreffen. Im Momente des Stromrichtungswechsels reisse der Lichtbogen ab und die Gasschicht könne nicht mehr von Neuem durchschlagen werden. — Wir können diese Auffassung nicht teilen; denn wenn sie richtig wäre, so hätten die Versuche mit Hochspannungsschaltern unter Gasdruck längst schon zu greifbaren Resultaten führen müssen. Im Gegenteil halten wir diese Gase als den ärgsten Feind des Oelschalters. Was bei Luftschaltern nach unserer Ansicht gilt, trifft auch hier zu, nämlich die Bildung von Metalldämpfen. Wir glauben, dass die durch die Drucksteigerung resultierende Vergrösserung des Lichtbogenwiderstandes durch die steigende Durchsetzung der Gasstrecke mit Metalldämpfen mehr als aufgehoben wird. Dass der Ausschaltevorgang und seine Folgen ganz andere sein müssten, wenn der Unterbruch im Maximum geschehen würde, zeigen uns die Oelschalter für Gleichstrom. Hier haben wir es mit dem Unterbruch der Leistung in ihrem vollen Werte zu tun. Dieser Umstand macht sich auch deutlich bemerkbar, indem das Oel bei jeder Ausschaltung derart beansprucht und die Gasentwicklung so gross ist, das dieses aus seinem Behälter meterhoch herausgeschleudert wird, sehr oft noch begleitet von einer emporschiessenden Stichflamme. Die starke Lichtbogenbildung entwickelt so viel Gase, dass ihr Druck die Oelmasse zu verdrängen vermag, Luft eintreten und das entstehende Gemisch explodieren lässt. Aus diesem Grunde sind die Oelschalter für Gleichstrom verwerflich; jedenfalls könnten sie nur dann noch einige Betriebssicherheit bieten, wenn die Unterbrechungsstelle 2—3 Mal tiefer unter der Oeloberfläche läge als bei den Schaltern für Wechselstrom.

Im Zusammenhang mit dem wichtigsten Vorteil bezüglich überspannungslosem Abschalten müssen eine ganze Reihe von Bedingungen an einen Oelschalter gestellt werden, der Anspruch auf betriebssichere Konstruktion machen darf. So werden wir in erster Linie verlangen:

1. Ein einwandfreies, zweckdienliches Oel.
2. Grösste Sicherheit in Bezug auf Spannung und der abzuschaltenden Leistung.
3. Sorgfältige Konstruktion der Durchführungen.
4. Sorgfältige Durchbildung der Kontaktteile.

5. Geringe Verluste durch Leiter, Kontakte und Ausstrahlungen.
6. Geringe Abnützung einzelner Teile.
7. Bequeme und gefahrlose Bedienung während Betrieb und Revision.
8. Bequeme und einfache Montage.

Diese 8 Grundsätze des Oelschalters sollen im Nachstehenden etwas näher beleuchtet werden.

1. *Das Oel* übernimmt hiebei unzweifelhaft eine sehr wichtige Rolle. Es umschliesst den Unterbrechungs-Funken bei normalem Ausschaltevorgang vollständig, weshalb Oelschalter in feuer- oder explosionsgefährlichen, feuchten und säurehaltigen Räumen installiert werden können. Das Oel steigert infolge seiner Eigenschaften als vorzügliches Dielektrikum die Ueberschlagsspannung zwischen spannungsführenden Teilen, bei sonst gleichen Raumverhältnissen gegenüber der Luft, um mehr als das Doppelte. Das Oel ist auch ein ausgezeichneter Schutz der Kontakte gegen die schädigenden Einflüsse einer feuchten und säurehaltigen Umgebung und verhindert die Uebertragung der beim Abschalten entstehenden Feuererscheinungen auf explosible Atmosphäre.

Gutes Isolieröl für Schalter soll folgende Eigenschaften haben:

1. Das Oel soll reines, best raffiniertes Mineralöl sein.
2. Der Gehalt an Säure darf höchstens 0,5 ‰ betragen, Wasser ist nur in sehr geringen Spuren zulässig, Alkalien, Schwefel sowie mechanische Verunreinigungen dürfen nicht vorhanden sein.
3. Das spec. Gewicht liege bei 15° C zwischen 0,85—0,92.
4. Der Entflammungspunkt soll nicht unter 175° C liegen.
5. Der Brennpunkt nicht unter 210° C. Dieser liegt in der Regel 30—40° über dem Flammpunkt.
6. Der Festpunkt soll nicht eher als bei 10° C unter Null eintreten.
7. Die Viscosität $\left(\frac{\text{Auslaufzeit Oel}}{\text{Auslaufzeit Wasser}}\right)$ soll nach Engler bestimmt bei 20° C (wenn Wasser = 1) nicht über 10 betragen.
8. Das Oel soll eine viertelstündige Erwärmung auf 110° C aushalten, ohne erhebliche Dunkelfärbung und ohne jegliche Niederschlagsbildung. Der Gewichtsverlust infolge Verdampfung darf dabei höchstens 0,5 % betragen.
9. Wird eine Probe von 0,03 Gramm in dünner Schicht während 80 Stunden im Trockenraum auf 100° erwärmt, so soll der eingedichte Rest in Petroläther vollständig löslich sein.
10. Bis zu einer Temperatur von 250° und bei einem Druck von 50 mm Quecksilbersäule sollen keine nennenswerten Mengen des Oeles überdestillieren.
11. Die Isolierfähigkeit des Oeles bei 15° C soll mindestens so gross sein, dass zwischen Nadelspitzen von 10 mm Abstand unter 25 KV kein Funke überspringt.
12. Der Gehalt an Teer soll 0,1 % nicht übersteigen.

Die Anwesenheit von Feuchtigkeit setzt die Durchschlags-Festigkeit des Oeles nicht nur ganz bedeutend herunter, sondern sie begünstigt auch die Entwicklung von Dämpfen und Gasen, die den Ausschalte-Vorgang recht nachteilig beeinflussen. Die Feuchtigkeit im Oel begünstigt auch die Verbindung desselben mit Sauerstoff, wodurch dieses harzig wird, und nicht selten kommt es vor, dass übermässige Erwärmung der Kontaktteile, insbesondere bei Schaltern, die sehr selten betätigt werden, von einer zwischen den Kontaktflächen sich abgelagerten Harzschicht herrührt. Ein Reinigen dieser Flächen genügt oft, um den Schalter wieder betriebsfertig zu machen. Um die Feuchtigkeit aus dem Oel zu verdrängen, wird dasselbe oftmals dem Auskochen unterworfen. Ueber den effektiven Wert des Auskochens sind die Konstruktionsfirmen nicht einig. Es gibt massgebende Firmen, die dem Auskochen gar keinen praktischen Wert beimessen, von der Annahme ausgehend, dass die künstlich entfernte Feuchtigkeit nachher wieder durch die Luft oder durch Kondenswasser in das Oel eindringe. Hingegen kann dieses schon während seiner Lagerung soviel Feuchtigkeit in sich aufgenommen haben, dass ein Auskochen auf jeden Fall zu empfehlen ist. Es ist vorzuziehen das Oel mittelst Aussen-Feuerung auszukochen,

weil die Zersetzung desselben proportional ist der Heizoberfläche und durch diese Zersetzung dem Oel Stoffe verloren gehen, die ihm seine gute Qualität verleihen.

Wenn Oele bei verhältnismässig geringer Erwärmung einen russigen Niederschlag zeigen, so ist dies ein Zeichen von Teergehalt. Ein ähnlicher Niederschlag ist zu beobachten bei Schalterölen, die schon im Betrieb gestanden und Kurzschlüsse auszuhalten hatten; diese Niederschläge sind Zersetzungsprodukte aus dem Oel und dem Material der Kontaktteile durch den Lichtbogen. Wie sehr die Durchschlagsfestigkeit des Oeles in diesem Zustande abnimmt, zeigen folgende Messungen:

Ein Oelschalter hat bei 16,000 V 4 Kurzschlüsse mit einem Kurzschlusstrom von ca. 4000 A einpolig abgeschaltet; das Oel zeigte hiernach bei 10 mm Elektrodendistanz einen Durchschlag bei 37,000 V. Mit demselben Schalter wurden dann noch 40 solcher Kurzschlüsse abgeschaltet; die Durchschlagsspannung sank dabei auf 28,000 Volts. Dasselbe Oel, frisch und getrocknet, hat eine Durchschlagsfestigkeit von 50,000 Volts bei 10 mm Elektrodendistanz. Es ist klar, dass die Durchschlagsfestigkeit in erhöhtem Masse abnimmt, wenn im Laufe der Zeit Feuchtigkeit und Zersetzung infolge des Lichtbogens vereint auftreten.

Leider ist die Ansicht noch nicht bei allen Betriebsleitern durchgedrungen, dass das Oel eines der wichtigsten Organe des Oelschalters ist, und dass von ihm die Sicherheit des Betriebes wesentlich abhängt. Man könnte wohl in einem uns bekannten Falle von fahrlässiger Sparsamkeit sprechen, wo dasselbe Oel 5 Jahre lang in einem Schalter belassen wurde, bis sich am Boden des Kastens eine 5 cm und an den Wänden eine 1 cm dicke Schicht des bekannten, schmutzig rotbraunen Pulvers niedergeschlagen hatte, das aus der Oxydation des Oeles resultiert. Jedes Oel sollte ausgewechselt werden: für leichte Betriebe alle 12, für mittlere alle 6 und für forcierte Betriebe alle 3—2 Monate. Von Zeit zu Zeit ist eine gründliche Reinigung des Oelkessels vorzunehmen. Das Eingiessen des Oeles geschehe langsam, so dass nicht Luftblasen mitgenommen werden.

2. Grösste Sicherheit auf Spannung und abzuschaltende Leistung.

Dass mit der Verwendung eines einwandfreien Oeles schon ein guter Schritt zur Erfüllung obiger Bedingung gemacht ist, geht aus dem vorhin Gesagten hervor. Was nun den Sicherheitsfaktor selbst anbetrifft, so lässt sich dieser für die Spannung genau vorausbestimmen, nicht aber für die abzuschaltende Leistung. Erstere stützt sich auf theoretische und praktische Tatsachen, letztere ist immer noch Sache des Gefühls des Konstrukteurs, das allerdings aus den guten und schlechten Erfahrungen hervorgeht, die er sich speziell in den letzten Jahren hat sammeln können.

Oelschalter für Generatoren sind in der Regel nicht für mehr als 16,000 V zu bauen; sie können jedoch nicht einfach nach der Spannung dimensioniert werden, sondern es fällt hiebei die abzuschaltende Leistung des Generators oder mehrerer solcher wesentlich in Betracht, d. h. die Abstände wenigstens innerhalb des Oelkessels müssen nicht nur der Betriebsspannung genügen, sondern sie werden naturgemäss grössere sein, wenn der Schalter genügende Sicherheit für das Abschalten bieten will. Was rein nach der Betriebsspannung dimensioniert werden kann, das sind die Isolatoren und die Abstände derselben voneinander ausserhalb des Oelkastens.

Nicht weniger wichtig ist natürlich die mechanische Konstruktion des Schalters selbst, und da ist vor allem eine sichere und rasche Schaltbewegung ein Haupterfordernis für das sichere und überspannungslose Unterbrechen des Lichtbogens. Eine schleichende Bewegung der Kontakte während des Abschaltevorganges bewirkt, dass der Lichtbogen zum Abreissen mehrere Perioden braucht. Ein derart lang andauernder Lichtbogen wird vor allem starke Gasentwicklung und damit die Gefahr hervorrufen, dass der dabei entstehende Druck das Oel zn den Oeffnungen hinausschleudert, und besonders, dass die Gase zur Oberfläche des Oeles emporsteigen; und alsdann mitgerissene glühende Metallteile, eine nachfolgende Stichflamme das über dem Oel entstandene Gemisch von Luft und brennbaren Gasen entzünden können.

Der Druck im Oelkessel kann dann derart gross werden, dass letzterer nach unten abgesprengt, der Schalter zur Explosion gebracht wird. Gewöhnlich werden die Oelkessel vom Gussdeckel losgerissen, gleichgültig, ob sie mittelst Schrauben direkt an diesen befestigt, oder mittelst Drahtseilen an Rollen hängen. Die beobachteten bedeutenden Deformationen solcher Kessel und andere Beschädigungen sind deutliche Zeichen der wirkenden Kräfte. Bei Oelschaltern, bei denen die Kastensenkung mittels Schneckengetriebe oder Seilrollen geschieht, zeigt sich gewöhnlich als typische Folge einer Explosion das Herunterdrücken des Kessels, bis die Seile abgewickelt sind und der Kessel auf den Boden zu stehen kommt, oft in aufrechter Lage, wobei das in Brand geratene Oel langsam weiter brennen kann, unter so grosser Rauch- und Russbildung, dass es mit gewöhnlichen Löschmitteln sehr schwer sein wird, den Brand einzudämmen. In einigen uns bekannten Fällen müssen die Druckkräfte auf den Kessel hierbei allerwenigstens 1200 kg betragen haben.

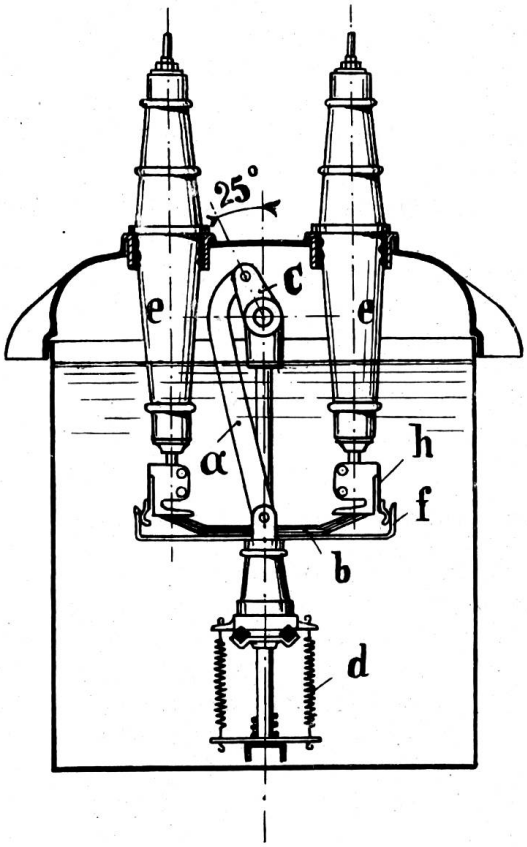


Fig. 3.

Aber auch nicht alle Oelschalter, deren Ausschalte-Bewegung scheinbar rasch vor sich geht, unterbrechen den Lichtbogen wirklich rasch. Hierbei spielt nämlich die Anordnung der Funkenzieher eine sehr wichtige Rolle.

Betrachten wir die nun fast allgemein übliche Anordnung des Schaltmechanismus, der im wesentlichen nach *Fig. 3* an einer Kurbel *a* die Kontaktbrücke *b* trägt. Diese Kurbel wird durch den auf der Axe fixierten Excenter *C* bis auf einen Winkel von ca. 25° vor die Senkrechte des Axmittels, den sog. Totpunkt gebracht, wo der ganze Mechanismus als in der Einschaltstellung sich befindend, arretiert wird. Beim Lösen der Arretierung bewegt sich der Excenter *C* samt der Kontaktbrücke *b* infolge ihrer Eigengewichte und der Kraft der Feder *d* nach unten. Die Geschwindigkeit der vertikalen Bewegung ist eine annähernd sinusartige, d. h. sie erreicht auf der Horizontalen *e — e* ihr Maximum. Wenn nun die Funkenzieher *f* dem Hauptkontakt wenig nacheilen (beim Ausschaltevorgang) so werden sie den fixen Hilfskontakt *h* schon in einer Zeit verlassen, d. h. den Unterbrechungsfunken einleiten, wo die Geschwindigkeit der Bewegung noch eine geringe ist, der Lichtbogen wird also übermässig lange stehen bleiben und Explosionen oder mindestens starke Zersetzung des Oels als Folge zurücklassen. Diese Tatsache fand ihre Bestätigung in einem Falle, wo jede Ausschaltung von ca. 48000 kVA eine so starke Trübung des Oeles und einen so grossen Verschleiss der Funkenzieher zur Folge hatte, dass beide jeweilen nach 3—4 solcher Schaltungen unbrauchbar wurden. Eine Verlängerung der Funkenzieher um nur 10 mm half diesen Uebelständen mit einem Schlage ab; es können nun 30—50 solcher Kurzschlüsse abgeschaltet werden, bis eine Revision der Kontakte und Ersetzen des Oeles nötig wird.

Alle Konstrukteure kennen den Vorteil der mehrfachen Unterbrechung eines Lichtbogens, und wenn man in Europa speziell bei den Schaltern höherer Spannungen 4, 6 und 8fache Unterbrechung anordnet, so will man damit nur die Sicherheit der Abschaltung erhöhen. Die mehrfache Funkenstrecke bietet zwei verschiedene Verteile:

1. Die Schaltgeschwindigkeit für den Lichtbogen wächst wie das Produkt aus einfacher Geschwindigkeit in die Zahl der Unterbrechungsstellen. Der Lichtbogen erreicht also um so rascher diejenige Länge, bei der er sich nicht mehr neu bilden kann; Kontakte und Oel haben weniger Zeit zur Erwärmung und Gasentwicklung.

2. Durch die Unterteilung des Lichtbogens werden die Feuererscheinungen auf mehrere Stellen verteilt, wodurch eine verhältnismässig grössere Oeloberfläche mit ihm in Berührung kommt. Die Abkühlung des Lichtbogens ist also unzweifelhaft eine energischere.

Grosse Sorgfalt sollte auch der stetigen Abführung der Gase aus dem Oelkessel gewidmet werden. Es genügt nicht, irgendwo im Schalterdeckel ein kleines Loch von kaum 3 cm Durchmesser vorzusehen, das gewöhnlich noch mit einem Deckel, wenn auch nur lose zugedeckt wird, in der Hoffnung, dass dieser Deckel bei eventueller Explosion abgeschleudert werde. Oft trifft diese Voraussetzung nicht zu; das beweisen Schalterexplosionen, bei denen die leichten Holzdeckel in ihren Löchern lagen, unbekümmert um die im Schalterinnern arbeitende Expansion. Die Deckel waren zu klein, boten dem Druck eine im Verhältnis der ganzen Oeloberfläche des Kastens zu geringe Angriffsfläche. Sollen die Schutzlöcher als solche wirken, so müssen sie zu zweien am Schalterdeckel, in gelochter Ausführung und von mindestens 5 cm im Durchmesser, so verteilt sein, dass die an irgend einer Stelle entstehenden Gase möglichst unmittelbar abziehen können.

Erfreulicherweise machen es sich die Konstrukteure heute nicht nur zur Pflicht, Oelschalter mit grösstmöglicher Sicherheit zu bauen, sondern sie denken auch an die Vorkehrungen, die zu treffen sind, um eine allfällig dort eintretende Explosion in einem Oelschalter möglichst schadlos vorübergehen zu lassen. Da ist vor allem das Bestreben zu nennen, die Schalter einzeln in abgeschlossene feuerfeste Zellen einzubauen. Der Boden dieser Zelle ist nach der Mitte zu vertieft und hat dort ein Loch als Oelablauf, der event. in Brand geratenes Oel in eine Zisterne oder sonstwie schadlos abführt. (*Fig. 4.*)

Diese Anordnung hat anfänglich schöne Hoffnungen erweckt, aber die Erfahrungen haben diese teilweise wieder abgekühlt; denn wie schon früher bemerkt, kamen Explosionen vor, bei denen der Oelkessel senkrecht zu Boden geschleudert wurde, wo er stehen blieb und das Oel, statt im Senkloch zu verschwinden, in der Zelle ruhig weiter brannte. Doch ist man im Begriffe, auch in diesem Punkte Abhülfe zu schaffen.

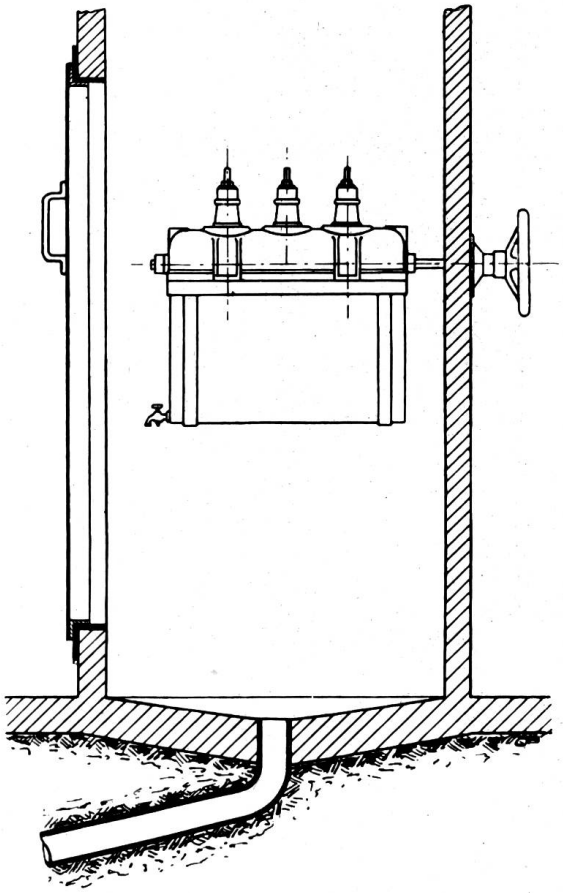
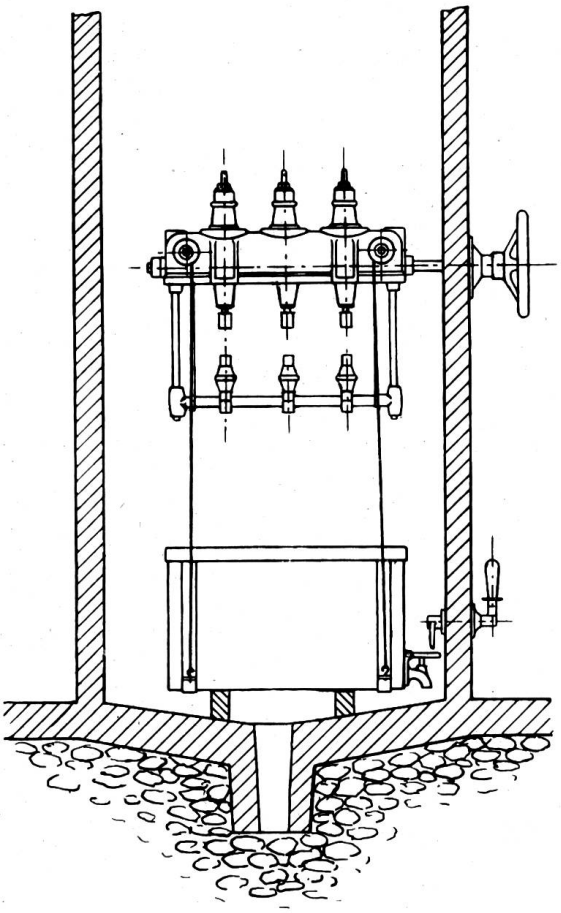


Fig. 4.



Fig, 5.

Durch eine Anordnung nach *Fig. 5* kann der Oelablasshahn von aussen her, also ohne die brennende Zelle öffnen zu müssen, bedient werden, um das Oel rasch in die Zisterne abzulassen. Eine entsprechende Anordnung kann auch am Oelkessel selbst bestehen, wodurch mit dem Herunterfallen des Kessels der Hahn automatisch geöffnet wird. Eine radikale Lösung wäre eine Kippvorrichtung des Oelkessels, der dadurch, sobald er seine Befestigung durch die Explosion verloren hat, sich um einen Punkt drehen und umkippen müsste, um sich so des ganzen Oelinhaltes raschestens zu entledigen.

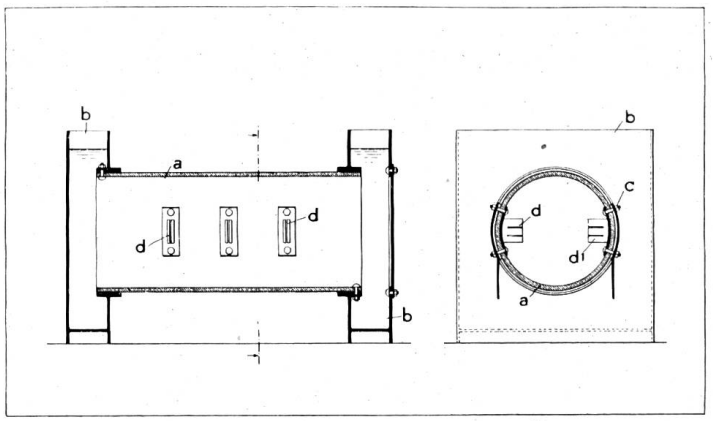


Fig. 6.

Um möglichst alle geerdeten Teile, d. h. Eisenteile aus dem Bereiche des Lichtbogens und der stromführenden Kontakte zu bringen, ist neulich ein Schutzanspruch auf einen Oelschalter gestellt worden, dessen Oelbehälter aus einem Hartpapier-Zylinder *a* besteht (*Fig. 6*). Dieser Zylinder birgt in seinem Innern die Kontakte *d* und trägt die Durchführungen *c*. Die beiden seitlichen Oelkammern *b* schliessen die Zylinder ab. Ihre Höhe ist so, dass der Oelstand nicht nur den Cylinder ständig gefüllt, sondern diesen auch unter einem bestimmten Oeldruck hält. Die Revision der Kontakte ist bei diesem Apparate keine leichte. Sehr interessant ist auch der direkt in eine feuerfeste Kammer eingemauerte Oelschalter der Westinghouse Co., wie ihn *Fig. 7* zeigt.

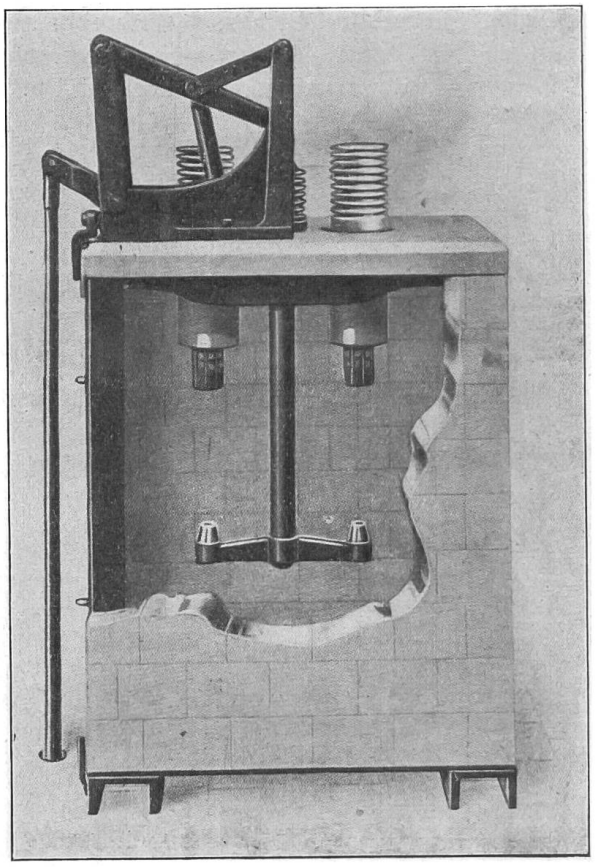


Fig. 7.

3. Sorgfältige Konstruktion der Durchführungen.

Soweit die Durchführungen aus Porzellan vorgesehen werden, streben diese ganz einheitlichen Formen und Abmessungen zu. Früher hatte man die Güte eines Isolators nur nach seiner Ueberschlagsspannung bewertet und folglich darauf getrachtet, durch Rillen und Schirme einen möglichst langen Kriechweg für die Spannung zu schaffen. Die Fassungsstelle jedoch hatte selbst bis 60 000 V nicht mehr wie 80 mm Durchmesser. Damit wenigstens die Höhenabmessungen auf einer theoretischen Grundlage beruhten, ist eine Faustformel hiefür aufgestellt worden, worin die Betriebspannung *E* und die Leistung *L* die ausschlaggebenden Faktoren sind. Dass die Leistung, die der Schalter normal führt, ein Wort mitsprechen sollte, beweist, dass man damals schon mit Ueberspannungen rechnete, deren Grösse wesentlich von der Leistung abhängig ist.

Die Höhe *h* eines Isolators wird auf diese Art gefunden:

$$h = \sqrt{E} \cdot \left(0{,}8 + \frac{\sqrt[3]{L}}{30}\right)$$

Beispiel: $E = 35\,000$ V, $L = 10\,000$ kVA, somit Höhe des Isolators:

$$h = \sqrt{35\,000} \cdot \left(0{,}8 + \frac{\sqrt[3]{10\,000}}{30} \right) = 280 \text{ mm}$$

Wenn der Durchmesser an der Fassungsstelle gross genug gewählt ist, so gibt diese Formel zuverlässige Werte; man hat diesen aber bis anhin viel zu stark vernachlässigt, weshalb sich im Laufe von Wochen und Monaten des Betriebes, insbesondere von 16 000 V und höher, grosse Nachteile herausstellten, die sich in Form von Störungen zeigten. Die Isolatoren haben an der Fassungsstelle durchgeschlagen, die Stromdurchführungsbolzen

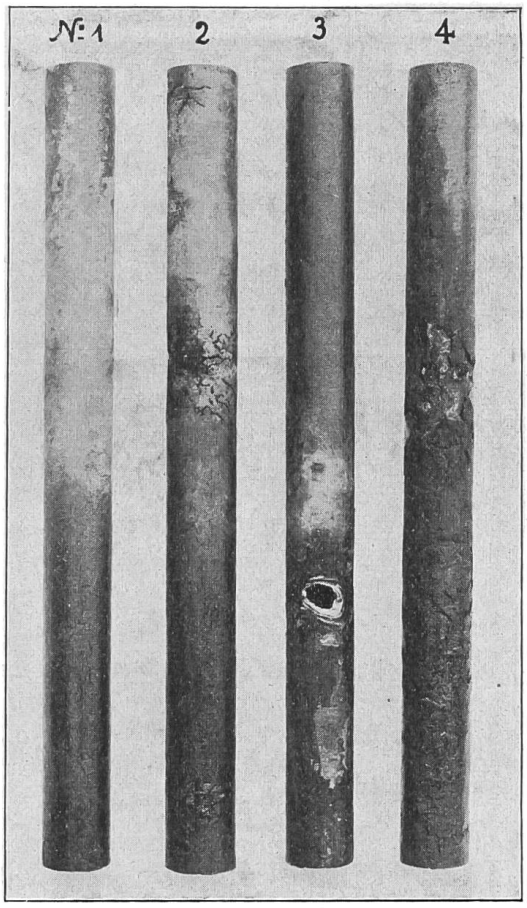


Fig. 8.

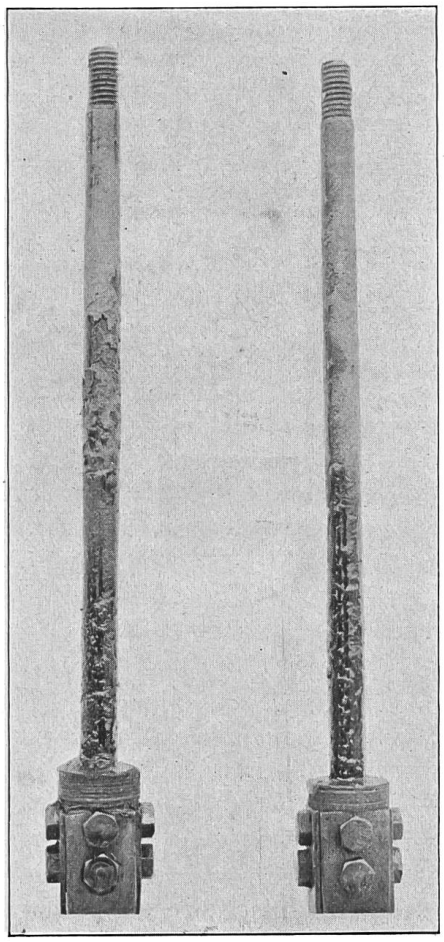


Fig. 9.

sind sogar unter zuerst rätselhaften Begleiterscheinungen auf der Höhe der Fassungsstelle durchgebrochen. Man hat direkt über die Durchführungsbolzen noch Porzellan- oder Micartarohre geschoben, um die Durchschlagsfestigkeit zu erhöhen. Die Besserungen waren nur vorübergehende, die Micartarohre zersetzten sich und verkohlten. Speziell diese Erscheinung führte dazu, zu erkennen, dass es die im Isolator befindliche Luft ist, die beim Auftreten elektrischer Strahlung die Bildung von Ozon ermöglicht, das sich mit dem Stickstoff der Luft zu Salpetersäure (HNO_3) verbindet. Diese Säure greift die Rohre an. Durch die Wärmeentwicklung dieser stillen Entladungen entsteht auch immer Kondenswasser im Innern des Isolators, das der Zersetzung insofern noch Vorschub leistet, als die Feuchtigkeit die Durchschlagsfestigkeit der Luft herabmindert und die Strahlungen begünstigt. *Fig. 8* zeigt die Wirkungen dieses langsamen Zersetzungsprozesses. Es sind Micartarohre, die zwölf Monate im Innern eines Isolators unter einer Spannung von 16 000 V gestanden haben. Obschon sie demselben Schalter entnommen sind, zeigen

sie doch die Wirkung der Entladungen auf verschiedene Weise. Bei Rohr Nr. 1 sind die Beschädigungen am geringsten, die obere Papierschicht beginnt sich erst zu lösen und ist mit einem weissen, fettigen Niederschlag bedeckt. In Nr. 2 ist schon der Verlauf der Strahlungen deutlich durch eingebrannte Adern bemerkbar. Nr. 3 zeigt ein durchgebranntes Loch. Jedenfalls waren die Strahlungen dort äusserst heftig infolge einer scharfen Kante an der Fassungsstelle. Dieses Beispiel zeugt von starker Wärmeentwicklung; der Isolator selbst blieb intakt. Rohr Nr. 4 zeigt fast auf seiner ganzen Länge sehr starke Brandstellen.

Die Wirkungen dieser Strahlungen zeigen sich auch an den Stromdurchführungsbolzen direkt, indem diese nach zirka 15—20 Wochen an der Fassungsstelle des Isolators, also da wo das Erdpotential dem Leiter am nächsten steht, eine feucht schlammige, millimeterstarke Schicht zeigen, eine Ausscheidung von essigsaurem Kupferoxyd oder Grünspahn $(C_u\ C_4\ H_6\ O_4 + H_2\ O)$. Kupfer- oder Messingbolzen verlieren ihre Farbe und fangen an zu dunkeln, die Oberfläche wird porös und nach langer Einwirkung fällt der Bolzen entzwei. In *Fig. 9* sehen wir zwei solche Bolzen mit dem Grünspahn-Belag. Die Bruchfläche ist schwarz und löcherig. Das Innere des Isolators zeigt starke Feuchtigkeit

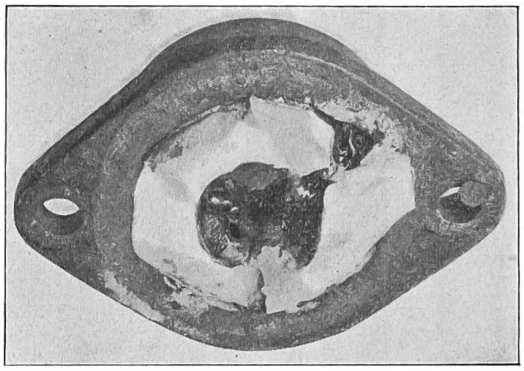


Fig. 10.

und einen essigsauren Geruch. Der Isolator selbst wird der übermässigen elektrischen Beanspruchung auch nicht mehr lange Stand halten; die dabei auftretende Wärme wird das Porzellan zum Reissen bringen, der direkte Durchschlag setzt ein und lässt die Spuren der Verheerung zurück, wie wir diese in *Fig. 10* sehen; das Porzellan und die Bleiglätte sind geschmolzen.

Das Ausgiessen der Isolatoren mit irgend einer Isoliermasse von höherer Durchschlagsfestigkeit als Luft, sollte letztere verdrängen, um ihre schädigenden Einflüsse zu unterbinden. Es besteht auch ein geschütztes Verfahren, nach welchem der Luftraum zwischen Bolzen und Wandung aufgehoben wird. Alles das waren natürlich nur Mittelchen zum Zweck, die auf die Dauer ihre Nutzlosigkeit bewiesen. Diese Erfahrungen haben dazu gedrängt, das Uebel bei der Wurzel zu fassen, nämlich diese stillen Strahlungen, das sogenannte Glimmlicht, bis zur gewünschten Spannung überhaupt zu verhindern. Eingehende Versuche haben erlaubt, eine rechnerische Grundlage hiefür zu schaffen. Wir verweisen hiefür speziell auf die „Hochspannungs-Technik" von Dr. Ingenieur Petersen und beschränken uns darauf, die Schlussformeln zu erwähnen, mittelst denen jeder Konstrukteur imstande sein wird, elektrisch richtige Durchführungs-Isolatoren zu bauen.

Diese Festigkeitsrechnungen zeigen dem Konstrukteur auch, wie unrichtig es ist, Abstände spannungsführender Teile für eine bestimmte Spannung nur als dem dieser Spannung entsprechenden Vielfachen der spezifischen Durchschlagsfestigkeit zu wählen. Dieses Verfahren hat nur bei flachen und parallelen Elektroden, die ein gleichmässiges elektrisches Feld aufweisen, Anspruch auf annähernde Richtigkeit. Bei konzentrischen Zylindern ist aber die Verteilung des Feldes eine ganz andere, und es ist hauptsächlich der innere Leiter, der die grösste Beanspruchung d. h. die grösste Liniendichte aufweist.

Sollen Durchführungen einwandfrei gebaut sein, so darf bei der Normalspannung kein Glimmlicht am Leiter und bei der Prüfspannung kein solches an der Fassungsstelle der Isolatoren auftreten. Die erste Bedingung muss erfüllt sein, um ein „Zerfressen" des Leiters zu verhindern, die zweite deshalb, weil ein Glimmen an der Fassungsstelle ein Zeichen dafür ist, dass das Isoliermittel schon überansprucht ist und über kurz oder lang ein direkter Durchschlag erfolgen kann. Um das Resultat der Rechnung zum Vorneherein günstig zu gestalten soll der Radius r_2 der innern Isolatorwand in einem bestimmten Verhältnis stehen zum Radius r_1 des Leiters und zwar: $r_2 : r_1 = 2{,}7$ = der Basis der natürlichen Logarithmen. Abweichungen dieser Zahl bis zu 3,5 können praktisch nicht nachteilig sein.

Beispiel nach *Fig. 11.*

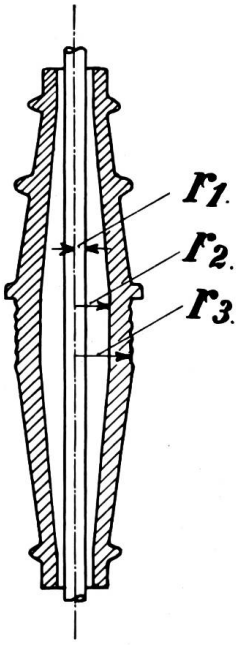


Fig. 11.

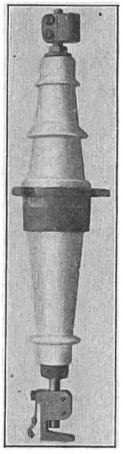


Fig. 12.

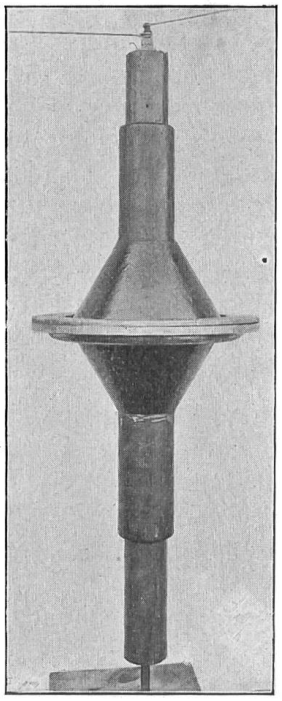


Fig. 13.

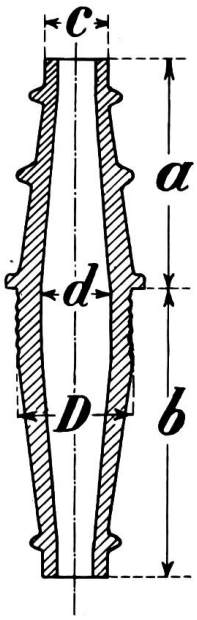


Fig. 14.

Eine Durchführung aus Porzellan mit Luft als isolierendes Zwischenmittel von Leiter zur innern Porzellanwand habe folgende Abmessungen und Daten:

$r_1 = 1{,}1$ cm	Normalspg.	$Vn = 24$ *kV*
$r_2 = 3{,}0$ cm	Prüfspg.	$Vg = 50$ *kV*
$r_3 = 5{,}0$ cm	Durchschl. Festigk.	$v = 20$ *kV* cm für Luft.

Dielektrizitätskonstante k_1 für Luft $= 1$

Dielektrizitätskonstante k_2 für Porzellan $= 4$

Die Glimmspannung *Vg* an der Fassungsstelle setzt dann ein bei:

$$Vg = \frac{v}{k_1 \cdot k_2} \cdot r_3 \cdot \left(k_2 \cdot log.\ nat. \frac{r_2}{r_1} + k_1 \cdot log.\ nat. \frac{r_3}{r_2} \right) = kV$$

Werte eingesetzt:

$$Vg = \frac{20}{1 \cdot 4} \cdot 5{,}0 \cdot \left(4 \cdot log.\ nat. \frac{3{,}0}{1{,}1} + 1 \cdot log.\ nat. \frac{5{,}0}{3{,}0} \right) = 113\ kV$$

Die Beanspruchung am Leiter *Vs* ist dann:

$$Vs = \frac{k_2 \cdot Vn}{r_1 \cdot \left(k_2 \cdot log.\ nat. \frac{r_2}{r_1} + k_1 \cdot log. nat. \frac{r_3}{r_2} \right)} = kV$$

Werte eingesetzt:

$$Vs = \frac{4 \cdot 24}{1{,}1 \cdot \left(4 \cdot \log. nat. \frac{3{,}0}{1{,}1} + 1 \cdot \log. nat. \frac{5{,}0}{3{,}0}\right)} = 19{,}4\ kV$$

Diese Durchführung genügt also den Anforderungen, ist doch *Vg* weit über der Prüfspannung und *Vs* unter der Durchschlagsfestigkeit von Luft.

Würde man den Isolator mit Isoliermasse ausfüllen, so setzt sich an Stelle von $k_1 = 1$ die Dielektrizitätskonstante dieses Materials z. B. $k_3 = 2$ für Oel. In vorige Formeln eingesetzt erniedrigt sich der Wert für *Vg*, jedoch erhöht sich derselbe für *Vs*. In diesem Falle kann aber auch *Vs* bis zur Durchschlagsfestigkeit des Oeles = 60 *kV* pro 1 cm gebracht werden. Der ideale Fall für eine Durchführung ist der, wo *Vg* = *Vs* wird.

Durchführungen auf vorstehender Basis berechnet nehmen eine konische Form an, wie sie Kuhlmann erstmals konstruirte; die Fassungsstelle ist stark erweitert, währenddem der Isolator beidseitig von dieser aus, den Enden zu, sich stark verjüngt, wie in Fig. 12 dargestellt. Die Oberfläche ist glatt mit höchstens 1—2 Wülsten an beiden Hälften, denn man kommt immer allgemeiner zur Ansicht, dass die Ueberschlags-Spannung eines Isolators nicht mehr durch viele Rillen und Schirme möglichst hoch gehalten werden soll; vielmehr soll der *Ueberschlag* eintreten, ehe an der Fassungsstelle eine Ueberanspruchung des Isolators, der *Durchschlag*, erfolgt. Der Wulst desjenigen Teiles, der in das Oel eintaucht, soll vor allem die Bestimmung haben, die beim Ein- und Ausschalten entstehenden Kohlenstäubchen aufzufangen und von der oberhalb liegenden Oberfläche des Isolators abzulenken, damit dieser rein und isolierfähiger bleibt.

Eine interessante Durchführung aus Hartpapier bringt die Firma Häfeli & Co. in Basel in neuerer Zeit auf den Markt; *Fig. 13* zeigt diese bildlich. An der Fassungsstelle besitzt sie eine stark konische Ausweitung, um den Radius der Fassung bei verhältnismässig geringem Materialaufwand gross zu bekommen. Zwischen dem äusseren Rohr und den beiden Konushälften liegt ein sog. Luftkissen, dem besonders gute Eigenschaften bezüglich des elektrischen Feldes zugeschrieben werden.

Nachfolgende Tabelle gibt die Hauptabmessungen von elektrisch und mechanisch einwandfreien Isolatoren, wie solche die A. G. Sprecher & Schuh in Aarau für ihre neuesten Oelschalter-Konstruktionen anwendet: *(Fig. 14)*

Normal-Spannung kV	Prüf-Spannung kV	Abmessungen in Millimetern				
		a	b	c	d	D
1,5 — 3	20	90	150	45	22	55
3 — 6	30	120	200	50	26	70
6 — 12	40	140	225	50	40	80
12 — 24	60	200	255	55	60	100
24 — 35	80	270	320	60	75	120
50	120	400	425	80	120	170
80	175	800	600	140	180	250

4. Durchbildung der Kontaktteile.

Wir wollen uns nur mit den vier Hauptteilen kurz befassen; es sind dies:

a) Der Kabelanschluss a_1 und a_2 *(Fig. 15)*
b) Der Durchführungsbolzen *b*
c) Das Kontaktstück *c*
d) Die Strombrücke *d*.

Für den Kabelanschluss a_1 wählt man vorteilhaft folgende Bohrungen g:

60	Ampère	=	8 mm
100	„	=	10 „
200	„	=	15 „
350	„	=	22 „
600	„	=	30 „

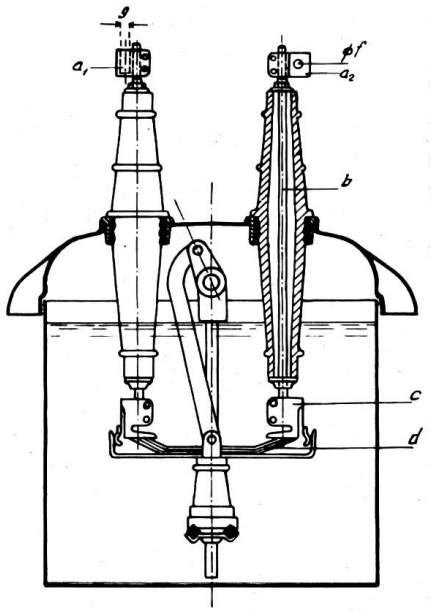


Fig. 15.

Für Schienenanschluss a_2 verlangen die Normalien des *V. D. E.* für die Klemmschrauben *f* folgende minimalen Durchmesser, denen auch gleich die Auflageflächen beigefügt sind, die zur Sicherung eines guten Kontaktes verlangt werden müssen:

Nennstrom Ampèren	Schrauben Φ mm	Schrauben Φ Zolle	Anschluss-Fläche mm	Anschluss-Fläche pro Ampère in mm²
60	6	1/4	18 . 18	5,5
100	7	5/16	22 . 22	4,9
200	9	3/8	30 . 30	4,5
350	12	1/2	40 . 40	4,5
600	16	5/8	50 . 50	4,2
1000	20	3/4	65 . 65	4,2
1500	26	1	75 . 75	3,8

Für die Durchführungsbolzen können die nachfolgenden Durchmesser gewählt werden:

60	Amp.	=	10 mm	Messing	oder	8 mm	Kupfer.
100	„	=	13 „	„	„	10 „	„
200	„	=	16 „	„	„	12 „	„
350	„	=	22 „	„	„	16 „	„
600	„	=	—	—	„	25 „	„
1000	„	=	—	—	„	35 „	„

Die Ermittlung dieser Leiter-Durchmesser nach den Vorschriften des V. D. E. durch die Formel:

$$J^2 = T. (3{,}1 \cdot a^2 + 1{,}2 \cdot d^3)$$

worin T die Temperaturzunahme des Bolzens infolge des Stromdurchganges, d der Durchmesser des Bolzens, 3,1 und 1,2 die Koëffizienten für 1° Temperaturzunahme sind, würde zu geringe Werte ergeben; denn die Leiterbolzen sind immer verhältnismässig lang und weil im Isolator eingeschlossen, von sehr ungünstiger Abkühlung. Auch haben wir bei der elektrischen Festigkeitsrechnung gesehen, dass diese Leiter bezüglich ihrer Durchmesser nicht allein der Stromstärke angepasst werden können, wenigstens für die höheren Spannungen nicht. Von 1000 Ampère ab empfiehlt es sich, den Leiter nicht mehr aus einem einzigen runden Bolzen, sondern aus mehreren Leitern vorzusehen, einesteils aus elektrischen Gründen, indem dadurch die Foucauldströme reduziert werden, andernteils aber um ein bequemeres Anschliessen der Leitungen zu ermöglichen.

Die Kontakte im Innern eines Oelschalters lassen sich nach dem Stand der heutigen Konstruktionen in drei Gruppen unterscheiden:

1) Die Klotzkontakte *Fig. 16*, die typische Form der A. E. G.
2) Die Messerkontakte *Fig. 17*, die typische Form von Voigt & H.
3) Die Bürstenkontakte *Fig. 18*, die typische Form der A.-G. Sprecher & Schuh.

In fabrikationstechnischer Hinsicht werden wohl alle drei Konstruktionen ihre Vorteile aufweisen; in betriebstechnischer Hinsicht aber können die Meinungen über die Vorteile auseinander gehen.

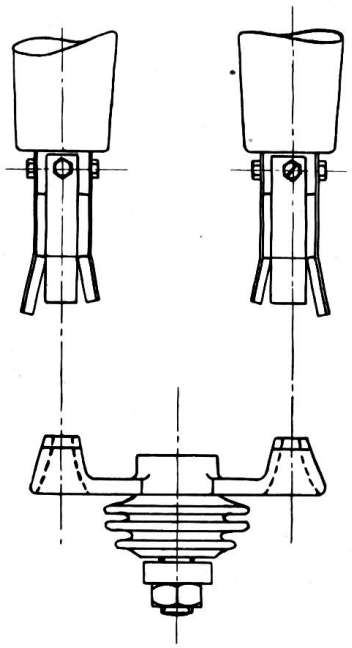


Fig. 16.

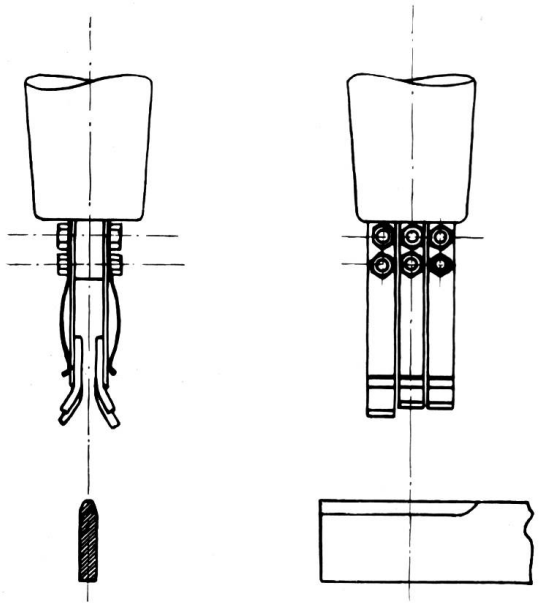


Fig. 17.

Die Klotzkontakte bilden infolge ihres kegelförmigen Aufbaues beim Verlassen des konischen beweglichen Kontaktstückes einen Hohlraum, in welchen das kühlende Oel nicht rasch genug eindringen kann. In diesem Hohlraum bilden sich durch den Ausschaltefunken explosible Gase, die auch die Ausschaltstrecke stark leitend machen und den Funken verhältnismässig lange hinziehen. Der steigende Gasdruck verhindert auch immer mehr ein Zuströmen des Oeles. Bei grosser Zahl solcher Kontakte kann auch der mechanische Druck gegen den Konus so stark sein, dass ein Steckenbleiben des Schalters in den Kontakten nicht ausgeschlossen ist, gerade dann, wenn er ausschalten sollte.

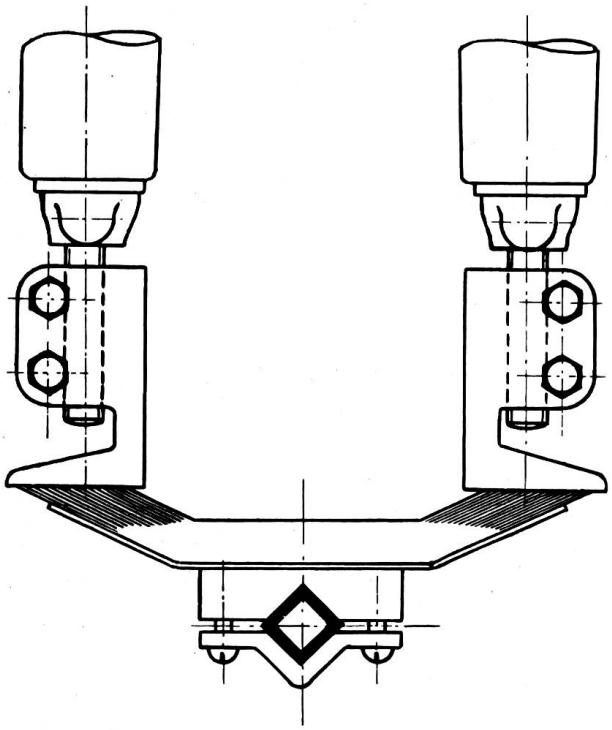


Fig. 18.

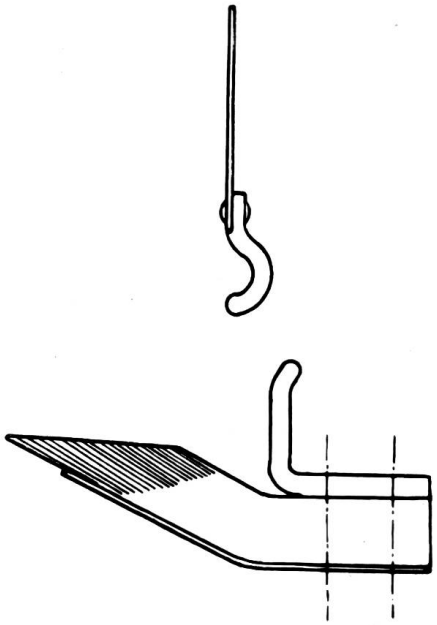


Fig. 19.

Die Messerkontakte: Sie bieten dem Oel eine verhältnismässig geringe Oberfläche in der Ausschalterichtung, die Oelverdrängung ist deshalb eine minimale, woraus ein geringer ölfreier Raum resultiert und das kühlende Oel den Funken in seiner Ausdehnung gleichsam hindern kann. Hat diese Konstruktion diesbezüglich einen Vorteil gegenüber der ersten, so ist die Gefahr des Steckenbleibens der Kontaktmesser dafür grösser; denn die Kontaktfedern arbeiten mit senkrechtem Druck auf die Messer und halten diese zurück. Allerdings werden geeignete Federn dazu da sein, die Kontakte heraus zu drücken, aber Zufälligkeiten des Betriebes (Brandperlen, Zusammenschmelzen der Kontakte etc.) können oft stärker sein, als die Wirkung dieser Federn.

Bürstenkontakte: Sie sichern durch ihre Lamellierung und Unterteilung einen guten und weichen Kontakt. Ihre eigene Federwirkung hat die Tendenz, die Bürsten von den Kontakten weg zu drücken, ein Hängenbleiben der ersteren ist also hier weniger möglich. Durch geeignete Anordnung der Funkenzieher, wie *Fig. 18* zeigt, hat das Oel sofort freien Zutritt, der Funke ensteht in einem grösstmöglichen Abstand von der Kesselwand, ein Ueberspringen an diese ist so gut wie ausgeschlossen. Die Funkenzieher selbst sind vorteilhaft an den Enden abzubiegen, damit der Lichtbogen von der Kontaktfläche weggezogen wird und aussen an den Hornspitzen abreisst *(Fig. 19)*.

5. Geringe Verluste durch Leiter, Kontaktflächen und Ausstrahlungen:

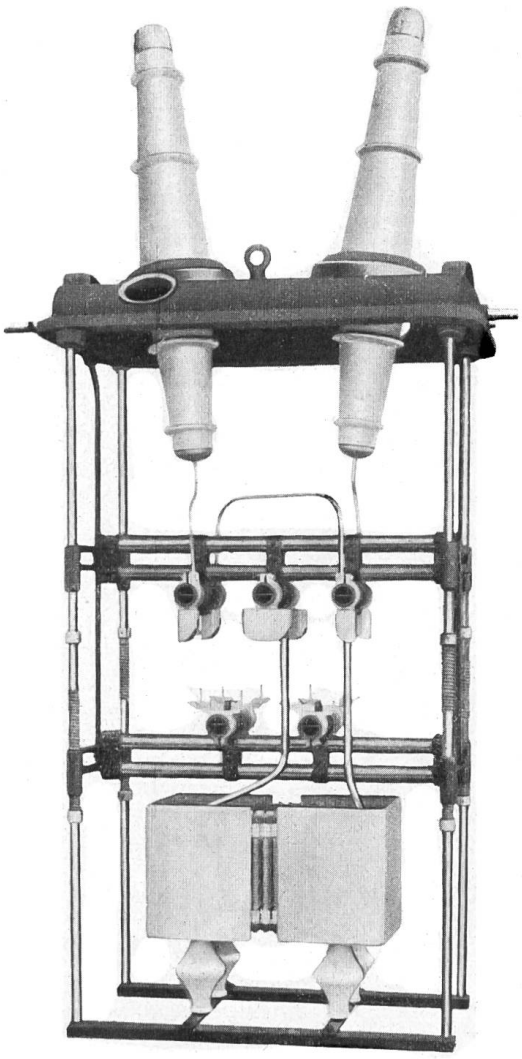


Fig. 20.

Die Energieverluste durch obige Faktoren werden unter normalen Verhältnissen bei den Oelschaltern von der Kundschaft nicht beanstandet, Hauptbedingung dabei ist nur, dass diese Verluste nicht zu abnormaler Erwärmung der Kontaktteile, des Oeles u. s. w. führen, und dass die elektrischen Ausstrahlungen der Leiter nicht die Sicherheit des Schalters bezüglich der Isolation heruntersetzen. Was die Erwärmung der Kontaktteile anbetrifft, so ist der erste und beste Schutz die reichliche Dimensionierung derselben, sowohl in Querschnitt wie Auflagefläche. Dass eine sorgfältige Fabrikation das ihrige dazu beitragen muss, ist selbstverständlich. Bei Stromstärken über 600 Amp. sollten Konstruktionsteile aus magnetischem Material (Eisen, Grauguss etc.) in der Nähe der Leiter vermieden werden, die den Wirbelströmen einen geschlossenen Eisenweg bieten.

Währenddem bis zu Spannungen von 35,000 V abgerundete Kanten und Ecken als genügender Schutz gegen stärkere Ausstrahlungen angesehen werden können, umschliesst man für höhere Spannungen vorteilhaft alle Leiterteile mit polierten kugelförmigen Metallkappen. *Fig. 20* zeigt das Innere eines Oelschalters für 80,000 V der A.-G. Sprecher & Schuh, wo alle spannungsführenden Teile mittelst Zinkblechkappen eingekapselt sind. Im untern Teil des Schalters ist der ebenfalls abgeschlossene Schutzwiderstand ersichtlich.

Schutzhalter werden diejenigen Oelschalter genannt, die mittelst Vorkontakten vor ihrem gänzlichen Einschalten einen induktionsfreien Widerstand in den Stromkreis erhalten Sie finden vorteilhaft überall da Verwendung, wo es sich da-

rum handelt, Hochspannungsstromkreise mit grossen Induktivitäten und Kapazitäten auf die Stromquelle zu schalten, also Transformatoren, lange Frei- und Kabelleitungen. Der Zweck dieser Widerstände ist die Absorbierung der beim Aufladen dieser Stromkreise entstehenden Ueberspannung.*) Diese werden meistenteils direkt in den Oelkessel eingebaut, wozu sich die sog. Asbest-Gitterwiderstände von Schniewindt in Neuenrade gut eignen.

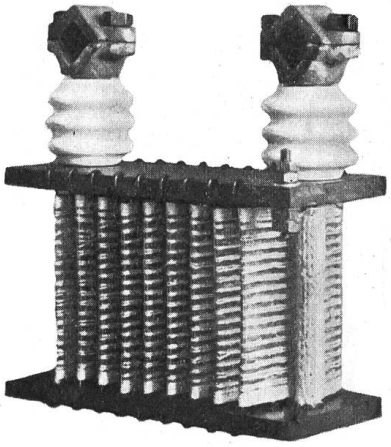


Fig. 21.

Mehrere Widerstandsgitter werden zu einem Paket *Fig. 21* zusammengefasst und mit dem Oelschalter zusammen montiert, wie solcher der A. G. Sprecher & Schuh in *Fig. 22* abgebildet ist. Das Einschalten des Widerstandes ist nur ein momentanes, dieser wird mit dem Berühren der Hauptkontakte entweder kurzgeschlossen oder vollständig ausgeschaltet. Wenn auch das Unterbrechen dieses Widerstandes nach *Fig. 23* vielfach als das Bessere angesehen wird, so bietet dieses praktisch doch keinen Vorteil, indem durch ein ganz schlechtes Anliegen der Hauptkontakte das Oel trotzdem übermässig erwärmt wird durch diese selbst, auch ohne das Zutun des Widerstandes.

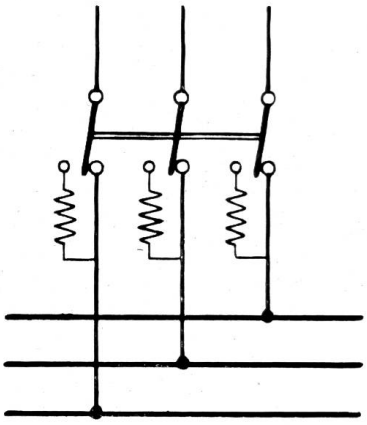


Fig. 23.

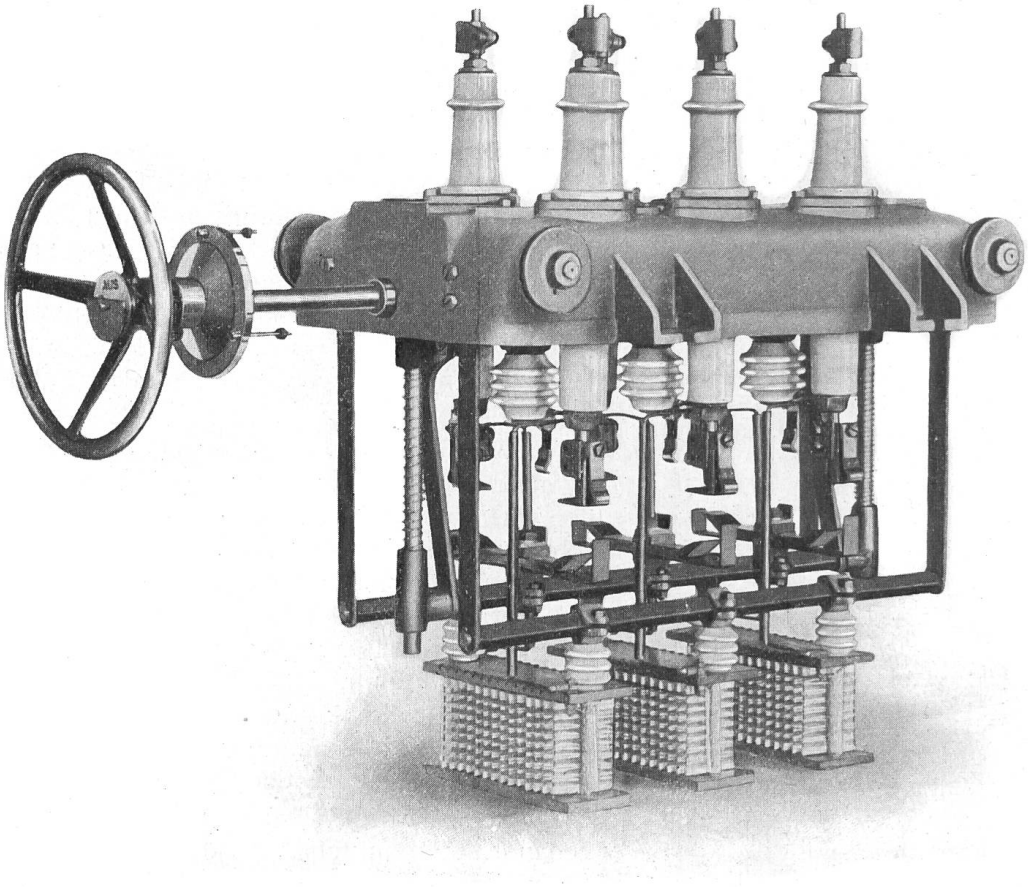


Fig. 22.

*) Siehe Abhandlung von Bruno Bauer, Dipl.-Ing., im Bulletin No. 1, Jahrgang 1914.

Ein passend dimensionierter Schutzwiderstand wird auch eine eventuell abzuschaltende Kurzschluss-Stromstärke in dem Momente beträchtlich heruntersetzen, in welchem der Oelschalter während des Ausschaltevorganges diesen Widerstand in den betreffenden Stromkreis schaltet. Es ist diese Reduktion der Kurzschluss-Stromstärke ein sehr wichtiger Vorteil solcher Schutzschalter, nicht nur für die Lebensdauer der Apparate selbst, sondern auch zur Verhütung von Schalter-Explosionen.

Vorschriften für Oelschalter.

Das überaus grosse Anwendungsgebiet der Oelschalter, die wichtigen Funktionen, die ihnen zugedacht werden und nicht zuletzt die mit diesen Apparaten gemachten unangenehmen Erfahrungen, rechtfertigen es wohl, dass für die Konstruktion dieser Apparate Normen aufgestellt werden.

So hat es denn der Verband deutscher Elektrotechniker unternommen, in seinen Vorschriften bezw. Richtlinien für die Konstruktion von Hochspannungsapparaten die Oelschalter in den Mittelqunkt dieser Vorschriften zu ziehen. Darin sind festgelegt: die Spannungsstufen, die Stromstufen, eine Einteilung in Serien, die Konstruktions-Abmessungen der Schalter innerhalb jeder Serie, die Prüfspannungen und die Kurschlussleistungen etc.

Die Spannungsstufen sind folgende: 1500, 3000, 6000, 12,000, 24,000, 35,000, 50,000, 80,000, 110,000 V. Bis zu 24,000 V steigern sich die Stufen um das Doppelte der vorhergehenden. Da wo diese Steigerung wenige tausend V ausmacht, z. B. bei 1500, 3000 und 6000 V ist die Abstufung eine richtige, dass aber von 6000 auf 12,000 und von da auf 24,000 V gesteigert wird, ist zum mindesten für unsere schweizerischen Verhältnisse den vorherrschenden Bedürfnissen nicht entsprechend. Eine Abstufung: 6000, 10,000, 16,000 und 24,000 V, also eine Stufe mehr, wäre für unsere Verhältnisse zweckdienlicher.

Es bestehen nämlich sehr viele Betriebe mit 8000 und 10,000 V Nennspannung, für welche Apparatentypen von 10,000 V genügten. Ferner treffen wir in Frankreich und Spanien vorwiegend Betriebe mit 11,000 und 12,000 V, und in Deutschland und der Schweiz ist wiederum 15,000 und 16,000 V eine sehr gebräuchliche Spannung. Für alle diese Spannungen könnten Apparatentypen von 16,000 V Nennspannung in Betracht kommen. Nach der bestehenden Einteilung ist jedoch der Käufer gezwungen, für 8000 und 10,000 V Apparate für 12,000 V vorzusehen und für 15,000 und 16,000 V sogar solche für 24,000 V.

Ein zu grosser Sprung scheint uns auch derjenige von 50,000 auf 80,000 V zu sein, denn wenn man bedenkt, dass die Differenz der Prüfspannung (160—100 kV.) = 60,000 V beträgt, so ist es einleuchtend, dass die Abmessungen dieser beiden Schaltertypen ungemein verschiedene sein müssen. Tatsächlich gibt es nun in Frankreich, Spanien und auch Deutschland mehrere Anlagen mit einer Betriebsspannung von 60 und 65 kV, wofür es recht schwer, wenn nicht gar unmöglich ist, eine Schaltertype von 80,000 V nicht nur zu verkaufen, sondern auch den Platz hierfür im Schalthaus zu bekommen. Eine Stufe von 65,000 V. wäre ohne Zweifel gerechtfertigt. Es ist ja gewiss eine lobenswerte Tendenz, nicht zu viele Typen zu schaffen; solange aber diese nicht von der Praxis unterstützt wird, ist sie nur ein Wunsch und sie wird es bleiben, bis die Unternehmungen anfangen werden, ihre Betriebsspannungen den bestehenden Normaltypen anzupassen; für diese sind aber gewöhnlich andere Gründe massgebend. Auf Grund dieser Erwägungen halten wir eine Abstufung wie die folgende für zweckmässiger: 1500, 3000, 6000, 10,000, 16,000, 24,000, 35,000, 50,000, 65,000 und 80,000 V.

Die Stromstufen nach den Richtlinien des V. D. E. sind: 200, 350, 600, 1000, 1500, 2000 etc. Dass diese Stufen erst bei 200 Amp. beginnen, ist wohl gerechtfertigt, sollten doch Kontaktteile eines Oelschalters schon aus rein mechanischen Gründen so robust sein, dass diese eine minimale Stromstärke von 200 Amp. anstandslos führen können. Der Sprung von 600 auf 1000 Amp. ist etwas gross; 200, 350, 500, 700 und 1000 Amp. schiene uns aus rein praktischen Gründen vorteilhafter.

Die Serien der Oelschalter sind so zusammengestellt, dass jeder Serie zwei Nennspannungen und zwei Kurzschluss-Stromstärken zu Grunde gelegt, wobei die Konstruktions-

abstände dieselben sind. Wird ein Schalter für die kleinere der beiden Spannungen gewählt, so kann er für die grössere Kurzschluss-Stromstärke benutzt werden und umgekehrt. Der Grundgedanke für die Wahl eines Oelschalters soll davon geleitet werden, den Schalter keinem grösseren Kurzschlusstrom auszusetzen, als für welchen er tatsächlich gebaut ist und den er unter normalen Verhältnissen noch anstandslos abschalten kann, ohne den Betrieb zu gefährden.

Es sind dies insbesondere die Oelschalter einer Zentrale, die an exponierter Stelle, d. h. direkt an der Stromquelle liegen und die einen hinter ihnen liegenden Kurzschluss auszuhalten haben, der von der ganzen Leistung der Zentrale gespeist werden kann, insofern alle Generatoren mit diesem in Verbindung stehen. Die Einteilung und Abstände dieser Serienschalter sind in nachfolgender Tabelle enthalten:

Serie	Nennspannung V	Kurzschluss-Strom Amp.	Kurzschluss-Leistung (Drehstrom) kVA	Prüf-Spannung V	Abstände in Millimetern		
					Ausser Oel Pol zu Pol Pol zu Erde	In Oel Pol zu Erde Pol zu Pol Pol zu Oelspiegel Zwischen Kontakten gleicher Pole in ausgeschalt. Zustande	Oelspiegel bis Unterbrechungsstelle
I	1500 3000	3000 2000	7700 10 300	10 000	75	40	90
II	3000 6000	6000 2000	31 100 20 700	20 000	100	50	100
III	6000 12 000	6000 1500	62 200 31 100	30 000	125	60	120
IV	12 000 24 000	4500 1000	93 400 41 500	50 000	180	90	180
V	24 000 35 000	2000 1000	83 000 60 500	70 000	240	120	240
VI	50 000	—	—	100 000	—	—	—
VII	80 000	—	—	160 000	—	—	—
VIII	110 000	—	—	220 000	—	—	—

Bei Anlagen für 15 000 V kann die Serie III verwendet werden, wenn der Kurzschlusstrom nicht mehr wie 500 Amp. beträgt.

Betrachtet man vorstehende Tabelle, insbesondere die Reihe für die abzuschaltenden Kurzschluss-Leistungen, die zwar in den Vorschriften nicht erwähnt, jedoch das Resultat aus der vorgeschriebenen Kurzschlusstromstärke und ihrer zugehörigen Nennspannung sind, so fällt es auf, wie sehr verschieden diese Leistungen sind, nicht nur innerhalb der gleichen Serie, sondern auch bei den Serien unter sich. Weil doch die Abstände in einer Serie die gleichen sind, wäre es logisch, dass die Kurzschluss-Leistung bei den zwei verschiedenen Spannungen dieselbe sei, denn es ist diese selbst, d. h. Spannung und Strom als Gemeinsames, welche die spezifische Beanspruchung des Schalters bestimmt.

Betrachten wir *Serie I:*

Für 1500 V ist die Kurzschluss-Leistung 7700 kVA,
für 3000 V aber 10 300 kVA Die Differenz ist hier gering.

Serie II: 3000 V = 31 100 kVA
6000 V = 20 700 „

Warum sollen für 6000 V fast 9000 kVA weniger abgeschaltet werden können, wie für 3000 V?

Serie III: 6000 V = 62 200 kVA
12 000 V = 31 100 „

Bei dieser Serie kann ein und derselbe Schalter 62 200 kVA abschalten, wenn dieser für 6000 V, aber das Doppelte weniger, sobald er für 12 000 V verwendet wird. Es ist hier diese kolossale Differenz umso auffallender, als ja schon der Schalter Serie II 3000 V mit geringeren Abmessungen 31 100 kVA abschalten sollte.

Serie IV: 12 000 V = 93 400 kVA
24 000 V = 41 500 „

Hier sehen wir das grösste Missverhältnis. Für die erste Spannung 12 000 V ist mehr als das Doppelte der zweiten Spannung 24 000 V vorgesehen. Auch Serie III 6000 V übertrifft an Leistung (62 200) schon Serie IV 24 000 V um rund 20 000 kVA.

Serie V: 24 000 V = 83 000 kVA
35 000 V = 60 500 „

Die Differenz ist hier wieder 22 500 kVA. Die kleiner gebaute Serie III sollte schon 62 200 kVA und die Serin IV sogar 93 400 kVA abschalten. Man sucht in den Richtlinien vergeblich die Gründe dieser Unstimmigkeiten zu entdecken, und weil sie auch ganz und gar den Erfahrungen, wie der Theorie widersprechen, so erwecken sie sofort Misstrauen gegen die angegebenen Kurzschluss-Stromstärken, und es drängen sich dem Beobachter Zweifel auf, ob überhaupt die gegebenen Daten auf Erfahrungen beruhen.

Die Wahl der einen oder andern Schaltertype hängt also ab von der Nennspannung und dem für den Ort ihrer Verwendung berechneten Kurzschluss-Stromstärke. Die Richtlinien des V. D. E. geben praktische Beispiele für die Auswahl der betr. Schalter.

Allgemeines: Es wäre sehr zu begrüssen, wenn auch für die Schweiz ähnliche Richtlinien für die Konstruktion von Oelschaltern aufgestellt würden, es läge dies im Interesse der Fabrikanten wie der Käufer. Wenn auch dann noch den Konstrukteuren viel Bewegungsfreiheit für ihre Ideen übrig bleibt, so steht doch zu hoffen, dass diese Apparate nicht nur einheitlichen Konstruktionen zustreben, sondern dass auch die Verkaufspreise eine Form annehmen, welche das Zutrauen des Käufers auf einwandfreie Ware zu wecken imstande sind, was unter den heutigen Konkurrenzverhältnissen nicht immer zum Voraus gesagt werden konnte.

Zusammenfassung: Es wird im Vorliegenden die Entwicklung der Hochspannungs-Oelschalter beschrieben, die heutigen Anforderungen derselben beleuchtet und Konstruktions-Details betriebssicherer Schalter gegeben. Ferner werden zum Schlusse die Richtlinien des V. D. E. besprochen und Anregungen gemacht für solche Richtlinien mit Gültigkeit für die Schweiz.