

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 30 (1939)
Heft: 21

Artikel: IV. Teil : Referate von Firmenvertretern : die Schnellausschaltung und die automatische Wiedereinschaltung von Leistungsschaltern als Mittel zur Wahrung der Betriebskontinuität
Autor: Naef, O.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060886>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.04.2025

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

REDAKTION:

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

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telephon 5 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

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

XXX. Jahrgang

N^o 21

Mittwoch, 11. Oktober 1939

Schalterfragen.

Bericht über die Diskussionsversammlung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) vom 26. November 1938, Kursaal Schänzli in Bern.

Fortsetzung des Berichtes von Nr. 20, S. 662.

IV. Teil.

Referate von Firmenvertretern.

Die Schnellausschaltung und die automatische Wiedereinschaltung von Leistungsschaltern als Mittel zur Wahrung der Betriebskontinuität.

Von O. Naef, Zürich-Oerlikon.

621.316.5.064.22 : 621.316.9

Die Frage des Aufrechterhaltens der Betriebskontinuität durch Abschalten von Kurzschlüssen und unmittelbar folgenden Wiedereinschaltens wird eingehend besprochen. Anhand einiger Beispiele mit Schaltern verschiedener Bauart werden die praktischen Möglichkeiten gezeigt. Je nach Schaltertyp und Antrieb können Aus-Ein-Zeiten von 0,5 bis 0,25 s und weniger erreicht werden. Verschiedene geklärte und noch ungeklärte Netzschutzfragen, die in diesen Zusammenhang gehören, werden gestreift.

L'auteur approfondit la question du maintien de la continuité d'exploitation par le déclenchement des courts-circuits suivi d'un réenclenchement immédiat. A titre d'exemple il étudie différents types d'interrupteurs pour montrer les possibilités pratiques du système. Suivant le type et la commande de l'interrupteur, on peut abaisser à 0,5 à 0,25 s et moins encore l'intervalle de temps entre le déclenchement et le réenclenchement. Finalement, l'auteur touche à différentes questions connexes de la protection des réseaux, déjà éclaircies ou attendant encore une solution.

I. Allgemeine Gesichtspunkte.

Sowohl Energieerzeuger, als auch Energieabnehmer sind sich darüber einig, dass die Kontinuität der Energieversorgung eines der erstrebenswertesten Ziele jeder Betriebsleitung sein muss. Betriebsunterbrüche verursachen Ausfälle an elektrischer und industrieller Produktion, die oft nicht wieder einzubringen sind, und können unliebsame und kostspielige Störungen im Produktionsapparat der Abnehmer zur Folge haben. Die Folgen sind um so schwerer, je grösser das betroffene Gebiet und je länger die Dauer des Betriebsunterbruches ist. Das Ziel aller in einem Verteilsystem vorhandener Schutzeinrichtungen besteht deshalb darin, entweder Unterbrüche in der Energielieferung ganz zu vermeiden oder in ihrer Dauer zu reduzieren oder, wenn dies nicht restlos gelingt, die betroffenen Teile von den gesunden zu trennen. Die Betriebskontinuität wird stets dann noch gewahrt, wenn der Unterbruch oder die Störung so kurzzeitig ist, dass der Betrieb darunter nicht leidet.

Unter den Störungen in elektrischen Anlagen gibt es solche, welche durch einen Zusammenbruch der Isolation (Durchschlag oder Ueberschlag) und andere, welche durch einen Verlust der Stabilität

charakterisiert sind. Die letzteren können als Folgeerscheinung der ersteren auftreten oder auch durch rasche Aenderungen der Nutzlast verursacht sein; ein wirksames Mittel zu ihrer Verhütung ist die Ultrarapid-Regelung der Stromerzeuger.

Die Ursachen, die zum Isolationszusammenbruch führen, sind verschiedener Art. Entweder handelt es sich um Ueberspannungen, namentlich atmosphärischen Ursprungs, oder um Materialfehler, Einwirkung von Eis und Wind, Berührung mit Fremdkörpern (Vögel) und anderes mehr. Ein wirksames Mittel zur Verhütung von Isolationszusammenbrüchen der erstgenannten Art sind bekanntlich die modernen Ueberspannungsableiter mit Löschwirkung. Ihre Anwendung beschränkt sich aber in der Hauptsache auf Stationen, und der Schutz ganzer Leitungen, der allerdings in Amerika schon versucht wurde*), dürfte sich heute noch als zu unvollkommen und teuer erweisen. Jedenfalls muss man sich damit abfinden, dass nach wie vor Isolationszusammenbrüche in Anlagen in der Form von Erdschlüssen oder Kurzschlüssen vorkommen. Es ist die Aufgabe der Schutzeinrichtungen, sie möglichst ohne Störung der Betriebskontinuität unschädlich zu machen.

*) Siehe Literaturverzeichnis am Schluss, Nr. 8.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass die Isolationszusammenbrüche in Freileitungen in überwiegender Masse solcher Art sind, dass nach Wegnahme der Spannung, bzw. nach Unterbrechung des Fehlerstromes, die Ueberschlagsstrecke ihre normale Isolationsfestigkeit wieder erlangt. Der Anteil dieser vorübergehenden Störungen an den Gesamtstörungen wird von verschiedenen Autoren ziemlich übereinstimmend mit 75÷90% angegeben. Man kam daher schon früh zu der Erkenntnis, dass es möglich sein sollte, einen beträchtlichen Teil aller Fehler ohne Betriebsstörung, besser gesagt: ohne Störung der Betriebsbereitschaft, zu beheben.

Zur Erreichung dieses Zieles hat man in Europa und in Amerika zunächst verschiedene Wege eingeschlagen. Die Erfindung der Erdschlußspule, welche den Fehlerstrom durch Kompensation zum Verlöschen bringt, hat in den damit ausgerüsteten europäischen Netzen die Zahl der Betriebsunterbrechungen um einen bedeutenden Prozentsatz vermindert. Allerdings besteht der Nachteil, dass die Schutzwirkung nur bei den zwar am häufigsten vorkommenden einpoligen Erdschlüssen vorhanden ist, und dass die Isolation der gesunden Phasen mit der vollen verketteten Spannung beansprucht wird. Fehler, die durch die Erdschlußspule nicht zu beheben sind, müssen durch Abschaltung des betreffenden Netztesiles lokalisiert werden.

Von der automatischen Wiedereinschaltung wurde bis jetzt in Europa nur vereinzelt Gebrauch gemacht. Wo dies der Fall war, zählte das spannungslose Zeitintervall nach Sekunden und Minuten, so dass von einer Wahrung der Betriebskontinuität im betroffenen Netzteil nicht die Rede sein konnte. Eine Ausnahme macht die von den Schweiz. Bundesbahnen verwendete Prüfmethode für die 15-kV-Speisepunkte, welche in diesem Zusammenhang erwähnenswert ist. Sie besteht darin, dass nach der Auslösung des Speisepunktschalters über einen besonderen Prüfschalter und Prüf Widerstand Strom auf den abgetrennten Fahrleitungsabschnitt gegeben und dessen Reaktanz mittels eines Prüfreaktanzrelais gemessen wird. Ergibt die Messung einen genügend hohen Reaktanzwert, so wird der Hauptschalter nach wenigen Sekunden automatisch wieder eingelegt. Da die Belastung zur Hauptsache aus fahrenden Zügen besteht, die nur langsam an Geschwindigkeit einbüßen, hat man es hier in der Tat mit einem Falle zu tun, wo bei vorübergehenden Kurzschlüssen die Betriebskontinuität gewahrt bleibt.

Im Gegensatz zu Europa hat man in Amerika ¹⁾ von Anfang an Störungen der Betriebskontinuität durch rasches Abschalten und nachfolgendes automatisches Wiedereinschalten zu vermeiden gesucht. Um auch einpolige Erdschlüsse erfassen zu können, hat man den Netznullpunkt in der Regel ertdet. Die Schalter wichtiger Uebertragungsleitungen wurden schon frühzeitig mit den nötigen Einrichtungen ausgerüstet. Im Laufe der Jahre wurde das Intervall zwischen Aus- und Wiedereinschaltung auf den Bruchteil einer Sekunde verkürzt. Die Störungsdauer wird dadurch so kurz, dass trotz

¹⁾ Lit. Nrn. 9, 10, 11.

des Unterbruches in der Energielieferung die Kontinuität des Betriebes in allen den Fällen gewahrt bleibt, wo der Zusammenbruch der Isolation nur vorübergehend ist.

Schlug so die Entwicklung in Europa und Amerika anfänglich verschiedene Wege ein, so gelangt man heute in beiden Erdteilen immer mehr zu der Erkenntnis, dass jedes der beiden Schutzsysteme seine Vorteile hat, ja, dass der gleichzeitigen Verwendung beider Systeme nichts im Wege steht.

2. Zeitbegriffe.

Indem wir uns nun im besondern dem System der Schnellausschaltung und unverzögerten automatischen Wiedereinschaltung zuwenden, sollen zum besseren Verständnis des folgenden vorerst einige Zeitbegriffe definiert werden.

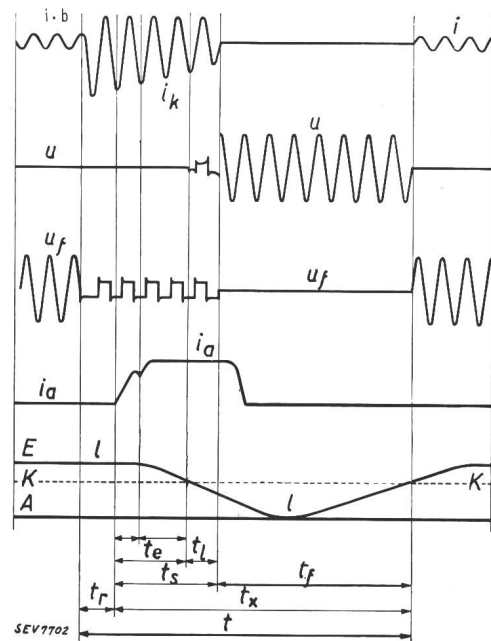


Fig. 1.

Zeitbegriffe bei Schaltern für automatische, unverzögerte Wiedereinschaltung.

- t_r Relaiszeit.
- t_e Eigenzeit des Schalters.
- t_l Lichtbogendauer.
- t_s Abschaltzeit.
- t_f Spannungslose Zeit am Fehlerort.
- t_x Aus-Ein-Zeit.
- t Störzeit.

i Belastungsstrom. i_k Kurzschlußstrom. u Spannung zwischen den Schaltkontakten. u_f Spannung am Fehlerort. i_a Auslöseimpuls. l Weg der Schalterkontakte; E Ein-Stellung; A Aus-Stellung; K Kontaktberührung.

Bei Störungsbeginn (Fig. 1) geht der Belastungsstrom i_b in den Kurzschlußstrom i_k und die Spannung am Fehlerort u_f in die Kurzschlußspannung über. Nach Ablauf der Relaiszeit t_r erfolgt der Auslöseimpuls i_a ; von dort bis zur Trennung der Kontakte rechnet sich die Eigenzeit des Schalters t_e . Es folgen die Lichtbogendauer t_l im Schalter, das strom- und spannungslose Zeitintervall t_f am Fehlerort und schliesslich die Kontaktberührung im Schalter, d. h. der Wiedereinschaltmoment. Eigenzeit plus Lichtbogendauer ergeben die Abschaltzeit t_s , eine für den Schalter charakteristische Grösse. Sie ist nicht zu verwechseln mit der mechanischen Oeffnungszeit, welche vom Beginn des Auslöseimpulses bis zur Erreichung der vollen Aus-

schaltlage des Schalters zählt. Die Einschaltzeit ist die Zeit, welche vom Moment des Einsetzens des Einschalt-Steuerimpulses bis zur Kontaktberührung im Schalter verstreicht.

Charakteristisch für Schalter mit automatischer Wiedereinschaltung ist ferner die Zeit vom Beginn des Auslöseimpulses bis zur Berührung der Kontakte bei der Wiedereinschaltung. Dieses Zeitintervall wird in Amerika, nach unserer Ansicht nicht sehr zutreffend, reclosing time²⁾, d. h. Wiedereinschaltzeit genannt. Sofern keine geeignetere Bezeichnung gefunden wird, möchten wir hierfür den Namen Aus-Ein-Zeit t_x vorschlagen. Wenn die Wiedereinschaltung der Ausschaltung so rasch folgt, als dies vom Standpunkt des Schalters aus möglich und zulässig ist, kann man wohl auch von einer Mindest-Aus-Ein-Zeit sprechen. Diese ist oft, aber nicht immer, gleich der Summe der mechanischen Oeffnungszeit und der Einschaltzeit.

Die Aus-Ein-Zeit, vermehrt um die Relaiszeit, ergibt die totale Dauer der Störung, erfolgreiche Wiedereinschaltung vorausgesetzt. Auch für dieses Zeitintervall scheint uns die Einführung einer Benennung zweckmässig zu sein. In Ermangelung einer besseren möchten wir hierfür den Namen Störzeit t gebrauchen.

Während des ersten Teiles der Störzeit, nämlich bis zur Lichtbogenlöschung, sind die beiden voneinander trennenden Netzteile noch miteinander verbunden und je nach dem Grade der Spannungsabsenkung am Fehlerort können noch gewisse synchronisierende Momente übertragen werden. Die zweite Hälfte der Störzeit, vom Moment der Löschung des Lichtbogens bis zur Wiederberührung der Kontakte, ist gleichbedeutend mit dem spannungslosen Zeitintervall t_f am Fehlerort (bei Hochspannungsschaltern um die Dauer des eventuellen Einschaltfunken verkürzt). Es ist wichtig, dass das spannungslose Zeitintervall für die Entionisierung der Ueberschlagsstrecke am Fehlerort ausreiche, andernfalls der Ueberschlag beim Wiedererscheinen der Spannung von neuem einsetzen würde.

Welche Werte darf nun die Störzeit im Maximum annehmen, damit Betriebsstörungen in den beiden, durch den Schalter voneinander getrennten Netzteilen mit Sicherheit unterbleiben? Die Antwort auf diese Frage hängt von der Natur der Energiebezüger, ihrer Schutzeinrichtungen und ihrer jeweiligen Belastung, sowie von den Verhältnissen auf der Erzeugerseite und den Stabilitätseigenschaften des Verteilnetzes ab. Die Antwort ist nicht leicht zu finden und lautet wahrscheinlich für jeden Fall anders. Nach amerikanischer Auffassung soll die Störzeit $0,25 \div 0,5$ Sekunden nicht übersteigen. Die Relaiszeit ist hierin mit einem erstrebenswerten Minimum von ca. 0,02 Sekunden eingeschlossen. Bei Versuchen, welche in anerkennenswerter Weise durch das EW Basel ermöglicht, von uns im Kraftwerk Augst kürzlich vorgenommen wurden, wurde festgestellt, dass die vollständige Unterbrechung der Energielieferung wäh-

rend ca. 0,1 Sekunden ohne jegliche Folgen für die Energiebezüger im angeschlossenen Verteilnetz blieb. Längere Unterbrechungen lagen nicht im Programm der damaligen Versuche. Es wäre von ausserordentlich grossem Interesse, wenn die schweizerischen Elektrizitätswerke eigene Beiträge zur Beantwortung dieser Frage liefern würden.

Es erhebt sich ferner die weitere Frage, wieviel Zeit zur Entionisierung der Ueberschlagsstrecke nötig ist. Amerikanische Autoren halten $0,08 \div 0,2$ s³⁾ für ausreichend; französische Veröffentlichungen erwähnen Zeiten von $0,03 \div 0,2$ s⁴⁾. In beiden Fällen wird auf die Möglichkeit mehrfacher, sich in kurzen Abständen folgender Blitzschläge aufmerksam gemacht, welche eine Gesamtblitzdauer bis zu 1 s ergeben können. Diese Ausnahmefälle zu berücksichtigen würde aber zu so langen Störzeiten führen, dass die Kontinuität des Betriebes ernstlich in Frage gestellt würde. Während unter günstigen Verhältnissen Störzeiten bis ca. 1 s wahrscheinlich zulässig sind, wird man sich, wenigstens so lange nicht eigene genauere Messungen vorliegen, wohl mit Vorteil an die amerikanischen Vorschläge halten. Um innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit die spannungslose Zeit und damit die Gelegenheit zur Entionisierung möglichst lang zu machen, wird man auf kurze Relaiszeiten und Ausschaltzeiten Gewicht legen. Man erreicht damit gleichzeitig den Vorteil, die Gefahr der Bildung örtlicher Zerstörungen am Ueberschlagsort und die Rückwirkung auf die am Netz verbleibenden Energieerzeuger und Energiebezüger zu vermindern.

3. Anwendung auf den Netzschutz.

Der Schutz einer Stichleitung mittels eines Schalters, der für unverzügerte automatische Wiedereinschaltung eingerichtet ist, bietet an und für sich keine Schwierigkeiten. Das Problem wird komplizierter, wenn es sich um eine Uebertragungsleitung mit doppelter Speisung handelt. In diesem Falle müssen die Schalter an den beiden Leitungsenden mit den nötigen Einrichtungen ausgerüstet werden. Das Funktionieren beider Schalter muss zeitlich genau übereinstimmen, damit das nötige spannungslose Zeitintervall am Fehlerort entsteht. Gleiche Eigenzeiten der Schalter vorausgesetzt, müssen also auch die Relaiszeiten genau übereinstimmen. Hängt der Leitungsabschnitt mit anderen Leitungsabschnitten zusammen, so muss eine zuverlässige selektive Auswahl in ausserordentlich kurzer Zeit getroffen werden. Denn es ist einzusehen, dass, wenn alle Schalter eines Netzes mit automatischer Wiedereinschaltvorrichtung ausgerüstet wären und auf eine selektive Auswahl verzichtet würde, in $75 \div 90$ % aller Störungen die Betriebskontinuität zwar erhalten bliebe, dass aber in den übrigen $10 \div 25$ % der Störungen, welche ihre Entstehung einem bleibenden Isolationsdefekt verdanken, alle Schalter nach einem oder mehreren erfolglosen Wiedereinschaltversuchen ausgeschaltet bleiben würden, ohne dass Gewissheit

²⁾ Lit. Nr. 1, 2.

³⁾ Lit. Nr. 1, 2, 9.

⁴⁾ Lit. Nr. 3.

darüber bestände, wo der Fehler liegt. Ein Selektivschutz ist also notwendig. Gestaffelte Auslösezeiten sowie der Distanzschutz mit ansteigender Charakteristik erweisen sich als ungeeignet; desgleichen versagt der Distanzschutz mit Grundzeit bei Störungen in nicht mit Grundzeit geschützten Netzteilen. Am besten scheint ein Selektivsystem geeignet zu sein, das auf dem direkten Strom- oder Leistungsvergleich zwischen Leitungsanfang und Leitungsende basiert. Da hierzu teure Hilfsleitungen oder Carrier-Uebertragungen erforderlich sind, ist die Einführung dieses Systems mit beträchtlichen Kosten verbunden. Auch dürfte in den meisten Fällen ein Selektivschutz bereits vorhanden sein, auf den man nicht ohne Not verzichten will.

Eine Möglichkeit zur Ueberwindung dieser Schwierigkeiten scheint uns darin zu bestehen, dass die mit automatischer Wiedereinschaltvorrichtung ausgerüsteten Schalter mit Steuerorganen versehen werden, welche bei Ueberstrom eine erste unverzögerte Ausschaltung und Wiedereinschaltung, und bei Bedarf weitere verzögerte Ausschaltungen und evtl. Wiedereinschaltungen bewirken. War der die Störung verursachende Isolationsdefekt vorübergehender Natur, so bleiben alle Schalter nach der ersten unverzögerten Aus-Ein-Schaltung eingeschaltet, und die Kontinuität des Betriebes wurde in keinem Teil des Netzes gestört. Gehört der Fehler jedoch zu dem kleineren Prozentsatz der bleibenden Isolationsfehler, so folgt der ersten erfolglosen Aus-Ein-Schaltung die Abtrennung des kranken Netzteiles durch selektive Auswahl des zuständigen Schalters, während der übrige Netzteil keinen Betriebsunterbruch erleidet. Es kann genügen, nur diejenigen Schalter mit Einrichtungen für automatische Wiedereinschaltung zu versehen, welche das Netz mit Energiequellen verbinden. Grössere Energiebezüge, die bei Spannungsunterbruch generatorisch wirken können, wären in diesem Zusammenhang ebenfalls als Energiequellen zu betrachten. Im übrigen könnte das bestehende Selektivschutzsystem beibehalten werden, und die allenfalls ebenfalls vorhandenen automatischen Prüfeinrichtungen würden ihren Zweck weiter versehen. Für die Auslösung der mit automatischer Wiedereinschaltvorrichtung versehenen Schalter können zwei Relaissätze verwendet werden, von denen der erste die Momentauslösung und der zweite die selektive Auslösung bewirkt. Es ist aber auch möglich, für beide Wirkungen ein einziges Relais zu verwenden, sofern dieses mit einer Ansprechtstellung für Momentauslösung versehen ist. In vielen Fällen dürfte sich ein einfaches, rasch wirkendes Stromrelais für die Momentfunktion sehr gut eignen, obschon natürlich auch die Impedanz oder Reaktanz als Messgrösse ver-

wendbar sind. Die Wirkbereiche dieser Momentauslösungen müssen sich dabei zum mindesten bis zum nächsten mit automatischer Wiedereinschaltung versehenen Schalter, d. h. über eine oder mehrere volle Teilstrecken erstrecken.

Die automatische Wiedereinschaltung kann auch davon abhängig gemacht werden, ob auf dem einzuschaltenden Netzteil Gegenspannung vorhanden und ob diese synchron ist oder nicht. Erfolgt die Speisung eines Netzes über zwei oder mehrere Schalter, so ergibt sich dadurch die Möglichkeit, den zeitlichen Befehl zur Wiedereinschaltung nur einem Schalter zu geben und die übrigen Schalter erst zuschalten zu lassen, nachdem die Spannung im Netz wieder einen gewissen Wert erreicht hat. Dieser eine Schalter kann gewissermassen die Rolle eines Prüfschalters übernehmen.

Ein französischer Vorschlag⁵⁾ geht dahin, den Zeitpunkt der Wiedereinschaltung der beiden Schalter einer Uebertragungsleitung von der Grösse der Winkelabweichung der beidseitigen Sammelschienenvektoren abhängig zu machen und deren Stellung mittels Carrier an das Messorgan zu übertragen. Auf diese Weise soll bei jeder Störung für die Entionisierung der Ueberschlagsstrecke so viel Zeit zur Verfügung gestellt werden, als es die jeweiligen Stabilitätsverhältnisse gestatten.

Die unverzögerte automatische Wiedereinschaltung in vermaschten Netzen wurde unseres Wissens bisher praktisch nicht ausprobiert. Das Problem erfordert sicherlich noch eingehende Prüfung all seiner Aspekte. Es wäre begrüssenswert, wenn seitens der Werke praktische Versuche in der einen oder andern Richtung an die Hand genommen würden.

4. Betriebliches Verhalten der Schalter.

Schalter für unverzögerte automatische Wiedereinschaltung stellen naturgemäss für das Betriebs-

Schalthandlung	Automatische Schalterauslösung mit nachfolgender automatischer Wiedereinschaltung		Willkürliche Ausschaltung		Willkürliche Einschaltung	
	bei vorübergehendem Kurzschluss	bei Dauer-kurzschluss	Mittels Stuerschalter	Mittels Druckknopf am Schalter	Auf kurzschlussfreie Leitung	Auf kurzschluss-behaftete Leitung
Schaltzustand						
Ausgangsstellung des Schalters						
Nach Störungseintritt bzw. nach willkürlicher Aus oder Einschaltung						
Nach der ersten automatischen Abschaltung						
Nach der ersten unverzögerten Wiedereinschaltung						
Nach der zweiten automatischen Abschaltung			Betriebliches Verhalten von Leistungsschaltern, die mit Einrichtungen für automatische Wiedereinschaltung ausgerüstet sind. Bemerkungen: g = Generator; s = Schalter; l = Leitung; / vorübergehender Kurzschluss; ⊥ Dauerkurzschluss			
Nach der zweiten verzögerten Wiedereinschaltung						
Nach der dritten & letzten automatischen Abschaltung						

Fig. 2.

personal etwas Neues dar. Wir haben uns deshalb gefragt, was für Anforderungen das Betriebsperso-

⁵⁾ Lit. Nr. 3.

nal an solche Schalter stellen würde. Die Antwort haben wir uns selbst gegeben. Sie lautet:

Schalter für automatische Wiedereinschaltung sollen sich in betrieblicher Hinsicht wie gewöhnliche Schalter verhalten. Die Handsteuerung soll in gewöhnlicher Weise mittels des normalen Steuerungsschalters erfolgen, ohne dass man vorher oder nachher die Automatik in oder ausser Betrieb nehmen müsste. Die automatische Wiedereinschaltung soll selbsttätig erfolgen, wenn der Schalter einige Zeit im Betrieb war und automatisch auslöst. Sie soll nicht erfolgen bei Handauslösung oder bei Handeinschaltung auf bestehenden Kurzschluss. In Fig. 2 ist das anzustrebende Verhalten des Schalters und der Automatik bei verschiedenen Betriebszuständen zusammengestellt. Als Beispiel dient eine Einrichtung für zwei automatische Wiedereinschaltungen.

5. Prinzipielle Eignung verschiedener Schalter- und Antriebs-Formen.

Schalter für unverzögerte automatische Wiedereinschaltung stellen naturgemäss auch an die Konstruktion gewisse Forderungen. Welche Schalter und Antriebe eignen sich am besten dazu? Die Frage lässt sich dahin beantworten, dass grundsätzlich alle bekannten Schalterarten, wie Oelschalter, ölarme Schalter, Wasserschalter und Druckluftschalter verwendbar sind, sofern sie die erforderliche kurze Abschaltzeit besitzen. Von den normalen Schaltertypen der Maschinenfabrik Oerlikon kommen hierfür in Betracht: Wasserschalter und Einkesselölschalter mit offener Unterbrechung bis 24 kV, Einkesselölschalter mit Löschkammern bis 64 kV, ölarme Schalter bis 220 kV, Druckluftschalter für alle Spannungen. Die Abschaltzeiten der Wasser-, Oel- und ölarmen Schalter liegen zwischen 0,07 und 0,1 s, diejenigen der Druckluftschalter zwischen 0,05 und 0,08 s.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass Schalter mit erzwungener Löschmittelströmung, d. h. Druckluftschalter und Druckölschalter, kurze und ziemlich konstante Lichtbogenlängen über den ganzen Strombereich aufweisen. Schalter mit durch den Lichtbogen erzeugter Löschmittelströmung wie Wasserschalter und gewöhnliche Löschkammer-schalter besitzen im Bereich sehr kleiner Ströme (unterhalb Nennstrom) grössere Lichtbogenlängen. Diese Eigenschaft ist jedoch ohne Einfluss auf die Abschaltzeit bei Störungen, wo stets mit grösseren Strömen zu rechnen ist. Sie beeinflusst dagegen den Einschaltvorgang, weil die notwendigerweise grössere Kontaktöffnungsdistanz bei gleicher Einschaltzeit einen kräftigeren Einschaltmechanismus verlangt. Es wurden deshalb schon Antriebe ausgeführt, welche zwecks Erzielung einer kurzen Wiedereinschaltzeit die Kontaktvorrichtung nach einer automatischen Auslösung vor Erreichung der Endlage abfangen und umsteuern ⁶⁾.

Als Antriebsmittel sowohl zum Ein- als auch zum Ausschalten erweisen sich Energiespeicher in der Form von Druckluft oder der Kraft gespannter Federn am vorteilhaftesten. Der direkte Motor-

antrieb ist für kleinere Schalter ebenfalls geeignet. Die Maschinenfabrik Oerlikon verwendet ihn neben andern Antrieben für Einkesselölschalter bis 64 kV. Der Druckluftantrieb ergibt die grösste Schaltgeschwindigkeit und zeichnet sich aus durch Einfachheit der Konstruktion. Er ist der gegebene Antrieb bei den Druckluftschaltern, wird aber auch bei Oel- und Wasserschaltern mit Vorteil verwendet, falls eine Druckluftanlage vorhanden ist. Eine besonders einfache Anordnung ergibt sich dadurch, dass der Druckluftkolben direkt auf dem beweglichen Kontakt sitzt und deshalb unter voller Spannung steht. Die Zuführung der Druckluft erfolgt durch Isolierrohre. Es ist dies eine bei Druckluftschaltern gebräuchliche Anordnung. Bei Schaltern für Höchstspannung, bei denen die Druckluftzuleitungen eine Länge von mehreren Meter erreichen, und, sofern sich die Steuerorgane, wie üblich, auf Erdpotential befinden, macht sich allerdings der Einfluss des endlichen Wertes der Luftgeschwindigkeit auf die Eigenzeit bereits fühlbar. Demgegenüber gestattet die mechanische Kraftübertragung die Erreichung fast beliebig kleiner Eigenzeiten, wobei allerdings der Aufwand an Material und Kraftmitteln sehr gross werden kann. Ein Beispiel dafür, was mit rein mechanischen Mitteln erreichbar ist, bieten die von der amerikanischen General Electric and Westinghouse Co. gelieferten 287-kV-Oelschalter für Boulder Dam ⁷⁾. Der erste gehört zum ölarmen Typ, der zweite zum gewöhnlichen Kesselschaltertyp; beide besitzen Mehrfachunterbrechung, und die Abschaltzeit wird zu 0,05 s angegeben.

Nicht alle Antriebskonstruktionen eignen sich zum vornherein für die unverzögerte automatische Wiedereinschaltung. Ein notwendiges Erfordernis ist, dass der Antrieb nach einer automatischen Auslösung spätestens dann wieder einschaltbereit ist, wenn die Schalterkontakte ihre Endausschaltlage erreichen. Bei Antrieben, die zum Ein- und Ausschalten Druckluft verwenden, ist diese Forderung ohne weiteres erfüllt. Federspeicherantriebe müssen so gebaut sein, dass sie das Aufladen nach dem Einschalten erlauben. Die erste Wiedereinschaltung erfolgt dann unverzögert, während weitere Wiedereinschaltungen erst nach Ablauf der Aufzugszeit möglich sind, es sei denn, die einmalige Aufladung genüge für mehrere Einschaltungen. Mit Ausnahme des direkten Motorantriebes genügen unsere vorhandenen Antriebe diesen Bedingungen. Der bisherige Motorantrieb musste nach jeder Ausschaltung durch eine Feder in die Anfangslage zurückgedreht werden, bevor er zu einer neuen Einschaltung bereit war. (Andere Konstruktionsfirmen erzielen den Rücklauf durch Umsteuerung des Motors.) Er konnte dabei dem mit Freiauslösung abschaltenden Schalter nicht rasch genug folgen, so dass zwischen der Ausschaltung und der Wiedereinschaltung ein unerwünschter Zeitverzug entstand. Dieser Nachteil wurde beseitigt, indem man die Antriebsscheibe mit zwei diametral versetzten Mitnehmern versah. Da der Schaltwinkel etwas weniger als 180° beträgt, so kommt die Rolle der

⁶⁾ Lit. Nr. 1, 2, 4.

⁷⁾ Lit. Nr. 5, 6.

Freilaufkupplung nach jeder Ausschaltung vor einen der beiden Mitnehmer zu stehen. Der Rücklauf des Antriebes fällt daher weg; er dreht immer im gleichen Sinne und ist jederzeit einschaltbereit.

6. Beispiele praktischer Anwendung auf Schalter verschiedener Bauart.

Die praktische Anwendung des Wiedereinschaltprinzipes auf Schalter verschiedener Bauart soll an einigen Beispielen erläutert werden:

Fig. 3 zeigt einen Oelschalter für 12 kV Nennspannung, 150 MVA Abschaltleistung mit offener Unterbrechung und direkt angebautem Fernantrieb. Der Fernantrieb ist lieferbar als Motorantrieb, Druckluftantrieb oder Federspeicherantrieb und findet in allen drei Ausführungen unter derselben Haube Platz. Das Bild zeigt den Schalter mit abgenommener Haube und sichtbarem Federspeicher für Handaufzug. Die Einschaltfeder ist als Spiralfeder in einem runden Gehäuse untergebracht, das direkt auf der verlängerten Schalter-

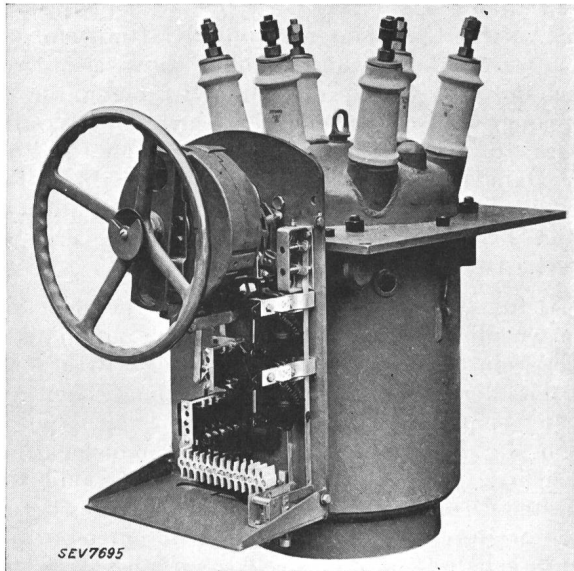


Fig. 3.

Oelschalter 12 kV, 150 MVA, offene Unterbrechung, mit direkt angebautem Federspeicherantrieb.

welle sitzt. Zum Spannen der Feder wird das Handrad 180° im Uhrzeigersinn gedreht, genau wie man einen Schalter mit gewöhnlichem Handradantrieb einschaltet. Das Einschalten des Schalters, d. h. die Entspannung der Feder, erfolgt mittels Druckknopf oder ferngesteuertem Einschaltmagnet. Sofort nach der Einschaltung kann die Feder durch Weiterdrehen des Handrades wieder gespannt werden. Der Antrieb ist dann für eine einmalige unverzögerte, automatische Wiedereinschaltung bereit. Die Aus-Ein-Zeit beträgt ca. 0,3 s. Statt des Handrades kann für die Spannung der Feder ein kleiner Aufzugsmotor geliefert werden. Dieser wird auf der Grundplatte befestigt und wirkt mittels Schneckenradübersetzung auf das Federgehäuse.

Die Fig. 4 und 5 zeigen Photographien von Einkessel-Freiluftölschaltern für Nennspannungen von 27 kV und 64 kV und direkt angebautem Antrieb.

Die Aufstellung erfolgt zweckmässig in hohem, ortsfestem Gerüst oder auch in niederem, mit Rollen versehenem Fahrgestell. Die Schalter sind mit

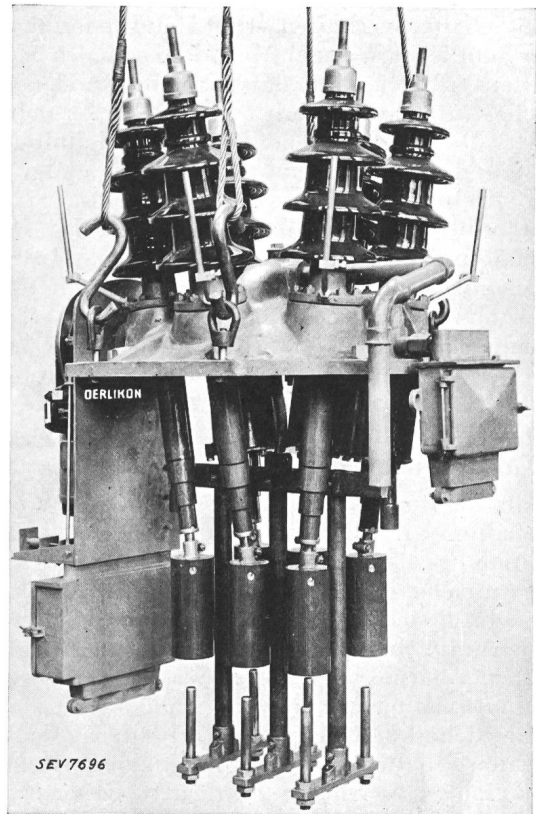


Fig. 4.

Einkessel-Freiluft-Oelschalter, 27 kV, 500 MVA, mit drei eingebauten Durchführungsstromwandlern.

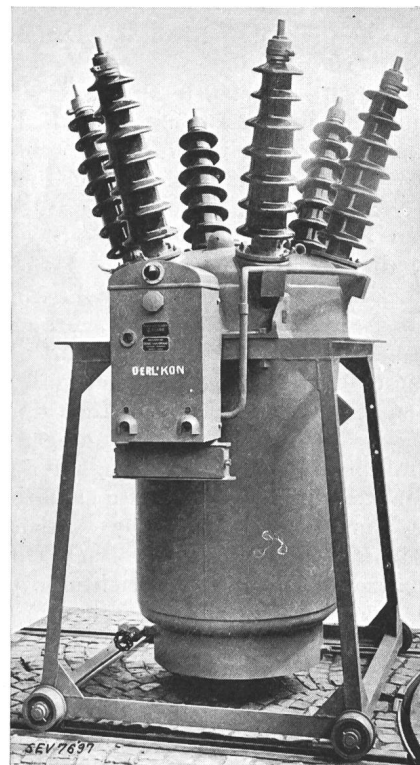


Fig. 5.

Einkessel-Freiluft-Oelschalter, 64 kV, 600 MVA.

Löschkammern und wahlweise mit drei oder sechs gekapselten Durchführungsstromwandlern versehen, deren Ableitungen bei den grösseren Schaltern in Röhren ausserhalb des Schalterdeckels verlegt sind. Die Umschaltung auf andere Anzapfungen erfolgt in den kleinen Kästchen unterhalb jeder Durchführung. Der abgebildete 64-kV-Schalter besitzt eine Mindest-Stossüberschlagsspannung von 440 kV.

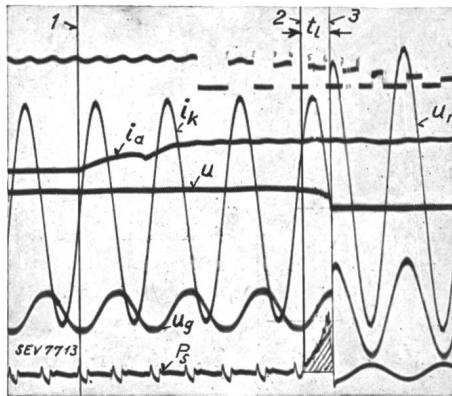


Fig. 6.

Abschaltoszillogramm an Oelschalter Typ E 88.

1 Beginn der Auslösung. 2 Öffnung der Kontakte.

3 Ende der Abschaltung.

i_a Auslöserstrom. u Spannung. u_r Wiederkehrende Spannung.
 i_k Kurzschlußstrom. u_g Spannung am Kurzschlussgenerator.
 P_s Im Schalter freiwerdende Leistung. Die schraffierte Fläche gibt die Schalterarbeit = 67 kW. t_l Lichtbogendauer.

Abschaltstrom (eff. Wechselstromanteil) $I_k = 26\ 500$ A.

Wiederkehrende Phasenspannung $U_r = 14\ 500$ V.

Abschaltleistung 1phasig 385 MVA.

3phasig 770 MVA.

Max. Stromamplitude $i_k = 40\ 500$ A.

Lichtbogendauer $t_l = 0,008$ s.

Abschaltzeit $t_s = 0,07$ s.

Beide Schalter besitzen Eigenzeiten von 0,06 s. Fig. 6 zeigt ein einphasiges Abschaltoszillogramm von 26 500 A bei 14 500 V, entsprechend einer dreiphasigen Abschaltleistung von 770 MVA bei 16,8 kV. Die Abschaltzeit beträgt 0,07 s, in welcher die Lichtbogendauer von knapp einer Halbwelle, wie aus der Kurve der Schalterarbeit deutlich ersichtlich, eingeschlossen ist.

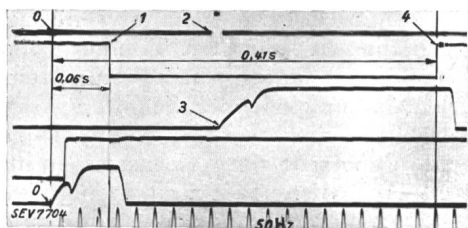


Fig. 7.

Oszillogramm einer unverzögerten Aus-Ein-Schaltung an einem normalen Freiluftölschalter Typ E 88, 38 kV, mit Motorantrieb.

0 Einschaltstellung; Auslöser erhält Strom.

1 Trennung der Schalterkontakte.

2 Erreichung der Ausschaltstellung.

3 Einschalthüpfen erhält Strom.

4 Berührung der Schalterkontakte.

0-1 Eigenzeit $t_s = 0,06$ s.

0-4 Aus-Ein-Zeit $t_x = 0,41$ s.

Fig. 7 zeigt das an einem normalen 38-kV-Freiluftölschalter der beschriebenen Bauart aufgenommene Wiedereinschalt-Oszillogramm. Der Schalter besitzt direkt angebauten Motorantrieb für unverzögerte automatische Wiedereinschaltung. Die ge-

messene Aus-Ein-Zeit ist 0,41 s. Beim abgebildeten 64-kV-Schalter vergrößert sich diese Zeit auf 0,50 s; doch lassen sich bedeutend kleinere Werte mittels direkt angebauten Druckluft- oder Federspeicher-Antriebes erzielen.

Die mit diesen Schaltern gelieferten Wiedereinschaltrelais ermöglichen eine erste unverzögerte und bis zu drei verzögerte automatische Wiedereinschaltungen. Steuerung und Wirkungsweise entsprechen genau den Angaben der Fig. 2 und werden durch kurze oder lange Kontaktgabe am Steuerschalter nicht beeinflusst. Die totale Laufzeit des Wiedereinschaltrelais beträgt 3 Minuten, kann aber auch kürzer oder länger gemacht werden. Auf einer Zeitscheibe sind Zahl und Zeitabstände der verzögerten Wiedereinschaltungen beliebig einstellbar. Der Antrieb der Zeitscheibe erfolgt entweder durch einen Synchronmotor oder durch ein Uhrwerk mit automatischem Motoraufzug, wodurch die Laufzeit von Spannungsvariationen der Hilfsstromquelle unabhängig wird. Die automatische Rückstellung der Zeitscheibe durch Federkraft kann wahlweise entweder am Ende der Laufzeit oder auch schon wenige Sekunden nach einer erfolgreichen automatischen Wiedereinschaltung erfolgen. Das Relais ist dann wieder für eine neue Funktion bereit. Mittels eines Fallklappenrelais kann ein optisches oder akustisches Signal gegeben werden, wenn der Schalter nach einer Reihe erfolgloser automatischer Wiedereinschaltungen ausgeschaltet bleibt.

Der Steuerschalter ist ein normaler Symbolschalter mit eingebauter Signallampe. Die Lampe leuchtet jedesmal auf, wenn die Stellungen von Symbolschalter und Leistungsschalter nicht miteinander übereinstimmen. Jede Einschaltung mittels Steuerschalter macht das Wiedereinschaltrelais automatisch funktionsbereit. Wird dies aus irgendeinem Grunde nicht gewünscht, so braucht der Steuerschalter nach dem Einschalten nur in die der Ausschaltlage entsprechende Lage gedreht zu werden, worauf das Aufleuchten der Lampe die Ausserbetriebsetzung des Wiedereinschaltrelais anzeigt. Die Schaltung erfordert ein Minimum von Verbindungsleitungen zwischen Kommandostelle und Schalterantrieb.

Wird nur eine einmalige unverzögerte Wiedereinschaltung gewünscht, so vereinfacht und verbilligt sich das Wiedereinschaltrelais beträchtlich. Die Funktion jedoch bleibt sich genau gleich.

Die Reihe der ölarmen Schalter beginnt bei 50 kV. Die Fig. 8 und 9 zeigen Schnitt und Ansicht eines 135/150-kV-Schalters mit im Schalterstützer eingebautem ölisolierten Doppelkern-Stromwandler. Der Schalter arbeitet nach dem Prinzip der Gegenströmung. Bei der Ausschaltung bewegt sich der Schaltstift mit grosser Geschwindigkeit von oben nach unten in kühles Öl hinein, während die aus dem Öl erzeugten Gase und Dämpfe in entgegengesetzter Richtung durch den Lichtbogen und den festen Hohlkontakt hindurch nach oben strömen. Dadurch wird der Lichtbogen auf seiner ganzen Länge einschliesslich seiner Fusspunkte energisch beblasen und eine Löschung nach wenigen

Halbperioden erzwungen. Durch eine besondere Oelpumpe wird während der Abschaltung Drucköl in den Lichtbogenraum gespritzt. Der Druckanstieg ist infolge der kleinen, von den Schaltgasen zu überwindenden Oelhöhe gering. Ein zweckmässig kon-

in den Endlagen zur Wirkung kommen, ergeben trotz grosser Geschwindigkeit ein weiches Schalten.

Die Oelinhalt des oberen und unteren Isolators sind voneinander getrennt, um einer Verschmutzung des Stromwandleröles vorzubeugen. Der öldichte Abschluss dieser Räume an der Durchtrittsstelle der Antriebsstange erfolgt durch druckentlastete flexible Federrohrkörper. Alle inneren Isolierflächen des Schalters sind von Oel bespült und der Kondenswasserbildung entzogen. Klima und Witterung sind deshalb ohne Einfluss auf die innere Isolationsfestigkeit des Schalters.

Die kleineren ölarmen Schalter, bis 64 kV, sind im Prinzip gleich gebaut wie die grösseren Schalter. Infolge des kleineren Hubes des beweglichen Kontaktes ist jedoch das Zahnradvorgelege durch eine ebenfalls in Oel laufende direkte Hebelübersetzung ersetzt.

Die ölarmen Schalter höherer Spannung wurden ursprünglich mit angebaute und mit dem Schalter zwangsläufig verbundene Trenner geliefert. Die seither gemachten Erfahrungen haben erlaubt, vom Standpunkt des Schalters aus auf den Trenner zu

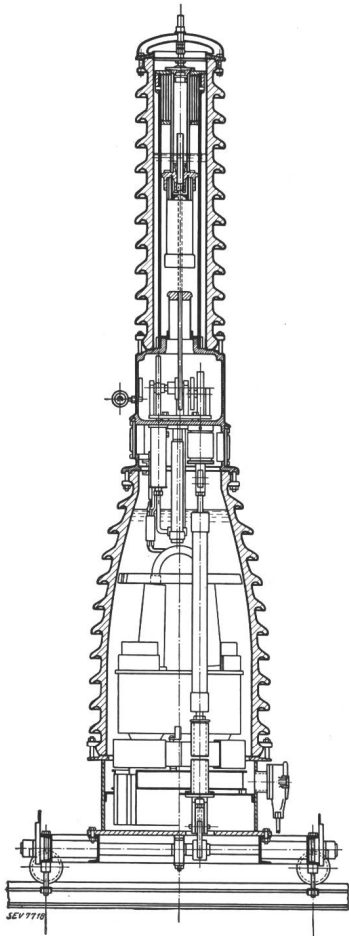


Fig. 9 (oben).

Ansicht eines ölarmen Gegenstrom-Schalters, 135 kV, 1500 MVA, mit eingebautem Doppelkern-Stromwandler.

Fig. 8 (links).

Schnitt eines ölarmen Gegenstromschalters, 150 kV, mit eingebautem Doppelkern-Stromwandler.

struierter Abscheider verhindert praktisch jeglichen Oelverlust.

Aber auch mannigfache Vorteile konstruktiver Art ergeben sich durch diese Anordnung. Der Antriebsmechanismus für den beweglichen Kontakt befindet sich nicht mehr zuoberst auf dem Schalter, wo er dem Druck und der verschmutzenden Wirkung der Lichtbogenprodukte ausgesetzt ist und deren freien Abzug behindert. Das zu seiner Betätigung erforderliche isolierende Antriebsorgan, soweit es bei andern Konstruktionen die Schaltstrecke überbrückt, fällt gänzlich weg. Dadurch verringern sich die bewegten Massen und der Schalter erhält die einfache und gefällige Säulenform. Fester Kontakt und Löschkammer sind einzeln, ohne Ablassen des Oeles nach oben ausbaubar. Der innere, leicht zugängliche Antriebsmechanismus besteht aus einem Zahnradvorgelege, welches den kleinen Hub der isolierten Antriebsstange auf den grösseren Hub des Schaltrohres übersetzt. Dieser Mechanismus läuft vollständig in Oel, wodurch ein reibungsloses Arbeiten gewährleistet und die Wartung auf ein Minimum reduziert wird. Stossfänger in Oel, die

verzichten. Für die Einschaltung einer Lufttrennstrecke in Reihe mit der nicht kriechstromfesten Unterbrechungstrecke im Schalter genügen die sowieso vorhandenen separaten Trenner vollständig. Auf Wunsch kann jedoch einer dieser Trenner mit einem in Abhängigkeit des Schalters gesteuerten Fernantrieb versehen werden, wodurch jeder unerwünschte Uebertritt von Kriechströmen in andere Anlageteile mit Sicherheit und zwangsläufig verhindert wird. Es wurde eine Steuerung entwickelt, gemäss welcher der Trenner an einer automatischen, von unverzögerter Wiedereinschaltung gefolgt Ausscheidung nicht teilnimmt und somit die Aus-Ein-Zeit durch seine Massenträgheit nicht vergrössert. Der Trenner nimmt jedoch an den verzögerten Aus- und Wiedereinschaltungen teil sowie an allen willkürlichen Schalthandlungen, mit Ausnahme des Synchronisierens, wo er sich vorzeitig mit der Einschaltung des Synchronoskopes schliesst. Auch diese differenzierten Funktionen des Trenners erfolgen vollautomatisch.

Fig. 10 zeigt ein Beispiel einer einpoligen Abschaltung mit einem 150-kV-ölarmen Gegenstrom-

Schalter mit Federspeicherantrieb. Der Abschaltstrom war 3400 A bei 110 kV, entsprechend einer dreiphasigen Abschaltleistung von 750 MVA bei 127 kV wiederkehrender Spannung. Da die Eigenzeit dieses Schalters etwas unter 0,08 s liegt, ergibt sich eine Abschaltzeit von rund 0,1 s und eine Aus-Ein-Zeit von 0,4 s.

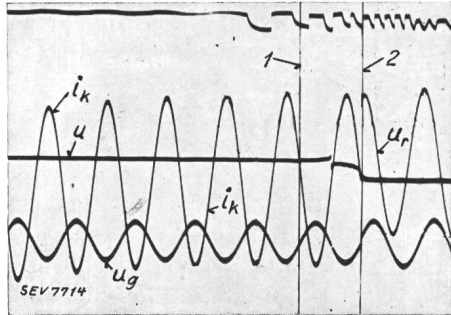


Fig. 10.

Oszillogramm einer einpoligen Abschaltung mit ölarmem Gegenstromschalter, 150 kV.

1 Beginn der Abschaltung. 2 Ende der Abschaltung.
 u Spannung. u_r Wiederkehrende Spannung. i_k Kurzschlussstrom. u_g Spannung des Generators.
 Abschaltstrom (eff. Wechselstromanteil) $I_k = 3400$ A.
 Wiederkehrende Spannung $U_r = 110$ kV.
 Dreiphasige Abschaltleistung 750 MVA.
 Max. Amplitude des Kurzschlußstromes 6520 A.
 Lichtbogendauer 0,022 s.

An einem von uns ins Ausland gelieferten 135-kV-ölarmen Gegenstromschalter wurden vom Besteller nach längerer Betriebsdauer Kurzschlussabschaltungen durchgeführt. Fig. 11 zeigt die festen und die beweglichen Kontakte nach mehrmaliger Abschaltung von 650 MVA. Die Kontakte sind nur leicht angebrannt und können ohne Nacharbeit ihren Dienst weiter versehen.

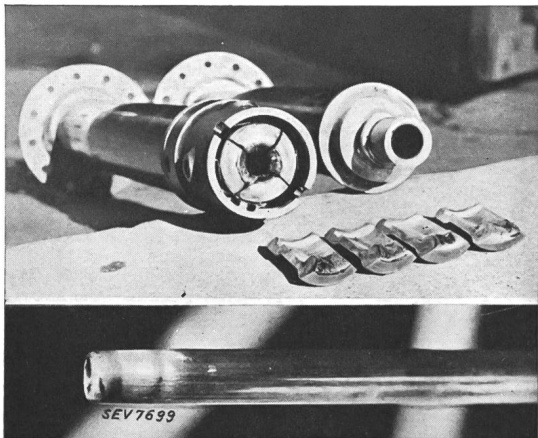


Fig. 11.

Kontakte eines ölarmen Gegenstrom-Schalters, 135 kV, nach einer Reihe von Kurzschlussabschaltungen.

Abschaltzeit und Aus-Ein-Zeit der grösseren ölarmen Schalter sind weitgehend durch die Natur des Antriebes bestimmt. Mittels grösserer Federkräfte oder durch die Anwendung von Druckluft lassen sich die Zeiten bedeutend verkürzen. Fig. 12 zeigt einen Pol eines ölarmen 220-kV-Schalters mit eingebautem Stromwandler, welcher Druckluft-

antrieb besitzt und für eine Aus-Ein-Zeit von 0,3 s gebaut ist.

Fig. 13 zeigt, teilweise demontiert, einen Druckluftschalter der Bauart, die bis 38 kV Nennspannung verwendet wird. Es handelt sich um einen fahrbaren Schalter für 500 MVA. Durch Einbau von Widerständen lässt sich die Abschaltleistung auf 1000 MVA steigern. Wie ersichtlich, sind die spannungsführenden Teile dieses Schalters, mit Ausnahme der Anschlüsse, allseitig isoliert. Er entspricht damit einem von manchen Betriebsleuten geäusserten Wunsche, dass trotz Einhaltung kleiner Polabstände die Möglichkeit von Phasenüberschlägen und wandern den Lichtbögen vollständig auszuschliessen sei. Mehrere hundert Schalter dieser Gattung befinden sich, zum Teil seit mehreren Jahren, in anstandslosem Betrieb.

Für Orte, die ausgesprochen feucht sind, und wo aus diesen Gründen auch unverkleidete Innenraum - Kondensatordurchführungen nicht zur Anwendung ge-

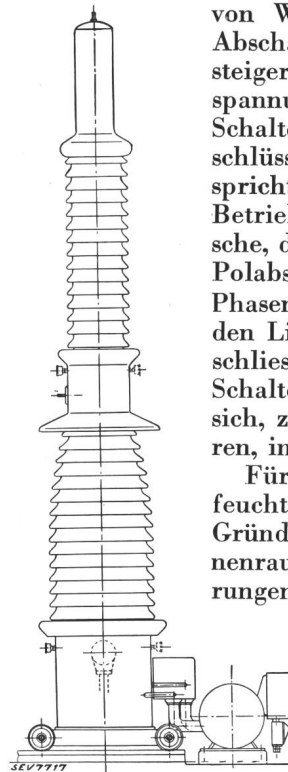


Fig. 12.

Pol eines ölarmen Schalters, 220 kV, 2500 MVA, mit Druckluft-Antrieb und eingebautem Doppelkern-Stromwandler.

langen, haben wir eine Konstruktion nach Fig. 14 entwickelt, bei der das Hartpapier durch kerami-

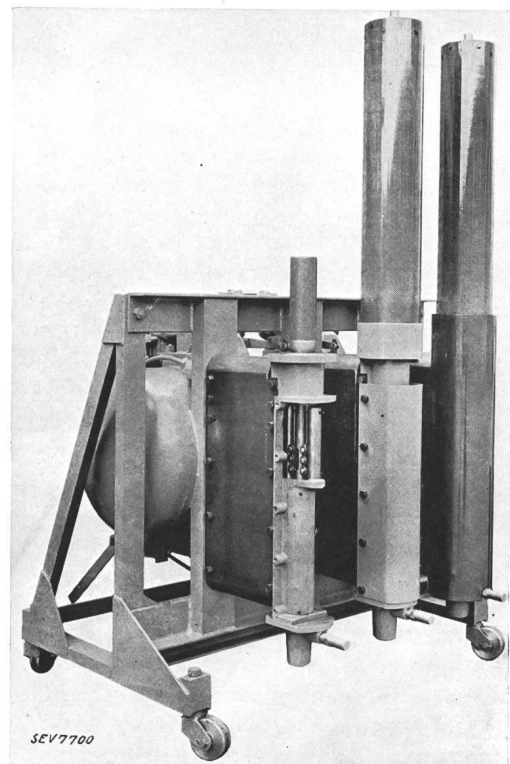


Fig. 13.

Druckluftschalter, 27 kV, 500 MVA.

sches Material ersetzt und auf eine allseitige Verkleidung verzichtet wird. Eine Ausnahme macht einzig der Schalthebel, für den infolge seiner hohen Beanspruchung keramisches Material nicht zulässig ist. Bei der später zu zeigenden vertikalen Bauart liegt die Verwendung keramischen Materials auch für diesen Teil im Bereich der Möglichkeit.

Druckluftschalter grösserer Abschaltleistung werden in der Regel mit der sogenannten Doppeldüse versehen, deren Prinzip aus Fig. 14 ersichtlich ist. Deren Wirkungsweise ist so, dass an der Kontakttrennstelle die Druckluft sowohl nach oben, als auch durch den hohlen beweglichen Kontakt nach unten abströmt. Der nach unten fliessende Teil strömt durch Schlitze im Schaltrohr in einen

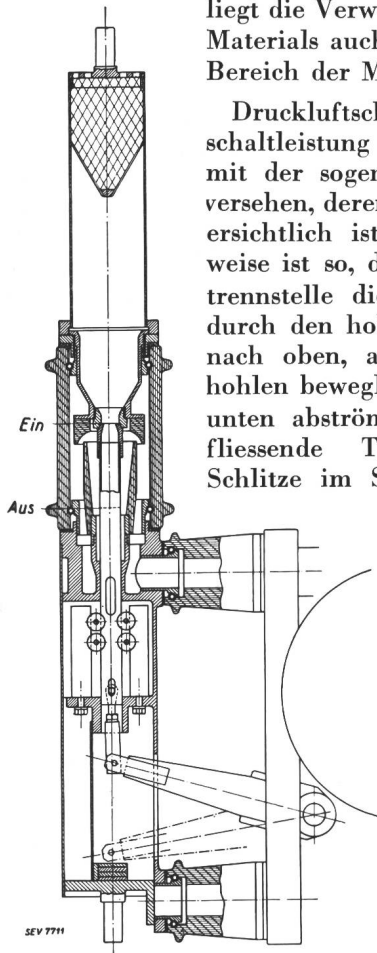


Fig. 14.
Druckluftschalter mit keramischer Isolation für feuchte Räume. Der Schalter besitzt Doppeldüse.

vollständig geschlossenen Stauraum, dessen Volumen so bemessen ist, dass der in ihm während der Abschaltung entstehende Gegendruck weniger als die Hälfte des Druckes vor der Düse beträgt. Nach den Gesetzen der Aerodynamik ist unter diesen Bedingungen der Gegendruck ohne Einfluss auf die Strömungsgeschwindigkeit in der Düse. Nach vollzogener Abschaltung fliesst die Druckluft im Stauraum durch die Schlitze und das Schaltrohr wieder zurück, passiert den festen Düsenkontakt und entweicht mit der übrigen Druckluft durch den Gaskühler. Die Doppeldüse hat gegenüber der Einfachdüse den grossen Vorteil, dass beide Lichtbogenfusspunkte in die Düsen hinein verlegt und dort sehr energisch beblasen werden. Zur Zeit des Stromnulldurchganges existieren daher keine glühenden Stellen an den gegenüberliegenden Kontaktflächen, zwischen welchen der Spannungsgradient am höchsten ist. Diese Flächen werden im Gegenteil auf ihrer ganzen Ausdehnung durch einen kühlen Luftstrom energisch beblasen. Die theoretisch zu erwartende Ueberlegenheit der Doppeldüse über die Einfachdüse hat sich denn auch durch die Versuche vollauf bestätigt.

Die grösseren Schalter dieser Bauart besitzen statt des oberen festen einen beschränkt beweglichen oberen Düsenschnellkontakt (Fig. 15). Dieser wird durch die Druckluft fast momentan auf den für die Löschung genügenden kurzen Abstand gebracht, und zwar noch bevor sich das bewegliche Schaltrohr zu bewegen beginnt. Dieses vergrössert dann die Kontakttrennung auf den für die dauernde Spannungsisolierung nötigen Wert.

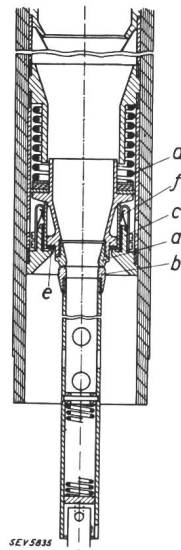


Fig. 15
Düsenschnellkontakt.

Prinzipieller Schnitt durch die Doppeldüse eines Druckluftschalters, dessen obere Düse als Schnellkontakt ausgebildet ist.

Druckluftschalter für unverzögerte Wiedereinschaltung müssen mit einem Behälter versehen werden, der für zwei Ausschaltungen und eine Einschaltung ausreicht, ohne dass der Druck unter das zulässige Minimum absinkt. Alle Druckluftschalter sind mit Einrichtungen versehen, welche bei zu kleinem Druck die Ein- und Ausschaltung automatisch verhindern, gleichgültig, ob die Betätigung automatisch oder durch elektrische oder mechanische Handsteuerung erfolgt.

Das Oszillogramm Fig. 16 zeigt eine Leerabschaltung mittels Druckluftschalter, auf dem der Auslösestrom, der Druckanstieg vor den Kontakten, sowie der Weg des beweglichen Kontaktes verzeichnet sind. Die Eigenzeit dieses Schalters beträgt 0,046 s, was eine Abschaltzeit von ca. 0,05 s ergibt.

Oszillogramm Fig. 17 zeigt das Aequivalent einer dreiphasigen Abschaltung von 780 MVA bei 18,8 kV.

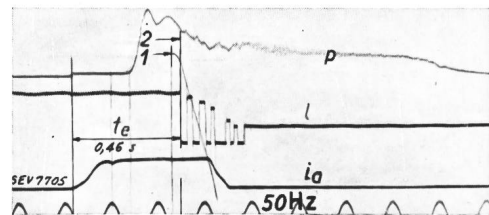


Fig. 16.
Oszillogramm einer Leerabschaltung mit Druckluftschalter Typ LW, 16 kV.

- 1 Beginn der Bewegung. 2 Kontakttrennung.
- t_0 Eigenzeit = 0,46 s.
- p Druck vor den Kontakten.
- l Weg-Zeit-Linie des beweglichen Kontaktes.
- i_a Strom im Auslöseventil.

Oszillogramm Fig. 18 zeigt einen Aus-Ein-Aus-Zyklus, wie sich derselbe bei der unverzögerten Wiedereinschaltung auf einen bestehenden Kurzschluss einstellen würde. Bei 0 setzt der Auslöseimpuls ein und bei 3 ist die Wiedereinschaltung beendet. Da zu diesem Zeitpunkt der Auslöseimpuls wieder einsetzt, findet kurze Zeit später bei 5 wieder eine Kontakttrennung statt. Die Aus-Ein-Zeit beträgt 0,34 s und ist durch entsprechende Einstellung der Ventile weiter verkürzbar.

Fig. 19 und 20 zeigen Druckluftschalter für 64 kV. Diese unterscheiden sich von den kleineren Schaltern durch die stehende Bauart und den angebauten Trenner. Im übrigen ist die Wirkungsweise der beiden Schalter genau gleich. Der Trenner bewegt sich

lungen mitmacht. Beim ersten Aus-Ein-Zyklus bewegt sich nur der obere Düsenkontakt. Diese unterschiedliche Funktion des Schalters erfolgt ebenfalls vollautomatisch nach Fig. 2 ohne jegliches Dazutun des Betriebspersonals.

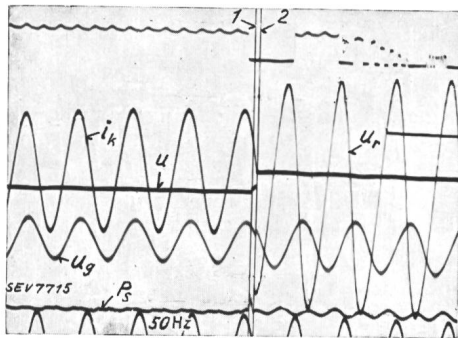


Fig. 17.

Oszillogramm einer einpoligen Abschaltung von 780 MVA 3phasiger Leistung bei 18,8 kV mit Druckluftschalter Typ LW. 1 Beginn der Öffnung der Kontakte. 2 Ende der Abschaltung. i_k Kurzschlussstrom. u Spannung. u_g Wiederkehrende Spannung. u_g Spannung des Kurzschlussgenerators. P_s Im Schalter freierwerdende Leistung.

Abschaltstrom (eff. Wechselstromanteil) $I_k = 23\ 700$ A.
 Wiederkehrende Spannung $U_r = 16\ 400$ V.
 Dreiphasige Abschaltleistung 780 MVA.
 Max. Stromamplitude = 51 000 A.
 Lichtbogendauer $t_l = 0,0019$ s.

kraftschlüssig mit dem beweglichen Kontaktrohr in der Weise, dass er erst zu öffnen beginnt, nachdem das letztere den grössten Teil seines Weges zurückgelegt hat. Beim Einschalten schliesst er stromlos, bevor sich die beiden Düsenkontakte berühren. Der Trenner bietet bei höheren Spannungen den Vorteil, dass er die Unterbrechungsdistanz im Schalter und damit dessen Bauhöhe zu verkleinern gestattet und ausserdem eine bei Freiluftausführung vorteilhafte Lufttrennstelle schafft. Die grosse

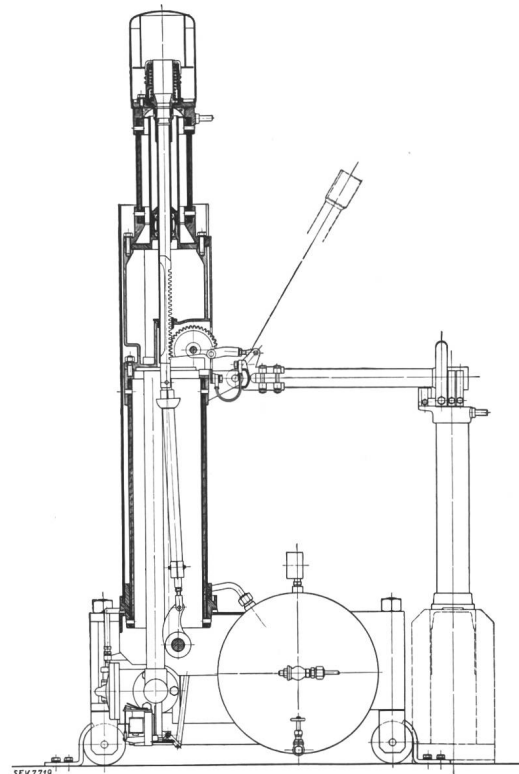


Fig. 19.

Schnitt durch Druckluftschalter Typ LS, 64 kV.

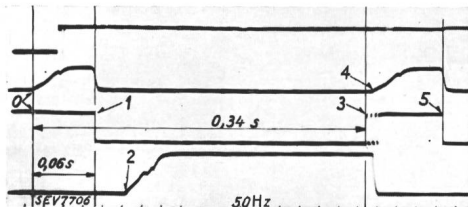


Fig. 18.

Oszillogramm eines unverzögerten Aus-Ein-Aus-Zyklus mit Druckluftschalter Typ LW, 27 kV.

- 0 Einschaltung; Auslöseventil erhält Strom.
- 1 Trennung der Schalterkontakte.
- 2 Einschaltventil erhält Strom.
- 3 Berührung der Schalterkontakte.
- 4 Einschaltstellung; Auslöseventil erhält Strom.
- 5 Trennung der Schalterkontakte.
- 0-1 Eigenzeit $t_0 = 0,06$ s.
- 0-3 Aus-Ein-Zeit $t_x = 0,34$ s.

Masse des Trenners würde sich für die bei der unverzögerten Aus-Einschaltung erforderliche hohe Geschwindigkeit hinderlich erweisen. Aehnlich, wie schon früher beim ölarmen Schalter gezeigt, wurde deshalb auch hier die Lösung so getroffen, dass der Trenner an einer ersten, von einer unverzögerten Wiedereinschaltung gefolgt automatischen Ausschaltung nicht teilnimmt, dagegen bei den evtl. nachfolgenden verzögerten Ausschaltungen sowie bei allen willkürlichen Schalthand-

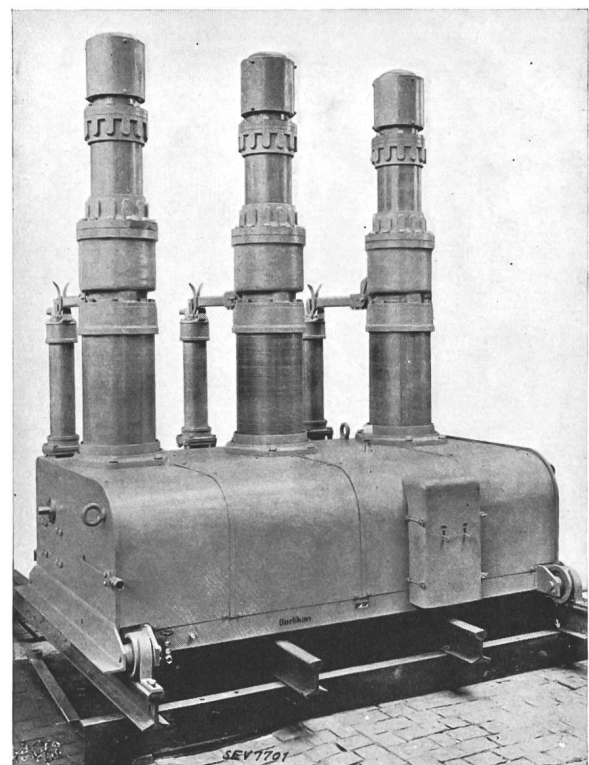


Fig. 20.

Druckluftschalter Typ LS, 64 kV.

Das Oszillogramm Fig. 21 zeigt ein Beispiel einer unverzögerten Wiedereinschaltung dieses Schalters. Die Aus-Ein-Zeit beträgt nur 0,25 s und kann bei Bedarf noch weiter verkürzt werden. Oszillogramm

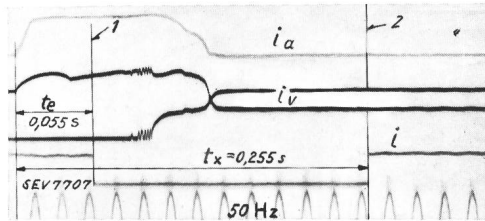


Fig. 21.

Oszillogramm einer unverzögerten Aus-Ein-Schaltung mit Druckluftschalter Typ LS, 64 kV.

1 Kontakttrennung, 2 Kontaktberührung.
 i_a Strom im Auslöseventil.
 i_v Strom im Sperrventil.
 i Strom über Schalterkontakt.
 Eigenzeit $t_e = 0,055$ s.
 Aus-Ein-Zeit $t_x = 0,255$ s.

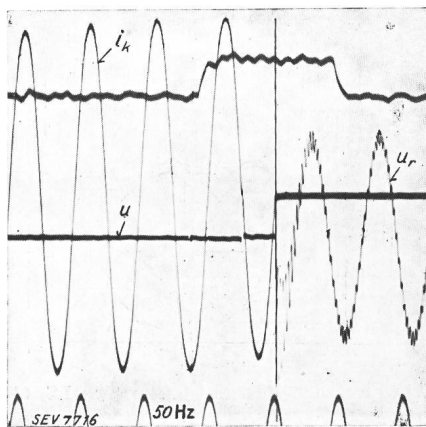


Fig. 22.

Oszillogramm einer einpoligen Abschaltung mit Druckluftschalter Typ LS, 50 kV.

i_k Kurzschlußstrom, u Spannung.
 Abschaltstrom (eff. Wechselstromanteil) $I_k = 5950$ A.
 Wiederkehrende Spannung $U_r = 46\,000$ V.
 Dreiphasige Abschaltleistung 548 MVA bei 53 000 V.
 Max. Stromamplitude 11 700 A.
 Lichtbogendauer $t_l = 0,01$ s.

Fig. 22 zeigt eine einphasige Abschaltung von 5950 A bei 46 kV, entsprechend einer dreiphasigen Abschaltleistung von 548 MVA bei 53 kV. Der Schalter wird auch für Freiluftaufstellung in Ganz-Porzellan-ausführung gebaut.

7. Die einpolige Störungsbehebung.

Zum Schlusse sei noch kurz die Frage gestreift, ob beim Netzschutz mit Schaltern für unverzögerte Wiedereinschaltung im Falle eines einpoligen Fehlers nur der betreffende Schalterpol in Funktion treten sollte. Die Frage ist natürlich nur aktuell bei solchen Schaltern, welche mit einpoligen Antrieben ausgerüstet sind. Die soeben beschriebenen Druckluftschalter mit oberen Schnellkontakten lassen sich sehr leicht für diese Betriebsweise einrichten. An Stelle zweier Hauptventile und zweier Elektroventile erhalten sie drei Hauptventile und sechs Elektroventile, d. h. einen Satz pro

Pol. Die Steuerung wird dann so getroffen, dass bei der ersten Ausschaltung nur der betreffende Schnellkontakt abhebt, die beiden übrigen Schnellkontakte wie auch alle drei beweglichen Schaltrohre und evtl. Trenner dagegen ruhigbleiben. Nur wenn die erste Wiedereinschaltung erfolglos verläuft, öffnen sich bei der zweiten automatischen Abschaltung alle drei Schnellkontakte inkl. Schaltrohr und Trenner, desgleichen bei allen willkürlichen Schalt-handlungen. Auch diese Schaltfunktionen erfolgen völlig automatisch. Auch bei ölarmen Schaltern mit Drucklufteinzelantrieb lässt sich diese Steuerung mit Leichtigkeit anwenden.

Ueber die Frage der Wünschbarkeit der einpoligen Auslösung gehen die Meinungen noch auseinander. Auf der Hand liegt der Vorteil der besseren und längeren Erhaltung der Stabilität, wenn während der Störungsdauer eine einphasige Verbindung weiter besteht. Fraglich ist, ob, namentlich bei mehrfachen Blitzschlägen, immer nur eine Phase betroffen wird, wobei auch das Erdseil eine Rolle spielt, ferner ob die auf der abgetrennten Phase von den beiden andern Phasenleitern kapazitiv induzierte Spannung einen Lichtbogen an der Fehlerstelle zu unterhalten vermag oder nicht. Letzteres ist eine Funktion der Leitungslänge.

Es wird noch vieler Beobachtungen und Versuche bedürfen, bevor alle die automatische Wiedereinschaltung betreffenden Fragen restlos abgeklärt sind. Wenn die vorstehenden Ausführungen Interesse hiefür erwecken, so ist ihr Zweck erreicht.

Literaturverzeichnis.

1. Sporn and Prince, Ultrahigh-Speed Reclosing of High-Voltage Transmission Lines. Electr. Engng., Jan. 1937, Diskussion hierüber August 1937.
2. Sporn and Prince, Elimination rapide des défauts et réenclenchement à ultra grande vitesse des lignes de transmission à haute tension. CIGRE 1937, Rapport No. 339.
3. Ailleret, L'élimination des défauts transitoires sur les lignes d'interconnexion par le réenclenchement ultrarapide des disjoncteurs. Bull. Soc. Franç. Electr., April 1938.
4. Schwager, The Ultrahigh-Speed reclosing Expulsion Oil Circuit Breaker, Electr. Engng., August 1937.
5. Wilcox and Leeds, Circuit Breakers for Boulder Dam Line. Electr. Engng., June 1936.
6. Prince, Circuit Breakers for Boulder Dam. Electr. Engng., April 1935.
7. Sporn and Müller, One cycle Carrier Relaying accomplished, Electr. World, Oct. 12, 1935.
8. Sporn and Gross, Expulsion protective gaps on 132 kV Lines, Electr. Engng., Jan. 1935.
9. Griscom and Torok, Keeping the line on service by rapid reclosing, Electr. J., Mai 1933.
10. Lonegan, Motors need not stop when voltage dips. Electr. World, Sept. 6, 1930.
11. Anderson, Automatic Reclosing of Oil Circuit Breakers, AIEE Transactions, Jan. 1934.

Der Vorsitzende verdankt den Vortrag des Herrn Naef bestens. Der Herr Referent hat einige sehr interessante Vorschläge zu klaren Definitionen der verschiedenen beim Abschalten und Wiedereinschalten in Frage kommenden Zeiten gegeben. Zweifellos wird man sich in absehbarer Zukunft über diese Definitionen einigen müssen. Herr Naef hat aber auch in sehr glücklicher Weise die ganze Frage des raschen Wiedereinschaltens behandelt und eine Beschreibung der Schalter seiner Firma gegeben.