Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 26 (1935)

Heft: 17

Artikel: Entwicklungsaussichten gittergesteuerter Vakuum-Stromrichter für Starkstrom

Autor: Goudenzi. A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058471

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: 23.08.2025

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:
S. A. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zurich 4
Stauffacherquai 36/40

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXVIe Année | N° 17 | Vendredi, 16 Août 1935

Entwicklungsaussichten gittergesteuerter Vakuum-Stromrichter für Starkstrom.

Referat, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 24. November 1934 in Langenthal,

von *A. Gaudenzi, Baden.*

621.314.652 : 621.314.67

Die drei heute bekannten Vakuum-Stromrichtertypen, das Hochvakuum-Glühtahodenventil, das dampfgefüllte Glühkathodenventil und das dampfgefüllte Quecksilberkathodenventil werden in ihrer Wirkungsweise besprochen und nach ihrer Wirtschaftlichkeit, Betriebssicherheit, Steuerbarkeit, Spannungs- und Stromgrenze, Lebensdauer der Kathode und Anwendungsgebiete beurteilt. Im besonderen wird versucht, die Frage zu beantworten, ob auch der Hochvakuum-Glühkathodenapparat und der Dampfapparat mit Glühkathode sich für grosse Leistungen entwickeln lassen und ob auch der Metallapparat mit Quecksilberkathode weiter ausgebaut werden kann, z. B. als Umformer für die Hochspannungs-Gleichstromkraftübertragung.

L'auteur explique le fonctionnement des trois types connus aujourd'hui de redresseurs de courant dans le vide, la soupape à cathode incandescente à vide poussé, la soupape à cathode incandescente à atmosphère gazeuse et la soupape à atmosphère gazeuse à cathode de mercure, et les examine au point de vue de l'économie, de la sécurité d'exploitation, de la commande par grille polarisée, des limites fixées à la tension et à l'intensité, de la durée de la cathode et des domaines d'application. Il essaye plus particulièrement d'établir s'il est possible de développer les soupapes à cathode incandescente à vide poussé et à remplissage gazeux pour les grandes puissances et si l'on peut également encore développer la soupape à cathode de mercure et à cuve métallique pour l'utiliser p. ex. pour le transport d'énergie sous forme de courant continu à haute tension.

A. Einleitung.

Die Schwachstromtechnik verwendet heute in ausgedehntem Masse gittergesteuerte Vakuumapparate kleiner Leistung für die verschiedensten Zwecke. Die Radioindustrie benutzt hauptsächlich die Hochvakuumröhren mit Glühkathode als Verstärker und Gleichrichter und nur in den Sendeanlagen Hochspannungsgleichrichter grösserer Leistung aus Glas oder aus Metall zur Speisung der Sender; diese Senderöhren erreichen bereits Leistungen von 300 kW.

Die gesteuerten Glühkathodenventile mit Gas- oder Hg-Dampf-Füllung, besonders in Glas, wurden in den letzten Jahren als Klein-Gleichrichter und Relais eingeführt und haben eine grosse Verbreitung gefunden. Es handelt sich auch hier um Leistungen von einigen Watt bis zu höchstens 130 kW in einem einzigen Fall. Die ungesteuerten und gesteuerten Glasapparate und besonders die Metallapparate mit Quecksilberkathode und Quecksilberdampffüllung haben sich als Umformer grosser Leistung seit über 20 Jahren ausgezeichnet bewährt. Es sind einige tausend Metallgleichrichter mit Leistungen pro Einheit bis ca. 5000 kW auf der ganzen Erde heute im Betrieb, wovon der grössere Prozentsatz jedenfalls bis vor kurzer Zeit aus der Schweiz stammt. Auch die Gittersteuerung wurde für diese Grossgleichrichter zuerst von hier aus eingeführt und lieferte ebenfalls ausgezeichnete Resultate.

Ich will nun versuchen, die Frage zu beantworten, ob auch der Hochvakuum-Glühkathodenapparat und der Dampfapparat mit Glühkathode sich für grosse Leistungen entwickeln lassen und ob auch der Metallapparat mit Quecksilberkathode weiter ausgebaut werden kann und welche Bedeutung er für die Starkstromtechnik voraussichtlich in Zukunft haben wird, z. B. als Umformer für die Hochspannungs-Gleichstromkraftübertragung.

Wir kennen also heute drei gittergesteuerte Vakuum-Stromrichtertypen, welche die Starkstromtechnik besonders interessieren:

a) Das Hochvakuum-Glühkathodenventil (Fig. 1);
b) das dampfgefüllte Glühkathodenventil (Fig. 2);
c) das dampfgefüllte Quecksilberkathodenventil (Fig. 3).

Ich schicke zur Klarstellung voraus:

Stromrichter*) ist der Sammelbegriff für die drei Anwendungsmöglichkeiten der gesteuerten Vakuumventile als:

a) Gleichrichter (Umformer: Wechsel—Gleichstrom);
b) Wechselrichter (Umformer: Gleich—Wechselstrom);
c) Umrichter (Frequenzumformer).

Die etwas umständliche Namengebung für die Einzelventile wurde gewählt, um sie physikalisch

*) Neuerdings geht die Tendenz dahin, für diese Apparate das universelle Wort «Mutator» einzuführen. (Red.)

besser zu charakterisieren. Sie ist aber gar nicht unpraktisch, weil damit immer klar umschrieben wird, wovon man redet. Besonders die diesem Gebiet Fernstehenden können z. B. aus einem griechischen Namen wie «Thyratron», der in Fachkreisen leider für das gesteuerte dampfgefüllte Ventil sich schon eingenistet hat, nichts Charakteristisches entnehmen [1]). Ich sage leider, weil es sich in diesem besondern Fall um eine Markenbezeichnung, die einer Herstellerin solcher Apparate in den Vereinigten Staaten und Europa geschützt wurde, und nicht um eine neutrale wissenschaftliche Bezeichnung handelt.

B. Beschreibung der Einzeltypen (Fig. 1 bis 3).

Das Gehäuse ist schematisch in Fig. 1 bis 3 als Kugel dargestellt, mit den Anschlußstutzen für die Hochvakuumpumpe. Die Anoden sind überall von oben zugeführt, die Querstriche in den Zuleitungen geben an, ob zu jedem Gefäss eine oder mehrere Elektroden angeordnet werden können. Die Kathode besteht in Fig. 1 und 2 aus einer Metall-

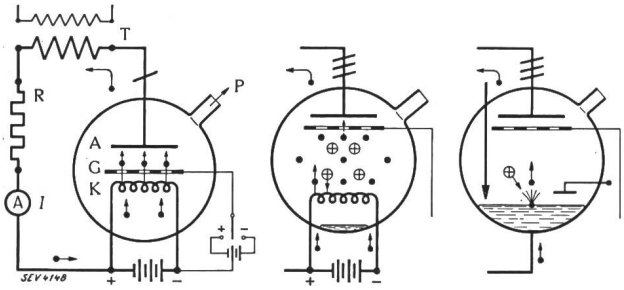

Fig. 1. Gittergesteuertes Hochvakuum-Glühkathoden-Ventil. Fig. 2. Gittergesteuertes dampfgefülltes Glühkathoden-Ventil. Fig. 3. Gittergesteuertes dampfgefülltes Hg-Kathoden-Ventil.

spirale, die von der Batterie oder einem Heiztransformator auf ca. 1000 ° C bis 2000 ° C geheizt wird; Baumaterial: Wolfram, Molybdän, Tantal, Niob oder mit Bariumoxyd aktiviertes Nickel. Fig. 3 zeigt die bekannte Quecksilberkathode.

Das Steuergitter ist im Hochvakuumventil Fig. 1, um eine möglichst niedere Steuerspannung zu erreichen, in die Nähe der Kathode gerückt und in den beiden dampfgefüllten Ventilen in der Nähe der Anode angeordnet, um sicher zu steuern. Die Lage der Gitter relativ zur Kathode oder Anode ist durch die physikalischen Eigenschaften der einzelnen Apparate bedingt. Die Steuerspannung erreicht im Hochvakuum-Ventil ca. 10 % der Betriebsspannung; in den beiden übrigen beträgt sie unabhängig von der Uebertragungsspannug 100 bis 200 V.

Weitere Elektroden sind die Tauchzündelektrode zur Zündung des Lichtbogens in Fig. 3 und die Erregeranode, die dazu dient, den Hilfslichtbogen dauernd zu unterhalten.

Der Druck ist im Hochvakuumventil am kleinsten; er beträgt nur 10^{-5} bis 10^{-6} mm Hg. In den beiden Hg-Dampf-Apparaten steigt er auf das 1000-fache und erreicht 10^{-3} bis 10^{-2} mm Hg. Die Anforderungen an Dichtigkeit, Mittel zur Entgasung der Innenteile und Pumpeinrichtungen sind für diese sehr verschiedenen Druckbereiche sehr unterschiedlich. Um Höchstvakuum (Fig. 1) zu erreichen und zu unterhalten, ist die übliche Hg-Pumpe praktisch ohne Ausfriergefässe zur Kondensation der Quecksilberdämpfe ganz ungeeignet, weil der Druck dieser Dämpfe bei 20 ° C schon ca. 10^{-3} mm Hg beträgt. Hier muss man eine Oeldiffusionspumpe oder noch besser eine rotierende Molekularluftpumpe verwenden und dazu die übliche Vorvakuumpumpe, die von Atmosphärendruck auf einen Vorvakuumdruck von einigen Hundertstel mm Hg herunterpumpt.

Der äussere elektrische Kreis ist nur in Fig. 1 ausführlich und einphasig gezeichnet und gilt auch für die beiden übrigen Fälle. An die Anode schliesst sich der Leistungstransformator an und an diesen der Belastungs- oder Nutzwiderstand mit Ampèremeter, dessen weitere Verbindung an der Kathode endigt.

Die Heizquellen für die Glühkathoden finden sich nur in Fig. 1 und 2. Die Steuerbatterie im Gitter-Kathodenkreis erlaubt, das Steuergitter wahlweise relativ zur Kathode positiv oder negativ zu laden, je nachdem, ob der Stromdurchgang freigegeben oder gesperrt werden soll.

C. Als Grundlage für die Beurteilung dieser drei Ventile sollen folgende Gesichtspunkte gelten:

1. Die Wirtschaftlichkeit.
2. Die Betriebssicherheit bezüglich Rückzündungen und Steuerung.
3. Die Steuerbarkeit, d. h. ob kontinuierlich gesteuert werden kann, oder ob nur das Zünden und eventuell das Löschen des Stromes bestimmbar ist.
4. Die Spannungsgrenze.
5. Die Stromgrenze.
6. Die Lebensdauer der Kathode.
7. Die Anwendungsgebiete, für die sich die Ventile besonders eignen oder in Betracht kommen.

D. Physikalische Vorgänge; Vor- und Nachteile der einzelnen Ventile.

a) Das gittergesteuerte Hochvakuum-Glühkathodenventil (Fig. 1).

Die physikalischen Vorgänge sind im Hochvakuumventil Fig. 1 am einfachsten und wohl auch bisher bis zu Leistungen von einigen hundert kW am besten erforscht. Es sei nur kurz ein qualitatives Bild über die inneren Vorgänge entworfen. Die Kathode, eine Metallspirale aus schwer schmelzbarem Material, wie Wolfram, Molybdän, Tantal, wird mit der Heizbatterie oder einem Heiztransformator auf ca. 2000 ° C erwärmt. In diesem Zustand gibt die Oberfläche der Spirale eine ungeheure Zahl von Elektronen in den Hochvakuumraum ab, wie etwa eine Flüssigkeit Dampf abgibt.

[1]) Siehe auch ETZ, Juli 1934, H. Geffcken und H. Richter.

Diese Elektronen sind die negativ geladenen Elektrizitätsatome, die sich in allen Metallen finden. Bei positivem Gitter und positiver Anode relativ zur Kathode durcheilen die Elektronen den Hochvakuumraum und treffen mit grosser Geschwindigkeit auf die Anode auf. Auf ihrem Weg Kathode—Anode wurden sie durch das elektrische Feld Gitter—Kathode und Anode—Kathode beschleunigt. Ihre ganze Energie, die sie auf diesem Beschleunigungswege gewonnen haben, geben sie nun an die Anode ab und erwärmen sie. Innerhalb des metallischen Leiters setzt sich dann die Elektronenwanderung fort, durch den Transformator und den Nutzwiderstand *R* bis zurück zur Quelle, d. h. zur Glühkathode. Der Strom wird also auf dem ganzen Kreis, d. h. Hochvakuum und Metall, nur durch die negativ geladenen Elektronen getragen. Wir können nun ein anschauliches Mass für den Strom erhalten, denn ca. 10^{19} Elektronen pro Sekunde durch irgendeinen Querschnitt des ganzen geschlossenen Kreises entsprechen einem Ampère. Es ist bekanntlich üblich, die Richtung des Stromes in einem Verbraucherkreis von (+) nach (—) anzugeben; die stromtragenden Elektronen aber bewegen sich gerade umgekehrt. Das kommt daher, weil man die Stromrichtung willkürlich und zufällig gerade verkehrt festlegte, zu einer Zeit, als die Elektronen noch nicht entdeckt waren. Diese Unstimmigkeit wird sicherlich später einmal beseitigt werden müssen. Auf Grund der Elektronenströmung in nur einer Richtung, d. h. von der heissen Kathode zur kalten Anode besteht die elektrische Ventilwirkung, die nur bei Störungen verschwindet, wenn aus irgendeinem Grunde auch die Anode durch lokale Ueberhitzung z. B. selbst zu einer Elektronenquelle wird.

Die stromtragenden Elektronen erzeugen nun auf ihrem Vakuumwege K—A einen viel grösseren Spannungsabfall als in der metallischen Leitung. Es kommen Spannungsabfälle von der Grössenordnung 100 bis einige tausend Volt vor, trotzdem der Abstand A—K nur einige mm oder cm beträgt. Dieser Spannungsabfall entsteht durch das gegenseitige elektrische Abstossen der Elektronen; sie hemmen sich auf ihrem Wege zur Anode. Es besteht also hier, bildlich gesprochen, ein gewaltiges Verkehrsgedränge und es werden dabei von den Einzelindividuen bei ihrem Vorwärtsdrängen reichlich viel Püffe mit den Ellenbogen ausgeteilt. Wir werden dann später sehen, wie dieses Verkehrsproblem elegant gelöst wird.

Es ist nun möglich, mit dem Steuergitter den Elektronenfluss im Hochvakuumventil beliebig zu regeln. Macht man bei positiver Anode das Gitter stark positiv, dann kann man bei genügend hoher Anodenspannug die ganze den Glühdraht verlassende Elektronenschar plötzlich freigeben, oder umgekehrt, bei genügend negativem Gitter relativ zur Kathode ebenso plötzlich stoppen. Es lässt sich aber auch jeder beliebige Zwischenwert einstellen. Der maximale Strom, der in einem Hochvakuumventil überhaupt fliessen kann, ist der sogenannte Sättigungsstrom entsprechend der maximal möglichen sekundlichen Elektronenzahl, welche die Glühkathode verlassen kann. Bei Kurzschlüssen ist also der Kurzschlußstrom begrenzt. Lässt sich der Kurzschlußstrom mit dem Gitter rasch löschen, dann entsteht weiter kein Nachteil; im Gegenteil, bei Kurzschlüssen ist die Strombegrenzung vorteilhaft. Ist das nicht möglich, dann steigt die Spannung an der Röhre und mit ihr die Verluste, welche unter Umständen die Temperatur der Anode auf unzulässige Werte steigern können.

Auf Grund der Ventilwirkung und seiner vielseitigen Steuermöglichkeit kann dieser Apparat als Gleichrichter, Wechselrichter und Umrichter arbeiten. Man kann ihn aber auch als Gleichstromschalter für sehr hohe Spannungen benutzen und dank der universellen Steuerung den Strom in Zeiten löschen, die keine störenden Nebenerscheinungen wie Ueberspannungen auftreten lassen. Eventuell sind weitere Schaltelemente in Form gesteuerter Ventile nötig.

Es interessiert nun hier die Frage: Lässt sich der Hochvakuumapparat auch als Umformer für die Starkstromtechnik entwickeln?

Von der Verwendung als Verstärker und Sender in der Radiotechnik soll hier abgesehen werden. Sein grosser Spannungsabfall bestimmt ganz eindeutig sein praktisches Anwendungsgebiet: das Gebiet der hohen Spannungen. Als Umformer für die Gleichstrom-Kraftübertragung kommt der Hochvakuumstromrichter ernsthaft in Frage. Die Spannungsgrenze bei Strömen unter 1 A und die Stromgrenze bei Spannungen über 10 kV wurden schon erreicht, so dass voraussichtlich der Bau von Stromrichtern von 40 000 bis 50 000 kW als möglich erscheint. Rechnet man mit einer Gleichspannung von ca. 200 kV und ca. 1000 V Spannungsabfall für den Vollaststrom, dann betragen die Verluste, abgesehen von der Heizenergie für die Kathode, ca. $^1/_2$ % der zu übertragenden Leistung. Wir können einschliesslich aller Verluste im Stromrichter also einen Wirkungsgrad von ca. 99 % erwarten. Theoretisch besitzt das Hochvakuumventil eine sehr grosse Rückzündungs- und Steuersicherheit. Bedingung ist jedoch eine ganz vorzügliche Entgasung der Anode und des Gitters, was aber praktisch bei grossen Einheiten ganz ausserordentliche Schwierigkeiten bereiten wird, wenn man bedenkt, dass es sich hier voraussichtlich um technische Konstruktionen handeln wird, die dauernd an der Hochvakuumpumpe laufen müssen und nicht um abgeschmolzene Glasapparaturen, die bei ca. 400° C formiert werden können. Wir kennen heute Laboratoriumsausführungen in Metall — Porzellan mit Hochvakuumpumpe, die bei 650 kV und Strömen unter 1 A (Druck 10^{-5} mm Hg) sicher arbeiten, allerdings ohne Steuergitter, also nur als Gleichrichter [2]).

[2]) Ein solcher Apparat ist z. B. beschrieben in der amerikanischen Zeitschrift «The Review of Scientific Instruments» vom März 1933 und September 1934.

Ueber eine Hochvakuum-Glühkathodensenderröhre für 200 A und 10 kV berichtete Herr Prof. F. Fischer in seiner Antrittsvorlesung an der Eidg. Techn. Hochschule (1934).

Es ist interessant, festzustellen, dass in der Fachwelt gegen den Hochvakuum-Stromrichter als Umformer für die Gleichstromkraftübertragung eigentlich ein Vorurteil besteht. Entweder wird er wegen des zu grossen Spannungsabfalles abgelehnt, oder dann gar nicht in Betracht gezogen. Der Spannungsabfall ist aber kein Hindernis, denn es sollte möglich sein, Apparate für Ströme über 200 A mit maximal 1000 Volt Spannungsverlust zwischen Anode und Kathode zu bauen.

Die Nachteile des Hochvakuumventils als Starkstromapparat für grosse Spannungen und Leistungen sind:

a) Der grosse Spannungsabfall und damit beschränktes Anwendungsfeld.
b) Die beschränkte Lebensdauer der Kathode (schätzungsweise 10 000 Stunden).
c) Hohe Anforderungen an die Vakuumhaltung.
d) Steuerspannung bis ca. 10 % der Gleichspannung, also etwa 20 kV.
e) Bei Rückzündung wirkt sich die ganze Kurzschluss-Leistung auf das Ventil aus.
f) Anheizzeit der Glühkathode vor Inbetriebsetzung zirka 1/2 Stunde.
g) Besondere Heizung der Glühkathode nötig.

Die Vorteile sind:

a) Theoretisch ausgezeichnete Steuer- und Rückzündungssicherheit wegen des hohen Vakuums.
b) Beliebige Steuerung des Stromflusses.
c) Rasche, zeitlich abstimmbare Rückzündungs-Löschung.
d) Die ganze Spannung von z. B. 200 kV kann von einer Einheit zu 6 oder mehr Anoden in 6phasiger Schaltung umgeformt werden.
e) Steuerung bei Umformung so, dass der Strom gegen die Spannung voreilt oder nur wenig nacheilt, also gleichzeitige Leistungsfaktorregulierung.
f) Durch die Steuerung sinusförmige Wechselspannung erreichbar, allerdings auf Kosten des Wirkungsgrades. Für sehr hohe Spannungen muss Rechtecksteuerung des Stromes gewählt werden.
g) Kurzschlußstrom begrenzt.

Zusammenfassend können wir von diesem Ventil sagen, dass es als Umformer hoher Leistung für die Starkstromtechnik noch nicht entwickelt ist. Die Leistungen von 300 kW, welche bei Radiosendern heute erreicht wurden, sind beachtlich, und zwar besonders deshalb, weil die dabei verwendete Niob-Kathode 200 Ampère Emissionsstrom hat und der Spannungsabfall nur auf ca. 1000 V ansteigt. Was also noch zu tun bleibt, ist eine Aufgabe, die die höchsten Anforderungen an die technische Physik stellt, wenn man bedenkt, dass es sich hier darum handelt, technische Hochvakuumventile mit dauernd angeschlossener Pumpe zu entwickeln, die bei mindestens einigen hundert Ampère in Sechsphasenanordnung ca. 200 kV Gleichspannung geben sollen. Für diese hohen Gleichstromspannungen müssten die Ventile gegen ca. 400 kV Rückwärtsspannung sicher sperren (Sechsphasenanordnung). Ferner kann folgendes gesagt werden:

1. Die Wirtschaftlichkeit ist für die Höchstspannungen ausreichend, ja gut.
2. Die Betriebssicherheit ist theoretisch bezüglich Rückzündung und Steuerung sehr gut.
3. Die Steuerbarkeit ist vielseitig, d. h. man kann den Strom zu beliebigen Augenblicken zünden, löschen oder stetig regeln.
4. Die Spannungsgrenze liegt für einige 100 A bei schätzungsweise 200 kV (Sechsphasenanordnung).
5. Die Stromgrenze liegt über 200 A.
6. Die Lebensdauer der Kathode wird wahrscheinlich grösser als 10 000 Stunden sein.
7. Als Anwendung in der Starkstromtechnik kommt nur die Gleichstromkraftübertragung in Frage.

Wird einmal die Entwicklung solcher Apparate für Starkstrom und Höchstspannungen in Angriff genommen, dann werden sich auch in diesem Fall ähnlich wie bei den Hg-Kathoden-Stromrichtern immer wieder neue Schwierigkeiten zeigen, die theoretisch nicht vorauszusehen waren. Es wird auch hier eine Unsumme von Forschungsarbeit zu leisten sein, wenn man das Ziel erreichen will, trotzdem die physikalischen Vorgänge einfacher sind als in den Dampfventilen.

b) Das gittergesteuerte, dampfgefüllte Glühkathodenventil (Fig. 2)

ist ähnlich wie das eben beschriebene Hochvakuumventil aufgebaut. Das Gitter wird zweckmässig in der Nähe der Anode angeordnet. Die Steuerwirkung ist aber anderer Art als in der Hochvakuum-Glühkathodenröhre. Die Glühkathode ist im Prinzip ähnlich; zur Erzielung grösserer Stromergiebigkeit ist sie z. B. mit Bariumoxyd aktiviert. Der wesentlichste Unterschied besteht aber in der Dichte des Entladungsmediums. Unterhalb der Glühkathode ist ein kleiner Hg-Vorrat, der von der glühenden Spirale durch Strahlung erwärmt wird und verdampft. An den kühleren Wandungen des Gefässes kondensiert das Hg und läuft in bekannter Weise wieder nach der tiefsten Stelle des Apparates. Der Hg-Dampfdruck beträgt normalerweise 10^{-3} bis 10^{-2} mm Hg, ist also etwa 1000mal grösser als der Gasdruck im Hochvakuum-Ventil, was gegenüber Fig. 1 eine vollkommene Aenderung des Entladungscharakters zur Folge hat. Die den glühenden Draht verlassenden Elektronen stossen auf ihrem Beschleunigungsweg zur Anode mit den neutralen Dampfatomen zusammen und spalten diese, wenn sie genügend Energie erreicht haben, in neue Elektronen und schwere positive Ionen. Diese schweren Ionen sind etwa 400 000mal schwerer als die Elektronen und bewegen sich relativ langsam gegen die Kathode; sie spielen gewissermassen die Rolle von Verkehrspolizisten, denn sie bewirken durch ihre Anwesenheit längs der Entladungsbahn, dass die Elektronen, ohne sich gegenseitig wesentlich elektrisch zu hemmen, das Ziel, d. h. die Anode erreichen. Das macht sich sofort in der gegen Fig. 1 ausserordentlich starken Spannungsabfallverminderung bemerkbar. Tatsächlich misst man z. B. in einem Glühkathoden-Metall-Gleichrichter für 700 A mit Hg-Dampf einen Span-

nungsabfall von ca. 15 V statt einen solchen von Tausenden von Volt bei sonst gleichen geometrischen Verhältnissen ohne Hg-Dampf. Die positiven Ionen ändern aber den ganzen Charakter der Steuerung. Normalerweise lässt sich bei Apparaten nach Fig. 2 nur das Einsetzen, d. h. das Zünden des Stromes bestimmen. Fliesst einmal der Strom durch das Gitter, so ist eine Beeinflussung mit der Gittersteuerung nicht mehr möglich. Diese Erscheinung war bis vor etwa zwei Jahren von der Fachwelt als unumstössliche Tatsache hingenommen worden. Es wurde dann entdeckt, dass man einen brennenden Strom auch willkürlich in einem beliebigen Zeitpunkt löschen kann, und es gelang auch, Ströme bis 700 A bei einer Vorwärtsspannung von 4 bis 5 kV sicher zu unterbrechen, entsprechend einer momentanen Löschleistung von ca. 3000 kVA [3]). Man kann also bei Anwesenheit der positiven Ionen nun den Zünd- und den Löschpunkt des Stromes bestimmen, nicht aber wie beim Hochvakuumventil den Strom kontinuierlich regeln.

Dank der Ventilwirkung und der Steuerung des Stromes (Zündsteuerung) kann auch der dampfgefüllte Glühkathodenapparat bekanntlich als Gleichrichter, Wechselrichter und Umrichter arbeiten.

Wenn einmal die Löschsteuerung für praktische Zwecke entwickelt sein wird, besteht die Möglichkeit, die Zündung und Löschung des Stromes einer Anode mit dem Gitter so zu wählen, dass der Strom relativ zu seiner Spannung voreilt. Ein so gesteuerter Stromrichter belastet also das Netz wie ein Kondensator, was in vielen Fällen ein bedeutender Vorteil ist. Die Löschsteuerung wird dann voraussichtlich erlauben, den Glühkathoden-Stromrichter auch als Schalter für grosse Spannungen zu verwenden, denn es ist möglich, den durch den Stromrichter fliessenden Strom in einem beliebigen Zeitmoment zu unterbrechen. Auch hier wird man, wie bei Fig. 1, zusätzliche Schaltelemente vorsehen müssen.

Von Brown Boveri wurde ein sechsanodiger Versuchsgleichrichter mit Glühkathode gebaut, der dauernd ca. 1000 A bei 600 V führen kann. (Bei 700 A, 15 V Spannungsabfall; dazu kommen noch 0,5 bis 0,7 V für die Heizverluste.) Bei Kurzschlüssen stieg der Strom der Kathode auf 13 500 A, ohne sie irgendwie nachteilig zu beeinflussen. Glasapparate mit Glühkathode wurden von anderen Firmen gebaut, für ca. 10 A bis zu ca. 30 kV.

Es wird voraussichtlich möglich sein, Glühkathoden herzustellen, die dauernd ca. 5000 A vertragen. Anderseits sollte es auch gelingen, die Spannungsgrenze von Metallapparaten auf 50 kV und mehr zu steigern. Damit eröffnet sich die Aussicht, Stromrichter mit Glühkathode und Dampffüllung zu bauen, die als Umformer grosser Leistung für die Gleichstromkraftübertragung ernsthaft in Betracht kommen. Bei einer Energieübertragung mit 200 kV wäre aber Reihenschaltung mehrerer Apparate nötig, um diese hohe Gleichspannung zu erreichen.

[3]) E. Kobel, Löschsteuerung, Bull. SEV 1933, Nr. 3.

Die Nachteile dieses Glühkathodenventils sind:

a) Beschränkte Lebensdauer der Kathode, schätzungsweise ca. 10 000 Stunden.
b) Für die Gleichstromkraftübertragung sind mehrere Einheiten in Reihe nötig.
c) Anheizzeit für die Kathode ca. 1/2 Stunde.
d) Besondere Heizung der Glühkathode nötig.

Die Vorteile sind:

a) Kleiner Spannungsabfall, und zwar:
Für Gleichspannungen bis 200 Volt ca. 10 Volt,
» » von 200 bis 3000 V ca. 15 Volt bei z. B. 700 A,
» » über 3000 V ca. 20 Volt.
b) Geringerer Aufwand an Kühlmitteln und Kühleinrichtungen als mit Hg-Kathode wegen der kleineren Verluste.
c) Stabile Dampfverhältnisse im Ventil und damit theoretisch grössere Steuer- und Rückzündsicherheit als mit Hg-Kathode.
d) Zu jeder Kathode sind mehrere Anoden anwendbar, in Mehrphasenschaltung.
e) Geringe Anforderung an die Vakuumhaltung.
f) Durch Löschsteuerung evtl. Verbesserung des Leistungsfaktors.

Zusammenfassend kann von diesem Ventil gesagt werden:

1. Die Wirtschaftlichkeit ist sehr gut, weil der Spannungsabfall klein ist.
2. Betriebssicherheit theoretisch bezüglich Rückzündung und Steuerung wohl geringer als beim Hochvakuumventil, aber praktisch sehr gut.
3. Art der Steuerung: Zündsteuerung, evtl. später auch Löschsteuerung.
4. Spannungsgrenze: ca. 50 kV, Gleichspannung evt. höher, bei 6phasiger Anordnung.
5. Stromgrenze voraussichtlich ca. 5000 A.
6. Lebensdauer der Kathode ca. 10 000 Stunden.
7. Anwendungsgebiete:
   a) Bei Höchstspannungen: Gleichstromkraftübertragung als Gleich- und Wechselrichter.
   b) Bei mittleren Spannungen: Radiogleichrichter mit Gittersteuerung.
   c) Bei Niederspannung: Für die verschiedensten Zwecke, als Gleich-, Wechsel- und Umrichter (Gittersteuerung).

Auch bei diesem Ventil wird man bei der Weiterentwicklung mit Hindernissen rechnen müssen, die theoretisch nicht vorauszusehen sind, wie unsere Erfahrungen mit den Hg-Kathoden-Apparaten bei jedeu neuen Vorwärtsschreiten immer wieder zeigen.

c) Der bekannte normale Gleichrichter oder Stromrichter,

d. h. das gittergesteuerte dampfgefüllte Hg-Kathoden-Ventil ist in Fig. 3 dargestellt. An Stelle der Glühkathode tritt die Hg-Kathode, die statt Fremdheizung ein Zündelement, z. B. in der bekannten Form des Tauchzünders, und eine Erregerelektrode verlangt, um dauernd einen Elektronen emittierenden glühenden Kathodenfleck zu unterhalten. Die Elektronenquelle ist hier also ganz anderer Art als in Fig. 1 und 2. Die Hg-Kathode liefert ca. 20mal mehr Hg-Dampf als der geringe Hg-Vorrat des Glühkathodenventils, bezogen auf eine gegebene Temperatur, weil aus dem Kathodenfleck zusätzlich Dampf entweicht. Die Dampfabgabe ist stromabhängig und sie macht sich bei sehr grossen Ueberlasten

hie und da unangenehm bemerkbar, denn durch die steigende Dampfdichte im Anodenventil wächst auch die Rückzündungsgefahr und die Steuerunsicherheit, und trotzdem zeigt die Praxis ganz ausgezeichnete Resultate, wie unsere reichen Erfahrungen lehren. Von den verschiedenen tausend Metall-Gleichrichtern, die auf der ganzen Erde installiert sind, ist der grösste Teil schweizerischer Provenienz. Davon sind eine ganze Reihe seit Jahren mit Steuergittern ausgerüstet, die sich sowohl zur Abschaltung von Ueberlasten als auch zur Spannungsregulierung bewährt haben und ebenfalls in den meisten Fällen aus der Schweiz stammen und vor allem für grosse Leistungen von hier aus zuerst eingeführt wurden. Der Entladungscharakter ist, abgesehen von den Vorgängen an der Kathode, genau wie in Fig. 2 mit Glühkathode. Die neutralen Quecksilberatome werden wie im Glühkathodenapparat durch den Stoss der gegen die Anode wandernden Elektronen ionisiert, d. h. in neue Elektronen und die Ionen aufgespalten. Die Ionen wandern verhältnismässig langsam gegen die Kathode, um dort dafür zu sorgen, dass der Kathodenfleck dauernd hoch erhitzt bleibt und so Elektronen abgeben kann. An der Kathode findet eine Anhäufung von positiven Quecksilberionen statt und es entsteht aus diesem Grunde auf einer Strecke von weniger als 1 mm ein vom Strom unabhängiger Spannungsabfall von ca. 10 V (Kathodenfall). An der positiven Anode hingegen häufen sich, während der Bogen brennt, sehr nahe der Oberfläche Elektronen an und erzeugen dort ein Spannungsgefälle von ca. 5 V (Anodenfall). Auf der ganzen übrigen Bogenstrecke Anode—Kathode sind innerhalb der Strombahn etwa gleich viel Elektronen und Ionen pro Volumeneinheit vorhanden; es besteht also hier ein angenähert elektrisch neutraler Zustand (Quasineutralität), so dass der Spannungsabfall pro cm Bogenlänge nur ca. 0,1 V beträgt. In einem normalen Brown-Boveri-Gleichrichter für 700 A erreicht der Spannungsabfall, mit Wattmeter gemessen, 20 V, mit Glühkathode unter genau gleichen Bedingungen 15 V.

Die Steuerung ist von gleicher Art wie im dampfgefüllten Glühkathodenventil. Man kann heute vorläufig praktisch nur das Zünden des Anodenstromes mit Steuergitter bestimmen. Das geschieht so: Das Gitter wird relativ zur Kathode mit der Steuerstromquelle dauernd negativ geladen bis zum Augenblick der gewollten Stromzündung. In diesem Moment wird der Steuerschalter umgelegt und das Gitter erhält einen positiven Spannungsstoss, so dass die vorher vom negativen Gitter zurückgehaltenen Elektronen nun von diesem angezogen werden und der Weg zur positiven Anode freigegeben ist; der Strom kann zünden. (Das Gitter arbeitet als Hilfsanode.)

Auch dieser Stromrichtertypus lässt sich bekanntlich auf Grund seiner Ventilwirkung und Zündsteuerung als Gleichrichter, Wechselrichter und Umrichter verwenden.

Wird einmal die schon erwähnte Löschsteuerung praktisch entwickelt sein, dann kann man den Strom auch willkürlich löschen, so dass auch dieser Stromrichter voraussichtlich als Schalter für hohe Gleichspannungen wird arbeiten können. Auch in diesem Fall wird man mit zusätzlichen Schaltelementen rechnen müssen. Ferner besteht hier die Möglichkeit, wie in Fig. 1 und 2 mit der Löschsteuerung durch passende Wahl des Zünd- und Löschpunktes des Anodenstromes den Leistungsfaktor zu verbessern, ja mit voreilendem Strom zu arbeiten.

Im Gleichrichterbetrieb wurden pro Gefäss mit dem Hg-Kathoden-Ventil bisher beispielsweise folgende Grenzwerte erreicht:

Kathodenstrom: 8000 A dauernd bis 700 V.
Kathodenstrom: ca. 40 A bis 50 kV.
Spannungsabfall: 20 V bei 700 A.
Spannungsabfall: 30 V bei 6000 A.

In Zukunft wird man vielleicht erreichen:

Kathodenstrom 10 000 A dauernd bis 700 V.
Kathodenstrom 500 A dauernd bis 50 kV, evt. noch höher.

Der Spannungsabfall wird sich kaum senken lassen.

Für die Gleichstromkraftübertragung ist also Reihenschaltung mehrerer Einheiten nötig, wie mit dem Ventil nach Fig. 2, um mindestens 200 kV Gleichspannung zu erreichen. Aber gerade der normale Gleichrichter mit Quecksilber- oder eventuell Glühkathode hat Aussicht, sich für diese Anwendung besonders zu eignen wegen seiner vielseitigen Steuerfähigkeit, seiner hohen Stromgrenze und seiner grossen Wirtschaftlichkeit. Es ist derjenige Vakuumapparat, der in dieser Richtung heute wohl am weitesten entwickelt ist. Noch sind grosse Schwierigkeiten zu beseitigen, doch sie erscheinen überwindbar.

Die Nachteile sind:

a) Spannungsabfall grösser als mit Glühkathode (Fig. 2).
b) Zünd- und Erregerelektroden nötig.
c) Für Höchstspannungen Reihenschaltung mehrerer Einheiten nötig.

Als Vorteile sind zu nennen:

a) Unbeschränkte Lebensdauer der Kathode.
b) Sehr grosse Stromergiebigkeit der Kathode.
c) Sofortige Betriebsbereitschaft.
d) Mehrere Anoden pro Gefäss.
e) Geringe Anforderungen an die Vakuumhaltung.
f) Mit Löschsteuerung evtl. Leistungsfaktorverbesserung.

Die schon erwähnte Löschsteuerung wird voraussichtlich noch erlauben, die Stromrichter nach Fig. 2 und 3 nicht nur als Schalter für hohe Gleichspannungen zu verwenden, sondern auch als Umformer, um niederfrequenten Strom in Strom höherer Frequenz umzuwandeln, z. B. zur Speisung von Induktionsöfen.

Zusammenfassend können wir von diesem Ventiltypus sagen:

1. Die Wirtschaftlichkeit ist sehr gut, wenig verschieden von Fig. 2 und 40- bis 50mal besser als bei Fig. 1.
2. Die Betriebssicherheit bezüglich Steuerung und Rückzündungen ist sehr gut.

3. Steuerart: Zünd- und evtl. Löschsteuerung.
4. Spannungsgrenze: ca. 50 kV pro Einheit, evt. höher.
5. Stromgrenze: ca. 10 000 A dauernd.
6. Lebensdauer der Kathode: unbegrenzt.
7. Anwendungsgebiete:
   a) Bei Höchstspannungen: Gleichstromkraftübertragung als Gleich- und Wechselrichter.
   b) Bei mittleren Spannungen: Radiogleichrichter mit Gittersteuerung.
   c) Bei Niederspannung: Für die verschiedensten Zwecke, als Gleich-, Wechsel- und Umrichter (Gittersteuerung).

E. Zusammenfassung.

a) Der gewöhnliche Gleichrichter oder Stromrichter mit Quecksilberkathode oder eventuell mit Glühkathode und mit Quecksilberdampf gefüllt, ist derjenige Umformer, der die vielseitigsten Eigenschaften aufweist und deshalb auch in Zukunft die grössten Aussichten haben wird, auf allen Gebieten, wo Strom umgeformt wird, eingeführt zu werden. Mit der Glühkathode wird es voraussichtlich gelingen, im dampfgefüllten Apparat den Spannungsabfall auch für Ströme bis ca. 5000 A niedriger zu halten als mit Quecksilberkathode, und so den Wirkungsgrad zu verbessern. Es dürfte also möglich sein, wirtschaftliche Grossgleichrichter zu bauen auch für Betriebsspannungen bis herunter zu 220 V, also besonders für Niederspannungsanlagen. Als Umformer für die Gleichstromkraftübertragung mit Quecksilberkathode oder eventuell mit Glühkathode wird der gewöhnliche Stromrichter als Grosstype hoher Stromergiebigkeit mit vielseitiger Steuerungsmöglichkeit und grosser Wirtschaftlichkeit voraussichtlich an erster Stelle stehen.

b) Der für die Gleichstromkraftübertragung theoretisch geeignetste Hochvakuum-Stromrichter steht noch in den ersten Anfängen der Entwicklung. Einzig die Radiotechnik verwendet heute solche gesteuerte Ventiltypen für 10 bis 20 kV und Ströme bis ca. 200 A. Die Leistung pro Ventil erreicht heute höchstens 300 kW und der Spannungsabfall beträgt für ein 200 A-Rohr ca. 1000 V [4]). Als ungesteuerte Ventile, also ohne Gitter, wurden Hochvakuumapparate bis 650 kV mit dauernd angeschlossener Hochvakuumpumpe schon betrieben, allerdings nur für Ströme unter 1 A. Diese Zahlen zeigen, dass der Bau solcher Apparate für Tausende von kW nicht ausgeschlossen erscheint.

Ich möchte nun an dieser Stelle eine Anregung machen: Unsere Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich hat ein neues, vorzüglich ausgebautes Institut für technische Physik und ein neues, vorzüglich eingerichtetes Hochspannungslaboratorium erhalten. Es bestünde nun hier die Möglichkeit, grundlegende Vorarbeiten zum Bau von Hochvakuumventilen für einige hundert Ampère und Höchstspannungen zu leisten, welche unserer Industrie sehr viel nützen könnten. Man könnte zweifelsohne mindestens die Frage abklären, ob es möglich ist und ob es sich lohnt, Höchstspannungs-Hochvakuum-Stromrichter für Gleichstrom-Kraftübertragungsanlagen zu bauen.

Dabei ist es gar nicht nötig, die Voruntersuchungen bei voller Leistung durchzuführen, die ja ohnehin nur schwer aufzubringen ist. Es genügt, wenn soviel Energie vorhanden ist, um einmal bei maximalem Strom die Verluste zu decken und anderseits soviel Spannung, um die Spannungstüchtigkeit des Ventils zu erproben. Jedenfalls bestünde hier die Möglichkeit, der Industrie auf einem für die Zukunft sehr wichtigen, wirtschaftlich bedeutenden Gebiete zu helfen.

[4]) Z. techn. Physik 1934, Nr. 1, S. 25.

Diskussion.

Der **Vorsitzende,** Herr Direktor *M. Schiesser,* Baden, Präsident des SEV, dankt dem Vortragenden für das vortreffliche Referat. Die Gleichstromkraftübertragung hat zweifellos in fernerer Zukunft grosse Aussichten. Beispielsweise wäre eine Kraftübertragung Lavorgo-Amsteg mit Gleichstromkabel durch den Gotthardtunnel ganz bedeutend billiger als mit Freileitung über das Gotthardmassiv; Voraussetzung ist natürlich, dass die Umformungsapparate Drehstrom-Gleichstrom und umgekehrt für die in Frage kommenden gewaltigen Leistungen entwickelt sind. Es ist durchaus denkbar, dass die Entwicklung dieser Umformungsmittel einmal rapide Sprünge macht. Die Uebertragungsspannungen stiegen ja auch in sehr kurzer Zeit von 50 auf 200 kV; bei der Hellgate-Turbine — um ein Beispiel aus der Wärmetechnik zu nehmen — wurde ein einziger Sprung von 60 000 auf 163 000 kW gemacht.

Eine wichtige Frage ist die nach der Lebensdauer der Hochleistungs-Glühkathodenröhren. Vielleicht ist Herr Prof. Fischer in der Lage, aus seinen Erfahrungen hierüber interessante Mitteilungen zu machen.

Prof. Dr. **F. Fischer,** Eidg. Techn. Hochschule, Zürich, sah die Entwicklung dieser Röhren aus der Nähe. In der Technik der Aktivierung der Glühkathoden wurden ganz wesentliche Fortschritte gemacht; man weiss jedoch heute noch wenig über die physikalischen Vorgänge bei der Aktivierung; vielleicht ist es eine Elektrolyse. Man weiss auch noch nicht, worin eigentlich die Alterung der Kathoden besteht; daher kann auch das Problem der Verlängerung der Lebensdauer noch nicht wirksam gelöst werden.

Weil bei Hochleistungs-Hochvakuumröhren Oxydkathoden zu wenig gleichmässig ausfallen, ist man zur Verwendung von Niob als Kathodenmaterial übergegangen, das von allen bekannten Metallen die günstigsten Emissionsverhältnisse ergibt. Allein durch Verwendung von Niob ist es gelungen, Röhren bis 300 kW herzustellen. Der Grund besteht darin, dass man zur Erzielung einer bestimmten Emission eine für Metalle verhältnismässig niedrige Heizleistung pro cm^2 emittierender Oberfläche aufwenden muss. Die nötige Heizleistung ist so gering, dass sich die Sekundäremission des Gitters in unschädlichen Grenzen bewegt. Die grossen Heizströme verlangen besondere Anordnungen zur Vermeidung von Störungen der Gitterwirkung durch das magnetische Feld.

K. Benz, Signum A.-G., Wallisellen: Der Vortragende äusserte sich, dass bei der Gleichrichtung von Hochspannung mit Hochvakuum-Glühkathodenventilen die ganze Spannung von einer Einheit zu sechs oder mehr Anoden in sechsphasiger Schaltung umgeformt werden könne. Die mehrphasige Gleichrichtung in einem Gefäss mit einer einzigen Glühkathode ist im Hochvakuum unmöglich; ein der Anodenzahl entsprechender mehrteiliger Glühdraht würde grosse konstruktive Schwierigkeiten verursachen, so dass die Gleichrichtung mit 6 oder mehr einphasigen Ventilen in sechsphasiger Anordnung wohl vorteilhafter scheint.

Der Vortragende hat ferner vorgeschlagen, die Voruntersuchung von Höchstspannungsgleichrichtern ohne volle Leistung durchzuführen, in der Art, dass einmal das Ventil nur auf höchste Spannung beansprucht wird, während ein zweiter Versuch bei geringer Spannung, aber vollem Strom gemacht wird. Diese Methode kann keine Anhaltspunkte für das Verhalten eines Ventils im regulären Betrieb geben, da Rückzündungen auf diese Weise kaum auftreten. Eigene Versuche, die derart durchgeführt wurden, dass ein Ventil bei kleiner Spannung mit vollem Strom belastet und während der Sperrzeit der Anode diese mit Synchronkontakt an Hochspannung gelegt wurde, ergaben selbst bei diesen wesentlich schärferen Prüfbedingungen keine Rückzündungen. Die Brauchbarkeit eines Ventils kann deshalb nur bei Prüfung mit voller Leistung festgestellt werden.

Der **Vortragende** macht zum Votum von Herrn Benz folgende Bemerkungen: Die mehrphasige Gleichrichtung in einem Hochvakuumgefäss liegt kaum im Bereich der technischen Möglichkeit. Im Vortrag war auch nicht daran gedacht, sondern an so viel Hochvakuumgefässe als Phasen vorhanden sind; deren Vereinigung zu einem Aggregat wurde als Einheit bezeichnet.

Die Vorprüfung durch getrennte Spannungs- und Strombeanspruchung ist zur Abklärung der Grundprobleme durchaus genügend. Prof. Marx hat seine Ventile [1]) auch so geprüft und war damit erfolgreich. Es ist selbstverständlich, dass alle diese Apparate eine betriebsmässige Prüfung mit voller Leistung aushalten müssen. Zur ersten Orientierung dürfte jedoch die getrennte Spannungs- und Stromprüfung ausreichend sein, denn die Bedingungen sind hier günstiger als im Dampfapparat; es besteht während der Sperrzeit keine Nachionisation und auch der Gasdruck bleibt dauernd sehr niedrig.

Der **Vorsitzende** dankt den Diskussionsrednern für die Mitwirkung an dieser Aussprache und gibt der Hoffnung Ausdruck, dass die Schweizer Industrie durch allseitige und verständnisvolle Zusammenarbeit, besonders auch mit der Hochschule, an der Abklärung dieses Neulandes erfolgreich mitwirke.

[1]) Bull. SEV 1933, S. 270; 1935, S. 80.

L'extinction des incendies d'huile dans les centrales et sous-stations électriques.

Rapport présenté par la *Station d'essai des matériaux* de l'ASE (*Paul Müller*, ingénieur, Zurich).

614.845 : 621.315.615

La Station d'essai des matériaux de l'ASE a effectué, sur l'ordre de la commission de la protection contre l'incendie, des essais d'extinction. Le but principal de ces essais était d'étudier le rendement des différents appareils extincteurs se trouvant sur le marché; ils furent complétés par des essais à l'aide d'eau.

Im Auftrage der Brandschutzkommission des SEV und VSE führte die Materialprüfanstalt des SEV Löschversuche durch, über welche im folgenden berichtet wird. Die Versuche verfolgten als Hauptzweck, die Leistungsfähigkeit der verschiedenen auf dem Markte erhältlichen Handfeuerlösch-Apparate festzustellen; im Laufe der Untersuchung wurden auch Proben mit Wasser als Löschmittel durchgeführt.

1° Disposition des essais.

Les essais ont eu lieu dans la chaufferie désaffectée de l'ancienne centrale à vapeur de Letten du Service de l'Electricité de la Ville de Zurich. La surface de ce local est de 10 sur 11 mètres, sa hauteur de 12 mètres.

On choisit comme foyer d'incendie une cuve de disjoncteur d'une surface de 910/380 mm²; la cuve, de 560 mm de profondeur et posée sur un échafaudage en fer de 400 mm de hauteur, était remplie d'huile minérale pour transformateur ayant déjà servi. Des plaques de tôle ondulée de 850 mm de largeur et de 2000 mm de hauteur étaient placées de chaque côté du récipient, tandis qu'au-dessus de cet agencement, à 2,1 m du sol (hauteur minimum des couloirs de service dans les stations électriques), on érigea un toit horizontal de 3,4 sur 3,5 m. Dans le but de recueillir l'huile s'écoulant du récipient, cette construction qui rappelle une cellule de disjoncteur ouverte de deux côtés, était placée dans un baquet de tôle de 1,3 sur 2,8 m, dont les parois mesuraient 100 mm de hauteur. Pour permettre à la fumée de s'échapper, un espace de 1 m était réservé entre le toit abritant la cellule de disjoncteur et le mur du local; la cuve elle-même était pourvue d'un couvercle à charnières destiné à être éventuellement abaissé sur la surface de l'huile enflammée au cas où les essais d'extinction n'auraient pas de succès. La disposition de l'appareillage d'essai est illustrée par les figures 1 et 2.

Nous savons par la pratique que, pour l'extinction de masses oléagineuses échauffées, les conditions sont beaucoup plus sévères que lorsqu'il s'agit d'huile dont une petite quantité seulement a été

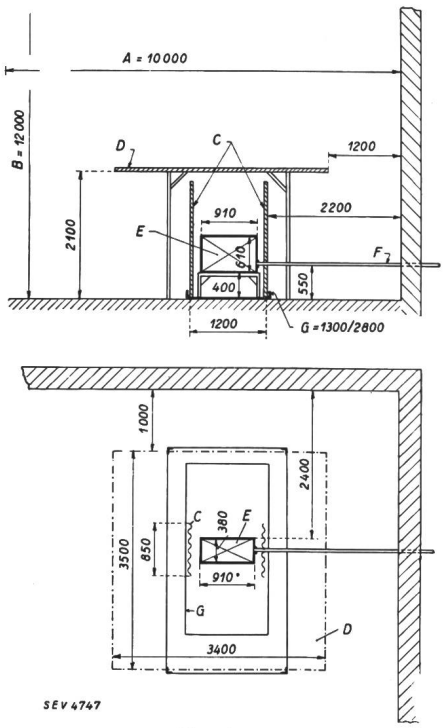

Fig. 1.
Disposition de l'installation d'essai.

A Largeur du local d'essai
B Hauteur du faîte du local
C Parois en tôle ondulée
D Toit
E Cuve (foyer d'incendie)
F Conduite d'huile
G Baignoire.