

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 56 (1965)
Heft: 14

Artikel: Halbleiter-Gleichrichter für Elektrolyse-Anlagen
Autor: Ernst, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916385>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

Halbleiter-Gleichrichter für Elektrolyse-Anlagen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 28. April 1965 in Zürich,

von A. Ernst, Zürich

621.314.63 : 541.135

Elektrolyse-Anlagen sind ausgesprochene Grossverbraucher elektrischer Energie. Benötigt wird dabei Gleichstrom in Spannungen von 50...800 V bei Stromstärken von 3...200 kA.

Für Grossanlagen zur Produktion von Al und Cl spielt der Wirkungsgrad eine sehr wichtige Rolle. Aus diesem Grunde haben gerade auf diesem Gebiete die Halbleiter-Gleichrichter sehr rasch die bisher üblichen Quecksilberdampf-Gleichrichter verdrängt.

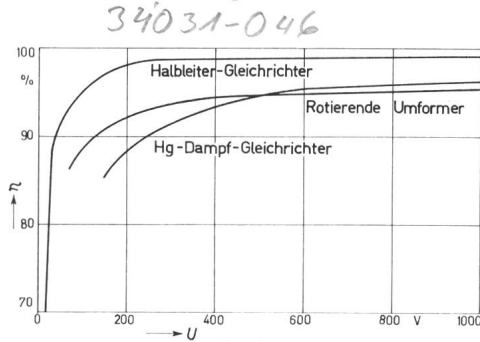


Fig. 1

Gesamtwirkungsgrad η der verschiedenen Typen von Umformeranlagen
Besonders bei Spannungen U unter 400 V ist der Wirkungsgrad des Si-Gleichrichters wesentlich höher als derjenige des Quecksilberdampf-Gleichrichters

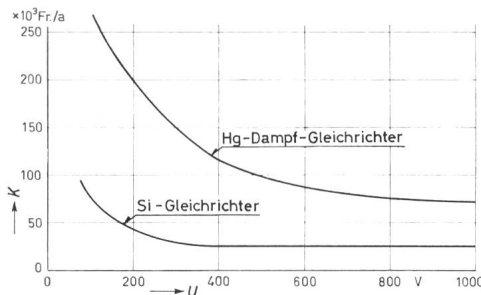


Fig. 2

Jahreskosten K der Verluste von Quecksilberdampf-Gleichrichtern und Silizium-Gleichrichtern von 10 000 kW

Die Kurven stützen sich auf die Annahme einer Betriebsdauer von 8000 h/Jahr (a), Energiekosten von 2 Rp./kWh und einer mittleren Leistung von 10 MW

Fig. 1 gibt Aufschluss über die Grössenordnung der Wirkungsgrad-Verbesserung, die mit dem Halbleiter-Gleichrichter erzielt werden konnte. Besonders im Gebiete der Spannungen unter 400 V ist der Wirkungsgrad der Halbleiter-Gleichrichter wesentlich höher als der des Quecksilberdampf-Gleichrichters.

Die finanzielle Bedeutung der Wirkungsgrad-Verbesserung von Gleichrichteranlagen geht aus Fig. 2 hervor. Hier sind die Jahreskosten der Verluste von Transformator und Gleichrichter einer Elektrolyseanlage von 10 MW bei einem Energiepreis von 2 Rp. pro kWh dargestellt. Vorausgesetzt ist dabei eine Betriebsdauer von 8000 h/Jahr. Dabei ist besonders zu beachten, dass die Verlustkurve für den Silizium-(Si)-Gleichrichter bis zu tiefen Spannungen hinab ausgesprochen flach verläuft. Die Konsequenz daraus ist, dass im Falle von Si-Gleichrichtern die Gleichspannung nicht in erster Linie aus Rücksicht auf den Wirkungsgrad des

Gleichrichters festgelegt wird, sondern dass betriebstechnische und sicherheitstechnische Gesichtspunkte berücksichtigt werden können.

Ein zweiter, grosser Vorteil des Halbleiter-Gleichrichters ist sein Aufbau aus Bauelementen, den *Gleichrichterzellen*. Damit sind dem Konstrukteur Möglichkeiten und auch Freiheiten geboten, die vorher nie bestanden haben. Entsprechend reich ist deshalb die Auswahl an Projekten und Realisationen von Halbleiter-Gleichrichtern.

Das heute am weitesten verbreitete Bauelement ist die Silizium-Diode für einen Nennstrom von 200 A (Mittelwert) und 1200...1600 V Spitzensperrspannung. Je nach der Gleichspannung können diese Zellen in Doppelstern-Saugschaltung oder in Dreiphasen-Brückenschaltung (Fig. 3) angeordnet werden. Die Brückenschaltung erfordert für den gleichen Strom 2mal mehr Dioden als die Doppelstern-Saugschaltung. Sie hat aber den eminenten Vorteil, dass im Falle eines Diodendefektes kein gleichstromseitiger Kurzschluss auftritt. Ein weiterer Vorteil der Brückenschaltung besteht darin, dass als Gleichrichter-Transformator ein gewöhnlicher Dreiphasen-Transformator verwendet werden kann. Ausserdem ist das Verhältnis von mittlerer Transformator-Scheinleistung zur Gleichstromleistung günstiger als bei der Doppelstern-Saugschaltung. Mit andern Worten: Für eine bestimmte Gleichstromleistung wird der Transformator bei Brückenschaltung nicht nur einfacher, sondern auch etwas kleiner.

Vor jede Diode wird eine Sicherung geschaltet. Diese dient aber nicht in erster Linie zum Schutze der Diode, sondern sie soll im Falle eines Diodendefektes den Kurzschluss abschalten. Mechanische Sicherungsmelder betätigen beim Durchgehen einer Sicherung einen Signalschalter. Dies sind heute die gebräuchlichsten Elemente der Dioden-Überwachungsausrüstungen.

Eine Dreiphasenbrücke, bestehend aus 2×3 Dioden mit einem Nennstrom von 200 A (Mittelwert) kann dauernd mit 600 A belastet werden. Für höhere Ströme sind Dioden parallel zu schalten, wobei aber damit zu rechnen ist, dass die Ströme der parallelen Zweige voneinander leicht abweichen können.

Die Ursachen solcher Verschiedenheiten in den Strömen paralleler Dioden sind bei Verwendung qualitativ hochwertiger Dioden zum kleinsten Teil auf Verschiedenheiten der

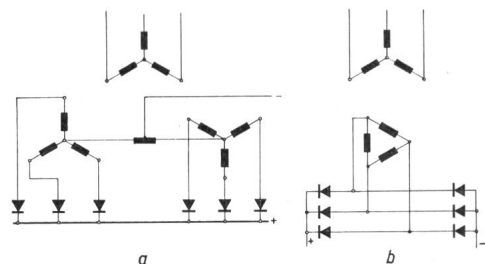


Fig. 3

Die wichtigsten Gleichrichter-Schaltungen

a auch für Quecksilberdampf-Gleichrichter gebräuchliche Doppelstern-Saugschaltung; b Dreiphasen-Brückenschaltung, besonders häufig angewendet bei Halbleiter-Gleichrichtern

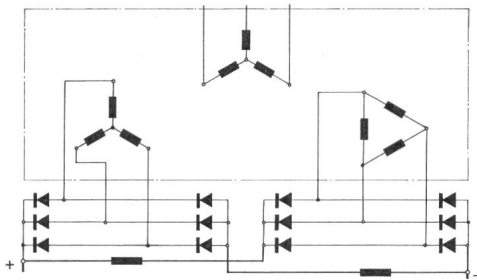


Fig. 4
12pulsige Brückenschaltung

Dioden-Charakteristiken zurückzuführen. Viel schwerer ins Gewicht fallen Übergangswiderstände von Verbindungen und der Befestigung der Dioden. Gerade der kleine Spannungsabfall der Diode, der ja den guten Wirkungsgrad des Gleichrichters zur Folge hat, zwingt den Konstrukteur zu sehr sorgfältiger Behandlung aller im Stromkreis der Dioden liegenden Verbindungen.

Im Falle sehr grosser Ströme wird mit Vorteil die Unterspannungswicklung des Transformators in parallele Zweige aufgeteilt und diese isoliert ausgeführt. Jeder Zweig speist dann ein separates Brückensystem.

Statt der 6phasigen Rückwirkung kann eine 12phasige Rückwirkung erzielt werden, indem die eine Hälfte der Sekundärwicklungen in Stern, die andere Hälfte in Dreieck geschaltet wird (Fig. 4). Die Vorteile der 12pulsigen Schaltung sind: kleinerer Oberwellengehalt des Primärstromes und kleinerer Spannungsabfall.

Fig. 5 gibt das Oberwellenspektrum des Primärstromes wieder. Zu beachten ist besonders, dass bei 12pulsiger Schaltung die 5. und die 7. Harmonische nicht mehr auftreten. Bei 24pulsiger Schaltung sind die 23. und die 25. Harmonische die tiefsten Oberharmonischen. Dieses Oberwellenspektrum bezieht sich auf den Idealfall des genau symmetrischen Netzes, symmetrischer Transformatoren und einer gleichmässigen Stromverteilung auf alle parallelen Kreise. In den meisten Fällen ist dieser Idealzustand nicht realisierbar, so dass auch bei 12pulsiger Schaltung die 5. und 7. Oberharmonische mit ca. 1 bzw. 0,7 % der Amplitude der Grundwelle auftreten.

Der zweite Vorteil der 12pulsigen Schaltung, der etwas kleinere Spannungsabfall, wirkt sich besonders in jenen Fällen günstig aus, wo die Gleichspannung oder der Gleichstrom geregelt werden müssen. Je flacher die Strom-Spannungs-Charakteristik verläuft, desto kleiner wird der notwendige Regelbereich.

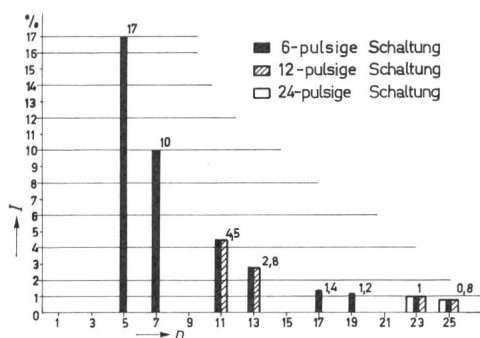


Fig. 5
Spektrum der Oberwellen im Primärstrom
I Stromstärke; n Ordnungszahl der Oberharmonischen

Die optimale Pulszahl muss von Fall zu Fall bestimmt werden, wobei alle Einflussgrössen sorgfältig gegeneinander abzuwägen sind. Generell kann nur gesagt werden, dass die optimale Pulszahl mit der Leistung zunimmt. Kleine Gleichrichter arbeiten meistens 6pulsig, solche mittlerer Leistung vorzugsweise 12pulsig und ausgesprochene Grossanlagen 24- oder 48pulsig.

Entscheidend für die Disposition des Gleichrichters ist die Frage der Diodenkühlung. Aus einigen typischen Beispielen, die im Folgenden gezeigt werden, geht hervor, wie vielfältig die sich bietenden Möglichkeiten sind. Der einfachste Fall ist der Gleichrichter mit natürlicher Luftkühlung. Ein typisches Beispiel dieser Variante ist der Gleichrichter gemäss Fig. 6. Er ist aus Rectistack-Elementen aufgebaut. Hier handelt es sich um einen Gleichrichter für 5000 A bei 720 V, bestimmt für eine Aluminium-Elektrolyse. Er besteht aus 2 Dreiphasen-Brücken, jede ausgerüstet mit 9 parallelen Diodengruppen, die je zwei in Serie geschaltete Dioden umfassen. Der mittlere Diodenstrom beträgt dabei 92,5 A. Die Verlustleistung pro Diode dürfte ca. 80 W betragen.

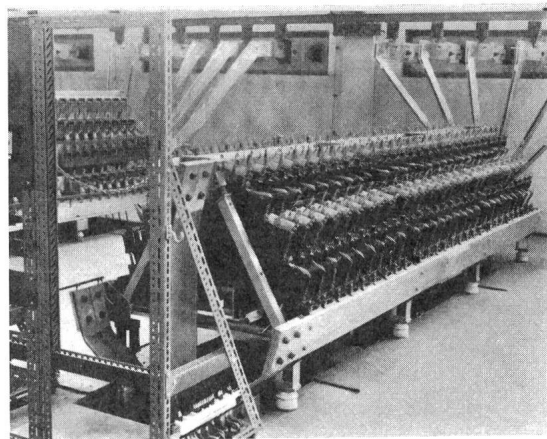


Fig. 6
Gleichrichter von Brown, Boveri für natürliche Luftkühlung

Besondere Beachtung verdient die sorgfältige Anordnung der Kühlelemente. Der treppenförmige Aufbau des Gleichrichters bietet Gewähr dafür, dass jedes Element von einem kalten Luftstrom umgeben ist. Auf Grund der guten Betriebsergebnisse konnte später für dieselbe Leistung die Zahl der Dioden von 9 auf 7 gesenkt und damit der mittlere Diodenstrom von 92 auf 120 A erhöht werden. Dieser Gleichrichter arbeitet ohne jeden Hilfsbetrieb. Zwar ist der Platzbedarf im Vergleich zu forciert gekühlten Einheiten gross, ebenso die Diodenzahl, andererseits aber ist die Betriebssicherheit eines solchen Gleichrichters hervorragend.

Als wesentliche Merkmale der Gleichrichter mit natürlicher Luftkühlung seien hervorgehoben:

Grosse Diodenzahl und damit grosse, kurzzeitige Überlastfähigkeit.

Grosser Platzbedarf.

Äusserste Betriebssicherheit, da keine Hilfsbetriebe notwendig sind. Damit erfordern sie praktisch keine Wartung und nur wenig Unterhalt.

Die Haupt-Anwendungsgebiete solcher Gleichrichter sind unbediente Anlagen als Ersatz für Quecksilberdampf-Gleichrichter, wo ohnehin genügend Platz vorhanden ist. Besonders in jenen Fällen, wo der Halbleiter-Gleichrichter mit Quecksilberdampf-Gleichrichtern parallel arbeitet, muss die Dio-

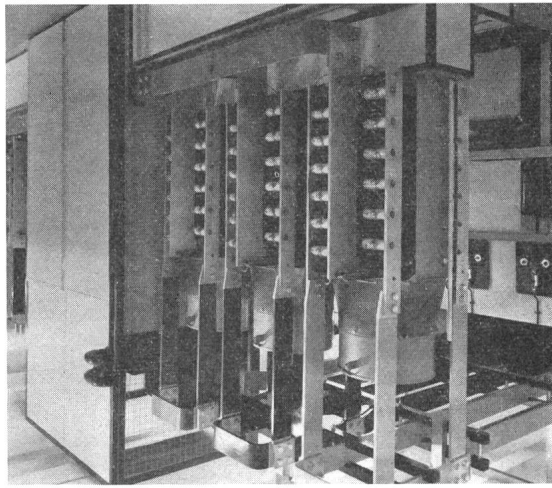


Fig. 7

Gleichrichter mit forcierter Luftkühlung von Brown, Boveri

denzahl auf Grund der bei Rückzündungen auftretenden Kurzschluss-Ströme bemessen werden. In vielen Fällen wird dann die Diodenzahl so gross, dass natürliche Luftkühlung für den Dauerbetrieb ausreicht. Selbstverständlich ist hier der Raumventilation die notwendige Aufmerksamkeit zu schenken und dafür zu sorgen, dass die gesamte Verlustwärme der Gleichrichter aus dem Raume abgeführt werden kann.

In vielen Fällen steht aber der Raum für Gleichrichteranlagen mit natürlicher Luftkühlung gar nicht zur Verfügung. Da hilft man sich mit forcierter Luftkühlung und setzt dabei die Kühlelemente einem intensiven Luftstrom aus. Die Erwärmung der rasch durchströmenden Luft beträgt nur einige °C. Deshalb können die Elemente übereinander im Luftstrom angeordnet werden. Damit — und auch mit der wesentlich höheren Belastung der Dioden — kann viel Platz eingespart werden. Fig. 7 zeigt eine Gleichrichteranlage zur Speisung einer Aluminium-Elektrolyse. Der Nennstrom beträgt 40 000 A, die Nennspannung 850 V. Eine Gleichrichtergruppe, gebildet aus 2 Brücken, besteht aus 6 Bausteinen mit je 48 Dioden, wobei pro Brückenast 2 Dioden in Serie und 12 Dioden parallel geschaltet sind. Der mittlere Diodenstrom beträgt bei Nennbetrieb 140 A. Je 3 Säulen dieses Gleichrichters ersetzen einen grossen, wassergekühlten Quecksilberdampf-Gleichrichter.

Die Maschinenfabrik Oerlikon baut Gleichrichter entsprechend Fig. 8. Die technischen Daten des aus 2 Schränken bestehenden Gleichrichters sind:

- Nennstrom: 2×2500 A, d. h. 2500 A pro Schrank
- Nennspannung: 600 V, Dreiphasen-Brückenschaltung
- Anzahl der Dioden: 72, (36 Dioden pro Schrank)
- Mittlerer Strom pro Diode: 140 A.

Fig. 8

Gleichrichter für forcierter Luftkühlung der Maschinenfabrik Oerlikon

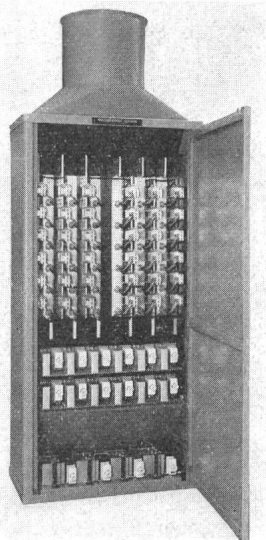
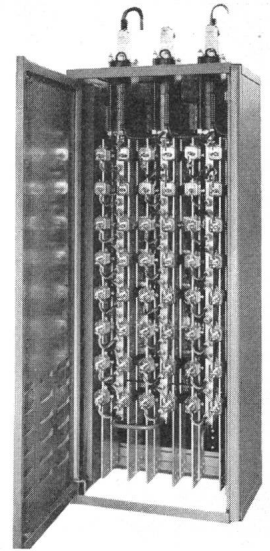


Fig. 9
Wassergekühlter Gleichrichter der Maschinenfabrik Oerlikon



Im Vergleich zu Quecksilberdampf-Gleichrichter sind solche Halbleiter-Gleichrichter mit forcierter Luftkühlung immer noch sehr einfach im Aufbau. Die Überwachung bezieht sich auf die Kontrolle der Luftzirkulation und auf die Meldung defekter Dioden. Ein Temperaturwächter am obersten, wärmsten Kühlelement ist besonders dann ratsam, wenn aus betrieblichen Gründen die Anlage kurzzeitig überlastbar sein muss.

Gleichrichteranlagen mit forcierter Luftkühlung sind besonders vorteilhaft in Anlagen mittlerer Leistung, bei beschränkten Platzverhältnissen, wo genügend saubere Luft zur Verfügung steht und wo das Geräusch der Ventilatoren nicht stört. In den meisten Fällen muss die Kühlluft durch Filter angesaugt werden. Aber auch für Grossanlagen können luftgekühlte Gleichrichter interessant sein, nämlich dort, wo Kühlwasser geeigneter Qualität nicht zur Verfügung steht, also in ausgesprochen trockenen und in Wüstengebieten, aber auch in hochindustrialisierten Gegenden, wo die Gewässerverschmutzung so weit fortgeschritten ist, dass die Kühlwasser-Aufbereitung ein schwieriges Problem darstellt.

In jenen Fällen, wo die Platzverhältnisse eine dominierende Rolle spielen, sind wassergekühlte Gleichrichter vorteilhaft. Hier werden die Dioden auf einen Kühlbalken aus Kupfer montiert. Der Diodenträger ist achsial durchbohrt und wird durch Wasser gekühlt. Im Interesse eines kleinen Wärmewiderstandes wird der Kühlkanal möglichst nahe der Diode angeordnet.

Ein Gleichrichterschrank mit wassergekühlten Dioden ist in Fig. 9 dargestellt. Er ist bestimmt für eine Chlorelektrolyse-Anlage in Chile. Die Anlage besteht aus 2 Gleichrichtern von zusammen 55 kA. Jeder Gleichrichter besteht aus 2 Schränken. Die Daten der Gleichrichter sind:

- Nennstrom: 27,5 kA
- Nennspannung: 72 V
- Entsprechend der relativ niedrigen Spannung wurde die Doppelstern-Saugerschaltung gewählt.
- In jedem Schrank sind 96 Dioden untergebracht.
- Der mittlere Strom pro Diode beträgt 143 A.

Die Möglichkeit, die Gleichspannung stufenlos in relativ engen Grenzen zu regeln, oder beim Einschalten vom Strom Null hochfahren zu können, bestand am gittergesteuerten Quecksilberdampf-Gleichrichter. An dem mit Dioden bestückten Halbleiter-Gleichrichter werden dagegen zur Spannungsregelung oft Transduktoren angeordnet, die im Falle kleiner Einheiten in den Diodenschrank eingebaut sind. In Fig. 10 sind die Transduktoren am oberen Ende der Sicherungsschienen ersichtlich. Für grosse Regelbereiche werden die Transduktoren so gross, dass sie ausserhalb des Schrankes separat montiert werden müssen.

Wie die Dioden und die Sicherungen im Schrank untergebracht sind, geht aus Fig. 11 hervor. Der Diodenbalken

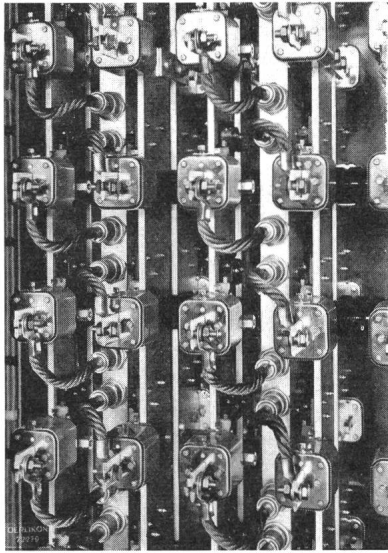


Fig. 10

Nahaufnahme des Gleichrichterschrankes in Fig. 9

ist beidseitig bestückt. Auf der dem Betrachter abgewandten Seite sind Dioden und Sicherungen in gleicher Zahl untergebracht. Hier wird es deutlich, dass eigentlich nicht die Dioden, sondern in erster Linie die Sicherungen Platz beanspruchen.

Die englische Firma Westinghouse Brake and Signal hat das Problem des wassergekühlten Hochstrom-Gleichrichters auf eine andere Art gelöst (Fig. 12). Die Nennleistung dieses Gleichrichters beträgt 10 MW, d. h. 50 kA bei 200 V. Entsprechend der englischen Praxis sind Messinstrumente, Schutzrelais und Bedienungsgeräte in ein Mess- und Steuerfeld zusammengefasst, das direkt mit dem Gleichrichter zusammengebaut ist.

Dieselbe Firma baute einen Gleichrichter für extrem hohen Strom, nämlich 180 kA bei 24 V (Fig. 13) für eine Anlage zur galvanischen Verzinnung von 1 m breiten Stahlblech-Bändern, welche die Bäder mit einer Geschwindigkeit von 450 m/min passieren. Hier mussten die Dimensionen der Gleichrichter ganz den Dimensionen der Bäder angepasst werden. Dieses Beispiel ist typisch für jene Fälle, wo der Platzbedarf des Gleichrichters von grösster Bedeutung ist.

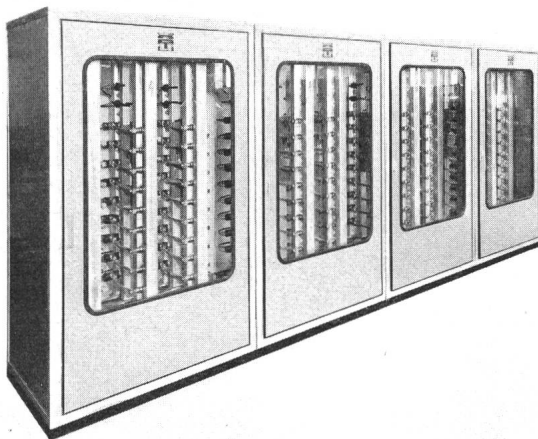


Fig. 11

Wassergekühlter Gleichrichter von Brown Boveri

Teil einer Gleichrichteranlage von 120 kA bei 236 V. Die 4 Schränke zusammen haben einen Nennstrom von 40 kA

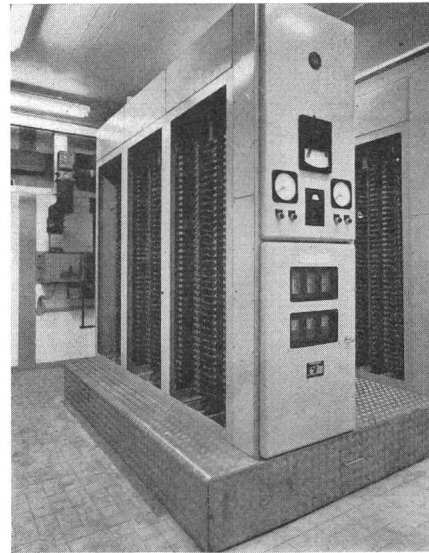


Fig. 12

Wassergekühlter Gleichrichter von Westinghouse Brake & Signal Co.
Nennleistung 10 MW, Stromstärke 50 kA bei 200 V

AEG baut ihre wassergekühlten Gleichrichterschränke als Normbauteile. Je nach der Schaltung können solche Schränke halbe oder ganze Dreiphasenbrücken oder 1 oder 2 Sterne einer Doppelstern-Saugschaltung aufnehmen. Oben im Schrank ist die Apparatur für die Dioden-Überwachung untergebracht, unten finden die Beschaltungselemente Platz.

In Hochstromanlagen sind im Interesse von Anschaffungskosten und Wirkungsgrad Gleichrichter und Transformator möglichst nahe zusammenzudrängen. Diese Kompaktbauweise geht im Extremfalle so weit, dass Transformator und Gleichrichter in eine Einheit zusammengefasst werden.

Ein Beispiel für eine solche Kombination ist der Oerlikon-Retrablock für eine Al-Elektrolyse (Fig. 14). Er ist dimensioniert für 36 kA bei 550 V und besteht aus 4 parallelen Dreiphasenbrücken. Jeder Schrank enthält 60 Dioden. Je ein Plus- und ein Minus-Schrank bilden zusammen eine Dreiphasen-Brücke. Die Kühlung erfolgt durch Wasser, an dessen Widerstand angesichts der relativ hohen Spannung recht hohe Ansprüche gestellt werden müssen. Die Kühlwasserleitungen bestehen aus Hart-PVC-Rohren. Damit der hohe spezifische Widerstand des Wassers aufrechterhalten

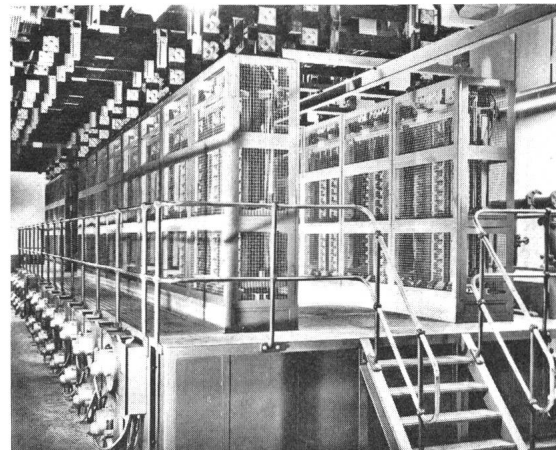


Fig. 13

Wassergekühlter Gleichrichter von Westinghouse Brake & Signal Co.
Ausführung für extrem hohe Stromstärke, 180 kA bei 24 V

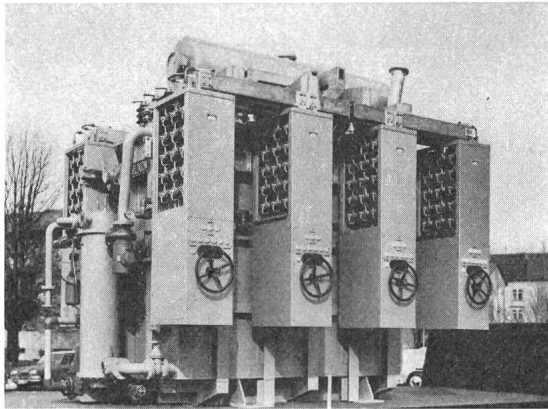


Fig. 14
Oerlikon-Retrablock

wird, ist ein Ionenaustauscher in den Zirkulationswasserkreis eingeschaltet. Der mittlere Diodenstrom beträgt hier 150 A. Bei der intensiven Kühlung kann die Diode dauernd mit 300 A belastet werden. Es sind hier noch beträchtliche Reserven für Überlasten und ungleichmässige Diodenbelastung vorgesehen. Damit die ganze Einheit mit der Bahn spedit werden kann, wurde der Schrank räumlich sehr knapp dimensioniert. Trennschalter für 10 kA sind unten in jedem Schrank eingebaut.

Siemens-Schuckert baut Gleichrichtereinheiten bei denen der Regeltransformator und Gleichrichtertransformator im selben Ölkasten untergebracht sind. Die Dioden sind in Kupfer-Fenster in der Transformatorwand untergebracht und werden durch das Transformatoröl gekühlt.

ASEA geht noch einen Schritt weiter und baut Transformator-Gleichrichter-Einheiten für natürliche Luftkühlung für Freiluftaufstellung von 30 kA bei 300 V (Fig. 15), wobei bei Überlasten oder bei hohen Aussentemperaturen die Kühlung forciert werden kann.

Noch weiter geht die amerikanische Praxis. Gleichrichter und Transformator sind in einem bahntransportfähigen Kiosk untergebracht (Fig. 16). Die Nenndaten dieses ITE-Rectiformers sind: 75 kA bei 30 V. Es handelt sich hier im eigentlichsten Sinne des Wortes um einen «schwarzen Kasten» mit 3 Wechselstrom- und 2 Gleichstrom-Anschlüssen.

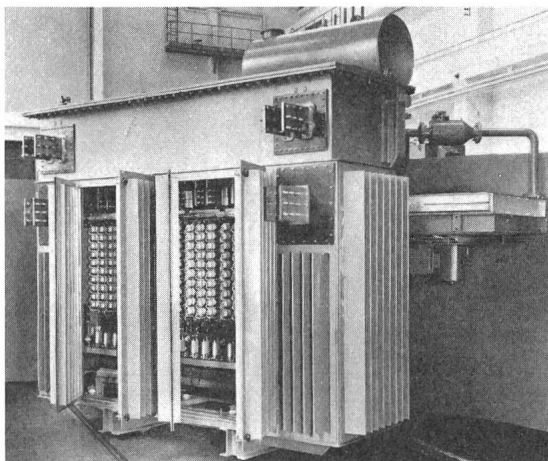


Fig. 15
ASEA-Transformator-Gleichrichter-Einheit für natürliche Luftkühlung für 30 kA bei 300 V für Freiluftaufstellung

Er wird im Werk fertig montiert, geprüft und kann innert kürzester Zeit installiert und in Betrieb gesetzt werden.

Aus den vorstehenden Ausführungen dürfte die Vielfalt der Möglichkeiten hervorgehen, welche mit dem Halbleiter-Gleichrichter geboten wird. Wohl ist der sehr gute Wirkungsgrad des Si-Gleichrichters eine seiner hervorragendsten Eigenschaften, welche besonders auf dem Gebiete der Elektrolyseur-Anlagen ganz neue Möglichkeiten erschloss. Nur dank dem Halbleiter-Gleichrichter ist die Erzeugung extrem hoher Ströme bei kleinen Spannungen wirtschaftlich möglich geworden. Der Aufbau des Gleichrichters aus einzelnen Zellen, die Möglichkeit, durch Serie- und Parallelschaltung der Zellen die gewünschten Nenndaten des Gleichrichters zu erzielen, die Freiheit in der Wahl der Kühlungsart haben den Halbleiter-Gleichrichter zu einem sehr anpassungsfähigen Apparat gemacht.



Fig. 16
ITE-Rectiformer für 75 kA bei 30 V

Enge Zusammenarbeit zwischen dem Anlagebauer und dem Konstrukteur des Gleichrichters gestattet, aus der Vielfalt der möglichen Lösungen die beste Wahl zu treffen. Dabei sind natürlich alle in Gewicht fallenden Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Besondere Anerkennung gebührt den Herstellern von Dioden. Sie haben es verstanden, innert kürzester Zeit ein Element auf den Markt zu bringen, dessen Herstellung auf wirtschaftliche Weise noch vor einem Jahrzehnt als unmöglich galt. Dieses Element, die Hochleistungsdiode, hat sich bereits vielfach bewährt.

Lob gebührt aber auch den Bauherren, die den Mut hatten, selbst an äusserst exponierten Stellen ein Bauelement einzusetzen, von dem vorerst nur spärliche Betriebserfahrungen bestanden. Ihr Vertrauen hat sich gelohnt. Die Gleichrichter sind einfacher und zuverlässiger geworden, benötigen weniger Platz und Unterhalt und machen sich mit dem guten Wirkungsgrad besonders bei kleinen Spannungen schon nach kurzer Zeit bezahlt.

Adresse des Autors:

A. Ernst, Chef der Konstruktionsabteilung für Gleichrichter und Elektrolyseur, Maschinenfabrik Oerlikon, 8050 Zürich.