

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 43 (1952)

Heft: 18

Artikel: Versuche mit einem neuen 220-kV-Ölstrahlschalter in der Schaltstation Fontenay

Autor: Ehrenspurger, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059180>

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: 05.02.2026

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

zum Stromrichter in seiner allgemeinsten Bedeutung und zu den speziellen Formen: *Gleichrichter, Wechselrichter, Umrichter, Regulierstromrichter*. Der letzte dient zum Regulieren von Einphasen- und Mehrphasenströmen und arbeitet grundsätzlich nach Fig. 1, indem die Dauer des Stromdurchgangs während der beiden Halbwellen und damit die Stromintensität verändert wird (z. B. bei Punktschweißapparaten).

Zum Stromrichter gehören also *nur* die Ventile; sowohl die Stromquelle, also der Generator, als auch der Transformator gehören nicht dazu. Die feinere Einteilung führt dann zu den Begriffen:

fremd- oder netzgeführter Wechselrichter,
selbstgeführter Wechselrichter,
starrer Umrichter,
elastischer Umrichter,
Dreiphasen-Einphasen-Umrichter,
Drehstrom-Drehstrom-Umrichter,
Gleichstrom-Umrichter usw.

4. Stromrichtergruppe

Sie ist die Kombination des Stromrichters mit der Stromquelle (Generator) oder mit dem Transformator, der den Namen «Stromrichtertransformator» führt. Reguliertransformatoren mit ihrer Steuerapparatur gehören ebenfalls zur Stromrichtergruppe.

5. Stromrichteranlage (Stromrichterunterwerk)

Darunter soll die vollständige elektrische Anlage verstanden werden, die sich zusammensetzt aus einer oder mehreren Stromrichtergruppen und den zugehörigen Schalt-, Mess-, Regulier-, Steuer- und Meldeapparaturen.

6. Elektrischer Ventilapparat

Es besteht weiter das Bedürfnis, die Begriffe: «elektrisches Ventil», «Stromrichter» und «Stromrichtergruppe» zusammenzufassen, wofür der Ausdruck «*Elektrischer Ventilapparat*» vorgeschlagen wird. Er soll also der umfassendste Begriff sein.

7. Schlussbemerkung

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist die Aufstellung einer Systematik der elektrischen Ventile. Dazu mussten neue Wörter gebildet oder der Inhalt geläufiger Wörter erweitert werden. Es steht natürlich zur Diskussion, ob statt der vorgeschlagenen Wörter treffendere gefunden werden.

Der Autor hat diese Systematik seit einigen Jahren seiner Vorlesung über «Stromrichter» an der ETH zugrunde gelegt. Ingenieur W. Brandenberger, Zürich-Örlikon, Ingenieur F. Bugnion, Genf, und Oberingenieur Ch. Ehrensperger, Baden, ist er für ihre kürzlich gemachten Anregungen zu Dank verpflichtet.

Adresse des Autors:

Prof. Ed. Gerecke, Vorstand des Institutes für Allgemeine Elektrotechnik der ETH, Sternwartstrasse 7, Zürich 6.

Versuche mit einem neuen 220-kV-Ölstrahlschalter in der Schaltstation Fontenay

Von H. Ehrensperger, Aarau

621.316.57.064.25

Die Zunahme des Verbrauches an elektrischer Energie ist derart, dass man in Europa, in 220-kV-Netzen, mit dem Einbau von Schaltern, deren Abschaltvermögen 5000 MVA beträgt, beginnen muss. Es wird ein neu entwickelter, diesen Anforderungen entsprechender Ölstrahlschalter beschrieben und über Versuche berichtet, denen diese Neukonstruktion in Fontenay, einer Schaltstation des französischen 220-kV-Netzes, unterzogen wurde.

L'augmentation ininterrompue de la consommation de l'énergie électrique implique l'installation dans les réseaux d'interconnexion de 220 kV, en Europe, de disjoncteurs d'un pouvoir de coupure de 5000 MVA. Un nouveau disjoncteur orthoprojecteur, qui répond aux données citées, est décrit et les essais effectués sur ce nouvel appareil à Fontenay, point très important du réseau français de 220 kV, sont indiqués et discutés.

I. Einleitung

Das unaufhaltbare Vordringen der Elektrizität in alle Zweige unseres Wirtschaftslebens ist wohl der unbeschreiblichen Handlichkeit und den vielen Vorteilen dieser Energieform zuzuschreiben. Deren vermehrte Anwendung führte zu einer stetigen Erhöhung der in den Netzen zirkulierenden Leistungen. Um diese besser, auch wirtschaftlich vorteilhafter beherrschen zu können, schritt man zur Erhöhung der Übertragungsspannungen von 150 auf 220 kV. Von den in die Netze eingebauten Leistungsschaltern forderte man während längerer Zeit ein Abschaltvermögen von maximal 3500 MVA bei 220 kV. Heute genügen auch diese Leistungen nicht mehr, und an stark belasteten Netzen geht man zum Einbau von Leistungsschaltern mit einem symmetrischen Abschaltvermögen von 5000 MVA bei 220 kV über.

Im folgenden soll ein solcher, von der Sprecher & Schuh A.-G. in Aarau neu entwickelter Leistungsschalter für 5000 MVA bei 220 kV beschrieben und über die in Fontenay, einem der 220-kV-Netzpunkte mit der grössten Leistungskonzentration in Europa, durchgeföhrten Kontrollversuche berichtet werden.

II. Aufbau des geprüften 220-kV-Schalters

Der Schalter stellt eine Weiterentwicklung der bekannten Ölstrahlschalter dar. Leitend bei der Verwirklichung dieses neuen Apparates blieb wiederum die Forderung, das gesteckte Ziel in einer möglichst einfachen, aber robusten Konstruktion, unter Berücksichtigung der bisherigen Betriebserfahrungen zu erreichen.

Die dreipolare Schaltergruppe setzt sich aus drei gleichartig gebauten Schalterpolen zusammen. Man kann wahlweise alle drei Pole mechanisch kuppeln

und einen einzigen Antrieb zu deren Betätigung vorsehen oder aber jeden Pol mit einem eigenen Antrieb ausrüsten und die Antriebe untereinander elektrisch kuppeln.

Die zweite Lösung bietet unter Umständen Vorteile, indem die meistens einphasig auftretenden Betriebsstörungen durch eine «Aus-Ein»-Schaltung des entsprechenden Poles sich allein beheben lassen. Sie lässt sich jedoch nur bei nicht zu langen Leitungen anwenden, da der durch Einwirkung der gesunkenen auf die gestörte Phase an der Fehlerstelle fließende kapazitive Strom noch von selbst löschen muss, d. h. er darf also nicht zu gross sein. Man reduziert auf diese Weise die Beeinflussung des Betriebes durch die Störung auf ein Minimum.

Mit der im Antrieb in gespannten Federn oder ausnahmsweise, auf besonderen Wunsch, in Form von komprimierter Luft aufgespeicherten Energie lässt sich der Schalter einschalten. In der Einschaltstellung angelangt, ist er sofort zur Ausführung einer Abschaltung bereit, da die Ausschaltfedern durch den Einschaltvorgang gespannt werden. Der Antrieb seinerseits benötigt nur ca. 15 Sekunden zur Wiederaufspeicherung der erforderlichen Einschaltarbeit. Antriebsmäßig könnte also alle 15 Sekunden eine Einschaltung erfolgen. Die Schaltbefehle werden

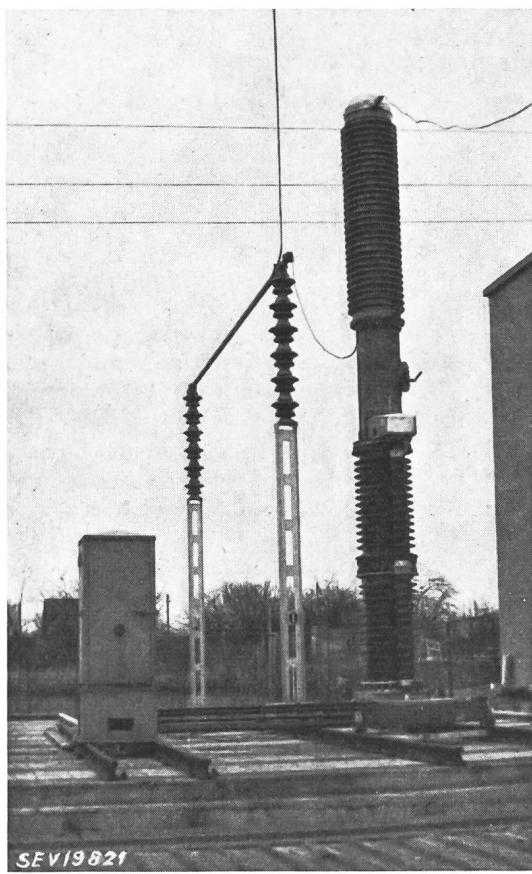


Fig. 1
Schalterpol für 220 kV

Nennstrom 1000 A, Abschaltvermögen 5000 MVA, mit Federkraftspeicherantrieb auf dem Prüfstand in Fontenay

dem Antrieb von Hand oder bei Fernsteuerung mit Hilfe von kurzzeitig ca. 250...500 Watt konsumierenden Elektromagneten übermittelt.

Der Schalterpol weist neben dem auf Erdpotential sich befindenden *Antrieb* einen kräftigen *Tragisolator*, das den Bewegungsmechanismus des Kon-

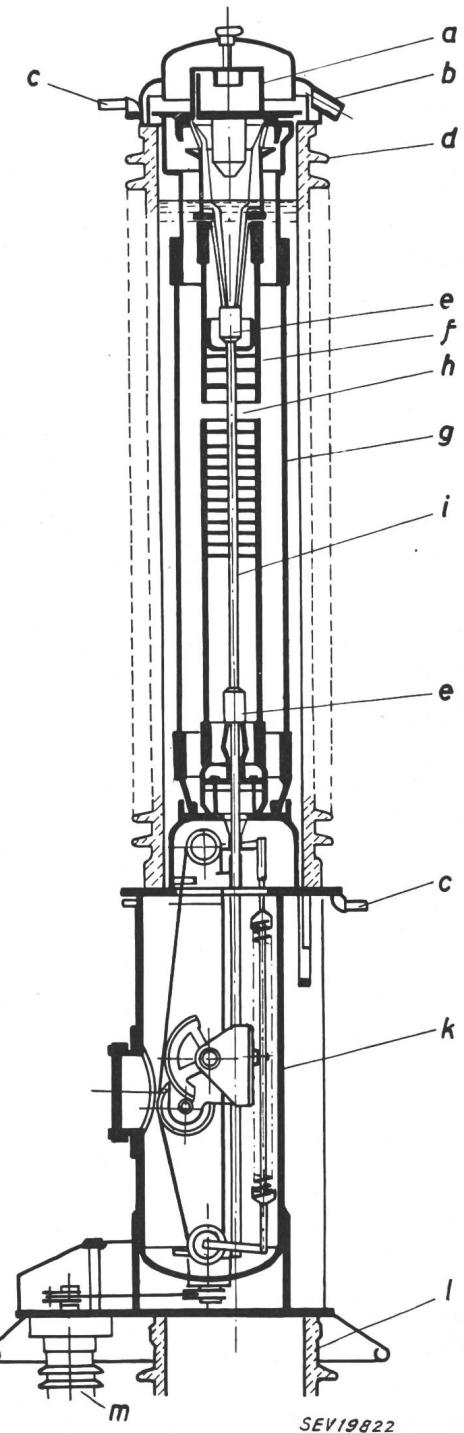


Fig. 2

Schalterpol für 220 kV im Schnitt

Nennstrom 1000 A; Abschaltvermögen 5000 MVA

a Ölabscheider und Sicherheitsventil	g Schaltkammer
b Deckel mit Gasabzugskanal	h freie Ölstrecke
c Anschlussklemme	i Kontaktrohr
d Schaltkammerisolator	k Mittelstück mit Seilantrieb und Kontrollöffnung
e oberer und unterer Kontakt	l Stützer
f obere und untere Löschkammer	m Drehsäule

taketrohrs beherbergende *Mittelstück* und das eigentliche *Schaltelement* auf. Fig. 1 zeigt einen solchen 220-kV-Schalterpol mit dem zugehörigen An-

trieb auf dem Prüfstand in Fontenay. Auch dieser Pol arbeitet, entsprechend der seit 16 Jahren geübten Praxis, wiederum ohne Serietrenner. Das Arbeiten ohne den massebehafteten Serietrenner ergibt eine einfache Mechanik für die Antriebsorgane und reduziert den Platzbedarf einer Gruppe beträchtlich. Insbesondere ergeben sich aber auch kürzere Bewegungszeiten des Schalters, und «Aus-Ein»-Schaltfolgen mit nur 0,25 s Pausenzeit lassen sich ohne Schwierigkeiten erreichen.

Der kräftig gebaute, öllose, aber mit Zwischenböden versehene *Tragisolator* gewährleistet eine sichere Isolierung des spannungsführenden Mittelstückes gegen Erde. Die parallel zum Stützer angebaute, aus Hohlisolatoren mit Zwischenböden bestehende Drehsäule überträgt die vom Antrieb ausgehenden Bewegungen in das Mittelstück.

Das zylinderförmige, metallene *Mittelstück* trägt Schalt- und Löschkammern und umschliesst den Mechanismus für die Betätigung des Kontaktrohres. An Stelle des Hauptantriebhebels, der bei allen Schaltern bis zu 150 kV als letztes Verbindungsglied zwischen Mechanismus und Kontaktrohr verwendet wird, aber für 220 kV etwas weitausladende Gehäuse erfordern würde, tritt hier erstmals ein über Rollen geleitetes und durch ein einfaches Federn- und Hebelsystem dauernd gespanntes Drahtseil. Erst die Anwendung dieses bei Hebezeugen, Liften und Drahtseilbahnen längst erprobten Konstruktionselementes gestattete die enge, zylindrische Bauart des Mittelstückes. In Fig. 2 sind dieser Seilantrieb sowie weitere Details der Konstruktion des Poles ersichtlich.

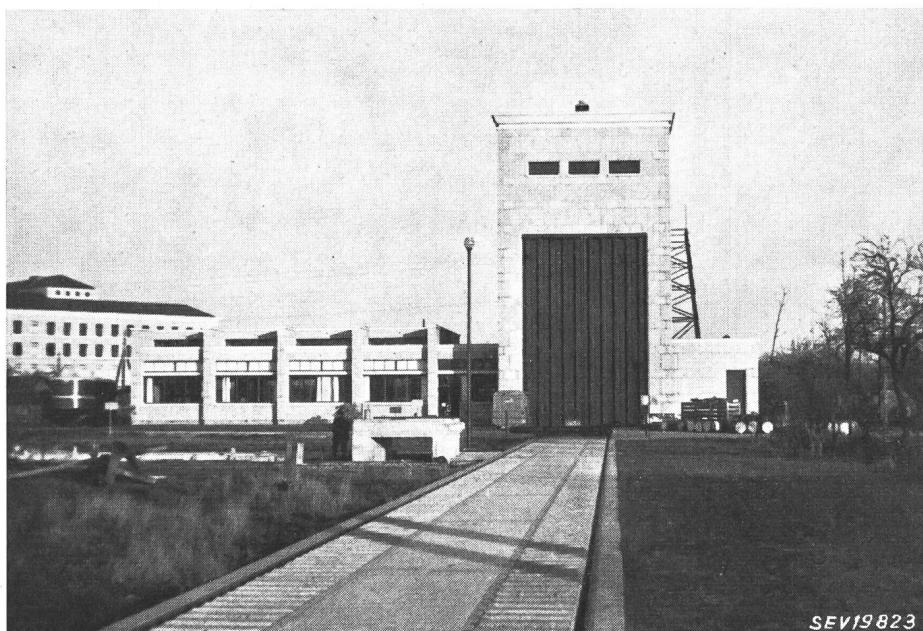
An das Mittelstück schliesst sich nach oben das nur *eine* Unterbrechungsstelle aufweisende *Schaltelement* an. Es enthält die vom Kontaktrohr zu durchlaufende obere und untere Löschkammer (siehe Fig. 2). Die Löschkammeranordnung erlaubt

Abschaltung. Der freie Raum zwischen den Löschkammern verhindert die Bildung von Kriechwegen in den von heissen Gasen umspülten Hartpapierteilen und reduziert die beim Einschalten auftretenden Vorzünddistanzen. Die beiden Löschkammern gewährleisten das sichere Abschalten und Einschalten aller Ströme ohne weitere Hilfsmittel.

Neuerdings wird manchmal für gewisse Grosstransformatoren, welche bei bestimmten Konstruktionen, insbesondere oberhalb ihrer Nennspannung, mit höherer Sättigung arbeiten, die Forderung gestellt, die bei ihrem Abschalten auftretenden Überspannungen zu verringern. Für solche Fälle kann der Schalter mit Schaltwiderständen versehen werden. Der in Fontenay geprüfte Schalter arbeitete ohne jegliche Hilfsmittel dieser Art.

Unterhalb und oberhalb der Löschkammern befinden sich die beiden zur Führung eines Dauerstromes von 1000 A bemessenen, in der üblichen Tulpenform ausgebildeten, kräftigen Hauptkontakte. Die dem Abbrand besonders unterliegenden Kontaktteile, wie Kontaktrohrkopf und Abbrennring, besitzen dauerhafte Spezialbeläge. Die Löschkammern und die Kontakte werden von der Schaltkammer eingeschlossen, und ein diese wiederum umfassender Isolator schützt das ganze Unterbrecherelement vor Witterungseinflüssen. Die Festigung dieses armaturenlosen Isolators auf dem Mittelstück erfolgt mittels der ebenfalls an die Grundplatte geschraubten, hartpapiernen Schaltkammer. Unterbrecherelement und Mittelstück sind mit Öl gefüllt. Ein Ölwechsel oder eine Ölfiltrierung muss erst nach ca. 20...25 Kurzschlussabschaltungen bei vollem Nennausschaltstrom stattfinden. Bei kleineren Strömen erhöht sich diese Zahl auf ein Vielfaches.

Der die Ausschaltbewegung von oben nach unten ausführende Schaltstift zieht beim Unterbrechen des Stromes einen durch die Löschkammern geradlinig geführten und durch die selbstproduzierten Gase axial beblasenen Lichtbogen. Da die dabei auftretenden physikalischen Vorgänge sich unter dauernd ändernden Verhältnissen abspielen, sind sie der Rechnung immer noch nicht vollständig zugänglich. Aus diesem Grunde kommt bei der Entwicklung der Schalter den Versuchen im Kurzschlusshaus auch heute noch grosse Bedeutung zu.



SEV 19823

Fig. 3

Schaltermontageturm mit Werkstatt im Prüfgelände von Fontenay

ein schnelles Abziehen der Lichtbogengase nach oben zum Ölabscheider und ermöglicht ebenso das rasche Wiederfüllen der Kammern mit Öl nach einer

Daneben geben Prüfungen im Netz die Möglichkeit, die im Kurzschlusshaus durchgeföhrten Entwicklungsarbeiten zu kontrollieren und zu ergänzen. Sie

sind von besonderer Wichtigkeit, da der Schalter im Netz unter den wirklich auftretenden Bedingungen arbeitet und die Netzeleistung diejenige des Laboratoriums meistens übersteigt.

III. Die Versuchsstation Fontenay

Diese von der Electricité de France (EdF) erbaute Versuchsanlage [1]¹⁾ liegt in einem Vorort von Paris, im Süden der Seinestadt. Die Station umfasst ein grosses Hochspannungslaboratorium, einen Kabelprüfplatz und die Schalterprüfanlage, welche das Interesse der Fachleute aller Länder geweckt hat. Auf dem reichlich bemessenen Terrain befinden sich ferner ein Montageturm mit Werkstatt (siehe Fig. 3) für die Vorbereitung der Schalter, ein Kommandogebäude mit den Steuer- und Messgeräten für die Durchführung von Schalterversuchen, drei Prüfstände für die Schalter sowie ein Schaltposten als Verbindungsglied zwischen Prüfanlage

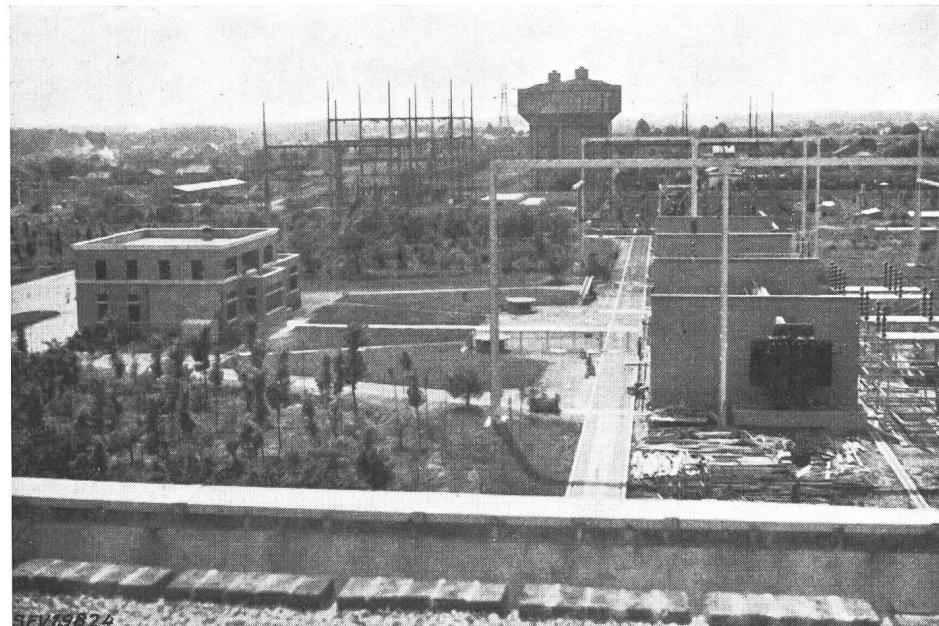


Fig. 4

Ansicht der Schalterprüfanlage von Fontenay

links: Kommandogebäude
rechts: Prüfstände zwischen den Mauern

und 220-kV-Netz. Fig. 4 gibt die Einrichtung zur Prüfung der Schalter wieder.

Am meisten interessieren die Schaltversuche im 220-kV-Netz. Fontenay liegt direkt am 220-kV-Leitungssystem, welches Paris als Ringleitung, die im Westen der Stadt aber noch nicht vollständig geschlossen ist, umgibt. Alle Energie zubringenden Fernleitungen münden in diese Ringleitung ein. Über Transformatoren bestehen zudem Verbindungen mit den in und um Paris befindlichen thermischen Kraftwerken. Fig. 5 vermittelt eine Übersicht über das bei den Versuchen beteiligte 220-kV-Netz. Dank dieser Lage erreicht die Kurzschlussleitung in Fontenay einen Wert, der zu den grössten der in Europa auftretenden zählt. Die Grösse des Kurzschlussstromes kann durch Zuschalten von Fernleitungen und Kraftwerken der Pariser Gegend stufenweise von 600 auf 7000 A erhöht werden. Aus betrieblichen Gründen führt man Kurzschlussversuche mit nur einem Pol unter Benützung einer oder zweier Phasen des Netzes durch, und zwar bei einer Spannung von ca. 130 kV zwischen Phase und Erde und ca. 240 kV zwischen zwei Phasen.

Versuche mit leerlaufenden Leitungen können einpolig oder dreipolig gemacht werden. Es lassen sich Leitungslängen von 18...830 km in Stufen regulierbar zusammenstellen. Die kapazitiven Ladeströme variieren dabei zwischen 10 und 430 A, und

die Spannung beträgt ca. 130...136 kV zwischen Leitung und Erde, entsprechend einer verketteten Spannung von ca. 225...236 kV. Es ist beabsichtigt, die heutige Anlage durch Transformatoren und Generatoren zu ergänzen. Nach der Installation dieser Einheiten dürfte Fontenay eines der bestausgerüsteten Exerzierfelder für Schalter sein.

IV. Ausgeführte Versuche

Grundsätzlich führte man alle von den zuständigen Leitern des französischen Netzes bewilligten

Versuche durch. Aus betrieblichen Gründen mussten die Schaltungen nachts vorgenommen werden.

A. Schalten von Kurzschlüssen zwischen einer Phase und Erde

Der Schalterpol arbeitete hier unter Bedingungen, welche den Verhältnissen in einem starr geerdeten 220-kV-Netz entsprechen. Es wurden 16 Kurzschlussabschaltungen bei Spannungen von 151...134 kV und Strömen von 600...6750 A vollzogen.

B. Schalten von Kurzschlüssen zwischen zwei Phasen

Der Schalterpol befand sich in diesen Fällen direkt zwischen zwei Leitern des 220-kV-Netzes und arbeitete also unter der verketteten Spannung des Drehstromsystems. In dieser abnormen Situation konnte der Schalterpol annähernd den Bedingungen unterworfen werden, welche sich im Falle des Abschaltens in Phasenopposition im starr geerdeten 220-kV-Netz ergeben, oder wie sie beim Unterbrechen eines Erdkurzschlusses in einem geerdeten 400-kV-Netz vorkommen. Im Verlaufe der 13 in dieser Schaltung vorgenommenen Versuche hatte der Pol Ströme von 800...6700 A bei Spannungen von 255...240 kV zu unterbrechen.

Unter diesen, im Abschnitt VI A und VI B aufgezählten Kurzschlussversuchen, befinden sich:

¹⁾ siehe Literatur am Schluss.

19 «Aus-EinAus»-Versuche mit Pausenzeiten von 0,22...0,40 s zwischen Lichtbogenlöschung der ersten Abschaltung und Kontaktberührungen beim Wiedereinschalten.

9 «EinAus»-Versuche und

1 «Aus»-Versuch.

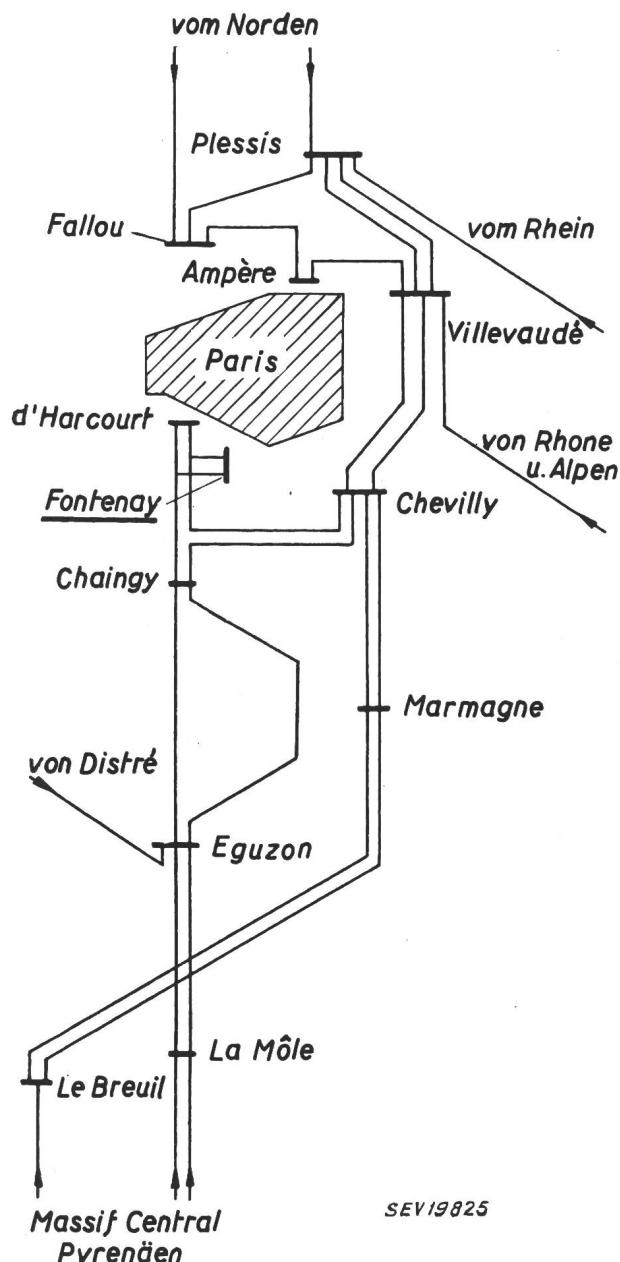


Fig. 5

An den Versuchen in Fontenay beteiligtes 220-kV-Netz

C. Schalten leerlaufender Leitungen

Die ebenfalls einpolig durchgeföhrten Versuche umfassten das Ein- und Abschalten leerlaufender Leitungen von 18, 112, 214, 420 und 828 km Länge unter Phasenspannungen von 130...136 kV, entsprechend verketteten Spannungen von 225...236 kV.

D. Bemerkungen zu den Messungen und Registrierungen

Kurz vor jedem Versuch wurde die Spannung der benützten Phasen gegen Erde voltmetrisch mittelst

Spannungswandlern gemessen. Diese Ablesung diente der Eichung der oszillographisch registrierten Spannungen. Zur Aufzeichnung der interessierenden Größen, wie wiederkehrende Spannungen am Schalter, Spannung auf der Leitung, Netzspannungen; Kurzschluss- oder Ladeströme, Steuerspulenströme, Kontaktrohrbewegungsanzeiger usw., standen zwei, von der EdF selbst entwickelte, mit Kathodenstrahlröhren bestückte Oszillographen [2] zur Verfügung. Das Abgreifen der zu oszillographierenden Spannungen erfolgte über kapazitive Spannungssteiler. Zur Registrierung der Kurzschluss- und Ladeströme wurden Stromwandler benutzt. In Fig. 6 sind die bei den Versuchen in Fontenay verwendeten Schalt- und Meßschemata in grossen Zügen dargestellt.

V. Versuchsergebnisse

A. Kurzschlussversuche

Die Station Fontenay liegt besonders günstig bezüglich des Paris umgebenden 220-kV-Leitungssystems. Durch entsprechende Wahl der speisenden Werke lassen sich in Fontenay verschiedene grosse Kurzschlußströme einstellen. Bei Kurzschlüssen zwischen den Phasen ergibt sich praktisch dieselbe Stromstärke wie im Falle von Erdkurzschlüssen, dieselben speisenden Werke vorausgesetzt. Durch Umlegen der in der Nähe des Prüfobjektes angebrachten Kurzschlussverbindung K (siehe Fig. 6) kann sofort vom Erd- zum Phasenkurzschluss umgeschaltet werden.

Die in den Tabellen unter den Versuchsserien A...F angegebenen Stromstärken liessen sich durch folgende Netzschatungen (siehe auch Fig. 5) erreichen.

Serie A

Die Speisung der Kurzschlußstelle erfolgte durch in den Pyrenäen und im Massif Central liegende Werke über eine direkte Leitung Eguzon–Fontenay.

Serie B

Hier erfolgte die Speisung von Fontenay wiederum durch Werke des Massif Central und der Pyrenäen über eine direkte Leitung Chaingy–Fontenay.

Serie C

Die Kurzschlussenergie wurde in diesem Falle geliefert von den am Rhein, an der Rhone und in den Alpen sich befindenden Wasser- und den thermischen Kraftwerken im Norden Frankreichs und in der Pariser Gegend, über eine direkte Leitung Villevaudé–Fontenay.

Serie D

Die unter C genannten Zentralen waren mit einigen Werken des Massif Central am Kurzschluss beteiligt. Speisung von Fontenay ab Chevilly über eine direkte Leitung.

Serie E

Hier speisten wiederum die unter C genannten Werke. Dazu kamen über eine direkte Leitung d'Harcourt–Fontenay die mit der Station d'Harcourt verbundenen thermischen Werke der Pariser Gegend sowie Kraftwerke der Pyrenäen und des Massif Central.

Serie F

Bei diesen Versuchen waren alle Werke des Massif Central, der Pyrenäen, der Alpen, die am Rhein, an der Rhone liegenden, die Kraftwerke von Nordfrankreich und die um Paris sich befindenden, d. h. praktisch alle französischen Kraftwerke, über das 220-kV-Netz an der Speisung des Kurzschlusses beteiligt.

schaltzeiten von 0,064...0,072 s. Im Falle von «Aus-EinAus»-Versuchen arbeitete man mit Pausenzeiten von 0,23...0,40 s.

Der Scheitelwert des Einschaltstromes erreichte maximal 13,2 kA. Ein Vergleich der in der Tabelle aufgeführten Lichtbogen- und Ausschaltzeiten zeigt deutlich deren Abnahme bei grösser werdenden Stromstärken.

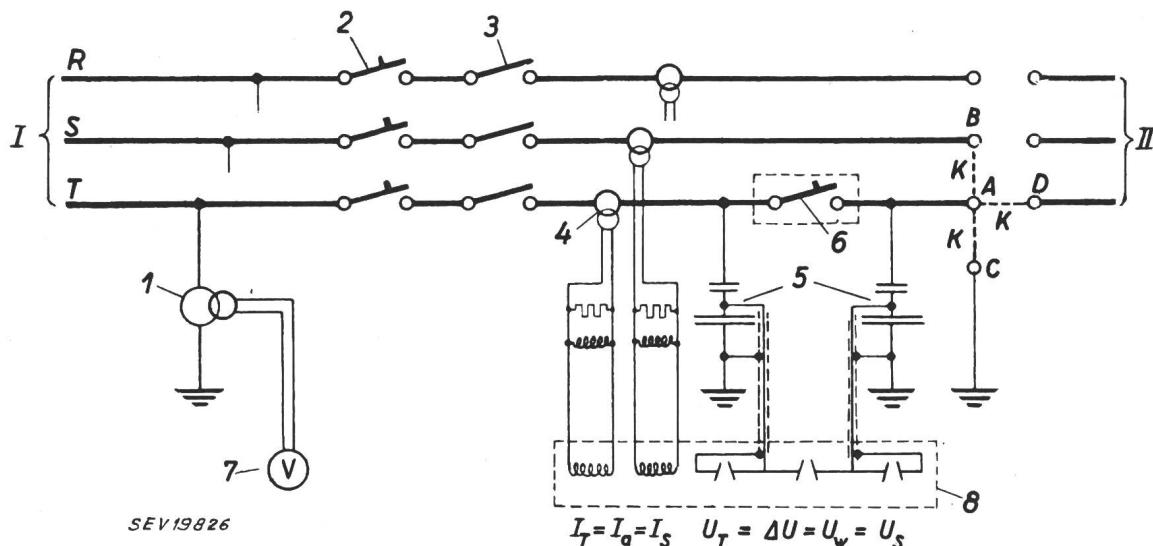


Fig. 6

Schalt- und Meßschema der Versuche in Fontenay

I vom Netz; II zum Netz zurück; 1 Spannungswandler; 2 Schutzschalter; 3 Trenner; 4 Stromwandler; 5 Spannungs- teiler; 6 zu prüfender Schalter; 7 Voltmeter; 8 Kathodenstrahloszillograph

Bei Kurzschlüssen Phase T-Erde liegt die Verbindung K zwischen den Punkten A und C. Bei Kurzschlüssen zwischen den Phasen T und S liegt die Verbindung K zwischen den Punkten A und B. Bei Versuchen mit leerlaufenden Leitungen führt die Verbindung K von Phase T Punkt A nach Punkt D der leerlaufenden Leitung

Mit jeder Stromstärke hatte der Schalter eine «EinAus»- und zwei bis drei «Aus-EinAus»-Schaltfolgen zu vollziehen. Die wichtigsten auf diese Kurzschlussversuche sich beziehenden Ergebnisse sind in den Tabellen I und II enthalten.

Ergebnisse der Versuche mit Kurzschluss zwischen einer Phase und Erde

Tabelle I

Anzahl Ver- suche	Vom Pol unterbroch. symmetri- scher Strom	Vom Pol abgeschalt. symmetr. Leistung	Licht- bogen- zeiten	Ausschalt- zeiten	Spei- sende Werke Serie ¹⁾	
	kV	A	MVA	es	es	
4	143...151	600...620	86...94	2,6...5,0	7,2...9,6	A
3	135...139	1360...1440	180...200	2,2...4,5	6,7...9,1	B
1	139	2600	360	2,1...2,5	6,6...8,5	C
3	132...134	4050	520...540	2,4...3,6	6,6...7,2	D
1	136	5900	805	2,4...4,5	6,7...9,5	E
4	134	6500...6750	870...905	1,5...2,5	6,4...7,2	F

¹⁾ Speisende Werke unter V A hievor.

Bemerkungen zu den Kurzschlussversuchen Phase-Erde in Tabelle I:

Die wiederkehrende Spannung am Pol erreichte maximal den Wert von 151 kV. Die grösste Leistung, nämlich 905 MVA, bewältigte der Pol beim Unterbrechen von 6750 A mit einer wiederkehrenden Spannung am Pol von 134 kV. Dabei ergaben sich Lichtbogenzeiten von 0,015...0,025 s, bzw. Aus-

Ergebnisse der Versuche mit Kurzschlüssen zwischen zwei Phasen

Tabelle II

Anzahl Versuche	Am Pol wieder- kehrende Spannung kV	Vom Pol unterbroch. symmetr. Strom A	Vom Pol abgeschalt. symmetr. Leistung MVA	Licht- bogen- zeiten cs	Ausschalt- zeiten cs	Spei- sende Werke Serie ¹⁾
3	253...255	780...800	195...205	5,0...7,0	9,5...11,0	A
3	239...242	1460...1495	350...360	4,5...5,6	9,1...10,0	B
1	240	2750	660	4,7...5,7	8,8... 9,7	C
2	238	4180	1000	4,5...4,7	8,7...10,2	D
3	236...238	4740...5500	1120...1380	3,5...4,5	8,0... 8,9	E
1	240	6700	1610	2,9...4,7	7,8... 8,8	F

¹⁾ Speisende Werke unter V A hievor.

Bemerkungen zu den Kurzschlussversuchen Phase-Phase (Tabelle II):

Die höchste wiederkehrende Spannung von 255 kV trat auf nach der Unterbrechung von 800 A. Die grösste Leistung, nämlich 1610 MVA, stellte man beim Abschalten von 6700 A bei 240 kV mit Lichtbogenzeiten von 0,029...0,047 s, bzw. Ausschaltzeiten von 0,078...0,088 s fest. Die Pausenzeiten bewegten sich zwischen 0,22 und 0,35 s. Der Scheitelwert des Einschaltstromes betrug im Maximum 15,8 kA.

Auch hier stellte man wiederum das Abnehmen der Lichtbogen- und damit der Ausschaltzeiten mit steigenden Kurzschlüssen fest. Die Fig. 7 und 8

zeigen während dieser Versuche aufgenommene Oszillogramme mit «Aus-EinAus»-Schaltfolgen.

Fig. 9 zeigt den Verlauf des Überspannungsfaktors, d. h. des Verhältnisses des Scheitelwertes der

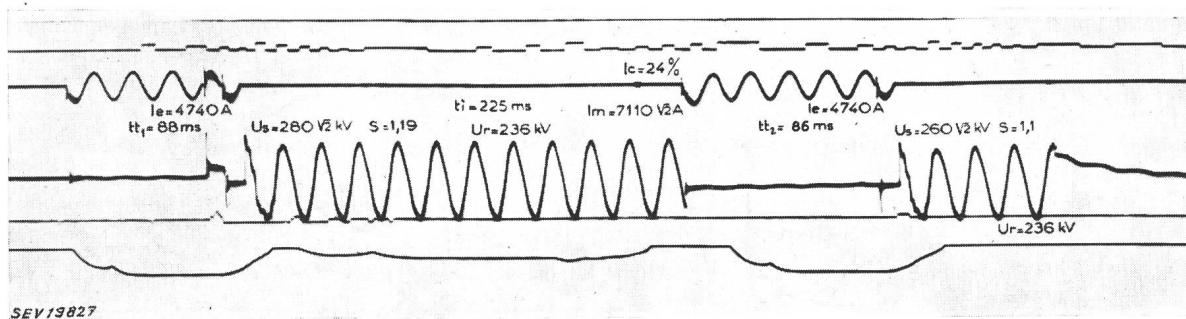


Fig. 7

Oszillogramm eines «Aus-EinAus»-Versuches mit Kurzschluss zwischen zwei Phasen des 220-kV-Netzes, ausgeführt mit dem beschriebenen Schalterpol

Wiederkehrende Spannung am Pol	$U_r = 236 \text{ kV}$	Pausenzeit	$t_1 = 0,255 \text{ s}$
Unterbrochener Strom	$I_e = 4740 \text{ A}$	Abschaltzeiten	$0,088 \text{ und } 0,086 \text{ s}$
Vom Pol abgeschaltete Leistung	$= 1120 \text{ MVA}$		

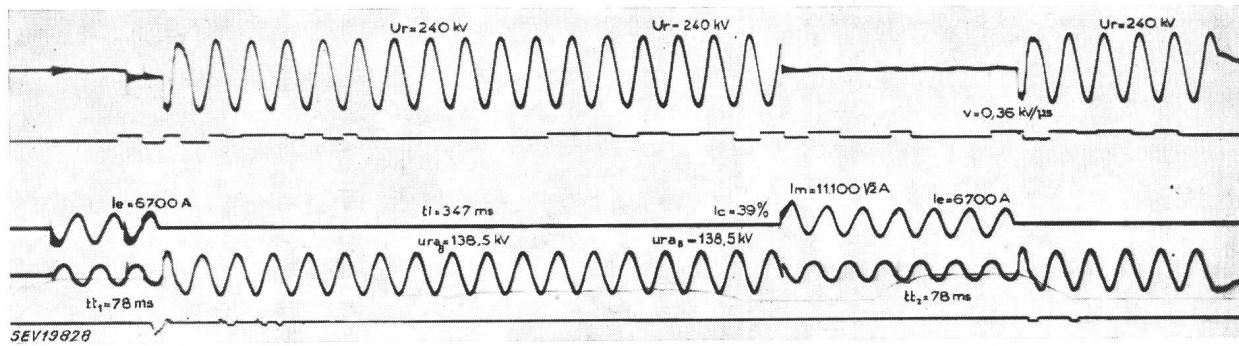


Fig. 8

Oszillogramm eines «Aus-EinAus»-Versuches mit Kurzschluss zwischen zwei Phasen des 220-kV-Netzes, ausgeführt mit dem beschriebenen Schalterpol

Wiederkehrende Spannung am Pol	$U_r = 240 \text{ kV}$	Pausenzeit	$t_1 = 0,34 \text{ s}$
Unterbrochener Strom	$I_e = 6700 \text{ A}$	Abschaltzeiten	$0,078 \text{ u. } 0,088 \text{ s}$
Vom Pol abgeschaltete Leistung	$= 1610 \text{ MVA}$		

Dieser Versuch entspricht der Abschaltung eines dreipoligen, isolierten Kurzschlusses von 3220 MVA bei einer verketteten Spannung von 278 kV, oder der Abschaltung eines dreipoligen Erdkurzschlusses von 4830 MVA bei 416 kV

B. Ein- und Abschalten leerlaufender Leitungen

Der Schalterpol bewältigte neben den Kurzschlussversuchen auch eine grosse Zahl von Schaltungen mit leerlaufenden Leitungen. Tabelle III enthält Details betreffend dieser Versuche.

Ergebnisse der Abschaltversuche mit leerlaufenden Leitungen
Tabelle III

Abgeschaltete Leitung	Speisung der Leitung durch Station	Leitungslänge km	Ladestrom ¹⁾ A	Spannung Leitung-Erde ¹⁾ kV	Überspannungsfaktor ²⁾
Fontenay-Chevilly	Chaingy + d'Harcourt	18	10	132	0,58...0,71
Fontenay-Chaingy	Chevilly	112	43	133	0,58...0,87
Fontenay-Marmagne	Chaingy + d'Harcourt	214	90	136	0,58...1,06
Fontenay-Le Breuil	Chaingy + d'Harcourt	420	192	136	0,98...1,20
Fontenay-Le Breuil-Chevilly	Chaingy + d'Harcourt	828	429	134	0,80...1,10

¹⁾ Scheitelwert dividiert durch $\sqrt{2}$.

²⁾ Überspannungsfaktor = Verhältnis des Scheitelwertes der Überspannung auf der Leitung gegen Erde nach der Abschaltung zum Scheitelwert der verketteten 50-Hz-Spannung vor der Abschaltung. Die Abschaltzeiten variierten zwischen 0,06 und 0,10 s.

Überspannung auf der Leitung gegen Erde nach der Abschaltung zum Scheitelwert der verketteten 50-Hz-Spannung vor der Abschaltung in Funktion

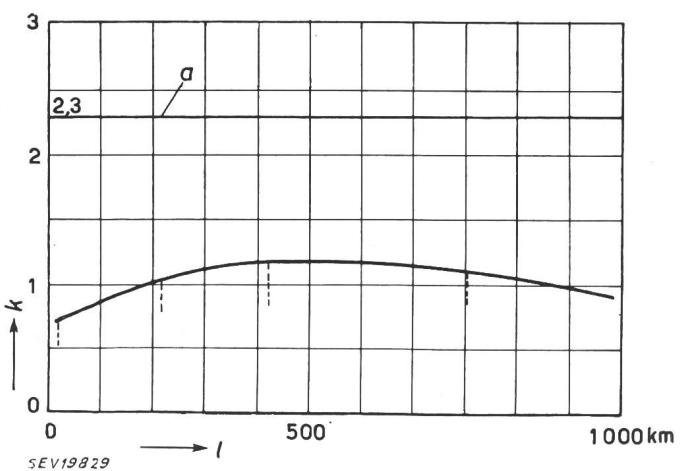


Fig. 9
Versuche in Fontenay

Überspannungsfaktor k in Funktion der Länge l der abgeschalteten Leitung
 a Vorgeschriebene Prüfspannung für 220-kV-Material (Minutenprüfung)

$k = \frac{\text{Scheitelwert der Überspannung Leitung-Erde}}{\text{Scheitelwert der verketteten 50-Hz-Spannung}}$

der Leitungslänge. Die beim Abschalten leerlaufer Leitungen aufgetretenen Überspannungen ergaben bedeutend kleinere Spannungswerte als diejenigen, welche für die Minutenprüfung des 220-kV-Materials vorgeschrieben sind.

C. Allgemeines Verhalten des Schalterpoles während der Versuche

Der Schalter meisterte diese Versuche ohne Schwierigkeiten. Das Arbeiten gab zu keinerlei Störungen Anlass. Es waren weder Feuererscheinungen noch Ölverluste festzustellen. Nur bei der Abschaltung grösserer Kurzschlussströme entwich dem Auspuff ein kleines Rauchwölklein. Für alle Versuche

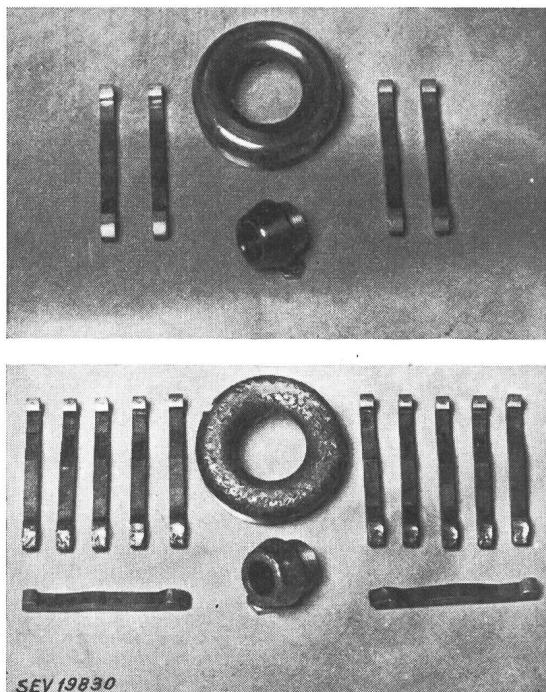


Fig. 10
Kontaktteile

oben: neue Kontakte
unten: Kontakte, welche bei allen Versuchen verwendet wurden

verwendete man die gleichen Kontakte und dasselbe Öl. Fig. 10 zeigt diese Kontakte vor und nach den Versuchen.

Alle Teile des Poles waren nach Abschluss der Versuche noch in sehr gutem Zustand; die Kontakte hätten ohne weiteres noch für mehrere Versuchsserien dieser Art verwendet werden können.

VI. Diskussion der Resultate im Hinblick auf eine dreipolige Schaltergruppe

Die am Schalterpol bei den Kurzschlussversuchen auftretenden Beanspruchungen lassen sich nach zwei verschiedenen, nachstehend unter a und b aufgeführten Gesichtspunkten auf die dreipolige Schaltergruppe übertragen.

Fall a

Der Nullpunkt des Netzes sei, entsprechend der bei Höchstspannungen üblichen Ausführungsart, starr geerdet. Es handle sich um dreipolige Kurz-

schlüsse. Mit von der Erde isolierten Kurzschlüssen sei nicht zu rechnen, was für die hier in Betracht gezogenen Höchstspannungsnetze wohl ausnahmslos zutreffen dürfte.

Als wiederkehrende Spannung erscheint an den Polen praktisch die Phasenspannung, und es ergibt sich die dreipolare Abschaltleistung als Dreifaches der einpoligen, die verkettete Spannung beträgt das $\sqrt{3}$ -fache der am Pol wiederkehrenden Spannung.

Einige einpolige erzielte, auf den dreipoligen Schalter umgerechnete Ergebnisse sind in Tabelle IV zusammengestellt.

Fall b

Der Nullpunkt des Netzes sei nicht starr geerdet, die Kurzschlüsse seien dreipolig.

In diesen Fällen muss der erstlöschende Pol den Kurzschlussstrom bekanntlich unter der 1,5fachen Phasenspannung abschalten, während die beiden anderen Pole zusammen nur unter der verketteten Spannung einen um ca. 15 % kleineren Strom zu unterbrechen haben. Die bei der Prüfung mit nur einem Pol erzielten Resultate sind daher mit den vom erstlöschenden Pol zu beherrschenden Beanspruchungen zu vergleichen.

Auf gleiche Weise müsste in Netzen mit starr geerdetem Nullpunkt vorgegangen werden, falls doch mit dem Auftreten von dreipoligen, von der Erde isolierten Kurzschläßen gerechnet würde. Für zweipolige, von der Erde isolierte Kurzschlüsse ist die Beanspruchung kleiner als im Falle a.

Die mit dem Schalterpol erreichten Hauptergebnisse sind unter Berücksichtigung des eben Gesagten auf dreiphasige Verhältnisse umgerechnet und ebenfalls in der Tabelle IV eingetragen worden.

Einpolig erzielte und auf dreipolare Schalter umgerechnete Hauptresultate

Tabelle IV

Versuch	einpolige Resultate			auf dreipolare Schalter umgerechnet			
	Wiederkehrende Spannung kV	Symmetrischer Abschaltstrom A	Symmetrische Abschaltleistung MVA	Verkettete Spannung kV	Dreipolare, symmetrische Abschaltleistung MVA	Verkettete Spannung kV	Dreipolare, symmetrische Abschaltleistung MVA
1	151	620	94	262	282	174	188
2	251	800	205	442	615	295	410
3	134	6750	905	232	2715	155	1810
4	240	6700	1610	416	4830	278	3220

Versuche 1 und 3: Versuche 2 und 4:
Kurzschlüsse Phase-Erde Kurzschlüsse Phase-Phase

Im Verlaufe dieser, zahlreiche «EinAus»- und «Aus-EinAus»-Schaltfolgen umfassenden Versuche konnte das einwandfreie Funktionieren des neuen 220-kV-Schalters für zwischen 600 und 7000 A liegende Ströme nachgewiesen werden, und zwar:

im Falle a:

bis zu Spannungen von 442 kV und Abschaltleistungen von 4830 MVA;

im Falle b:

bis zu Spannungen von 295 kV und Abschaltleistungen von 3220 MVA.

VII. Schlussfolgerungen

Der neue Ölstrahlschalter für 220 kV hat die zu den grössten in Europa zählende maximale Kurzschlussleistung von Fontenay mehrmals erfolgreich abgeschaltet. Weder die beiden, im Falle von «Aus-EinAus»-Zyklen, innerhalb von 0,3...0,45 s zu bewältigenden Unterbrechungen noch das dazwischen auszuführende Einschalten auf Kurzschluss bereiteten dem Schalter Schwierigkeiten. Total wurden 29 Kurzschlussversuche durchgeführt, ohne die Kontakte oder das Öl zu wechseln. Das allgemeine Verhalten des Schalters beim Abschalten dieser Kurzschlussleistungen liess allein schon den Schluss zu, dass der Schalter noch grösseren Beanspruchungen hätte ausgesetzt werden können. Das einwandfreie Arbeiten des Schalters bei stark erhöhten Spannungen konnte ebenfalls nachgewiesen werden. Der Schalter bewältigte, bezogen auf ein starr geerdetes 220-kV-Netz, eine Kurzschlussleistung von 4830 MVA bei 416 kV, unterbrach also unter Bedingungen, welche nahezu den Verhältnissen der Phasenopposition entsprechen. Das Abschalten leerlaufender Leitungen bis zu 830 km Länge vollzog sich ebenfalls ohne Schwierigkeiten. Die Überspannungswerte auf der Leitung liegen bedeutend unter denjenigen, welche für die Minutenprüfung vorgeschrieben sind.

Nach den Versuchen waren alle Schalterteile praktisch gleich wie im Neuzustand. Selbst die Kontakte hätten noch für mehrere Versuchsserien dieser Art verwendet werden können.

VIII. Dank an die Electricité de France

Wir möchten bei dieser Gelegenheit den leitenden Instanzen der Electricité de France unseren besten Dank dafür aussprechen, dass sie uns die Durchführung der so aufschlussreichen Versuche in Fontenay ermöglicht haben. Die Tatsache, auch als ausländische Konstruktionsfirma in der Station zugelassen worden zu sein, wissen wir besonders zu schätzen. Unser Dank gilt aber auch dem von der EdF gestellten Personal, das die Versuche durchführte und uns allzeit kameradschaftlich unterstützt und damit wesentlich zum guten Ablauf der Arbeiten und Versuche beigetragen hat.

Literatur

- [1] Maurice Laborde: Le rôle des essais directs sur les réseaux électriques dans le développement du matériel à haute tension. (Bulletin de la Société Française des Électriciens, avril 1951, page 156 à 176.)
- [2] Yves Baron: Un nouvel oscilloscophe pour l'étude du fonctionnement des disjoncteurs. (Revue Générale de l'Électricité, février 1950, page 91 à 96.)

Adresse des Autors:

H. Ehrenspurger, dipl. Ing. ETH, Sprecher & Schuh A.-G., Aarau, Kyburgerstrasse 35, Aarau.

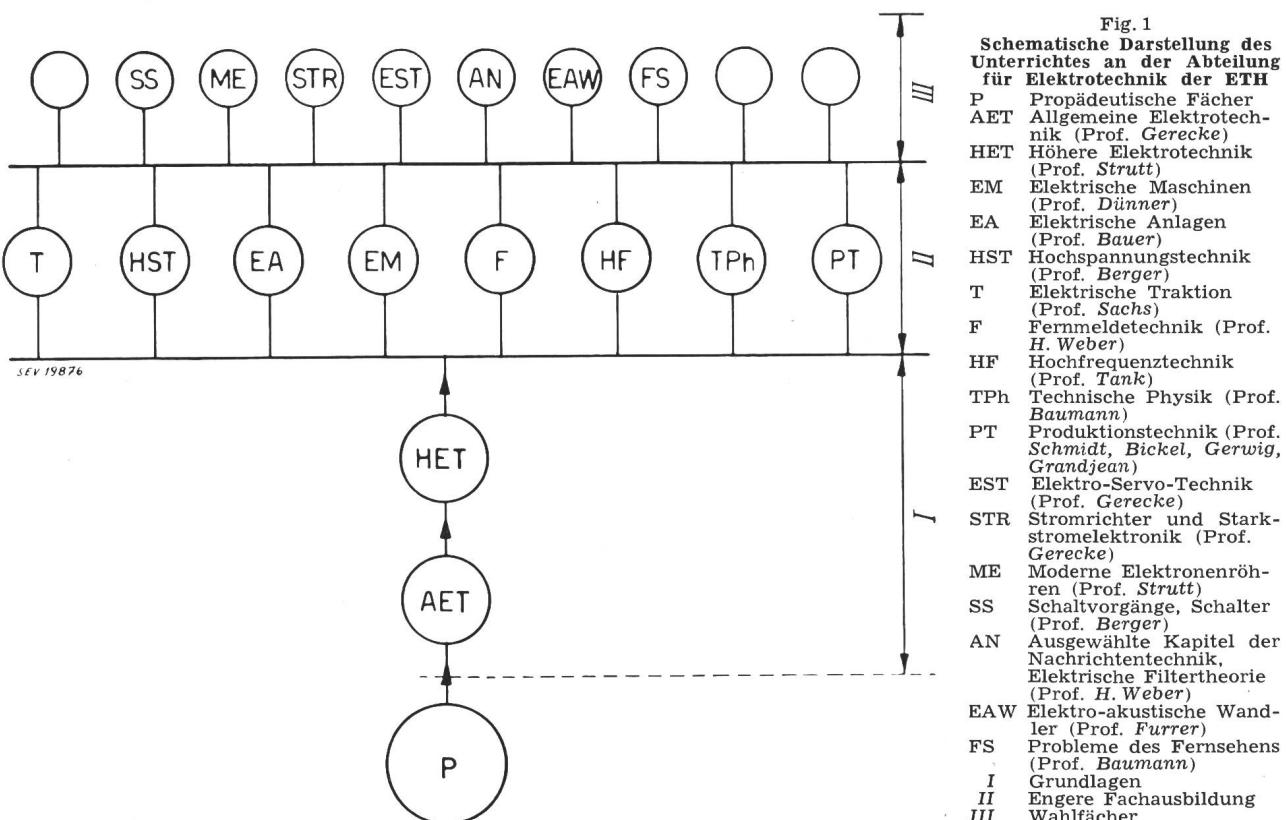
Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Neuordnung des Unterrichtes an der Abteilung für Elektrotechnik der ETH

621.3 : 378.962 (494)

Mit dem 1. Oktober 1951 ist durch die Einführung des neuen Studienplanes eine teilweise Neuordnung des Unter-

Veranlassung. Der Unterricht muss sich als organisches Gebilde ähnlich wie ein Lebewesen dauernd den äussern Um-



richtes an der Abteilung für Elektrotechnik der Eidg. Techn. Hochschule eingetreten. Verschiedene Gründe gaben hiezu

ständen anpassen. Angesichts der fortwährenden und sehr beträchtlichen Vergrösserung des Gesamtgebietes der Elek-