

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 33 (1942)
Heft: 2

Artikel: Forschungslaboratorien für Hochspannung und Hochleistung der Maschinenfabrik Oerlikon
Autor: Puppikofer, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056643>

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: 13.01.2026

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

Physikalische Eigenschaften einiger Verbundmetalle.

Tabelle IV.

	Verbundmetalle aus				
	Molybdän-Silber	Wolfram-Silber		Wolfram-Kupfer	
Dichte g/cm ³	10	13,2	15,2	16,4	17,2
Elektr. Leitfähigkeit in % γ_{Cu}	50	59	38	25	20
Brinellhärte	125...135	110	180	190...205	245...300

Die in Tabelle IV angeführten Typen von Kontakt-Verbundmetallen sind bloss als Beispiele zu betrachten. Tatsächlich gelingt es auf metallkeramischer Grundlage unter Verwendung von Hartmetallpulvern und Pulvern aus gutleitenden Metallen, Verbundmetalle herzustellen, deren Dichten von 9,5 bis 17,2 g/cm³ variieren, deren Härte jeden gewünschten Wert von 60...300 Brinelleinheiten annehmen kann und deren elektrische Leitfähigkeit bis zu 75% der Leitfähigkeit des Standardkupfers beträgt. Diese physikalischen Eigenschaften erklären ohne weiteres die gute Verwendbarkeit der genannten Verbundmetalle als Baustoffe für elektrische Kontakte.

Literatur-Uebersicht

1. W. Betteridge and J. A. Laird: «Wear of Electr. Contact Points.» J. Inst. Electr. Eng. Vol. 82 (1938), p. 625.
2. W. Burstyn: «Elektrische Kontakte.» Berlin, J. Springer 1937.
3. R. Holm: «Ueber metallische Kontaktwiderstände.» Wiss. Veröffentl. Siemens Konz. 1929, VII/2.
4. R. Holm: «Ueber elektrische Kontakte.» ETZ Bd. 59 (1935), S. 537.
5. R. Holm, F. Güldenpfennig und R. Störmer: «Materialwanderung in elektrischen Abhebekontakten.» Wiss. Veröffentl. Siemens Konz. 1935, Bd. 14.
6. L. B. Hunt: «Heavy Duty Contacts», Electrical Rev. 1939, p. 459.
7. B. W. Jones and O. R. Schurig: «Performance of Contactors as Circuit Interruption Devices.» Gen. Electr. Rev. V. 39 (1936), p. 78.
8. K. Meier: «Schaltstücke mit Sonderaufgabe für Oel-schütze.» ETZ Bd. 57 (1936), S. 493.
9. «Metallkeramisch hergestellte Kontaktbaustoffe.» Z. f. techn. Phys. Bd. 21 (1940), S. 35.
10. J. Slepian: «Temperature of a Contact and related Current-Interruption Problems.» J. Amer. Inst. Electr. Engrs. Vol. 45 (1926), p. 930.
11. G. Windred: «Compound Metals for Electrical Contacts.» Electr. Eng., London, 1937.
12. G. Windred: «Switchgear Contacts.» The Engineer, 1940, p. 558.

Es ist hier auch auf das neue Buch von R. Holm, «Die technische Physik der elektrischen Kontakte», Verlag J. Springer, Berlin (1941), hinzuweisen. (Die Red.)

Forschungslaboratorien für Hochspannung und Hochleistung der Maschinenfabrik Oerlikon

Von H. Puppikofer, Zürich

621.317.2 : 621.3.027.7(494)

Es werden Bau und Einrichtung von Forschungslaboratorien für Hochspannung und Hochleistung beschrieben; von den wichtigsten der zugehörigen Maschinen und Apparate wird das Grundsätzliche über deren Konstruktion und Leistungsfähigkeit mitgeteilt.

L'auteur décrit la construction et les installations de laboratoires de recherche pour haute tension et grande puissance et indique le principe de la construction et du fonctionnement, ainsi que la puissance des machines et des appareils les plus importants qui en font partie.

I. Einleitung

Die beiden Hauptprobleme, mit denen sich die Hersteller von Hochspannungsmaterial zu befassen haben, sind das *Isolationsproblem* und das *Schaltproblem*. Die Maschinenfabrik Oerlikon hat, seitdem sie elektrisches Material herstellt, *Hochspannungslaboratorien* unterhalten, um die Fragen der Isolation abzuklären. Bereits an der Schweizerischen Landesausstellung 1914 in Bern wurde ein Prüftransformator für 500 kV, 500 kVA, im Betrieb vorgeführt. Im Jahr 1932 hat sie auch eine *Hochleistungsanlage* gebaut, in der sämtliche Probleme, welche das Schalten und die Lichtbogenlöschung betreffen, untersucht und die fertigen Schalter mit hoher Kurzschlussleistung geprüft werden können.

Mit der Zunahme der Kraftwerksleistungen und der damit verbundenen wachsenden Ausdehnung und Vermaschung der mit immer höhern Spannungen betriebenen Netze waren neue Aufgaben zu lösen. Die Beherrschung der höhern Betriebsspannungen ist eine Aufgabe der Elektrostatik, die verhältnismässig leicht zu lösen war. Die Isolation eines Hochspannungsnetzes muss — wie eine Brücke — gegenüber der normalen Beanspruchung eine bestimmte Sicherheit aufweisen. Aus dieser Erkennt-

nis heraus ergaben sich die von den massgebenden Verbänden der verschiedenen Länder aufgestellten Prüfvorschriften, die leider noch stark voneinander abweichen. Für die Ausführung dieser Kontrollen wird eine entsprechende Spannungsquelle von 50 Hz benötigt.

Zu der normalen oder auch akzidentellen Beanspruchung der Hochspannungsnetze durch die *Spannungen von Betriebsfrequenz* kommt noch die Beanspruchung durch die *atmosphärischen Ueberspannungen*. Ueber die Höhe und den zeitlichen Verlauf dieser Ueberspannungen besitzt die Elektrotechnik heute dank der vielseitigen Forschungsarbeit, die u. a. in der Schweiz seit ca. 10 Jahren durch die Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen geleistet wird, wertvolle Aufschlüsse. Die atmosphärischen Ueberspannungen haben den Charakter eines elektrischen Stosses, der durch die gedämpfte Entladung eines Kondensators — eines Stossgenerators — nachgeahmt werden kann.

Die Maschinenfabrik Oerlikon, welche seit Jahrzehnten Versuche mit Stosskondensatoren durchführt, stellte im Jahre 1938 einen *Stossgenerator* von 1250 kV und 7,8 kWs Energieinhalt auf, mit

welchem die systematische Untersuchung aller Erzeugnisse begann.

Mit den wachsenden Erkenntnissen über die Natur der atmosphärischen Ueberspannungen konnte man an die Aufgabe der Schaffung eines *betriebssicheren Ueberspannungsableiters* herantreten. Dieses Objekt liegt in einem Grenzgebiet und berührt sowohl das Isolationsproblem, als auch das Schaltproblem. Da der Stosskondensator auch zu Entwicklungsarbeiten an Ableitern zu dienen hatte, wurde er in der Vorhalle der Hochleistungsanlage aufgestellt. So konnten die Ableiter der kombinierten Beanspruchung des Stossgenerators und des Kurzschlussgenerators unterzogen werden. Im Jahre 1939 wurde der Stossgenerator für eine Spannung von 2000 kV und einen Energieinhalt von 12,5 kW_s vergrößert und während sechs Monaten der Schweizerischen Landesausstellung 1939 in Zürich zur Verfügung gestellt. Während dieser Zeit wurden damit im Hochspannungslaboratorium der Aus-

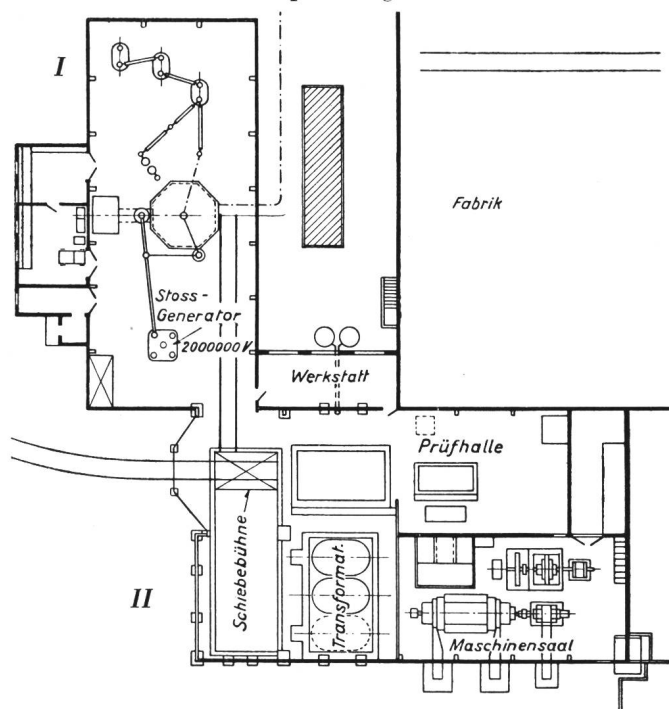


Fig. 1.
Situationsplan der Halle
Maßstab 1 : 600

I Hochspannungslaboratorium, II Hochleistungs-Prüfanlage

stellung den Besuchern die Wirkung der künstlichen Blitze demonstriert. Nach Beendigung der Landesausstellung musste für den wesentlich vergrößerten Stossgenerator ein neuer Aufstellungsort bereitgestellt werden. Es wurden alle vorhandenen und die neuesten der Hochspannungsforschung dienenden Einrichtungen zusammengefasst und in dem neuen Hochspannungslaboratorium untergebracht. Fig. 1 zeigt den schematischen Grundriss der Prüfanlagen.

II. Das Hochspannungslaboratorium

A. Allgemeine Disposition¹⁾

Das neue Hochspannungslaboratorium hat als Hauptobjekte drei in Kaskade geschaltete Prüf-

transformatoren für max. 1000 kV bei 50 Hz und den Stossgenerator für 2000 kV aufzunehmen. Es ergab sich dafür eine Grundfläche von 30×13 m bei einer Raumhöhe von 14 m. Die 50periodige Prüfanlage wurde an das eine, die Stossanlage an das andere Ende der Halle gestellt, so dass in der Mitte Platz für die gemeinsamen Messfunkenstrecken mit Kugelelektroden von 1 m bzw. 50 cm Durchmesser, für das zu prüfende Objekt und einen grösseren Oelbehälter für Versuche unter Oel frei wurde.

Die Steuer- und Messeinrichtungen sowie der Doppel-Kathodenstrahloszillograph sind in einem Anbau untergebracht. Die Hochspannungsschaltanlage und die Umformergruppe zur Speisung der 50periodigen Prüfeinrichtung wurden im Keller-raum des Anbaus aufgestellt, so dass in der Halle selbst keine fremden Geräusche die Feststellung von Ueberschlägen an den Prüfobjekten stören können.

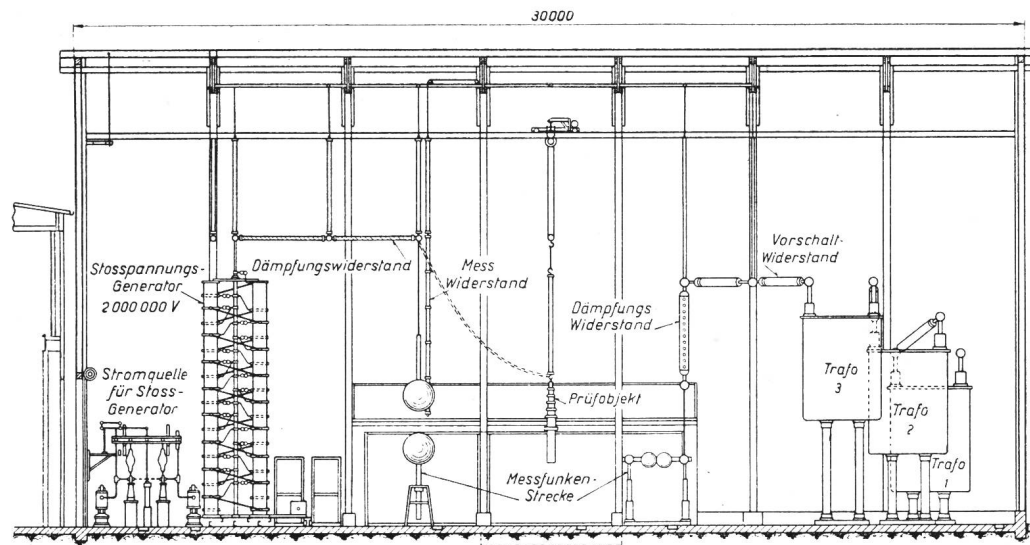
B. Daten der Hauptobjekte und Schaltungsschema

Die neue Halle hat in erster Linie der Hochspannungsforschung zu dienen. Für die Vornahme der üblichen Proben mit 50periodiger Spannung stehen in den entsprechenden Fabrikabteilungen noch andere Prüftransformatoren zur Verfügung. Es wurde aber doch die Möglichkeit geschaffen, diese Fabrikabteilungen über eine Freileitung durch die Spannungsquellen des Hochspannungslaboratoriums zu speisen. Ähnlich können ganz grosse Objekte auf dem Bahngleise vor der Halle stehend geprüft werden.

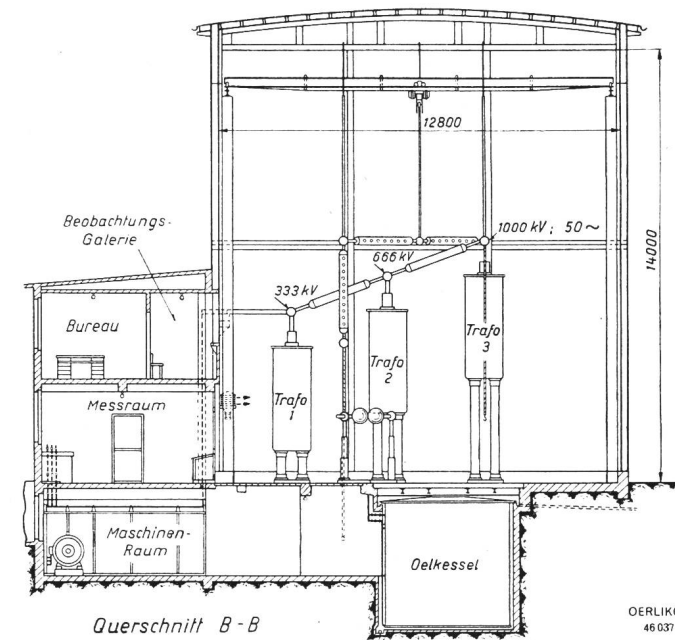
Die Aufstellung der Apparate usw. ist in Fig. 2 in grösserem Maßstabe ersichtlich. Das Hallengebäude selbst ist aus Holz, wodurch neben der Ersparnis an Eisen spezielle Vorteile, nämlich Wegfall von Schutzerdungen, erzielt wurden. Das Nebengebäude für die Messräume und Bureaux dagegen ist gemauert. Fenster besitzt die Halle überhaupt keine, hingegen sind grosse Lüftungsklappen vorhanden. Die Messräume, die Fenster besitzen, können verdunkelt werden. Zur Heizung dient eine Luftumlaufheizung. Sämtliche Einrichtungen sind so bemessen worden, dass damit alles Material für Betriebsspannungen bis zu 400 kV entwickelt und geprüft werden kann.

Die drei in Serie geschalteten Prüftransformatoren von 1000 kV, 50 Hz (Fig. 3) haben eine Totleistung von 1200 kVA. Jeder Transformator wiegt 18 t, inkl. 6 t Oel. Damit die Spannungsregulierung, die Kurvenform der Spannung usw. vom Netze nicht beeinflusst werden, erfolgt die Speisung durch eine Umformergruppe von 360 kVA Leistung, deren Synchrongenerator einen lamellierten Rotor mit verteilter Erregerwicklung und mit Dämpfungswicklung besitzt (Fig. 4). Diese Speisung der Prüfanlage hat auch den Vorteil, dass das Fabriknetz immer dreiphasig belastet ist. Der Anschluss des Motors an das Hochspannungsnetz von 6300 V erfolgt über einen Transformator von 320

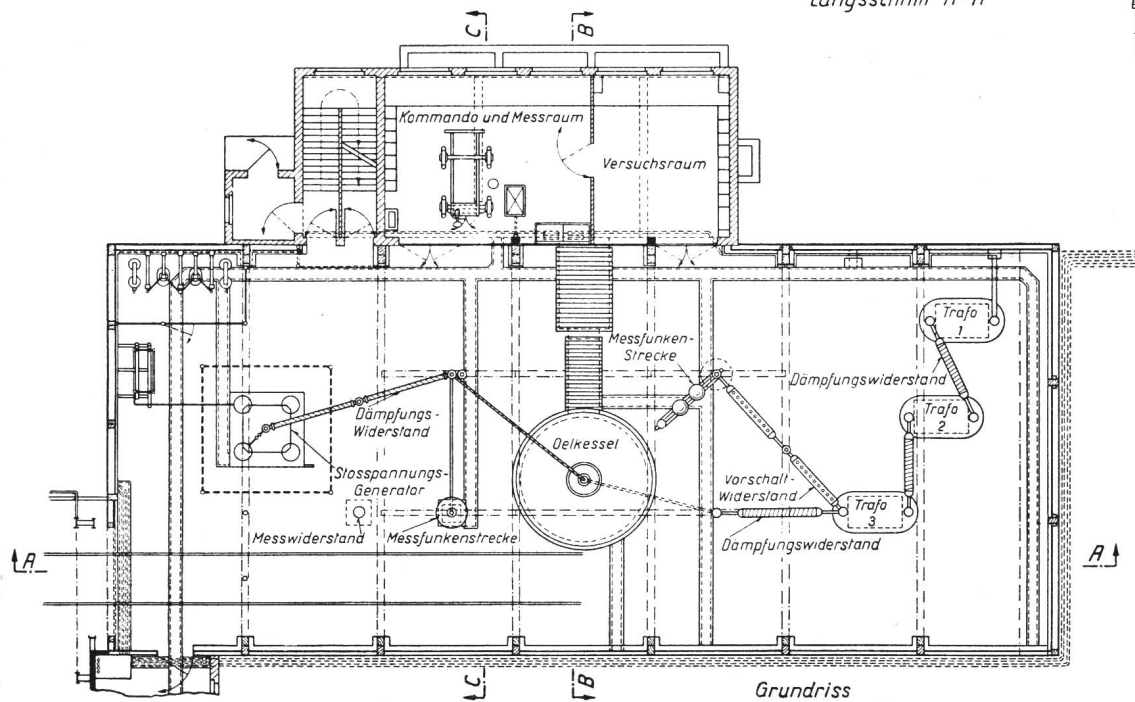
¹⁾ Eine eingehendere Beschreibung der allgemeinen Disposition wird später im Bulletin Oerlikon erscheinen.



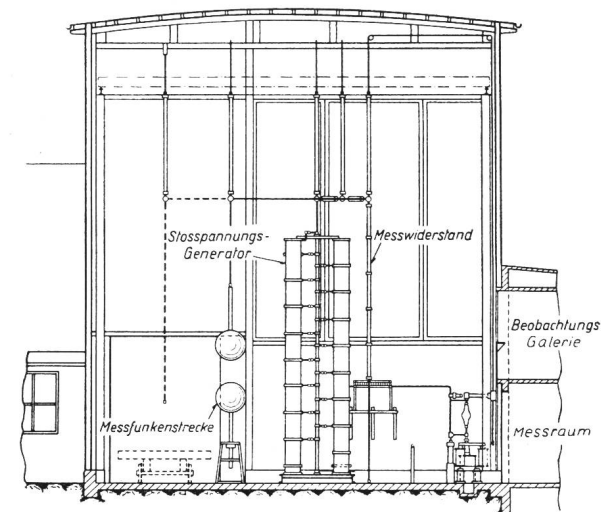
Längsschnitt A-A



Querschnitt B-B

OERLIKON
46 037

Grundriss

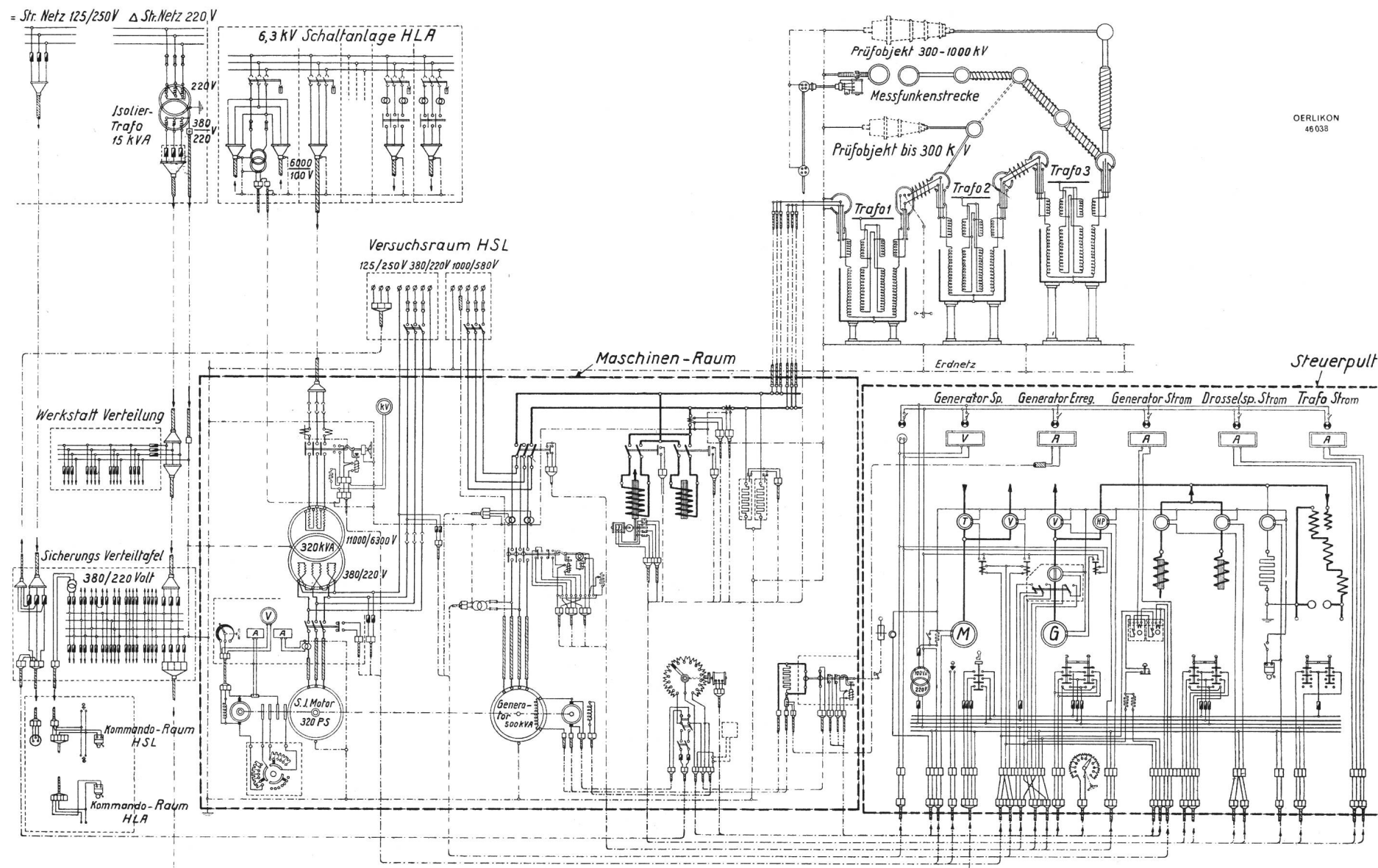


Querschnitt C-C

Fig. 2.
Disposition der Halle. Maßstab ca. 1 : 250

kVA, der auf der Unterspannungsseite von 380 auf 220 V umschaltbar ist und den Versuchsraum mit

Niederspannung für Versuche verschiedener Art speisen kann.



Die bei den Spannungsproben von den Prüftransformatoren zu liefernden Ströme sind kapazitiv. Um den Generator zu entlasten, legt man daher zu den Prüftransformatoren zwei Induktionsspulen parallel, die so bemessen sind, dass deren nacheilende Ströme den voreilenden Prüfstrom kompensieren. Der Generator hat daher bei günstiger Abgleichung nur den Wirkstrom abzugeben. Die eine der beiden Spulen hat einen festen Eisenkern. Der Luftspalt der andern Spule ist mit Fernsteuerung regulierbar, so dass man bei jeder Prüfung auf den minimalen Generatorstrom einstellen kann.

Alle Steuer-, Mess- und Signaleinrichtungen für die 50-Hz-Prüfanlage sind auf einem Pulte untergebracht, das an einem Fenster des Messraumes so

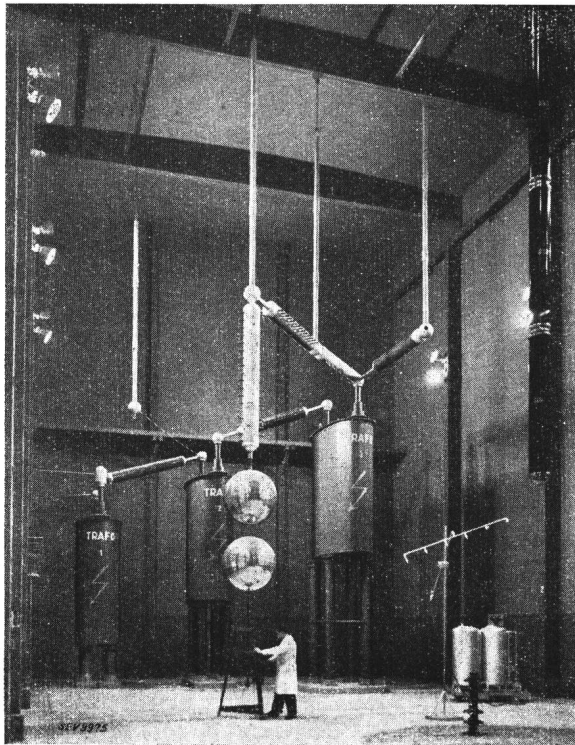


Fig. 3.
Prüftransformatoren für 1000 kV, 50 Hz.

gestellt ist, dass der prüfende Ingenieur die ganze Halle übersehen kann. Er kann ausserdem das Schiebefenster nach oben öffnen, so dass ihm die Möglichkeit gegeben ist, auch die Geräusche zu kontrollieren (Fig. 4).

Der Stossgenerator von 2000 kV (Fig. 5), der von der Emil Haefely AG., Basel, geliefert wurde, besteht aus 16 Kondensatoreinheiten zu je $0,1 \mu\text{F}$ und 125 kV max. Ladespannung. Diese Kondensatoren sind in ölgefüllte Bakelitzylinder eingebaut, die unter Zwischenschaltung von Isolierzylindern gleichen Durchmessers zu Säulen von 8 m Höhe zusammengestellt sind.

Die Kondensatoren werden in der Schaltung nach Marx (Fig. 6) verwendet. In der Mitte zwischen den vier Säulen ist eine Welle durchgeführt, welche die eine bewegliche Kugel der einstellbaren Ansprechfunkenstrecken der 16 Spannungsstufen enthält. Die

Verbindungsstäbe aussen an den Säulen enthalten die Ladewiderstände, während die Dämpfungswiderstände in die Verbindungen zu den Ansprech-

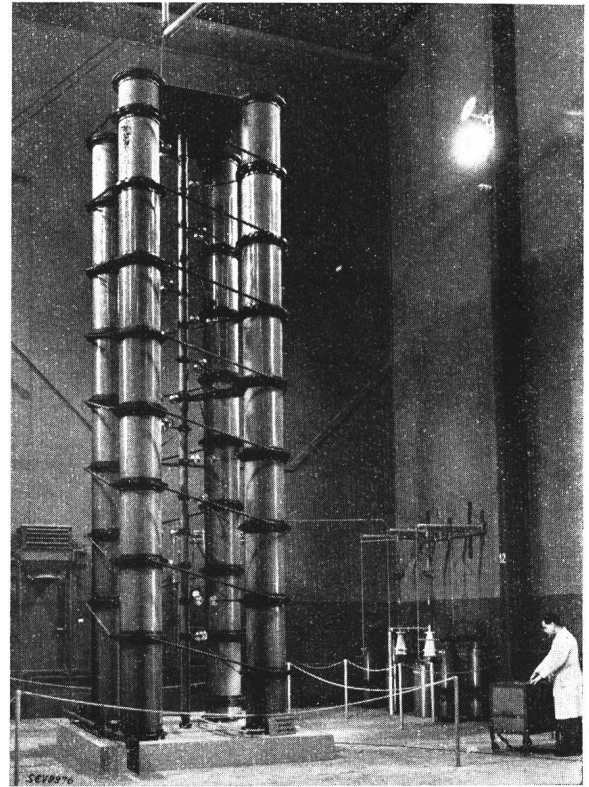


Fig. 5.
Stossgenerator für 2000 kV.

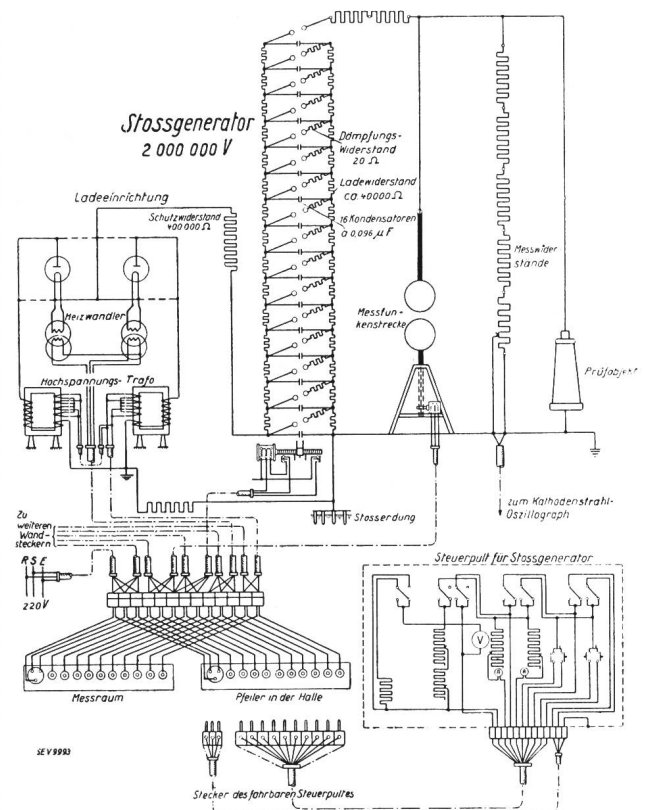


Fig. 6.
Schaltschema der Stossanlage.

funknestrecken gelegt sind. Der Tangens des Verlustwinkels der Kondensatoren ist bei 20° C kleiner als 0,0025 und bei 60° C kleiner als 0,0035. Die Eigenfrequenz eines Kondensators über die kurzgeschlossenen Klemmen beträgt 300 000 Hz. Ein weiterer anzapfbarer Widerstand von 600 Ohm, der den Frontanstieg des Stosses reguliert, ist in Serie in die Zuleitung zum Prüfobjekt und zur Messfunknestrecke eingebaut. Für den parallel zum Prüfobjekt und zur Funknestrecke liegenden Entladewiderstand sind zwei Ausführungen vorhanden. Die eine Ausführung besteht aus einem induktivitätsarmen Widerstandsband, das auf einem Bakelitrohr festgemacht ist, während die zweite Ausführung ein nach Berger kapazitiv abgeschirmter Widerstand²⁾ ist, der je nach Bedarf aus Einheiten von 1440 Ohm und 175 kV Stoßspannung zusammengestellt wird. Die Schutzkapazität dieses Widerstandes wirkt auch als konstante kapazitive Belastung des Stossengenerators, gegenüber der die Kapazität kleiner Prüfobjekte zurücktritt, so dass der Seriewiderstand für die Einstellung der Stirn des Stosses weniger verändert werden muss.

Für die *Aufladung* des Kondensators werden zwei Ventile benützt, deren Sperrspannung 275 kV beträgt und die von zwei kleinen luftisolierten Transformatoren mit dem Übersetzungsverhältnis 220/125 000 V gespeist werden. Die Heizung erfolgt über zwei für 125 kV isolierte Heiztransformatoren. Als Schutz für die Ventile wurde in Serie mit der Aufladeeinrichtung ein Widerstand von 400 000 Ohm geschaltet.

Die *Steuerung des Stossengenerators* kann mit Hilfe eines kleinen fahrbaren Schaltpultes (Fig. 6) von vier verschiedenen Stellen aus erfolgen: einmal vom Messraum-Innern, dann von einer Stelle in der Prüfhalle selbst, ferner vom Kommandoraum und von der Versuchshalle der Hochleistungsanlage aus.

An diesen vier Stellen befinden sich Steckdosen für den Anschluss des fahrbaren Schaltpultes. Mit Hilfe von Schiebewiderständen werden Spannung und Heizung reguliert und mit Druckknopfschaltern können sowohl die Schaltfunknestrecken des Stossengenerators, als auch die Messfunknestrecke zur Messung der Spannung über deren Fernantriebe eingestellt werden. Die Einstellung dieser Funknestrecken kann an grossen, weithin sichtbaren Zifferblättern abgelesen werden.

Sehr grosse Sorgfalt wurde den *Erdungen* gewidmet. Für die *Stosserdung* wurden unmittelbar unter dem Stossengenerator vier eiserne Pfähle von 7 m Länge in den Boden gerammt und miteinander verbunden. Vom Versuchsplatz bis unter den Stossengenerator wurde eine separate Erdleitung durchgeführt, derart, dass die Stromschleife des Stossstromes am kleinsten wurde. Für die *Gestellerdung* wurde innen ringsum parallel zu den Gebäudewänden eine Bandlektrode in den Erdboden verlegt. Diese Erdung wurde vorerst von der Stosserdung getrennt gehalten; es wurden aber verschiedene

sichtbare und lösbare Verbindungsstellen geschaffen. Ausserdem wurde vorsichtshalber das ausge dehnte Beleuchtungsnetz des Hochspannungslabors über einen Isoliertransformator an das übrige Fabriknetz angeschlossen. Ausser der Isolierung hatte man dadurch den Vorteil, in diesem Fabrikteil heute schon zur höhern Normalspannung von 380 V übergehen zu können.

Da der früher schon vorhandene *Kathodenstrahl-oszillograph* der Maschinenfabrik Oerlikon ständig für die Abschaltversuche in der Hochleistungsanlage benötigt wird, wurde das Hochspannungslaboratorium mit einem neuen *Doppelkathodenstrahl-oszillograph*

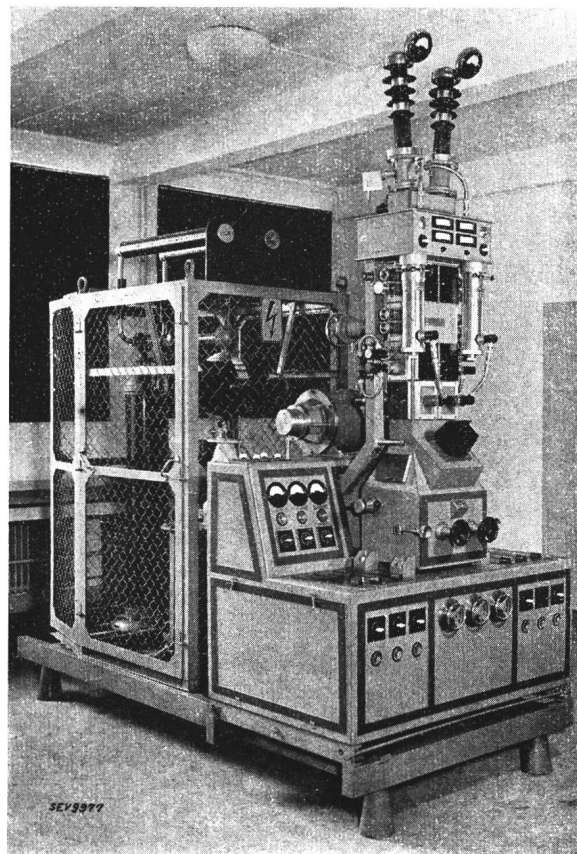


Fig. 7.
Doppelkathodenstrahl-oszillograph.

graphen (Fig. 7) ausgerüstet. Dieser von der Firma Trüb, Täuber & Co., A.-G., Zürich, nach Berger³⁾ gebaute Oszillograph hat zwei Entladeröhren, die im selben Vakuum auf demselben Aufnahmegefäss aufgebaut sind, und erlaubt somit, zwei getrennte elektrische Vorgänge unabhängig voneinander auf dem gleichen photographischen Film aufzunehmen.

Am Oszillograph ist in der Nähe der Ablenkplatten ein kombiniertes Zeitablenkrelais für rasche und langsame einmalige logarithmische Zeitablenkung sowie für einmalige und wiederholte Zeitablenkung mit linearem Maßstab angebaut. Der Kathodenstrahl-oszillograph ist auf ein Schaltpult gestellt; er enthält vier Gleichrichter für die Speisung

²⁾ «Elektrizität, technisches Zeitbild aus der Schweizerischen Landesausstellung 1939» (Verlag: Elektrowirtschaft, Zürich), S. 178.

³⁾ Siehe K. Berger: «Ein neuer Doppelkathodenstrahl-oszillograph», Bulletin SEV, 1940, Nr. 5, S. 113.

der Sammelspulen, der Zeitrelais und für die Verschiebung der Nulllinien. In den Pultflächen sind die Messinstrumente, Schalter und Regulierwiderstände eingebaut. Um von der Zu- und Ableitung von Kühlwasser befreit zu sein, wurde der Oszillograph mit einer Molekularluftpumpe versehen. Der Kathodenstrahloszillograph soll nicht nur im Hochspannungslaboratorium benützt werden, sondern muss bei Versuchen irgendwo in der Fabrik an grossen Objekten auch unmittelbar an diese herangestellt werden können. Er wurde daher fahrbar gemacht. Zu diesem Zweck ist er mitsamt der Spannungsquelle (bestehend aus Transformator 200/50 000 V, Gleichrichterröhre, Heiztransformator, Glättkondensator und Dämpfungswiderstand) auf einen eisernen Rahmen aufgebaut, der als Chassis dient und unter welchen zwei Automobilachsen untergeschoben und befestigt werden können.

Das Laboratorium ist mit Registrier- und Messinstrumenten zur Kontrolle des Luftdrucks, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit versehen. Ferner ist es mit einer *fahrbaren Misch- und Spritzanlage* für Berechnungsversuche ausgerüstet. Der Boden um den Oelkessel herum sowie dessen Deckel sind zu diesem Zwecke mit Wasserabläufen versehen.

Mit dieser Anlage besitzt die Maschinenfabrik Oerlikon heute eines der modernsten und bestausgerüsteten Hochspannungslaboratorien. Die mit diesen Hilfsmitteln betriebene, zweckgebundene Forschung hat bereits auf dem Gebiete des Ueberspannungsableiter-Baues zu sehr interessanten positiven Resultaten geführt und wird zweifellos auf dem ganzen Gebiet der Hochspannung den weiteren Fortschritt beschleunigen helfen.

III. Die Hochleistungsanlage

A. Allgemeine Disposition

Das grundsätzliche Schema ist überaus einfach. Der Kurzschlussgenerator arbeitet über Drosselspulen und einen Schutzschalter direkt oder über einen Transformator auf den Prüfling, hinter wel-

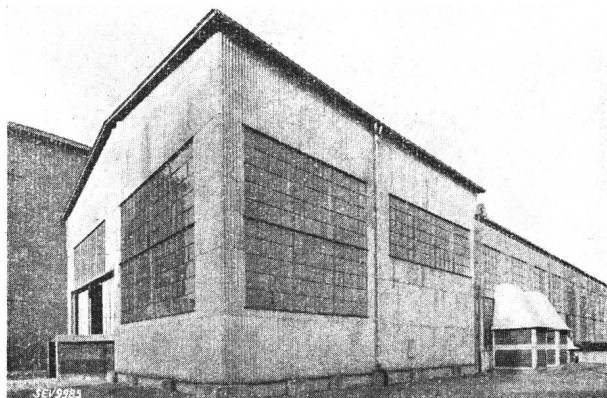


Fig. 8.
Aussenansicht der Hochleistungsanlage.

chem der Kurzschluss gebildet wird. Der Schutzschalter schliesst in der Regel den Kurzschlusskreis, und der Prüfling, der vorher eingeschaltet wurde,

unterbricht den Kurzschluss. Die Erregung des Kurzschlussgenerators wird von einer starken Erregermaschine geliefert, die ihrerseits von einer kleinen Umformergruppe aus erregt wird.

Für die Unterbringung der ganzen Kurzschlussprüfanlage stand eine Halle von ca. 20×20 m zur Verfügung (Fig. 8); sie wurde durch eine starke Längsmauer aus Eisenbeton in zwei Hälften geteilt (Fig. 9). Die südliche Hälfte ist als Maschinenhalle

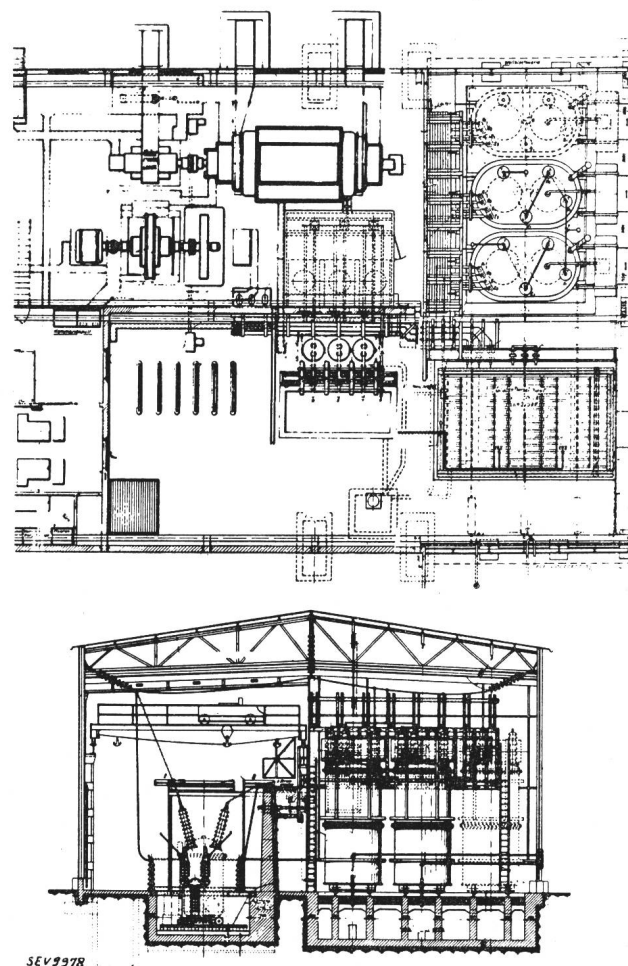


Fig. 9.
Disposition der Hochleistungsanlage
Maßstab ca. 1 : 300

ausgebaut; darin steht der Kurzschlussgenerator mit seinem Antriebsmotor. Parallel dazu steht der Haupterregter mit seinem Antriebsmotor und die kleine Hilferregergruppe. In einer geschlossenen, betonierten Kabine sind die Drosselspulen untergebracht.

Für die Disposition der Anlage war als Hauptforderung die Reduktion des induktiven Abfalles in den Leitungen massgebend, bei gleichzeitiger guter Beobachtungsmöglichkeit sowohl des Maschinenraumes als auch des Prüffeldes von der Schaltwarte aus. Nur die Anordnung dieser drei Punkte in einem möglichst gleichseitigen Dreieck konnte diese Bedingungen erfüllen. Das Erdgeschoss enthält die 6000-V-Schaltanlage, d. h. in einzelne Zellen untergebracht, die Schalter des die Energie zuführenden Kabels und die Schalter für die zwei

Motoren der Kurzschlussgruppe und der Erregergruppe, die beide für 6000 V gewickelt wurden. Im ersten Stockwerk befindet sich, durch eine Glaswand von der Maschinenhalle getrennt, der Kommandoraum. Durch einen Schlitz in einer starken Stahlplatte hat man eine vorzügliche Uebersicht auf die Versuchshalle und kann die Vorgänge darin bei völliger Sicherheit aus verhältnismässig geringer Distanz beobachten.

Im Oszillographenraum ist ebenfalls ein Beobachtungsschlitz vorhanden. Rechts neben diesem Schlitz ist in der Wand eine kleine Schalttafel eingelassen, die die Steuerschalter zur Einleitung der Kurzschlussprüfung enthält. Zwei Telephonapparate vermitteln den Verkehr nach aussen und mit den Monteuren der Versuchshalle.

Entlang der Trennwand gegen die Maschinenhalle laufen die Versuchssammelschienen. Die Zuleitung der Kurzschlussenergie vom Generator her erfolgt durch die Betontrennwand hindurch mit

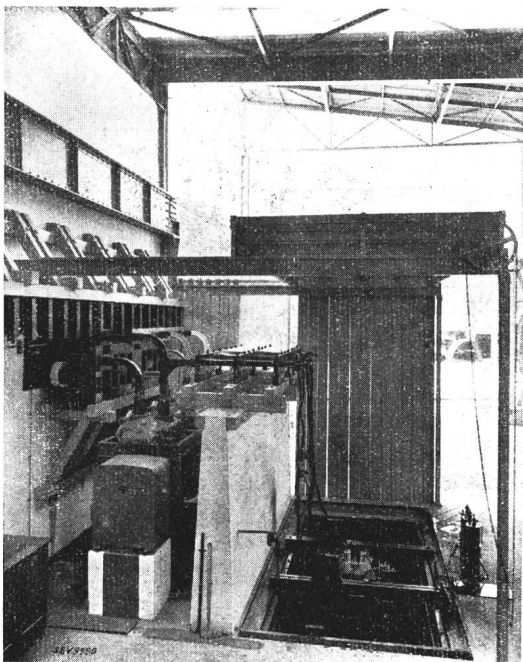


Fig. 10.

Blick in die Versuchshalle mit Schutzschalter und kleiner Versuchsgrube.

Hilfe von drei Durchführungsstromwandlern, die zum Differentialschutz der Maschine gehören. Zwischen Stromwandlern und Sammelschienen ist der Schutzschalter in den Kurzschlusskreis eingefügt.

Dicht neben dem Schutzschalter befindet sich die kleine Versuchsgrube (Fig. 10) für Schalter bis 15 kV Nennspannung. Die Versuchsgrube besitzt, wie der Schutzschalter auch, ein für das ausfliessende Oel vorgesehene Sammelbecken mit Ablaufrohr nach einer nicht entlüfteten Sammelgrube. Die Halle enthält ferner eine Gleichstromprüfstation für Versuche bis 1000 V und 20 000 A.

Da die Versuchshalle gegen Westen zu gänzlich offen ist, besteht auch bei Versuchen, die zu starken Druckdifferenzen und zu deren Ausgleich füh-

ren, keine Gefahr für das Gebäude. Ausserdem kann bei Versuchen von Apparaten bis auf ihre Bruchbelastung über die kleine Versuchsgrube ein starker Rahmen mit Splitterfanggittern gefahren werden. In diesen Rahmen können auf zwei Seiten starke Holzbohlen angehängt werden, als seitliche Splitterfänger.

Bei ähnlichen Versuchen in der grossen Grube kann die westliche Hallenöffnung ebenfalls mit Bohlen geschlossen werden.

Unter den zwei Transformatoren sind unter einer Decke von gewaschenem Kies grosse Oelauffanggruben ausgespart, welche den ganzen Oelinhalt der Transformatoren aufnehmen können. Um bei einem katastrophalen Defekt der Transformatoren einen Oelbrand zu verhindern, können die Absperrschieber der Transformatoren von ausserhalb des Gebäudes geöffnet und die Transformatorenkessel rasch durch grosse Röhren in die Gruben entleert werden.

Der Wand der Maschinenhalle entlang laufen die verlängerten Versuchssammelschienen mit Generatorspannung; von einer Galerie aus kann die Umschaltung der Transformatoren ausgeführt werden.

Der äussere Teil der Versuchshalle ist für die Prüfungen mit höheren Spannungen, bis zu 220 kV, reserviert. Ungefähr in der Achse der kleinen Versuchsgrube liegt die grössere, die für dreipolige Oelschaltergruppen von 220 kV bemessen ist. Quer durch die äussere Versuchshalle, d. h. über die Transformatorengruppe und die grosse Grube, ist eine Sammelschiene für 220 kV Nennspannung, bestehend aus isolierten Kupferseilen, gespannt.

B. Einige Angaben über die Hauptobjekte der Kurzschlussanlage

Der Kurzschlussgenerator ist als Turbomaschine gebaut, von 1500 U/min, Nennspannung 12 000 V, Nennstrom 3000 A, entsprechend einer Typenleistung von 62 500 kVA. Da er aber ganz besonders für die Verwendung als Kurzschlussmaschine entworfen wurde, waren andere Gesichtspunkte als bei einer normalen Maschine für seine Bemessung massgebend. Es sei hier lediglich bemerkt, dass die Streureaktanz des Generators 0,192 Ohm beträgt, so dass bei Kurzschluss mit einer Spannung von 14 000 V nach SEV eine Einschaltleistung von über einer Million kVA erreicht wird. (Effektivwert des Wechselstromanteils multipliziert mit dem Effektivwert der wiederkehrenden Spannung mal $\sqrt{3}$.) Durch eine etwas vor dem Kurzschluss einsetzende Stosserregung wird das Abklingen des Kurzschlussstromes für die Versuchszeit praktisch aufgehalten, so dass die Abschaltleistung nahe an die Einschaltleistung heran kommt. Da der Generator eine Stromspitze von über 300 000 A abgeben kann, können mit ihm auch alle Versuche über die dynamische Festigkeit von Stromwandlerspulen aller Art, Trennern usw. durchgeführt werden.

Der Generator wiegt total 137 t, der Rotor allein 52 t. Das Schwungmoment des Rotors beträgt 48

tm². Der Antrieb des Generators erfolgt durch einen am 6000-V-Netz angeschlossenen Asynchronmotor von 1700 kW normaler und 3400 kW maximaler Leistung, der auf der gemeinsamen Grundplatte montiert ist. Um ein möglichst einfaches, nicht durchbrochenes Fundament zu erhalten, wurden die sämtlichen Luftkanäle nach oben aus den Maschinen herausgenommen. Die Frischluft wird durch zwei Kanäle aus dem Freien über Viscin-Filter entnommen und den Maschinenstirnseiten zugeführt. Die Warmluft strömt längs der oberen Mantellinie des Stators in den Maschinensaal aus und dient im Winter mit zur Heizung des Raumes. Die Klemmen des Generators sind auf der Seite angebracht, so dass die Leitungen direkt in die Kabine einmünden können, wo sich die Drosselspulen befinden. Das Fundament der Kurzschlussgruppe konnte so zu einem kompakten Block von rund 700 t Beton gestaltet werden, das ca. 25 t Armierungseisen enthält.

Der Generator kann in Stern oder Dreieck und ausserdem können seine Wicklungshälften in Serie oder parallel geschaltet werden. Alle diese Schaltungsänderungen werden durch einfaches Ein- und Ausschrauben gerader Schienenstücke in der Drosselspulenkabine vorgenommen. Der Generator ist als wertvollstes Objekt der Anlage durch Differentialrelais gegen Phasenschlüsse geschützt. Tritt ein Fehler im Generator auf, so werden alle Antriebsmotoren abgeschaltet, der Kurzschlussgenerator wird entregt und ausserdem kann die Gruppe gebremst werden. Durch einen Kraftspeicher werden die Klappen der Zu- und Abluftkanäle des Generators geschlossen und zwei Umlaufklappen geöffnet, während gleichzeitig die Ventile der Kohlensäurelöscheinrichtung geöffnet werden. Die Bremsung der Gruppe erfolgt durch Erregung des Stators des Antriebsmotors mit Gleichstrom und durch Belasten des Rotors auf den Anlasswiderstand. Bei jedem Anlassen der Gruppe geht der Anlasser nach Kurzschliessen des Rotors sofort automatisch in die Bremsstellung über, so dass die Bremsvorrichtung stets betriebsbereit ist. Durch elektrische und mechanische Verriegelungen an den Schaltern und Trennern ist dafür Sorge getragen, dass durch Fehlschaltungen das Hochspannungsnetz nicht mit dem Gleichstromnetz verbunden wird. In einer Grube an der Südwand sind die Ölpumpen für die Schmierung der Lager, der Ölkühler und der Ölschalter untergebracht.

Zur Ueberwindung der Reibung der Ruhe beim Anlassen solch grosser Maschinengruppen hat man andernorts Anwurfsmotoren mit Klinkenwerk, sogenannte Vireurs, vorgesehen. Das Anwerfen der Kurzschlussgruppe Oerlikon erfolgt auf eine viel einfachere Art und Weise durch den Kran der Versuchshallen. An dessen Haken hängt man ein Seil, das durch ein im Boden verlegtes Rohr gezogen und am andern Ende um den Kupplungsflansch zwischen Generator und Motor geschlungen wird.

Die Haupterregemaschine (Fig. 11) kann dauernd 800 A bei 1000 V abgeben, während der Stoss-

erregungszeit das Zehnfache. Wegen des Drehzahlabfalles der Kurzschlussgruppe beim Kurzschluss wird der Haupterregter durch einen eigenen Motor von 560 kW angetrieben. Vor dem Kurzschluss wer-

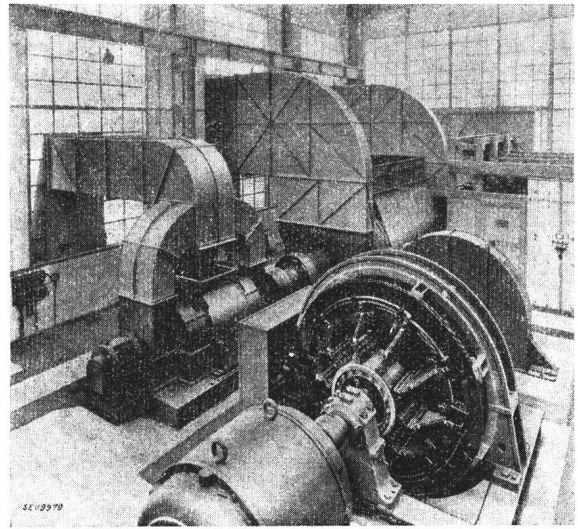


Fig. 11.
Blick von der Schaltwarte in die Maschinenhalle.
(Links Kurzschlussgenerator, rechts Erregergruppe.)

den jeweils beide Gruppen vom 6000-V-Netz abgetrennt, so dass dieses völlig ungestört bleibt. Die ganze Kurzschlussleistung muss daher der kinetischen Energie der rotierenden Massen entnommen werden; zur Lieferung der Stosserreglerleistung wurde das Schwungmoment des Haupterregers

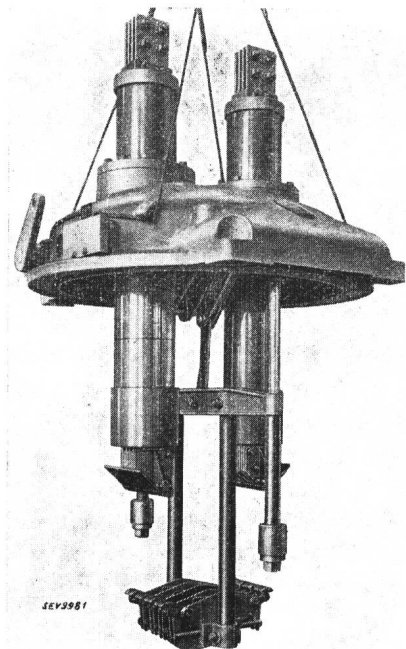


Fig. 12.
Ein Pol des Schutzschalters für 1 000 000 kVA Abschaltleistung.

durch den Anbau eines Schwungrads erhöht. Die Stosserregung erfolgt durch Kurzschliessen eines Widerstandes im Rotorkreis des Kurzschluss-

generators, so dass die Spannung am Rotor sprungweise auf ein Mehrfaches erhöht wird. Die Nebenschlusswicklung des Haupterregers wird ihrerseits durch eine kleine fremderregte Hilfserregergruppe gespeist.

Zur Reduktion der Kurzschlußströme bei konstanter Spannung sind zwei Drosselspulensätze pro Phase vorhanden. Mit den Hauptspulen, die für vierfache Serieparallelschaltung eingerichtet sind, kann eine Abstufung der Abschaltleistung in 12 Stufen bis auf 18 % der vollen Leistung herunter erfolgen. Mit dem zweiten Drosselsatz kann in weiteren 4 Stufen die Abschaltleistung bis auf ein bis zwei Prozente reduziert werden. Sie sind isoliert für 15 kV Nennspannung und mit kräftigen Compoundhölzern abgestützt. Der Einbau erfolgte nach Phasen getrennt in Betonzellen, deren Wände mit unmagnetischem Metall armiert wurden.

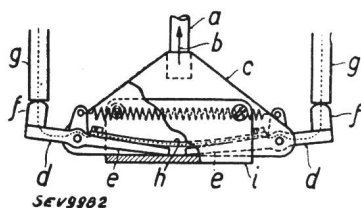


Fig. 13.
Grundsätzliche
Arbeitsweise des
Schutzschalters

a Isolierstange (Antrieb). *b* Schliessbewegung der Schaltertraverse. *c* Traverse. *d, e* Zweiarmiger Hebel der beweglichen Kontakte *f, g* feste Kontakte. *h* Verbindungslitze. *i* isolierte Lagerplatte.

Der *Schutzschalter* ist ein Dreikesselschalter für 15 kV Nennspannung und 3000 A Nennstrom mit einer Abschaltleistung von 1 000 000 kVA. Mit diesem Schalter (Fig. 12 und 13) werden in der Regel die Kurzschlüsse eingeleitet. Er wurde daher ganz besonders für die Einschaltung hoher Ströme konstruiert, und zwar mit abhebungsreifen Balancekontakten. Sobald die Schalterkontakte sich berühren und ein Strom fliesst, macht sich in der durch die Schalterdurchführung und die Traverse gebildeten Schleife die bekannte elektrodynamische Kraft⁴⁾ bemerkbar, die diese Schleife vergrössern will. Da nun die Traverse durch den entsprechend bemessenen Antrieb des Schalters in der Einschaltstellung festgehalten wird, äussert sich die Kraft in einer dem Quadrat des Stromes proportionalen Grösse infolge der ungleichen Länge der Arme der Balancekontakte als Verstärkung des Kontaktdruckes, die jede Abhebungserscheinung verunmöglicht. Ein anderer wesentlicher Vorteil des Balancekontakts besteht darin, dass die Kontaktflächen sich beim Öffnen aufeinander abwälzen. Sollten die Kontakte durch die hohe Stromdichte an den punktförmigen Berührungstellen zusammenschweissen, so wird beim Ausschalten durch diese Wälzbewegung trotzdem eine sichere Trennung der Kontakte gewährleistet. Der Antrieb des Schutzschalters erfolgt durch einen Federkraftspeicher, der durch einen Elektromotor stets sofort wieder aufgeladen wird.

Die *Sammelschienen* bestehen aus je drei Kupferschienen von 100×10 mm; sie sind zur Reduk-

tion des induktiven Abfalles möglichst nahe aneinander geführt. Der grossen, schlagartig auftretenden elektrodynamischen Kräfte wegen wurde zur Isolation der ganzen Leitungsführungen Harzpapier und Oelholz verwendet. Die Tragkonstruk-

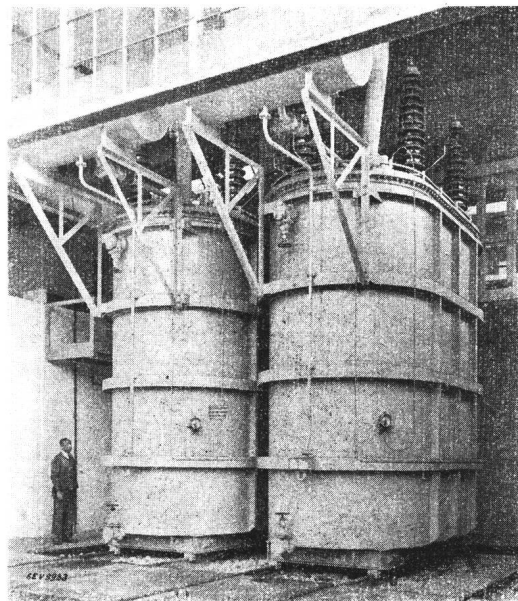


Fig. 14.
Die Transformatoren der Hochleistungsanlage.

tionen wurden der magnetischen Wirkungen wegen ebenfalls in Holz ausgeführt, das zur Verringerung der Brandgefahr mit einem speziellen Mittel getränkt wurde.

Die *Transformatorengruppe* (Fig. 14) besteht vorläufig aus zwei einphasigen Transformatoren, deren Streureaktanz, auf 15 000 V und Sternschaltung bezogen, 0,05 Ohm beträgt. Durch Serie-Pa-

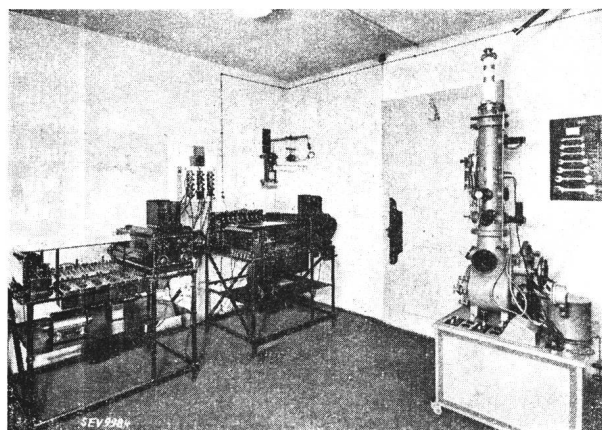


Fig. 15.
Die Ausrüstung des Oszillographenraumes.

rall- und Stern-Dreieck-Schaltung können bei voller Leistung die wiederkehrenden Spannungen von 43,5, 75, 87, 150 und 220 kV erreicht werden.

Jeder Transformator wiegt ohne Oel 83 t; die Oelfüllung beträgt je 30 t.

⁴⁾ Bulletin Oerlikon, Nr. 113.

Der Kurzschlussanlage fest zugeteilt ist ein *Achtschleifenoszillograph*, Fabrikat S & H, mit zwei Wattmeterschleifen, mit dem ein zweiter *Sechsschleifenapparat* bei Bedarf gekuppelt wird (Fig. 15). Für die Untersuchung der Einschwingvorgänge der wiederkehrenden Spannung, bei denen es auf die Feststellung von Zeiten in der Grössenordnung einer Mikrosekunde ankommt, wurde ein *Kalkathodenstrahloszillograph* der Fa. Trüb, Täuber & Co., Zürich, aufgestellt. Die Spannung für die Strahlerzeugung wird über die Schalttafel des Kommandoraumes zugeführt. Als wertvolle Ergänzung kommt ein Relais nach Berger hinzu, welches erlaubt, wiederholte lineare Zeitablenkungen vorzunehmen, so dass ungezielte Aufnahmen mit grossem Zeitmaßstab möglich sind.

Die Kurzschlussversuche erfolgen in der Weise, dass zuerst die Drosselspulen und der Stosswiderstand der gewollten Leistung entsprechend geschaltet und dann die Gruppen mit Hilfe von Fernsteuerungen vom Schaltpulte aus angelassen werden. Hernach wird die Spannung eingestellt. Dies ist aber erst möglich, nachdem der Schlüsselschalter am Steuertableau beim Beobachtungsschlitz

im Oszillographenraum geschlossen wurde, da über dessen Kontakte der Stromkreis des Hilfsreglers geführt ist. Die Steuerung des eigentlichen Kurzschlussvorganges erfolgt völlig automatisch durch eine zentrale, federgetriebene Steuerwalze. Die Auslösung der Steuerwalze, d. h. der Beginn des Vorganges wird vom Ingenieur am Beobachtungsschlitz vorgenommen. Eine Reihe von Verriegelungen kontrolliert den richtigen Zustand aller Schalter, und durch ein Zeitrelais werden nach Ablauf einer festgestellten Zeit sicherheitshalber sämtliche Schalter ausgelöst und die Anlage stillgesetzt. Am selben Beobachtungsschlitz findet sich auch die mechanische Auslösung der Kohlensäure-Löscheinrichtung zur Löschung eventueller Schalterbrände.

Mit der beschriebenen Kurzschlussprüfanlage besitzt die Maschinenfabrik Oerlikon ein nach dem heutigen Stande der Technik vollkommenes Mittel zur Erforschung der Vorgänge beim Schalten aller heute vorkommenden hohen Ströme und Leistungen und zur Entwicklung und zur Prüfung der Schalter, welche diese Ströme und Leistungen anstandslos beherrschen können.

Le potentiel électrique aux environs d'une centrale

Par Ch. Jean-Richard, Berne

621.316.991

La question de savoir où placer une «terre séparée» aux environs d'une centrale a donné lieu à quelques recherches expérimentales. Le résultat de ces recherches est indiqué d'une manière circonstanciée dans les lignes qui suivent.

Die Frage nach einer geeigneten Stelle zur Anbringung einer «Sondererde» in der Umgebung eines Kraftwerkes gab Veranlassung zu einigen Versuchen und Messungen. Das Ergebnis derselben ist nachstehend im einzelnen aufgeführt.

Le potentiel électrique aux environs d'une centrale est intéressant à connaître pour deux raisons:

Tout d'abord par rapport à la contrée dans laquelle la centrale est située et deuxièmement par égard aux chutes de potentiel sur le terrain même de la centrale.

Nous nous sommes intéressé à ces questions dans le cas concret d'une centrale des Forces Motrices Bernoises, voir Fig. 1.

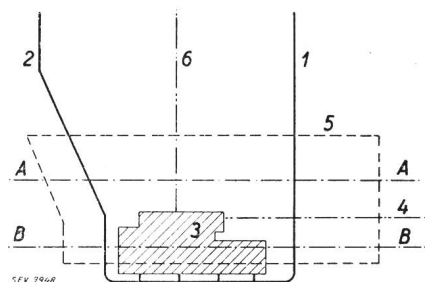


Fig. 1
Situation

1, 2 Conduites forcées. 3 Centrale. 4 Ligne (15 km) allant au point de repère. 5 Circonférence de l'étendue explorée. 6 Ligne (20 km) allant au point du court-circuit avec la terre. A-A, B-B sections, dont le potentiel est reproduit dans la fig. 2.

Cette centrale est alimentée par deux conduites forcées dont le tracé est pratiquement parallèle, mais dont l'une arrive du côté est dans la centrale, et l'autre du côté ouest. Elles sont distantes dans leur partie parallèle d'environ 150 m. Les turbines

de cette centrale déversent leur eau dans un lac à quelques mètres de la centrale. En amont le terrain présente d'abord un petit replat pour grimper ensuite à environ 70 m plus haut en pente douce recouverte d'herbe.

Cette centrale et ses environs immédiats ont fait l'objet de nos recherches après que la pluie avait abondamment arrosé le terrain.

Pour commencer nous avons tâché de trouver un point de repère. Ce point nous l'avons trouvé à 15 km de la centrale, au pied d'une montagne rocheuse loin de toute voie ferrée. Ce point était relié à la centrale par trois conducteurs utilisés ordinairement comme ligne d'alimentation du poste de transformation situé en ce point. Nous avons déclenché cette ligne de part et d'autre. Au point de repère nous l'avons reliée à la terre, et à la centrale nous l'avons reliée à un voltmètre dont l'autre borne était attachée à une électrode volante.

Avec ce dispositif nous avons exploré la centrale et ses environs sur une étendue de 250 m de large sur 100 m de long et comprenant toute la région entre les deux conduites forcées et deux bandes de terrain en dehors de cette région, situées le long des conduites forcées.

Nous avons fixé au moyen de fiches 56 points répartis uniformément sur toute l'étendue et nous avons appliqué successivement l'électrode volante à chacun de ces points.