

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 20 (1929)
Heft: 5

Artikel: Hochleistungsprüfanlagen für Ölschalter
Autor: Heusser, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056808>

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: 18.01.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke } REDAKTION } Zürich 8, Seefeldstr. 301 } Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité

Verlag und Administration } Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G. } Zürich 4, Stauffacherquai 36/38 } Editeur et Administration

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet | Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XX. Jahrgang
XX^e Année

Bulletin No. 5

März I 1929
Mars I

Hochleistungsprüfanlage für Oelschalter.

Von E. Heusser, Aarau.

621.317.35 (0068)

Die Ateliers de Constructions Electriques de Delle haben eine Hochleistungsanlage zur Prüfung von Oelschaltern erstellt, welche in diesem Aufsatz beschrieben ist. Als Energiequelle dient das Netz von Lyon. Die Versuchsgruppe besteht aus einem Asynchronmotor, Dauerleistung 1350 PS, 1500 Umdr./min, 10 Min.-(Anlasszeit)-Leistung 2700 PS, einem direkt gekuppelten Drehstromgenerator, Dauerleistung 50 000 kVA, einem aufgesetzten Erreger und einem über Reduktionsgetriebe arbeitenden Anwurfmotor. Das Schwungmoment GD^2 des drehenden Teiles beträgt 32 tm^2 . Installiert sind ferner zwei Transformatoren, ein eigentlicher Hochleistungs-Hochspannungstransformator von 400 000 kVA kurzzeitiger Leistung bei verschiedenen Spannungen bis 107 500 V, und ein Hochstromtransformator für elektrodynamische Versuche für 100 000 A (20 sec), resp. 250 000 A (3 sec) bei 90 V. — Während der Kurzschlussversuche wird der Asynchronmotor vom Netz abgeschaltet; die Verluste in den Maschinen, im Transformator und im Lichtbogen werden dann unter Geschwindigkeitsverlust durch die kinetische Energie der rotierenden Teile gedeckt.

Les Ateliers de Constructions Electriques de Delle ont construit une installation de forte puissance, décrite dans cet article, pour l'essai d'interrupteurs à huile. L'installation est alimentée par le réseau de Lyon. Le groupe d'essai comprend un moteur asynchrone de 1350 chevaux en régime continu, 1500 tours/min, 2700 chevaux pendant les 10 minutes du démarrage, une génératrice triphasée accouplée directement, de 50 000 kVA en régime continu, une excitatrice en bout d'arbre et un moteur de lancement travaillant par l'intermédiaire d'un engrenage de réduction. Le moment d'inertie GD^2 de la partie tournante atteint 32 tm^2 . Sont installés en outre deux transformateurs, l'un de grande puissance et à haute tension (400 000 kVA temporairement, tensions jusqu'à 107,5 kV), l'autre à forte intensité (100 000 A pendant 20 sec. ou 250 000 A pendant 3 sec., sous 90 V) pour des essais électrodynamiques. Durant les essais de court-circuit, le moteur asynchrone est déconnecté du réseau; les pertes dans les machines, dans le transformateur et dans l'arc sont couvertes alors par l'énergie cinétique des parties tournantes, au détriment de la vitesse.

Am 10. Januar d. J. wurde unter grosser Beteiligung seitens der französischen Elektrizitätswerksbetriebe eine Hochleistungsprüfanlage für Oelschalter eingeweiht, welche die Ateliers de Constructions Electriques de Delle auf ihrem Fabrikareal in Lyon-Villeurbanne errichtet hatten. Diese Prüfanlage vermag sowohl bezüglich der Anordnung und der verfügbaren Leistung das Interesse auch schweizerischer Kreise auf sich zu ziehen, umsomehr, als sich ein schweizerisches Unternehmen, die Fabrik elektr. Apparate Sprecher & Schuh A.-G., durch vertragliches Abkommen die technische Mitbenützung gesichert hat.

Es ist wohlbekannt, dass seit einer Reihe von Jahren sowohl in der Schweiz, als in unseren Nachbarländern Anstrengungen gemacht wurden zur Errichtung neutraler Hochleistungsprüfanlagen, in welchen die Oelschalter verschiedener Herkunft auf ihre Leistungsfähigkeit geprüft werden könnten¹⁾. Man kann darüber im Zweifel

¹⁾ Siehe Bull. S. E. V. 1928, S. 712.

sein, ob das grössere Interesse an der Errichtung neutraler Prüfanlagen bei den Elektrizitätswerken als Verbraucher der Oelschalter, oder bei den Konstrukteuren, d. h. den Fabriken elektrischer Apparate, liegt. Von entscheidender Bedeutung scheint uns dabei die Tatsache zu sein, dass die Aufgaben, welche diese Prüfanlagen zu erfüllen haben, bei den beiden Interessengruppen verschieden sind. Während es sich bei den Elektrizitätswerken in den meisten Fällen um die Nachprüfung garantierter Leistungen von Oelschaltern handelt, sind die Konstrukteure viel mehr an der Lösung grundsätzlicher Konstruktionsfragen, der Prüfung neuer Konstruktionselemente und der Erforschung physikalischer Phänomene interessiert. Sie werden deshalb solche Prüfanlagen oft für längere Zeit dauernd in Anspruch nehmen müssen. Die bisherigen Erfahrungen scheinen deshalb auch allgemein dazu zu führen, dass die Konstrukteure ihre eigenen Prüfanlagen zu bauen haben, was andererseits durchaus nicht verhindern dürfte und verhindert wird, neutrale Prüfanlagen für die Elektrizitätswerke zu erstellen.

Wir wollten diese Erwägungen vorausschicken, um nicht etwa den Eindruck zu erwecken, die bisherigen Anstrengungen für eine neutrale Prüfanlage in der Schweiz, die noch nicht zu einem positiven Erfolg führten, müssten mit der Zeit an Bedeutung verlieren und sie könnten einer Verwirklichung des Projektes nicht mehr entgegengeführt werden.

Die Prüfanlage der Ateliers de Constructions Electriques de Delle (A CED).

Die vielen Umstände und Hindernisse, welche sich bei der Durchführung von Schalterversuchen in den Netzen verschiedener Klienten für die Verständigung mit dem technischen Dienst der Fabrik ergaben, machten es vor allem wünschenswert, die Versuchsanlage den technischen Werkstätten der A CED anzugliedern. Die Speisung der Versuchsstation mit elektrischer Energie dagegen liess bei dieser Platzierung Schwierigkeiten voraussehen, welche selbst in einem Verteil-Zentrum von der Bedeutung Lyons nicht vernachlässigt werden konnten. Sie liegen nicht in der Grösse der benötigten Leistung, welche nur ca. 2500 PS beträgt, sondern vielmehr in der Unregelmässigkeit des Konsums. Das stromliefernde Werk, die Société Générale de Force et Lumière, bewies allerdings in dieser Beziehung eine grosszügige Auffassung, indem es eine besondere Leitung von 2 km Länge baute, um die Prüfanlage direkt mit seiner grossen Verteilstation „Vaulx-en-Verlin“ zu verbinden, wodurch störende Einflüsse auf das städtische Netz so gut wie ausgeschlossen sind.

Allgemeine Anlage.

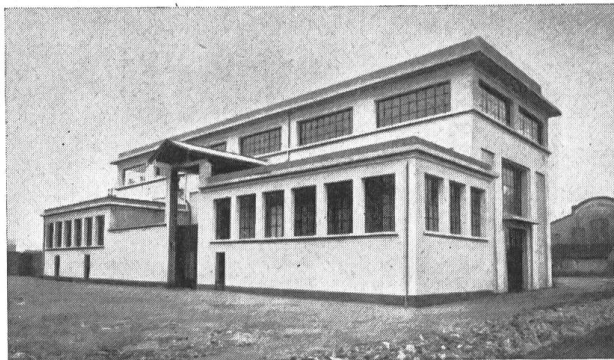


Fig. 1.
Aussenansicht der Versuchsstation.

Fig. 1 gibt in einer Aussenansicht die Prüfstation wieder. Fig. 2 veranschaulicht die Maschinenhalle. Die schematische Anordnung der Stromzuführung und der Verbindung des Versuchsgenerators, des Transformators und der zu prüfenden Schalter zeigt Fig. 3. Vorläufig ist ein einziger Versuchsgenerator installiert. Es ist jedoch Platz vorgesehen für eine Erweiterung der Anlage durch einen gleichgrossen Generator, der die Kapazität der Prüfanlage auf das Doppelte bringen soll. Generator und Transformator stehen in einer offenen Halle von $(38 \times 11) \text{ m}^2$

Grundfläche, welche mit einem 50 t-Kran befahren werden kann und dessen Laufbahn über das Gebäude hinaus verlängert ist und ein zugeführtes Eisenbahngeleise bestreicht. In einem Nebentrakt seitlich der grossen Halle sind untergebracht: Die

Apparate für die Stromzuführung mit 10000 V, d. h. die notwendigen Oelschalter, Trenner, Drosselspulen usw. Es folgt dann ein abgeschlossener Hof, in welchem die Prüfschalter aufgestellt werden, sodann anschliessend daran der Oscillographen- und Messraum, von welchem aus das Verhalten der Oelschalter während der Abschaltung in geschütztem Unterstand beobachtet werden kann, und endlich ein Batterie- und ein Bureau-Raum. Vom Messraum aus ist die Verbindung mit der Maschinenhalle hergestellt, wo anschliessend an den Messraum die Kommando-schaltanlagen an passender Stelle installiert sind.

Auf das Anlagenschema im Einzelnen eintretend, ergeben sich folgende Hauptteile:

1. *Die Stromzuführungsanlage.* Sie besteht aus einem Satz Sammelschienen *B* mit den Ausschaltern 1, 2 und 4, womit der Zuführungsstromkreis und die Abzweigungen nach verschiedenen Maschinen und den Hilfsdiensten kontrolliert werden. Dieser Teil bietet weiter nichts besonders bemerkenswertes.

2. *Die 9000 V Seite.* Sie stellt die Hochleistungs-Stromquelle dar mit den Sammelschienen *A*, über welche der Prüfgenerator entweder direkt oder über einen besonderen Transformator mit den Versuchsschaltern verbunden wird.

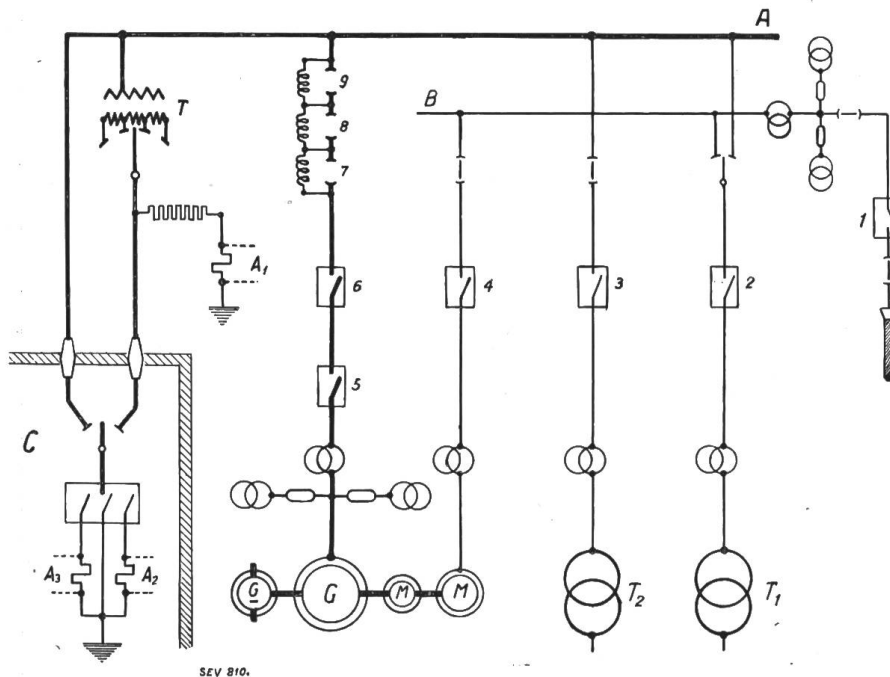
Neben dem eigentlichen Hochleistungs-Hochspannungs-Transformator *T* im Schema, auf dessen Beschreibung wir noch zurückkommen, wurde ein zweiter Transformator *T*₂ installiert, mit welchem Hochstromversuche gemacht werden können. In allen Fällen fliesst der Strom des Generators vorerst durch den Schalter 5, welcher als Schutzschalter installiert und bestimmt ist, im Falle des Versagens des Versuchsschalters den Generator abzuschalten. Er besitzt eine Ausschaltleistung von 1 Million kVA. Der Strom fliesst sodann durch einen zweiten Schalter 6, mittels welchem der Kurzschluss eingeschaltet wird. Dieser Schalter ist ausgerüstet mit Hilfskontakten zur Steuerung des Prüfschalters, in der Weise regulierbar, dass der Moment der Auslösung des Prüfschalters beliebig vor- oder nach dem Einschalten des Schalters 6 eingestellt werden kann.

Es ist möglich, durch entsprechende Voreilung der Auslösung des Prüfschalters den Moment der Abschaltung so zu wählen, dass er mit der maximalen Kurzschlussstromstärke des Generators (erste Halbwelle) zusammenfällt. Nach dem Schalter 6 sind die Reaktanzspulen eingeschaltet. Sie können einzeln kurzgeschlossen werden



Fig. 2.
Maschinenhalle.

mittels der Trenner 7, 8 und 9. Durch Benützung der verschiedenen Anzapfungen der Drosselspulen ist es auch möglich, die Reaktanz auf 71, 50, 38, 28, 20, 16 oder 12 % der Gesamt-Reaktanz zu regulieren. Nachher fließt der Strom entweder direkt



SEV 810.

Fig. 3.

Generelles Schema der Anlage.

auf den Prüfschalter, oder auf einen der Transformatoren T oder T_2 , oder schliesslich zum Transformator T_1 zur Versorgung der Hilfsdienste.

3. Ein drittes System von Sammelschienen verbindet die Klemmen des Hochspannungs-

Transformators mit den Anschlüssen für den Prüfschalter im Versuchsraum. Die Art der Montage der Leitungen für den Stromkreis von 9000 V war bedingt durch die ausserordentlichen Kurzschlusskräfte, welche

insbesondere auftreten, wenn die Wicklungen des Generators parallel geschaltet sind (4500 V) und der Spitzenwert des Kurzschlussstromes für diesen Fall ca. 136000 A beträgt. Bei der gewählten Distanz der Leitungen beträgt dann die Repulsionskraft zwischen parallelen Leitern ungefähr 2400 kg pro laufenden Meter. Die Leitungen selbst sind aus Kupferrohren und ihr Abstand so gewählt, dass sich die Eigenimpedanz auf ein Minimum reduziert.

Nach dem Oscillographen-Beobachtungsraum ist eine Akkumulatorenbatterie untergebracht, welche die Energie zur Steuerung der Schalter, für eine Notbeleuchtung, verschiedene Verriegelungen und Hilfsapparate liefert.

Der Versuchshof (Fig. 4).

Innerhalb dieses Raumes C (Fig. 3) werden die Versuchsschalter aufgestellt. Der Raum ist auf drei Seiten durch Gebäudemauern abgeschlossen. Sie sind in armiertem Beton in einer Dicke von 50–60 cm ausgeführt. Die vierte Seite wird abgeschlossen durch eine Betonmauer mit einer Türe aus schwerer Eisenkonstruktion. Die Versuchsapparate werden durch eine leichte Dachkonstruktion vor Regen geschützt. Die Bedachung ist so gewählt, dass sich bei einer schweren Explosion keine Projektile bilden, die für die Umgebung der Versuchsanlage gefährlich würden. Ein kleiner Kran zur Handhabung der Versuchsschalter vervollständigt diese Ausrüstung. Zur Steuerung der Versuchsschalter und zu Messzwecken sind armierte Mehrleiterkabel zwischen Versuchsraum und dem Messraum gelegt worden.

Messraum und Kommandostand.

Die Anordnung des Messraumes in unmittelbarer Nähe des Versuchshofes und des Kommando-Standes gewährleistet ein Minimum an Bedienungspersonal zur Ueberwachung und Bedienung der ganzen Anlage. Aus dem gleichen Grunde wurden auch Mess- und Beobachtungsraum vereinigt. Es ist so möglich, im Prinzip mit *einem* Ingenieur und *einem* Mechaniker die Versuche durchzuführen.

Die Kommandoschalttafel ist vom Messraum durch eine Glaswand getrennt. Der Messtand enthält eine Schalttafel, 2 Oscillographen und die notwendigen Registrier-Instrumente zur Aufzeichnung verschiedener Erscheinungen, welche am Prüfschalter zu beobachten sind. Die Schalttafel enthält im besonderen die Steuerschalter für Prüfschalter und den Schalter 6 für das Einschalten des Kurzschlusses. Der Ingenieur, dem die Messungen obliegen, kann auf diese Weise selbst den Kurzschluss einschalten. In unmittelbarer Nähe des Operateurs, dem die Handhabung der Messinstrumente zugewiesen ist, ist der Beobachtungsstand, von welchem aus man durch einen stahlgepanzerten Schlitz in der Mauer den Schalter auf verhältnismässig geringe Distanz sehen kann.

Die Installation des Messraumes wird ergänzt durch eine photographische Dunkelkammer zur Entwicklung der Oscillogramm-Filme. Der erwähnte Schalt- oder Kommandostand liegt bereits in der Maschinenhalle selbst und von hier aus kann der Betrieb der Anlage unmittelbar überwacht werden. Er besteht aus einem sechsfeldrigen Schaltpult, von welchem aus die Maschinengruppe vollständig gesteuert werden kann, ausgenommen das Anlassen. Hiefür ist ein grosser, luftgekühlter Gusseisenwiderstand in der Halle neben dem Maschinen-Aggregat montiert, an welchem auch die Schalter zum Anlassen bzw. Kurzschliessen des Widerstandes direkt angebracht sind.

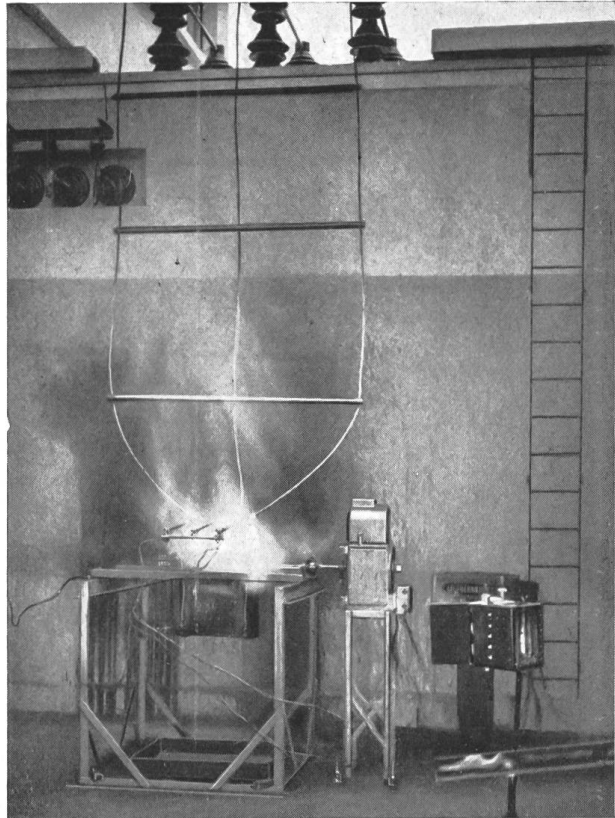


Fig. 4.

Versuchshof. — Abschaltversuch an einem Oelschalter.

Versuchsgruppe. Die Versuchsmaschinengruppe (Fig. 5) besteht aus:

- 1 Generator für Drehstrom, Fabrikation Schneider, mit einer konstanten Leistung von 50000 kVA, 50 Per/sec, 1500 Umdr./min;
- 1 Erreger, 200 V, 1000 A, am einen Wellenende des Generators montiert;
- 1 Antriebsmotor für Drehstrom von 1350 PS Dauerleistung, 10000 V, direkt gespeist aus dem stromliefernden Elektrizitätswerk. Dieser Motor kann während 10 Minuten 2700 PS leisten. Er wird angelassen durch den obenerwähnten Anlasswiderstand aus Gusseisen;
- 1 Anwurfmotor von 30 PS, 210 V, der über ein Reduktionsgetriebe arbeitet und dazu dient, den Reibungswiderstand des Generators im Zustand der Ruhe zu überwinden.

Der Drehstrom-Generator wurde für eine Dauerleistung von 50000 kVA konstruiert. Seine Spannung unter diesen Betriebsbedingungen beträgt 6000 V und der Betriebsstrom 4800 A. Eisen- und Kupfergewicht sowohl, als auch die äusseren Abmessungen der Maschine stimmen überein mit denjenigen einer normalen Maschine dieser Leistung. Die Isolation dagegen wurde so gewählt, dass eine Uebererregung von 50 % über die Normalspannung ohne weiteres zulässig ist, d. h. eine Spannung von 9000 V. Diese Uebererregung erlaubt, die im Kurzschluss verfügbare Leistung im entsprechenden Verhältnis zu erhöhen, ohne in Anbetracht der kurzen Belastungs-

dauer an irgend einem Teil der Maschine gefährliche Erwärmungen befürchten zu müssen.

Die Streureaktanz der Maschine beträgt $0,195 \Omega$ pro Phase, womit eine Kurzschlussleistung von 27 % erreicht wird. Diese Reaktanz, welche die Kurzschlussleistung bestimmt, könnte für eine Maschine dieser Art etwas gross erscheinen.

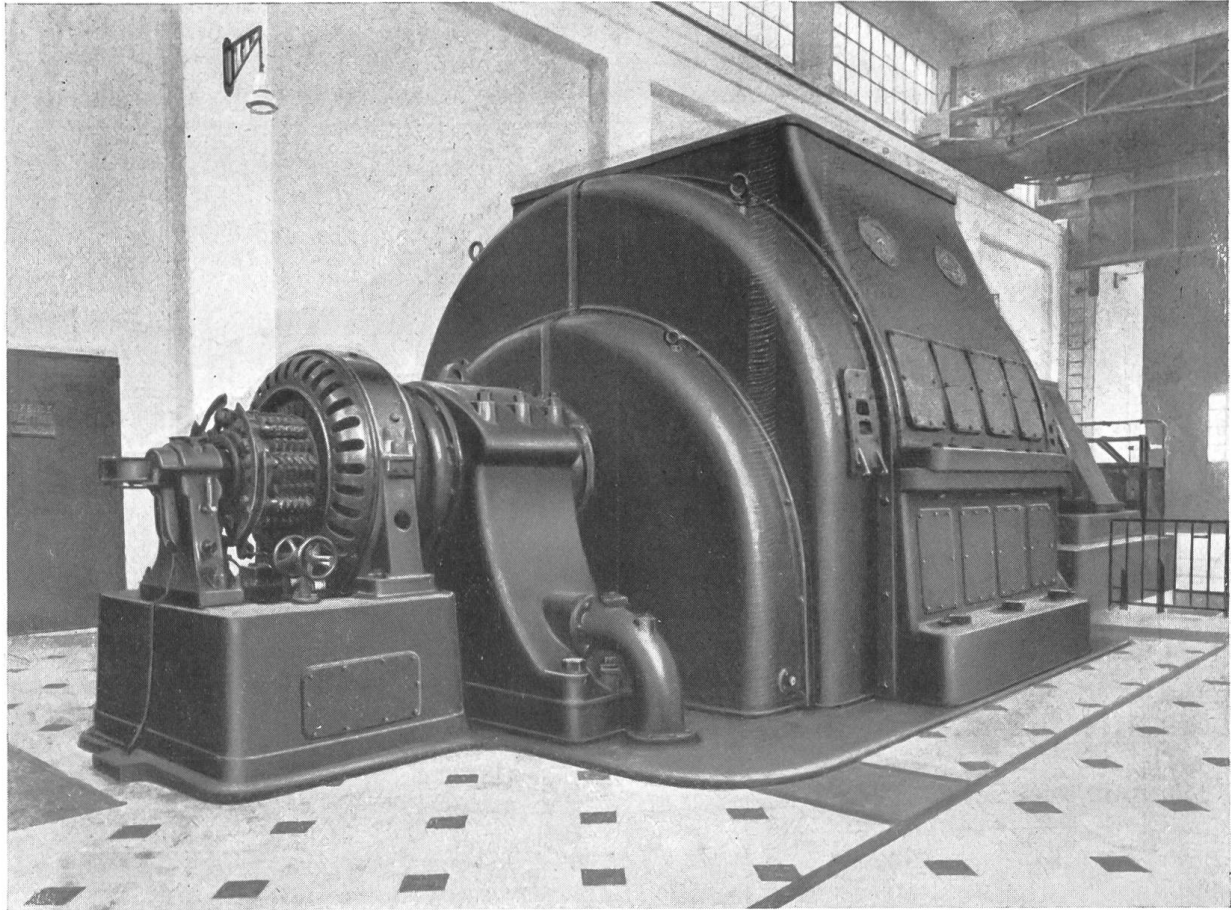


Fig. 5.
Versuchsmaschinengruppe.

In Anbetracht der Bestimmung der Gruppe wurde es jedoch als zweckmässig erachtet, die mechanische Sicherheit der Maschine einer höheren Kurzschlussleistung vorzuziehen. Die genannte Reaktanz bestimmt somit die Kurzschlussleistung der Maschine in A nach der bekannten Beziehung:

$$I_K = \frac{U}{\sqrt{3} X} = \frac{9000}{\sqrt{3} \cdot 0,195} = 27\,000 \text{ A.}$$

I_K bezeichnet den Effektivwert der Wechselstrom-Komponente. Der Scheitelwert der gesamten asymmetrischen Stromwelle erreicht dann den Wert:

$$I_s = 1,8 (27\,000 \cdot \sqrt{2}) = 68\,000 \text{ A.}$$

Nach der Berechnungsregel des V. D. E. bestimmt sich die normal verfügbare Kurzschlussleistung als Abschaltleistung des Versuchsschalters im dreiphasigen Kurzschluss zu 500 000 kVA. Nach schweizerischen Richtlinien für die Bestimmung der Kurzschlussleistung würde sich eine Leistung von etwa 400 000 kVA ergeben. Bei dieser Gelegenheit lohnt es sich, auf die Verschiedenheiten in der Berechnung der Kurzschlussleistung nach verschiedenen Landesvorschriften aufmerksam zu machen²⁾.

²⁾ Vergl. Bull. S.E.V. 1928, S. 277.

Die Wicklung des Generators ist in Stern geschaltet. Der Neutralpunkt ist zugänglich und kann an Erde gelegt werden. Ausserdem lässt sich jede Phase in zwei Hälften schalten, entweder in Serie oder parallel. Die obigen Zahlen beziehen sich für den Fall der Serienschaltung der Phasenwicklungen. Mit der Parallelschaltung werden folgende Werte erreicht:

$$U = 4500 \text{ V}, I_K = 54000 \text{ A}, I_s = 136000 \text{ A}.$$

Die Abschaltleistungen bleiben natürlich die gleichen in beiden Fällen. Die Kupferverluste erhöhen sich bei Erreichung der maximalen Stromstärke auf 7000 kW für die erste Halbwelle. Eine besondere Konstruktionsaufgabe war die zuverlässige Befestigung und Versteifung der Spulenköpfe der Wicklung, um den hohen magnetischen Kräften der Kurzschlussströme standzuhalten.

Nachdem die Kupferverluste in Anbetracht der kurzen Betriebsdauer vernachlässigbar schienen in Bezug auf die Erwärmung, war ursprünglich vorgesehen, eine Ventilation der Maschine wegzulassen. Die nähere Prüfung zeigte jedoch, dass dies unzulässig wäre, in Anbetracht der nicht zu vernachlässigenden Erwärmung des Eisens und der Luftreibung. Aus diesem Grunde erhielten sowohl Rotor als Stator eine entsprechende Ventilation. Infolge des grossen Rotorgewichtes sind die Reibungsverluste in den Lagern beträchtlich. Sie betragen ca. 320 kW. Eine Pumpe versieht zu diesem Zwecke die Lager mit Drucköl, das in einem Wasserkühler rückgekühlt wird. Besondere Massnahmen wurden getroffen, um bei einem Wicklungsdefekt im Generator grösseren Schaden abzuwenden. Sie bestehen in einer Vorrichtung zur Schnellentregung des Generators und einer Feuerlöschvorrichtung, wofür Kohlensäure in Flaschen unter Druck aufgespeichert gehalten wird.

Die Zirkulationspumpen für Kühlöl und Wasser sind im Doppel vorhanden und werden von der Akkumulatorenbatterie aus gespeist, um die Erhitzung der Lager bei ausbleibendem Drehstrom vom Werk zu vermeiden. Das Rotorgewicht beträgt 40 t, das Schwungmoment GD^2 des drehenden Teils (Motor, Erreger, Generator und Kupplungen) 32 tm², der Stator mit seiner Grundplatte wiegt 150 t.

Hochspannungs-Transformator (Fig. 6.).

Zur Vornahme von Versuchen bei verschiedenen Spannungen enthält die Versuchsstation einen Dreiphasen-Transformator T , angeschlossen an die 9000 V Generatorspannung zur Erzeugung der folgenden Sekundärspannungen:

$$15500 \text{ V}, 26875 \text{ V}, 53750 \text{ V}, 62000 \text{ V}, 107500 \text{ V}.$$

Zu diesem Zwecke ist die Wicklung 4-fach unterteilt für folgende Schaltungen: Alle 4 Stufen in Reihe, 2 Gruppen zu je 2 Stufen parallel und alle 4 Stufen parallel. Die 3 Phasen können in Stern oder Dreieck geschaltet werden. Zwei Anzapfungen für $\pm 10\%$ auf der Primärseite ermöglichen noch die Entnahme von Zwischenspannungen. Um die verschiedenen Schaltungen in kürzester Zeit vornehmen zu können, sind die Wicklungsenden an Durchführungen angeschlossen.

Der Transformator wurde durch die Société Savoisiennne de Constructions Electriques in Aix-les-Bains gebaut. Um den gestellten besonderen Betriebsanforderungen genügen zu können, ist seine Kurzschluss-Spannung so niedrig gehalten, als es die Betriebsspannungen erlauben. Der 3-schenklige Magnetkern hat sehr reichlichen Eisenquerschnitt; die Wicklung besteht aus scheibenförmigen runden Spulen, die abwechselnd primär und sekundär auf dem Magnetschenkel aufgeschichtet sind. Jede Spulensäule wird durch Stahlstangen zusammengehalten, die an den beiden Enden durch starke Schlussringe verbunden sind, so dass die Spulensäulen den heftigsten elektrodynamischen Kräften widerstehen können. Um den Abstand zwischen den Hoch- und Niederspannungsspulen auf ein Minimum reduzieren zu können, sind die einzelnen Spulen speziell imprägniert worden, um eine Prüfspannung bei geerdetem Nullpunkt von 150000 V während 1 Minute und 210000 V während 5 Sekunden aushalten zu können. Die Reaktanz beträgt 0,02 Ω , entsprechend

einer Kurzschluss-Spannung von 11,2 % bei der kurzzeitigen Leistung von 400 000 kVA des Transformators.

Die Verluste werden nicht wie gewöhnlich durch die zulässige Erwärmung oder den garantierten Wirkungsgrad bestimmt, sondern einesteiis durch ihren Einfluss

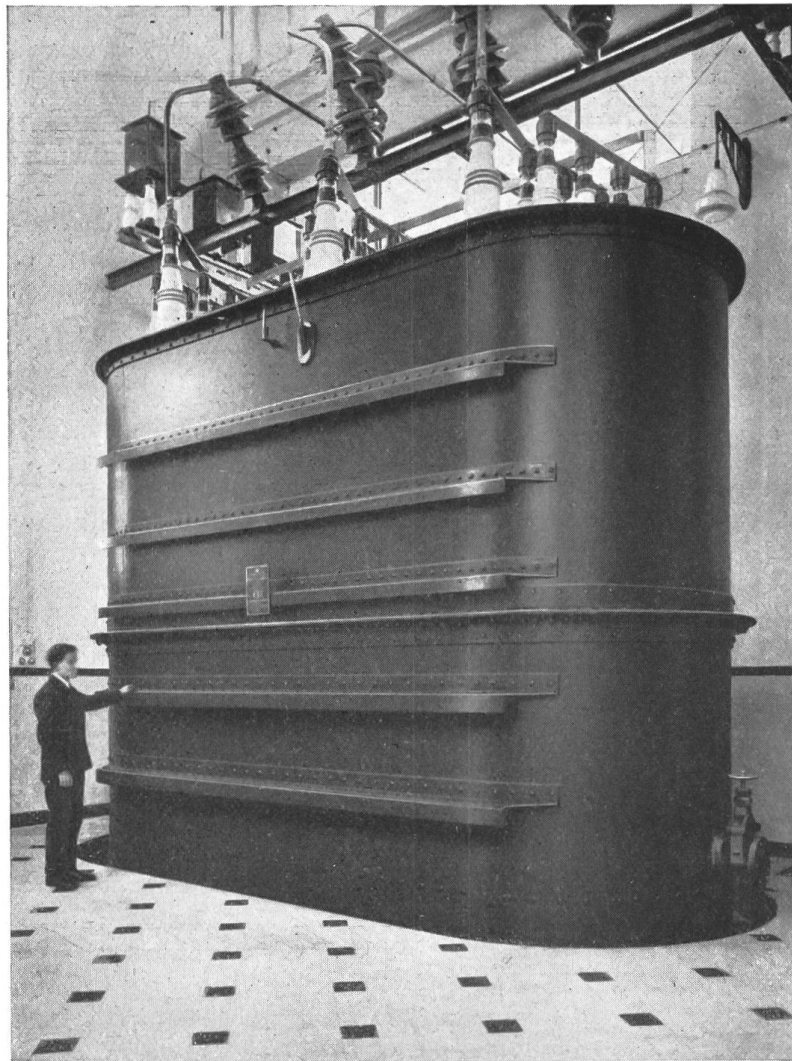


Fig. 6.
Hochspannungstransformator.

auf den Leistungsfaktor der ganzen Gruppe und andernteils durch ihre Rückwirkung auf die Reduktion der Geschwindigkeit des Generators während der Dauer des Kurzschlusses. Um die ungünstigsten Verhältnisse für die Abschaltung beibehalten zu können, ist es notwendig, dass der betreffende Stromkreis einen kleinen Leistungsfaktor aufweise. Dieser Leistungsfaktor ist immer unter 0,1. Bei diesen Betriebsverhältnissen betragen die Verluste 25 000 kW im Kupfer und 280 kW im Eisen.

Besondere Kühlung des Transformators ist nicht vorgesehen, da die Verluste, die sich auf die kurze Zeit des Versuches beschränken, absorbiert werden durch die Masse des Transformators, dessen Gewicht 92 t beträgt, wovon 35 t auf das Oelgewicht entfallen.

Der Transformator wurde zerlegt speditiert und am Ort der Verwendung zusammgebaut. Der Kessel ist zweiteilig, was ermöglicht, auch bei geringer Hallenhöhe den Transformator zur Revision freizulegen.

Messinstrumente.

Zwei Spannungswandler (siehe Fig. 3) gestatten die Spannungsmessung in den verschiedenen Stromkreisen; ein Stromwandler dient zur Messung des Stromes. Für die verschiedenen Oscillographen werden Oelwiderstände verwendet für die Spannungsschleifen und induktionslose Shunts für die Stromschleifen. Dadurch werden Fehler in den oscillographisch aufgenommenen Kurven vermieden, die sonst leicht zufolge der Transformation in den Messtransformatoren namentlich bei kurzzeitigen vorübergehenden Schwingungen befürchtet werden müssen. Die beiden Oscillographen haben je 3 Galvanometer. Sie können einzeln oder gemeinsam benützt werden. Die Oscillographen dienen gleicherweise auch zur Registrierung schnellverlaufender Druckstöße mittels besonderer Manometer, System Clerc. Zur Registrierung der Höchstdrücke werden ausserdem Kugeldruckmesser (Stahlkugel mit Bleiplatte), die sich leicht an irgend einer Stelle des Versuchsschalters einbauen lassen, verwendet. Fig. 7 und 8 zeigen zwei Oscillogramme eines Versuches.

Ausführung der Schaltversuche.

Die Schaltversuche werden in der Regel wie folgt durchgeführt: Die Gruppe wird vorerst mittels der beschriebenen Vorrichtungen angelassen, auf ihre normale Geschwindigkeit von 1500 Umdr./min gebracht und schliesslich wird die Erregung ein-

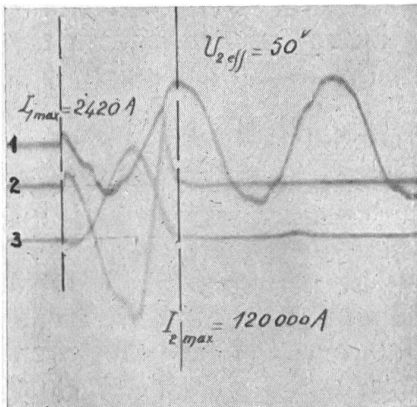


Fig. 7.

Oscillogramm eines Kurzschlussversuches an einem Trenner.

- 1 = Sekundärspannung U_2 .
- 2 = Sekundärstrom I_2 .
- 3 = Primärstrom I_1 .

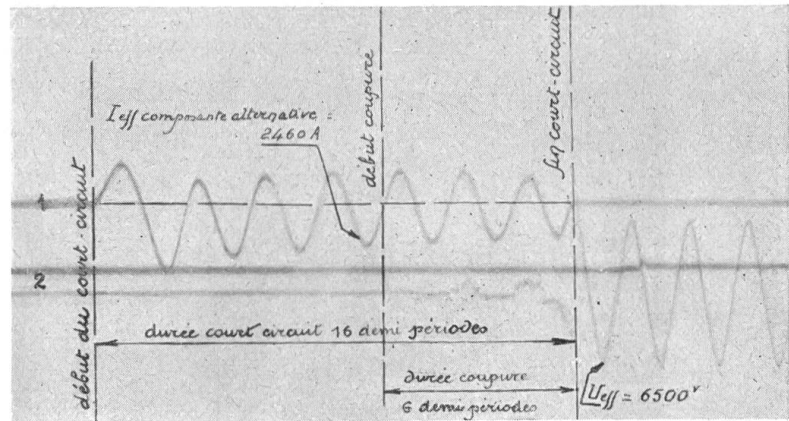


Fig. 8.

Oscillogramm einer Oelschalter-Abschaltung.

- 1 = Kurzschlussstrom I_{eff} .
- 2 = Phasenspannung U_{eff} .

geschaltet. Soll der Versuch mit einer andern als den direkt am Generator verfügbaren Spannungen erfolgen, so wird der Hochspannungs-Transformator benützt. Die Gruppe befindet sich dann für den Kurzschluss-Versuch bereit. Die verschiedenen Anlass-Operationen verlangen eine Zeit von ungefähr 10 Minuten. Mit Hilfe der ferngesteuerten Oelschalter wird nun der Asynchronmotor vom Netz abgetrennt und der Kurzschluss vollzogen, der durch den Versuchsschalter wieder geöffnet werden soll. Wie weiter oben bemerkt, kann die Auslösung des Versuchsschalters so frühzeitig erfolgen, dass derselbe den Kurzschluss, wenn gewünscht, schon während der ersten Halbwelle unterbricht. Die Verluste in der Maschine, im Transformator und im Kurzschlusslichtbogen werden durch die kinetische Energie des Rotors gedeckt, der dadurch einen geringen Geschwindigkeitsverlust erfährt. Dieser Verlust beträgt in der Regel nicht mehr als 3%. Die grösste Kurzschlussleistung beträgt während der ersten Halbwelle 700 000 kVA³⁾ und nach Ausbau der Anlage mit dem zweiten Generator 1,4 Mill. kVA. Für die Abschaltversuche wird mit einer verfügbaren Kurzschlussleistung bei einem Generator von rund 500 000 kVA gerechnet, welche sich ohne Zuhilfenahme besonderer Kunstgriffe regelmässig erreichen lässt und welche vorläufig ausreicht, um sämtliche kuranten Oelschaltermodelle bis zur Grenze

³⁾ Für die Bestimmung der Abschaltleistungen wurde folgender Rechnungsgang angewendet nach den neuen Regeln des V. D. E. (Verband Deutscher Elektrotechniker):

Eff. Spannung 9000 V, eff. Wechselstrom 27 000 A.

Höchste Einschaltstromspitze $1,8 (27\,000 \cdot \sqrt{2}) = 69\,000$ A (asymmetrisch).

Mittlerer Effektivwert aller drei Phasen: $27\,000 + 0,45 (27\,000 \cdot \sqrt{2}) = 44\,000$ A.

Kurzschlussleistung in der ersten Halbwelle: $\sqrt{3} \cdot 9000 \cdot 44\,000 \cong 700\,000$ kVA.

Berücksichtigt man nach den Regeln des V. D. E. die Feldschwächung des Generators bis zum Beginn der Abschaltung mit dem Faktor 0,7, so berechnet sich die tatsächlich unterbrochene Leistung zu:

$$0,7 \cdot 700\,000 \cong 500\,000 \text{ kVA,}$$

welche Leistungen in der Beschreibung erwähnt wurden.

Nach den Richtlinien des S. E. V. würde sich die Kurzschlussleistung berechnen zu:

$$\sqrt{3} \cdot 9000 \cdot 27\,000 = 420\,000 \text{ kVA.}$$

ihrer Verwendungsfähigkeit durchzuprüfen. Sie erlaubt auch die Prüfung der Mehrzahl der sog. Hochleistungsschalter. Sie ist natürlich mehr als genügend zur Durchführung systematischer Studien über die Leistungsunterbrechung, welche, wie eingangs erwähnt, die besondere Aufgabe solcher von den Fabriken errichteten Versuchsanlagen zu sein hat. Ausserdem ist vorgesehen, die ganze Installation zu verdoppeln, sobald sich dazu das Bedürfnis fühlbar macht.

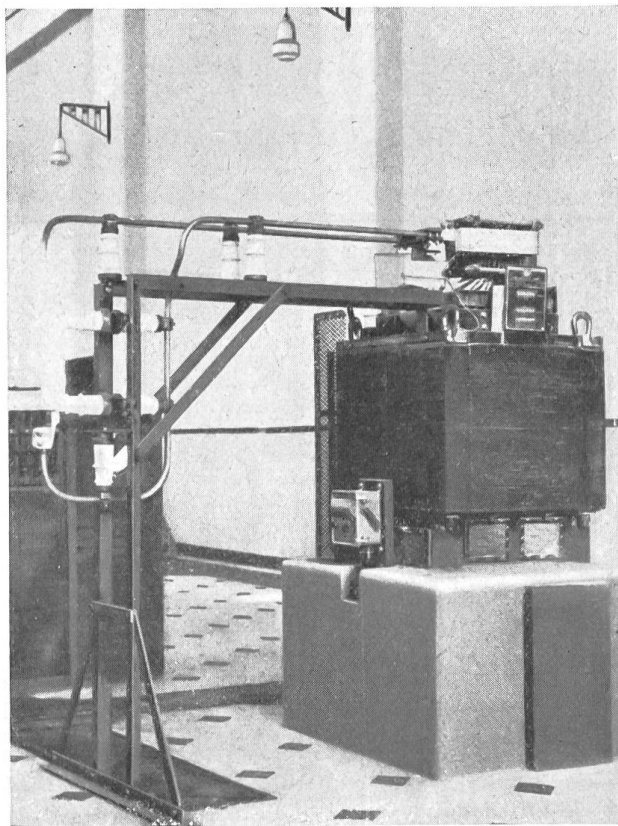


Fig. 9.
Kurzschlussversuch an einem Trenner.

Elektrodynamische Versuche.

Wie bereits erwähnt, enthält die Station auch einen Transformator, durch welchen die Generatorspannung auf 100 V herabtransformiert wird. Auf der Sekundärseite dieses Transformators können während 20 Sekunden 100000 A und während 3 Sekunden 250000 A bei 90 V abgenommen werden. Es berechnen sich daraus asymmetrische Spitzenwerte von 260000 bzw. 640000 A. Dieser Transformator erlaubt deshalb namentlich Erscheinungen elektrodynamischer Natur zu studieren, insbesondere das Verhalten von verschiedenen Arten von Kontakten bei hohen Strömen, die Widerstandsfähigkeit von Stützisolatoren usf., welche Elemente bekanntlich auch für das Gesamtverhalten von Hochleistungsschaltern von grosser Bedeutung sind. Erwähnen möchten wir auch das Studium der Einwirkungen von Kurzschlussströmen

auf das Verhalten von Trennern, die Abstützung von Sammelschienen und dergl. Der Anlage wird ferner in absehbarer Zeit eine Gleichstromgruppe für Spannungen von 750, 1500 und 3000 V beigefügt werden zur Prüfung von Apparaten für elektrische Traktion.

Die automatische Gleichrichteranlage des Elektrizitätswerkes Basel im Dreispitz.

Von Otto Oetiker, dipl. Ingenieur, Basel.

Die Energieversorgung der Basler Strassenbahnen obliegt dem Elektrizitätswerk Basel. Im Jahre 1918 erstellte das E. W. Basel, da die zentral gelegene Umformerstation am Dolderweg nicht mehr genügte, eine der ersten vollautomatischen Umformerstationen des Kontinentes in Riehen; 1927 wurde diese durch einen mit dem ursprünglich installierten Einankerumformer parallel laufenden Quecksilberdampfgleichrichter erweitert. Die mit dieser Station gemachten guten Erfahrungen bewogen das E. W. Basel, auch seine neueste Umformerstation im Dreispitz mit vollautomatisch arbeitenden Quecksilberdampfgleichrichtern auszurüsten. Der Autor beschreibt die Installation und ihre Wirkungsweise.

621.312.64

Les tramways du canton de Bâle-Ville sont alimentés par le service électrique de Bâle. En 1919, comme la station centrale de convertisseurs du Dolderweg ne suffisait plus, le service électrique construisit à Riehen l'une des premières stations complètement automatiques du continent. En 1927, cette station fut complétée par l'adjonction d'un redresseur à vapeur de mercure marchant en parallèle avec la commutatrice installée primitivement. Les expériences encourageantes faites avec cette station ont engagé le service électrique de Bâle à équiper sa sous-station la plus récente, au «Dreispitz», uniquement avec des redresseurs à vapeur de mercure à fonctionnement automatique. L'auteur décrit cette installation et en explique le fonctionnement.