

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 27 (1936)
Heft: 24

Artikel: Fortschritte und Neuerungen im Bau und in der Anwendung von Mutatoren. Fortschritte und Erfahrungen im Stromrichterbau
Autor: Siemens, Alfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057548>

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: 09.01.2026

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

gleichrichter einfacher, zuverlässiger und auch billiger als ein einziger Mammutzylinder mit 24 Anoden und zwei Vakuumpumpen. Es gibt sicher viele Betriebsleiter, welche einem einzigen derartigen Zylinder mehrere pumpenlose Grossgleichrichter kleinerer Leistung vorziehen, ähnlich wie es heute Kunden gibt, die gegenüber einem Grossgleich-

richter mit Vakuumpumpe mehrere Glaskolben kleinerer Leistung bevorzugen. Dass bei einer derartigen Unterteilung der ganz grossen Leistungen, die übrigens seit einigen Jahren auch für Gleichrichter mit Vakuumpumpe eingesetzt hat, die Bedenken des Herrn Gaudenzi bezüglich Lagerhaltung von Ersatzkolben verschwinden, ist selbstverständlich.

Referat

von

Herrn Dr. Ing. Alfred Siemens, Ingenieur der Siemens-Schuckert-Werke, Berlin,
über

Fortschritte und Erfahrungen im Stromrichterbau.¹⁾

Es wird besonders die konstruktive und technologische Seite des Stromrichterbau unter Berücksichtigung der verschiedenen Typen behandelt, wobei die wärmetechnischen und dielektrischen Fragen im Vordergrund stehen. Es wird auf die Abgrenzung des Anwendungsbereites von Eisen- und Glas-Stromrichtern eingegangen.

L'autur examine surtout le côté constructif et technologique des redresseurs et onduleurs, en tenant compte des différents types; les questions touchant à l'échauffement et à la rigidité diélectrique occupent une place prépondérante dans cet exposé, qui se termine par une délimitation du champ d'application des redresseurs à cuve métallique d'une part et de ceux à ampoule de verre d'autre part.

In einem kurzen Ueberblick lassen sich die Erfahrungen und Fortschritte im Stromrichterbau nach folgenden Gesichtspunkten zusammenfassen:

Man beschäftigte sich in den letzten Jahren zunächst damit, die Steuerfähigkeit der Stromrichter jeder Art zu untersuchen, wobei die Schwierigkeiten erwartungsgemäß mit der Grösse der zu steuernden Apparate zunahmen. Anschliessend hieran waren die Hochstromapparate für die hohen Beanspruchungen bei gleichmässiger, insbesondere chemischer Dauerlast durchzubilden, deren Folgeerscheinungen in ihrer Eigenart kennzeichnend für die Vakuumtechnik sind. Es handelt sich im wesentlichen um Werkstoff- und Fertigungsfragen, die hierbei auftreten und auf deren Verfolgung und Anwendung zum guten Teil die Fortschritte im Stromrichterbau beruhen. Weiter erforderten Aufgaben, die sich durch die Ausbreitung von Senderbetrieben ergaben, eine Anpassung an dieses recht ausgedehnte Sondergebiet, und man baute Hochspannungsstromrichter mit Quecksilber- und Glühkathoden, bei denen auch wieder die Beherrschung des Werkstoffes neben den Erkenntnissen der Gasentladungstechnik zum Erfolg führte. Eine besondere Beachtung fand schliesslich noch das Gebiet der mittleren Ströme, vor allem das Grenzgebiet zwischen Eisen- und Glassstromrichtern, in dem man sich Klarheit über die besten Ausführungsformen verschaffte, und schliesslich die Arbeiten am pumpenlosen Eisenstromrichter, bei dem wieder die Werkstoff-Fragen im Vordergrund stehen. Der augenblickliche Entwicklungsstand lässt sich dahingehend kennzeichnen, dass man auf Grund von praktischen Erfahrungen und von wissenschaftlichen Untersuchungen sich einen solchen Ueberblick über die Grundgesetze geschaffen hat, dass man einmal ein gewisses Gefühl für neue Formgebungsmöglichkeiten mit dem Ziel höherer Ausnutzung bekommen hat, und dass man zum andern durch eingehende Beschäftigung mit den

Werkstoff-Fragen den bei höherer Ausnutzung auftretenden höheren Beanspruchungen gewachsen ist.

Im einzelnen seien nun einige Beispiele für die Arbeiten angegeben: Die Untersuchung der Steuerfähigkeit läuft im wesentlichen darauf hinaus, einen Maßstab für die Wirksamkeit der Steuergitter bei hohen Beanspruchungen schon während der Prüffeldprobe zu bekommen. Neben Dauerversuchen mit niedriger Aussteuerung, die für das Netzhochfahren wichtig sind, geben Kurzschlussabschaltversuche einen guten Aufschluss. Trotz der bei Kurzschlüssen auftretenden starken Ionisierung dürfen

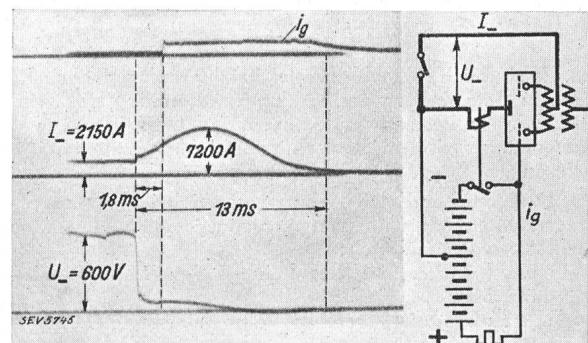


Fig. 1.
Stromrichter, 5000 A, 600 V.
Oszillogramm einer Kurzschlussabschaltung.

die negativ beaufschlagten Gitter eine Zündung, bzw. Wiederzündung der einzelnen Anoden nicht zulassen. Die negative Spannung wird abhängig vom Kurzschlussstrom in bekannter Weise über geeignet bemessene Vorwiderstände mit Schnellrelais an die Gitter gelegt. In Fig. 1 ist ein Oszillogramm einer Kurzschlussabschaltung gezeigt, bei der die gerade brennende Anode ausbrennt und weitere Anoden nicht zünden, so dass nur ein geringer Anstieg des Kurzschlussstromes stattfindet. Die Gitterform, mit der man einen ähnlich kurzen Verlauf am sichersten erreicht, ist demnach als die günstigste zu bezeichnen. Die gesamte Apparatur von tech-

¹⁾ Auf ausdrücklichen Wunsch des Autors «Stromrichter» statt «Mutator», siehe Einleitung, Seite 585.

nisch ausgeführten Kurzschlussabschaltseinrichtungen unter Verwendung eines Schnellrelais zeigt Fig. 2, während Fig. 3 eine vollständige Steuereinrichtung und Kurzschlussabschaltung durch drei gittergesteuerte Hilfsentladungsgefässe angibt.

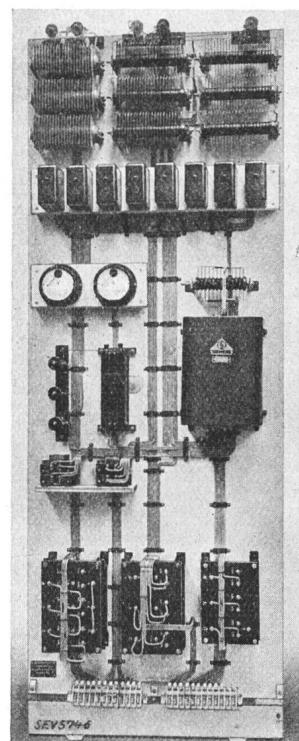


Fig. 2.
Kurzschlusslöscheinrichtung
f. Stromrichter, 5000 A, 800 V.

Das eine Gefäß liefert die Zünd- und Sperrspannung, das zweite erzeugt die durch Transformatoren an die Hauptgitter gegebenen Steuerimpulse, mittels des dritten wird bei Kurzschluss trägeheitslos die negative Sperrspannung angelegt.

Die Erkenntnis, die sich für die bauliche Ausführung aus den Versuchen ergibt, ist die, mehrere möglichst engmaschige Gitter nahe am Anodenkopf im Anodenschutzrohr einzubauen. Außerdem ist es möglich, wie eine in Kürze erscheinende Arbeit von Spenke und

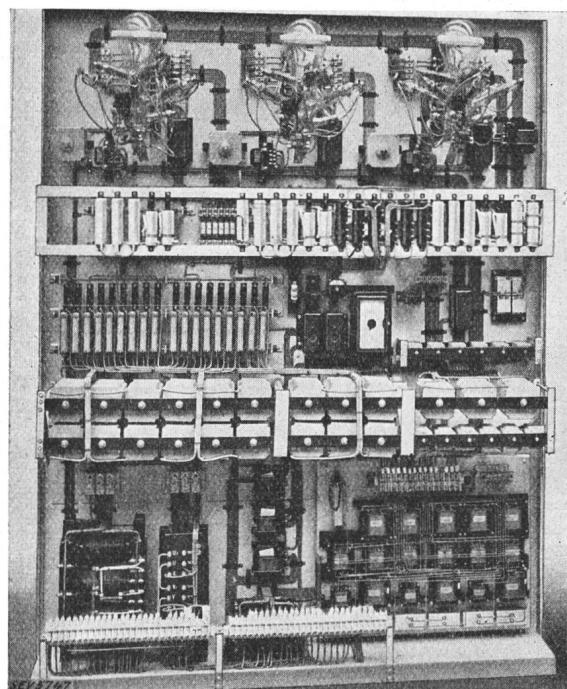


Fig. 3.
Steuereinrichtung mit Hilfsgefäßen
für Stromrichter bis 5000 A, 800 V.

Steenbeck zeigen wird, die günstigsten Gitterformen zu berechnen. Diese liegen dann vor, wenn die Gitterstege wie die Knotenlinien einer in

einer Oberschwingung erregten Membran angeordnet werden. Es entstehen dann in den einzelnen brennenden Lichtbogenfäden gleiche Längsfeldstärken, die für eine gleichmässige Verteilung der Säule über den Rohrquerschnitt nötig sind. Man ist jedoch in der Anordnung der Gitter nicht frei, weil man beachten muss, dass die durch sie erzeugte Erhöhung des Brennspannungsgradienten und die dadurch auftretende Wärmeanhäufung bei Dauerbeanspruchungen mit Hochstrom schädlich wirken kann. Es musste nun die Arbeit einsetzen, durch geeignete Werkstoffauswahl in Verbindung mit der richtigen Formgebung die in jeder Beziehung bestmöglichen Verhältnisse zu bekommen.

Diese Arbeiten erstreckten sich naturgemäß nicht nur auf die Gitter selber, sondern auf die ganze Anode, die in allen ihren Teilen elektrisch,

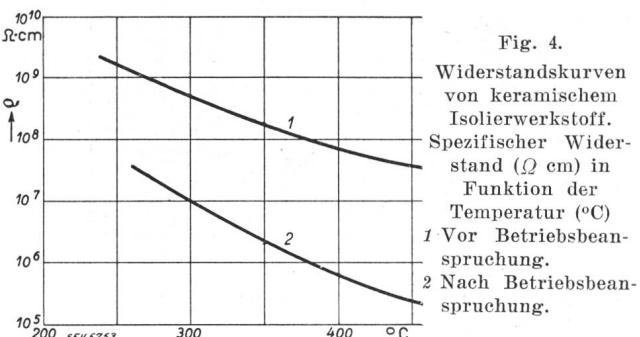


Fig. 4.

Widerstandskurven von keramischem Isolierwerkstoff. Spezifischer Widerstand (Ω cm) in Funktion der Temperatur (°C)
1 Vor Betriebsbeanspruchung.
2 Nach Betriebsbeanspruchung.

thermisch und mechanisch hoch beansprucht ist. Wärmestauungen sind, wie bereits angedeutet, in allen Teilen peinlichst zu vermeiden. Die Isolierwerkstoffe dürfen sich nicht verändern. Die Kriechwege von Anoden- und Gitterisolatoren müssen dauernd erhalten bleiben, und schliesslich sind die Berührungsstellen von Eisen und Keramik so durchzubilden, dass durch die verschiedenen Eigenschaften in bezug auf Wärmeausdehnung und Wärmeleitfähigkeit keine Schwierigkeiten entstehen. Wie stark ein ungeeigneter Isolierwerkstoff seine Eigenschaften im Dauerbetrieb ändern kann, zeigt Fig. 4, in dem die Widerstandskennlinien vor und nach der Dauerbeanspruchung wiedergegeben sind. Unter Berücksichtigung der verschiedenartigen, z. T. widersprechenden Forderungen, ergab sich der Gesamtaufbau eines Hochstromgleichrichters, der zwar in seinen äusseren Formen nach bekannten Grundsätzen ausgeführt ist, dessen Anoden jedoch die Berücksichtigung der angedeuteten Forderungen zeigen (Fig. 5), die im Grunde und in erster Linie thermischer Natur sind.

Bei der nächsten Gruppe von Stromrichtern, die für Hochspannung, insbesondere Sendebetrieb, mit vergleichsweise kleinen Strömen zu bauen waren, treten rein wärmotechnische Fragen zunächst in den Hintergrund, und es handelt sich bei ihrem Aufbau mehr darum, durch Beherrschung der elektrischen Felder und der sogenannten Wandladungen bei kleinen Abmessungen auf beste Spannungssicherheit zu kommen, ohne die Eigenschaften guter Steuer-

fähigkeit zu verlieren. Zu der in Fig. 6 angegebenen Form führten folgende Ueberlegungen: Bei den ersten Versuchen, Hochspannung mit Glasstromrichtern zu erzeugen, war ein Erfolg in dem beabsichtigten Umfang nicht erzielt worden, trotzdem man beispiels-

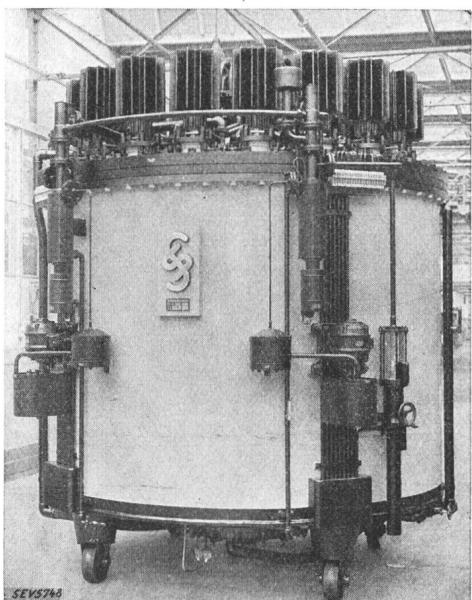


Fig. 5.
Gittergesteuerter Stromrichter, 5000 A, 800 V.

weise den Armen eine mehrfache Knickung gab. Es traten Wandladungen in derartig starkem Masse auf, dass Durchschläge durch die Glaswandungen trotz Anwendung aller möglichen metallischen Schirm-anordnungen nicht zu vermeiden waren. Dies war nur durch den ungünstigen Verlauf der Feldlinien

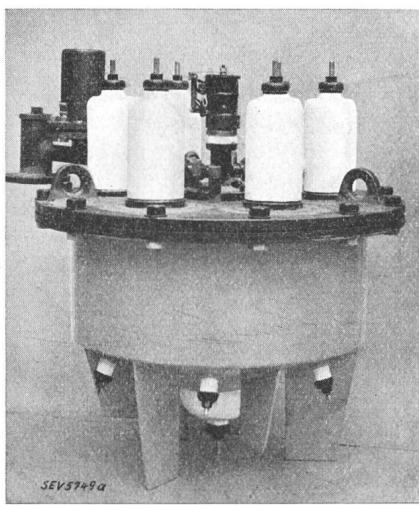


Fig. 6.
Gittergesteuerter Hochspannungs-Stromrichter für Sender 40 A, 12 kV, mit Luftkühlung; Vakuum-Kessel.

zwischen gesperrten Anoden und Kathode, bzw. nicht gesperrten Anoden und brennender Anode zu erklären, die die Glaswände mehrfach schneiden mussten und hierbei durch starke Feldsprünge eine zum Durchschlag führende Ionenanhäufung verur-

sachten. Durch Vergleichmässigung des Feldes in Verbindung mit der Auswahl von günstigeren Werkstoffen mussten diese Schwierigkeiten beseitigt werden können. Die Anordnung war so zu treffen, dass die Feldlinien Anode-Kathode möglichst homogen ohne Durchdringung von Wandungen verlaufen und diese Entfernung klein gegenüber der Entfernung zwischen nicht brennender und brennender Anode ist. Es wurden also sämtliche Kathodenpotential führenden Teile, d. h. der Vakuumkessel aus Eisen und die Gitter als einheitlicher Körper aufgefasst und die Gitter in Höhe des Deckels gelegt, dem die Anoden in geometrisch möglichst einfacher Art gegenübergestellt und ausserhalb des Kessels in glockenförmigen Porzellanschutzrohren untergebracht wurden. Tatsächlich konnten auf diesem Wege ausgezeichnete Erfolge erzielt werden, mit spezifischen Ausnützungen der Stromrichter, wie sie bis dahin nicht erreicht waren.

Auch hierbei kam eine neuartige Werkstoffbehandlung einer weitgehenden Ausführungsmöglichkeit der angestellten Ueberlegungen sehr zustatten.

Durch Anwendung eines Weichlötungsverfahrens zwischen Porzellan und Eisen wurde eine Vakuumdichtung erzielt, die ohne vorspringende Teile feldmässig günstig war, die Anwendung neuartig geformter Porzellane zuliesse und außerdem die Erzielung allerbesten Vakuums ermöglichte. Durch weitere Verfolgung dieser Technik gelang es dann auch, einen nach den gleichen Gesichtspunkten aufgebauten Hochspannungsstromrichter ganz aus Porzellan herzustellen (Fig. 7), der auch bereits im Dauerbetrieb die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges bestätigt hat. Die Steuerung und Kurzschlussabschaltung des Hochspannungsstromrichters ist ohne weiteres möglich und bietet wegen der verhältnismässig geringen Ionisation keine nennenswerten Schwierigkeiten.

Es sei der Vollständigkeit halber noch erwähnt, dass es in allerneuester Zeit gelungen ist, auf Grund der gesammelten Erfahrungen auch Glasgefässe mit Quecksilberkathode für Spannungen bis 15 000 V und Strömen bis zu 20 A zu bauen (Fig. 8).

Für viele Zwecke, insbesondere für hohe Spannungen kommen auch gesteuerte und ungesteuerte Stromrichter mit Glühkathoden zur Verwendung, die meist einanodig in Röhrenform gebaut werden und sich aus diesem Grunde besser für eine maschinelle Reihenfertigung eignen. Die Vorteile ihrer Anwen-

dung liegen darin, dass sich die Dampfdruckverhältnisse durch geeignete Wahl der Bauform eindeutig festlegen lassen und dass dementsprechend bei den gesteuerten Ausführungen die Steuergenauigkeit grösser ist. Auch bei diesen Ausführungen ist darauf zu sehen, möglichst homogene Felder zwischen Anode und Kathode zu bekommen und Wandladungen zu vermeiden. Die Entfernung Anode-Kathode wird so gering gewählt, dass man entsprechend dem Paschenschen Gesetz auf die nötigen, hohen Durchschlagfestigkeiten kommt. Die Form der Elektroden lässt keine Streulinien zu, die die Glaswandungen treffen könnten. Bei einem ungesteuerten Gleichrichter kann die Lichtbogenstrecke ohne besondere Abdeckung verbleiben. Bei einem gesteuerten Gleichrichter jedoch muss man für eine geeignete Abschirmung Sorge tragen, um zu verhindern, dass während des gesperrten Teiles der positiven Halbwelle die von der Kathode dauernd ausgesandten Elektronen die Strecke Anode-Gitter ionisieren, d. h. eine Durchzündung verursachen. Vorteilhaft ist es, diese Schirme in Staffeln anzurichten, die sich kapazitiv gegeneinander aufladen und dadurch das Potentialgefälle unterteilen.

In dem Aufbau der gesamten Stromrichter war bisher das Grenzgebiet zwischen den Ausführungen aus Glas und denen aus Eisen noch nicht ganz klar umrissen und man hatte noch keinen rechten Ueberblick, welche Bauart man für die Ströme zwischen 500 und 1000 A liefern sollte. Die obere wirtschaftliche, leistungsmässige und herstellungstechnische Grenze der Glasgefässer musste festgestellt werden; anderseits waren die Bauformen an der unteren Grenze der Eisengefässer dem Gesamtaufwand nach zu vereinfachen.

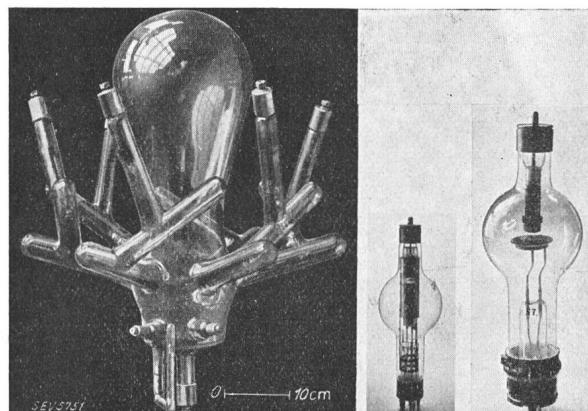


Fig. 8.
Glasgefässer für Hochspannungsstromrichter.

Die Untersuchungen an den Glasgefässen erstreckten sich in zweierlei Richtung dahingehend, ob durch besondere Formgebung noch wesentliche Mehrleistung zu erzielen war, und ferner, welchen Einfluss die Luftgeschwindigkeit auf die Leistungsfähigkeit hat. Zweckmässigerweise sollte man bei Glasgefässen nach dem augenblicklichen Stande der Erkenntnis nicht über Ströme von 500 A pro Ein-

heit hinausgehen, wenn man auch in der Lage ist, wie weiter unten gezeigt werden wird, Ströme von 700 A, ja über 1000 A zu beherrschen. Das Blasen eines solchen Gefäßes von etwa 1 m Höhe und 0,5 m Kolbendurchmesser erfordert einen derartigen physischen Aufwand des Glasbläsers, der durch Maschinen nicht ersetztbar ist, dass man die Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit erreicht hat. Die Wärmestrahlung der grossen Kolben bei der Bearbeitung mit dem Gebläse ist kaum mehr erträglich.

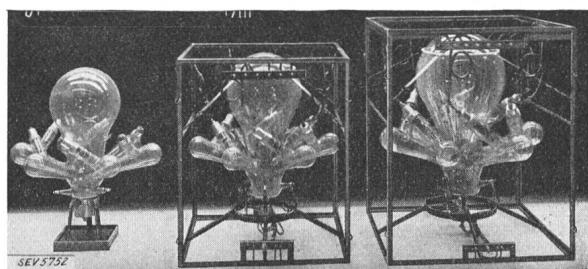


Fig. 9.
Glas-Stromrichterkolben, 600 V.

Besondere Vorteile durch Abänderung der bekannten Kolben- und Armformen waren nicht zu erkennen, so dass man also Ausführungen nach Fig. 9 als günstigste Ausführungsformen ansehen muss.

Einen wesentlichen Einfluss auf die erzielbare Leistung hat die Geschwindigkeit der Kühlluft. Durch Rückstrommessungen kann man gerade bei Glasgefässen die verschiedenen Einflüsse recht gut erkennen. Setzt man einen bestimmten Rückstromwert, etwa 1,5 mA, als für Dauerbetrieb zulässigen Grenzwert an, so ergibt sich die Leistungskurve des grössten Kolbens nach Fig. 10. Man sieht daraus, dass Ströme von 700 A bei 550 V ohne weiteres erreicht wurden. Der dabei benötigte Aufwand von Luftführungen und Lüftern ist jedoch schon recht unbequem; dazu spielt die Lärmfrage bei diesen Luftgeschwindigkeiten eine erhebliche Rolle, so dass

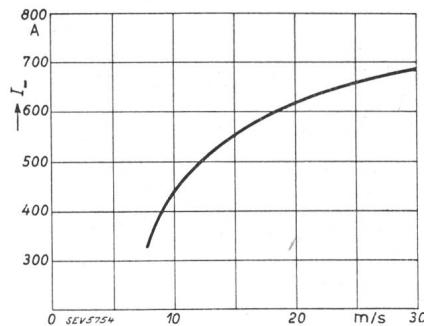


Fig. 10.
Belastung eines
Glassstromrichters,
abhängig von der
Kühlung.
Gleichstrom (A) in
Funktion der
Luftgeschwindigkeit
(m/s).

es — auch mit Rücksicht auf die Werkstoffeigenschaften des Glases — vorteilhaft erschien, sich nach einfacheren Lösungsmöglichkeiten umzusehen, und die Entwicklung von Glasgefässen über Einheiten für rund 500 A, 600 V bei sehr guter Ueberlastungsfähigkeit nicht hinauszutreiben.

Neue Wege sind beschritten worden durch Vereinfachung der Bauformen und Erhöhung der Aus-

nutzung von Eisenmutatoren zur Herabsetzung der wettbewerbsfähigen unteren Grenzleistung der bisherigen Typenreihe. Es gelang unter Berücksichtigung der thermodynamischen, thermischen und

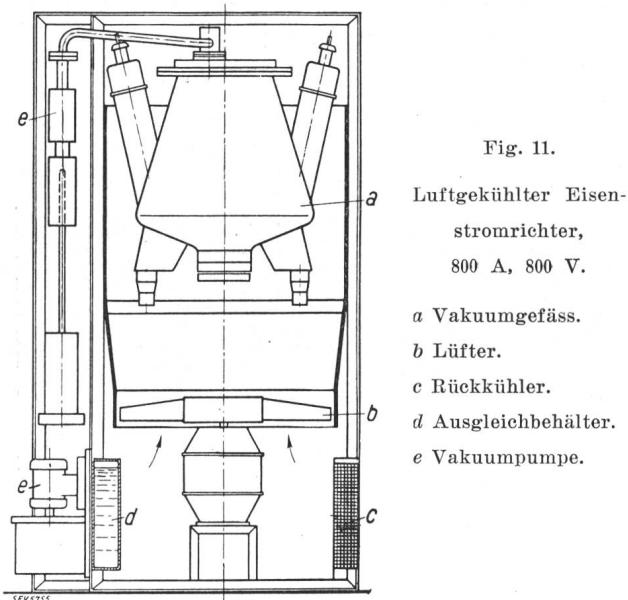


Fig. 11.

Luftgekühlter Eisenstromrichter,
800 A, 800 V.
a Vakuumgefäß.
b Lüfter.
c Rückküller.
d Ausgleichbehälter.
e Vakuumpumpe.

physikalischen Grundvorgänge (Dampfströmung, Wärmeverteilung und Gasentladung, in Verbindung mit aerodynamischen Ueberlegungen, günstigste Form für Luftkühlung und werkstattechnischen

Neuerungen, Lötdichtung mit höheren zulässigen Temperaturen) einen Mittelstromtyp herzustellen, dessen spezifische Leistung gegenüber den bisherigen kleinen Eisenstromrichtern auf das Dreifache gesteigert werden konnte. Den Gesamtaufbau zeigt Fig. 11. In einem den Glasgleichrichteranlagen ähnlichen Gerüst ist der Vakuumkessel, der Lüfter und die Pumpenapparatur untergebracht; an dem Gerüst werden zugleich Steuer- und Erregersatz angebaut. Man bekommt damit eine recht leistungsfähige Eisenstromrichtereinheit zunächst für rund 800 A, 800 V in dem von Glasstromrichtern bekannten und bewährten Schalttafelaufbau.

Es liegt auf der Hand, dass man bestrebt ist, bei Eisenstromrichtern dieser Art auch noch die Pumpeneinrichtung wegfallen zu lassen, trotzdem sie infolge ihrer in vielen Jahren erprobten Betriebssicherheit für das erwähnte Leistungsgebiet mit Vorteil angewendet werden kann. Für die Arbeiten an pumpenlosen Eisengefäßen liegen ausgedehnte Teilerfahrungen aus den Gebieten von Eisen- und Glasstromrichtern mit Quecksilberkathode, von Glühkathodenröhren mit Gas- und Dampffüllung und Hochvakuumröhren für Verstärker- und Sendezwecke vor, die eine gute Grundlage abgeben für das neuartige, reine Werkstoffproblem, das, seiner Art entsprechend, allerdings eine gewisse Dauer bis zur endgültigen, betriebssicheren Lösung und Bewährung beansprucht.

Diskussionsbeitrag

von Herrn Dr. M. Wellauer, Ingenieur der Maschinenfabrik Oerlikon.

Es wurde bereits die Frage der wirtschaftlichen Ausnutzung von Mutatoreinheiten aufgeworfen. Stellt man ab auf die im praktischen Betrieb erreichten Resultate, so macht man die Feststellung, dass der 6-Anoden-Mutator nur bis ca. 1200 A belastet wird, während anderseits beim 12-Anoden-Mutator bis zu 5000 A Belastung gegangen wird, d. h. beim 6-Anoden-Mutator bis 1200 A pro 6 Anoden, beim 12-Anoden-Mutator bis 2500 A pro 6 Anoden. Die Gestehungskosten eines Mutators werden nun durch dessen Durchmesser und vor allem durch die Zahl der Anoden bestimmt. Die Höhe des Mutators trägt relativ wenig zu dessen Kosten bei. Vergleichende Berechnungen ergeben, dass der Übergang von 6 zu 12 Anoden mit einer 30- bis 40prozentigen Kosten erhöhung verbunden ist. Man hat daher ein Interesse, die Leistung, bzw. die Strombelastung des 6-Anoden Typs möglichst heraufzusetzen. Wie ich bereits erwähnt habe, ist dies im allgemeinen bisher nicht gelungen.

Um die wirtschaftlichen und auch betriebstechnischen Vorteile der 6-Anoden-Mutatoren weitgehend auszunutzen, wendet die Maschinenfabrik Oerlikon bei diesen Typen eine Dampfführung an, die ich bereits vor einigen Jahren in einem Vortrag beschrieben habe¹⁾. Diese Dampfführung besteht darin, dass der Hg-Dampf durch einen Dampfführungs schirm, der sich zwischen der Kathode und dem Anodenraum befindet, seitlich abgelenkt und an den unteren Kesselteilen kondensiert wird. Bei grösserem Strom, über 1400 A, wird die Kondensation durch eine Kühlslange, die sich unterhalb des Dampfführungs schirms befindet, verstärkt. Diese Konstruktion gestattet, den Anodenteilkreis so klein zu halten, dass bei geringem Kesseldurchmesser und 6 Anoden relativ sehr grosse Leistungen bewältigt werden können. Unsere Dampfführung hat im praktischen Betrieb, speziell auch bei hohen Spannungen, sehr gute Resultate ergeben und hat uns erlaubt, 6-Anoden-Mutatoren mit einem Total-

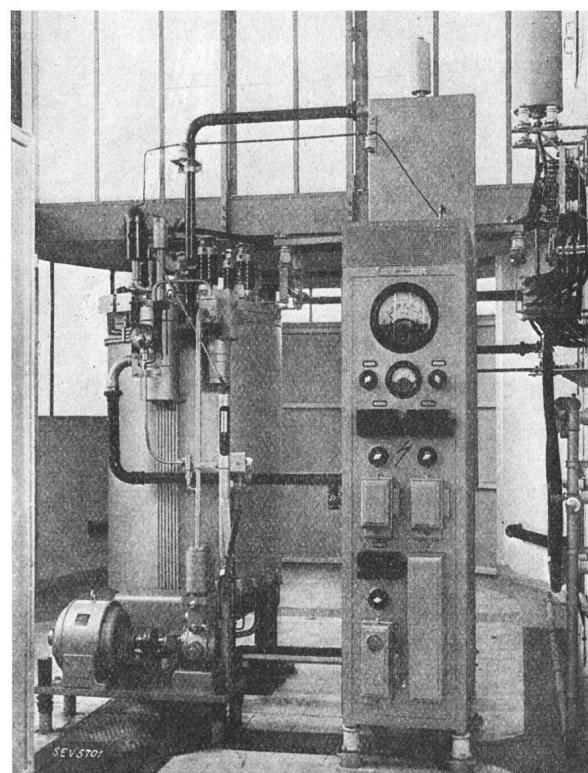


Fig. 1.
6-Anoden-Mutator (Oerlikon) der Holländischen Staatsbahnen für 1200 kW dauernd, 1800 kW während 2 Std., 6000 kW während 1 Min., bei 1500 V.

¹⁾ Bull. SEV 1932, S. 85.