**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens

**Herausgeber:** Association suisse des électriciens

**Band:** 24 (1933)

**Heft:** 3

**Artikel:** Unterbrechung eines brennenden Anodenstromes mittels Gitter im Quecksilberdampf-Gleich- oder Wechselrichter

**Autor:** Kobel, E.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-1057218

**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 de Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A., Zurich 4
Stauffacherquai 36/38

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

XXIVe Année | N° 3 | Vendredi, 3 février 1933

## Unterbrechung eines brennenden Anodenstromes mittels Gitter im Quecksilberdampf-Gleich- oder Wechselrichter.

Von *E. Kobel*, Baden.

621.314.65 032.24

*Es werden Versuche beschrieben und Oszillogramme besprochen, die zeigen, dass es entgegen der bisherigen Auffassung möglich ist, Anodenströme auch bei positiver Anodenspannung durch Gittersteuerung zu löschen. Für eine solche Löschsteuerung bedarf es besonders dimensionierter Gitter und Konstanthaltung der Quecksilberdampfdichte innerhalb gewisser Grenzen. Ausserdem muss für eine genügend rasche Ableitung der beim Löschen des Anodenstromes entstehenden Vorwärtsüberspannungen gesorgt werden. Dies geschieht am besten durch Einschalten von Kondensatoren zwischen Anode und Kathode oder durch ein dem Steuergitter vorgelagertes, über einen Widerstand mit der Anode verbundenes Ableitgitter oder auch durch beide Mittel zugleich.*

*Diese Löschsteuerung kann vielleicht praktische Bedeutung erlangen, weil dadurch dem gittergesteuerten Lichtbogen- und Glühkathodengleichrichter neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen werden, z. B. selbständige Umformung von Gleich- in Wechselstrom ohne taktgebende Wechselspannung, Strom- und Spannungsregulierung ohne Verschlechterung des Leistungsfaktors, Phasenkompensation usw.*

*L'auteur décrit des essais et commente des oscillogrammes qui montrent que, à l'encontre de ce que l'on croyait jusqu'à présent, il est possible d'éteindre des courants anodiques à l'aide d'une grille polarisée, même lorsque la tension anodique est positive. Il suffit pour cela que la grille soit de dimensions convenables et que la densité de la vapeur de mercure soit maintenue dans des limites déterminées. En outre il faut veiller à étouffer rapidement les surtensions qui se produisent lors de l'extinction du courant anodique, ce que l'on obtient de préférence à l'aide de condensateurs intercalés entre anode et cathode ou d'une grille de fuite montée entre la grille et l'anode et reliée à cette dernière par une résistance, ou encore des deux moyens simultanément.*

*Cette commande de l'extinction est susceptible d'un développement pratique, car elle offre de nouvelles possibilités d'utilisation des redresseurs à arc ou à cathode incandescente à grille polarisée, par exemple la transformation automatique de courant continu en alternatif sans l'aide d'une tension alternative, le réglage de l'intensité et de la tension sans affaiblir le facteur de puissance, la compensation de phase, etc.*

### Einleitung.

In der bereits ziemlich umfangreichen Literatur über gittergesteuerte Quecksilberdampfgleichrichter und gittergesteuerte Glühkathodenröhren mit Quecksilberdampffüllung findet man überall die übereinstimmende Auffassung vertreten, dass die Steuergitter nur das Neuzünden des Anodenstromes zu verhindern vermögen. Nach erfolgter Zündung des Anodenstromes aber soll das Gitter keinerlei Einfluss mehr auf den Bogenstrom ausüben [1]). Die Wirkungsweise des Steuermechanismus bei den Thyratron-Röhren wird beispielsweise so charakterisiert, dass das Steuergitter eine Art Türe darstellt, welche zu beliebiger Zeit wohl geöffnet, dann aber erst wieder geschlossen werden kann, wenn der durch das Gitter gehende Strom auf natürliche Weise, d. h. durch Umkehrung der Anodenspannung, auf Null abgenommen hat [2]) [3]).

Dieses Verhalten der Steuergitter bei gas- oder dampfgefüllten Gleichrichtern ist von grossem prinzipiellen Nachteil. Infolge dieser einseitigen Eigenschaft des Steuergitters ist es beispielsweise nicht möglich, Gleichstrom in Wechselstrom umzurichten, wenn auf der Wechselstromseite nicht bereits eine taktgebende Wechselspannung oder Löschkondensatoren [4]) vorhanden sind, welche dafür sorgen, dass die Anodenspannung periodisch durch Null geht. Die Gleichspannungsregulierung mit Hilfe von gesteuerten Gittern hat weiterhin den Nachteil der Verschlechterung des primären $\cos \varphi$ im Verhältnis der regulierten zur unregulierten Sekundärspannung [5]).

Diese grossen Nachteile lassen sich mit einem Schlage beseitigen, wenn es gelingt, die Gittersteuerung derart zu vervollkommnen, dass damit der brennende Anodenstrom zu beliebiger Zeit unterbrochen werden kann. Dass dies tatsächlich möglich ist, soll in folgendem an Hand von Resultaten

[1]) M. Schenkel, ETZ 1932, Nr. 32, S. 761.
[2]) E. Lübcke u. W. Schottky, Wiss. Veröff. Siemens-Konz., 9. Bd., 1930, S. 392.
[3]) A. Glaser, Z. techn. Physik 1932, Nr. 11, S. 549.
[4]) Prince, Gen. electr. Rev. 1928, S. 347.
[5]) Meyer-Delius, Elektrizitätswirtschaft 1932, Nr. 5.

praktischer Versuche gezeigt werden. Die Versuche wurden im Physikalischen Laboratorium der A.-G. Brown, Boveri & Cie. vor zwei Jahren begonnen.

### Versuchseinrichtungen und Versuche.

Die ersten Versuche wurden mit der in Fig. 1 und 2 dargestellten Apparatur durchgeführt. Im horizontalen Teil einer Quarzröhre *Q* brennt ein Gleichstromlichtbogen. Durch das vertikale Rohr *R* sind Anode *A* und Gitter *G* eingeführt. Die Anode besteht aus einer 0,35 mm dicken Hohlanode, welche durch Schrumpfung hochvakuumdicht auf ein Eisenrohr aufgezogen ist. Dieses Rohr endigt oben in einem Schliff, auf welchem ein Glaskühler mit Schaufenster aufgekittet ist. Durch dieses Schaufenster kann die Temperatur des Anodenbodens auf optischem Wege bestimmt werden. Sowohl die Quarzröhre als auch das Eisenrohr werden über zwei separate Hahnen an dieselbe Hochvakuumpumpe angeschlossen. Die Anode ist auf der Mantel- und Stirnseite von einem Steuergitter umgeben, welches ebenfalls aus einem dünnwandigen Eisenrohr besteht und siebartig mit vielen feinen Löchern versehen ist.

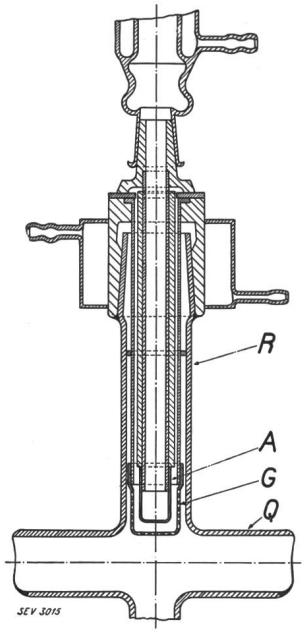



Fig. 1.
Schnitt durch Anode und Gitter des Steuereinsatzes.
*R* Rohr.
*A* Anode.
*G* Gitter.
*Q* Quarzrohr.

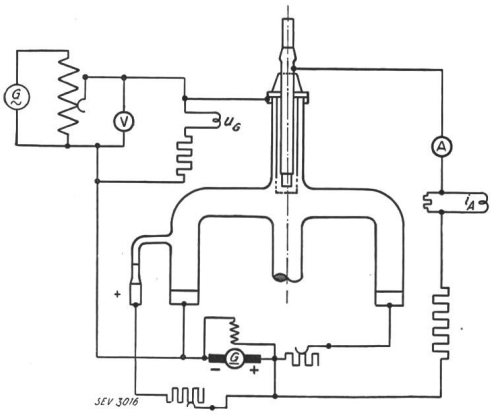



Fig. 2.
Schaltschema.
$u_G$ Oszillographenschleife für Gitterspannung.
$i_A$ Oszillographenschleife für Anodenstrom.

Die elektrische Schaltung zur Aufnahme der Oszillogramme Fig. 3 bis 7 ist in Fig. 2 dargestellt. Während die Anode mit dem positiven Pol einer Gleichstromquelle verbunden ist, wird das Steuergitter an eine Wechselstromquelle angeschlossen. Die Oszillogramme zeigen deutlich, wie die zum Unterbrechen des Anodengleichstromes nötige negative Gitterspannung vom Hg-Dampfdruck abhängig ist. Es ergibt sich aus Oszillogramm Fig. 3 für einen Hg-Dampfdruck von $2 \cdot 10^{-3}$ mm Hg eine negative Gitterspannung von 10 bis 20 V, aus Oszillogramm Fig. 4 bei $10 \cdot 10^{-3}$ mm Hg eine solche von ca. 60 bis 85 V und aus Oszillogramm Fig. 5 bei $28 \cdot 10^{-3}$ mm Hg von ca. 290 V. Diese Zahlen gelten für einen Gitterlochdurchmesser von 0,9 mm, einen Abstand Anode—Gitter von 4 mm und einen freien Gitterdurchtrittsquerschnitt von 40 % der

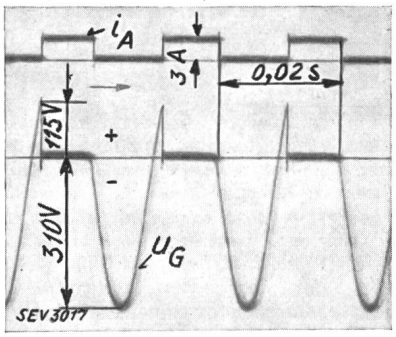



Fig. 3.
Oszillogramm der Unterbrechung eines Anodengleichstromes mittels 50periodiger Gitterwechselspannung.
$i_A$ Anodenstrom; 1 mm ~ 1,02 A.
$u_G$ Gitterspannung; 1 mm ~ 16,2 V.
$t_{Hg}$ 25° C.
$p_{Hg}$ $2 \cdot 10^{-3}$ mmHg.

Anodenstirnfläche. Aus den Oszillogrammen Fig. 3 und 4 ist ersichtlich, dass die Unterbrechung des Gleichstromes bei diesen kleinen Hg-Dampfdrükken einwandfrei und ohne Störung erfolgt. Oszillogramm Fig. 5 dagegen zeigt, dass bei einem Dampfdruck von $28 \cdot 10^{-3}$ mm Hg die Löschsteuerung nur noch unregelmässig und mit Versagern arbeitet. Die zum Unterbrechen des Gleichstromes nötige negative Gitterspannung übersteigt den Scheitelwert der angelegten Spannung, so dass nur hie und da richtig gelöscht wird. Ausserdem sind in diesem

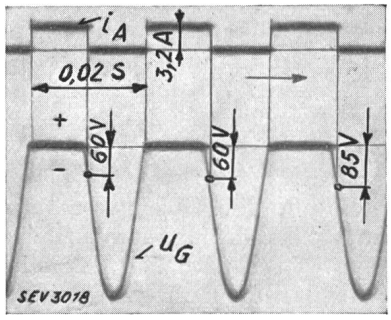



Fig. 4.
Oszillogramm der Unterbrechung eines Anodengleichstromes mittels 50periodiger Gitterwechselspannung.
$i_A$ Anodenstrom; 1 mm ~ 1,02 A.
$u_G$ Gitterspannung; 1 mm ~ 16,2 V.
$t_{Hg}$ 46° C.
$p_{Hg}$ $10 \cdot 10^{-3}$ mmHg.

Oszillogramm vier Gitterrückzündungen aufgezeichnet; diese treten bei Spannungen auf, die weit unter der bei einem Hg-Dampfdruck von $28 \cdot 10^{-3}$ mm Hg zu erwartenden Bogenzündspannung liegen. Dass die Zündspannung für den Elektronenstrom auf das Steuergitter bei einem Druck von

$2 \cdot 10^{-3}$ mm Hg (Fig. 3) 115 V beträgt, ist dadurch zu erklären, dass im horizontalen Rohr kein Erregerbogen brannte, so dass der geringe Durchgriff des Gitters durch das verhältnismässig lange, gekrümmte Rohr bis zur Kathode diese hohe Zündspannung verlangt. Sobald durch das horizontale Rohr direkt vor dem Gitter ein Erregerlichtbogen brennt, verschwindet diese Zündspitze, ebenso bei Erhöhung des Dampfdruckes, wie Fig. 4 und 5 zeigen.

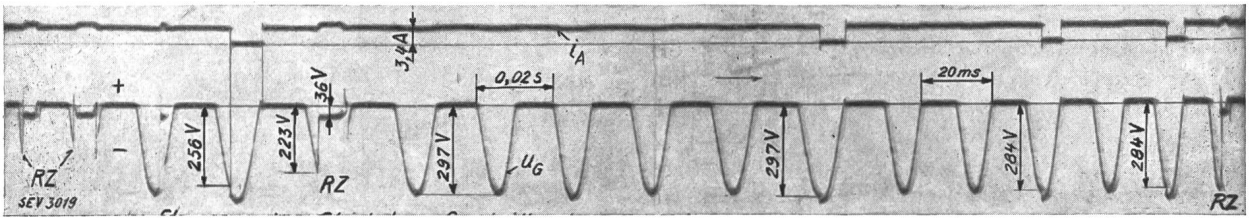



Fig. 5.
Oszillogramm der Unterbrechung eines Anodengleichstromes mittels 50periodiger Gitterwechselspannung.
$i_A$ Anodenstrom; 1 mm ~ 1,63 A.
$u_G$ Gitterspannung; 1 mm ~ 25,8 V.
$t_{Hg}$ 61° C.
$p_{Hg}$ $28 \cdot 10^{-3}$ mmHg.
*RZ* Gitter-Rückzündung.

Dass es sich hier nicht um eine kontinuierliche Beeinflussung des Anodenstromes handelt, bei der der Anodenstrom eine stetige Funktion der Gitterspannung ist, geht aus den Oszillogrammen ebenfalls hervor. Der Anodenstrom wird vielmehr plötzlich gezündet und steigt nach Massgabe der Zeitkonstanten des Anodenstromkreises, also im vorliegenden Falle sehr rasch. Ebenso findet der Löschvorgang in ausserordentlich kurzer Zeit statt. Die Stromänderung $\frac{di}{dt}$ kann beim Löschen bedeutend grösser sein als beim Zünden des Stromes, weil die innern physikalischen Vorgänge, die sich in der Umgebung des Gitters und namentlich zwischen Gitter und Anode abspielen, ein fast plötzliches Verschwinden der Leitfähigkeit zur Folge haben. Wie wir noch sehen werden, haben sich sogar besondere Massnahmen zur Beseitigung, d. h. zur Ableitung der beim Löschvorgang entstehenden Ueberspannung $\left(- L \frac{di}{dt}\right)$ als notwendig erwiesen.

Aus den besprochenen Oszillogrammen geht hervor, dass es sich bei diesen Versuchen um eine Gittersteuerung mit eigentümlicher, diskontinuierlicher Wirkungsweise handelt. Auch bei den bis jetzt bekannt gewordenen Gittersteuerungen von Gas- oder Dampfentladungsröhren und Hg-Dampfgleichrichtern erfolgt die Zündung des Anodenstromes im selben Moment, in dem das Steuergitter an positive Spannung gelegt wird, plötzlich, aber das Auslöschen des Anodenstromes war bisher nur beim Nulldurchgang der Anodenspannung möglich.

Aus früheren Veröffentlichungen wurden ausserdem Steuerröhren bekannt, bei denen der Anodenstrom in gleicher Weise wie bei den Hochvakuum-Glühkathodenröhren stetig durch die Gitterspannung beeinflusst oder moduliert werden kann. E. Lübcke [6]) hat stetig steuerbare Hg-Dampf-Verstärkerröhren für Anodenströme bis zu 5 A und Anodenspannungen bis zu 220 V hergestellt. Diese Steuerröhren haben wohl den grossen Vorteil, dass der Anodenstrom eindeutig und stetig von der angelegten Gitterspannung abhängig ist, aber der innere Widerstand im Steueranodenkreis ist dabei derart gross, dass grössere Ströme aus wirtschaftlichen und auch aus konstruktiven Gründen wegen der übermässig grossen Erwärmung von Anode und Gitter nicht gesteuert werden können. Der innere Widerstand des Steueranodenkreises ist an die Bedingung geknüpft, die Lübcke und Schottky für ihre Steuerröhren verlangen, dass zwischen Steuergitter und Anode keine Stossionisation stattfinden darf. In diesem Fall kann daher der Anodenstrom nur durch einen reinen, unselbständigen Elektronenstrom getragen werden. Infolge Fehlens der positiven Ionen im Raume zwischen Gitter und Anode wird der Elektronenstrom durch die negative Raumladung begrenzt.

Die folgende Rechnung zeigt, welche Stromdichte bei vollständiger Abwesenheit von positiven Ionen im Raume zwischen Gitter und Anode auftreten kann, wenn mit einem Spannungsabfall von maximal 20 V für diesen Teil des Bogens gerechnet werden darf. Nach dem Langmuir-Schottkyschen Raumladegesetz [7]) ergibt sich die maximale Stromdichte in A/cm², welche zwischen parallelen ebenen Elektroden mit dem Abstande $X$ cm fliesst:

$$I = K \cdot \frac{U^{3/2}}{X^2}, \text{ wobei } K \text{ eine Konstante}$$

($= 2{,}33 \cdot 10^{-6}$ für reine Elektronenströmung) und $U$ die Spannung in V, welche zwischen den Elektroden vorhanden ist, bedeuten. Bei einem Gitterabstand von beispielsweise 5 mm ergibt sich für unseren Fall (bei $U = 20$ V, $I = 833 \cdot 10^{-6}$ A/cm², Anodenstirnfläche = 300 cm²) $I = 0{,}25$ A. Dieser

[6]) E. Lübcke, Z. techn. Physik, Bd. 8, S. 445; BBC-Mitt. 1931, S. 69; E. Lübcke u. W. Schottky, Wiss. Veröff. Siemens-Konz.

[7]) Langmuir, Gen. electr. Rev. 1923, S. 731; 1930, S. 390.

Strom ist so gering, dass er für die praktische Anwendung einer solchen Steuerung nicht in Frage kommt. Bei einer Stromdichte von ca. 3 A/cm², wie sie bei den heutigen Grossgleichrichtern an der Anodenoberfläche vorkommt, müsste der Gitterabstand nur 0,084 mm betragen, was praktisch unmöglich ist, oder der Spannungsabfall würde bei dem angenommenen Gitterabstand von 5 mm auf ca. 4700 V ansteigen. Um praktisch mögliche Gitterabstände und genügend grosse Stromdichte bei nur kleinem Spannungsabfall zu erhalten, ist es unbedingt nötig, im Raume zwischen Gitter und Anode eine genügend ergiebige Neubildung von positiven Ionen zu ermöglichen. Es werden zwar auch dann in diesem Raume positive Ionen vorhanden sein, wenn Stossionisation infolge zu grosser Weglänge der Elektronen nicht stattfindet, z. B. etwa durch Diffusion aus dem Entladungsraum vor dem Gitter. Dass dies der Fall ist, zeigt ein hier nicht wiedergegebenes Oszillogramm, bei welchem die Hg-Dampfdichte derart gering war, dass die mittlere freie Elektronenweglänge etwa 30mal grösser war als der Abstand Gitter—Anode. Trotzdem wurde ein Anodenstrom von 1,8 A gemessen. Die Spannung zwischen Anode und Gitter betrug dabei 220 V. Bei gänzlicher Abwesenheit von positiven Ionen zwischen Gitter und Anode wäre nur ein Strom von 0,03 A zu erwarten.

Der innere Widerstand der Entladungsstrecke Gitter—Anode wird allein durch die Anwesenheit der relativ geringen Anzahl positiver Ionen, welche durch Diffusion aus dem Raume vor dem Gitter oder durch vereinzelte zufällige Stossionisation dorthin gelangen, von ca. 7300 Ohm auf ca. 120 Ohm verringert. Um den innern Widerstand auf einen zulässigen Wert von ca. 0,1 Ohm zu bringen, muss daher für stärkere Ionisation zwischen

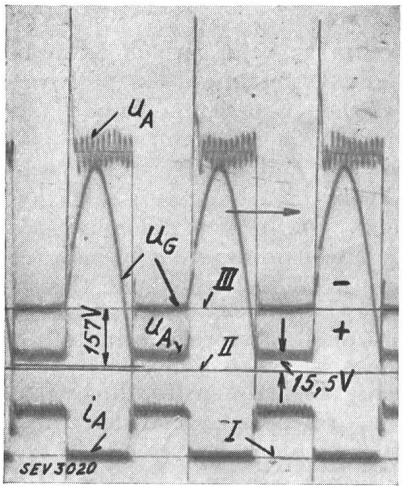



Fig. 6.

Oszillogramm der Unterbrechung eines Anodengleichstromes mittels 50 periodiger Gitterspannung *ohne* Erregerlichtbogen im Rohr *Q*.

$i_A$ Anodenstrom, Nullinie I; 1 mm ~ 1,2 A.
$u_A$ Anodenspannung, Nullinie II; 1 mm ~ 8,9 V.
$u_G$ Gitterspannung, Nullinie III; 1 mm ~ 29,2 V.

Gitter und Anode gesorgt werden, z. B. durch Verkleinern der freien Weglänge der Elektronen, d. h. durch Erhöhen der Dampfdichte. Oszillogramm Fig. 6 und 7 zeigen, dass durch eine Erhöhung des Dampfdruckes auf ca. $3 \cdot 10^{-3}$ mm Hg die Häufigkeit der ionisierenden Zusammenstösse und damit die Ergiebigkeit der Ionenbildung im Raume zwischen Gitter und Anode genügend gross geworden ist, um die negative Raumladung zu kompensieren, denn der Spannungsabfall Kathode-Anode beträgt

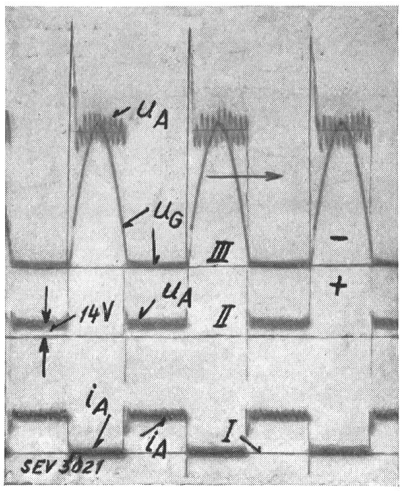



Fig. 7.

Oszillogramm der Unterbrechung eines Anodengleichstromes mittels 50 periodiger Gitterspannung *mit* Erregerlichtbogen im Rohr *Q*.

$i_A$ Anodenstrom, Nullinie I; 1 mm ~ 1,2 A.
$u_A$ Anodenspannung, Nullinie II; 1 mm ~ 8,9 V.
$u_G$ Gitterspannung, Nullinie III; 1 mm ~ 29,2 V.

nur noch 15,5 V bzw. 14 V. Man sieht auch, dass die Zündspitze der positiven Gitterspannung von ca. 157 V (Fig. 6) verschwindet, wenn im horizontalen Teil der Röhre ein Erregerbogen brennt (Fig. 7).

Nachdem wir nun die Bedingungen besprochen haben, die für möglichst geringen Spannungsabfall erfüllt sein müssen, wollen wir noch die Bedingungen, die für das plötzliche Löschen des Anodenstromes günstig sind, zusammenstellen. Wie aus verschiedenen bisherigen Veröffentlichungen, namentlich aber aus der Arbeit von A. Glaser [8]) bekannt wurde, soll es ausgeschlossen sein, einen brennenden Anodenstrom durch das Steuergitter zu löschen, weil das Gitterfeld nicht über den Langmuirschen Dunkelraum hinausgreifen kann. Obwohl die Frage nach den Vorgängen, die sich im ersten Moment beim plötzlichen Anlegen der negativen Gitterspannung abspielen, also wenn die positive Raumladung noch nicht aufgebaut ist und daher eine Steuerwirkung auf die Elektronen im freien Gitterquerschnitt noch denkbar ist, bis dahin noch nicht diskutiert wurde, wollen wir die Ergebnisse der Betrachtungen von Glaser als unantastbar betrachten. Die plötzliche Unterbrechung des Anodenstromes bei aufrecht erhaltener Anodenspannung ist dann nur noch möglich, wenn sich im Raume zwischen Gitter und Anode Vorgänge abspielen, die für den Stromdurchgang sehr wichtig sind, bis dahin aber noch nicht in Betracht gezogen wurden. Bei den beschriebenen Versuchen ist die Ionisation zwischen Gitter und Anode nur gering, so dass die schweren Hg-Ionen zwar die negative Raumladung der Elektronen zum grössten Teil zu kompensieren vermögen, obwohl die Quasi-

[8]) A. Glaser, Z. techn. Physik 1932, Nr. 11, S. 549.

neutralität [9]) in diesem Raume leicht gestört werden kann. Sobald aber das Gitter plötzlich an eine negative Spannung angelegt wird, tritt sofort der negative Gitterstrom auf und an der der Anode zugekehrten Gitterfläche findet ein im Vergleich zur vorangehenden Brennperiode plötzlich zunehmender Verbrauch von positiven Ionen statt. Zur Ausbildung eines stationären Langmuirschen Dunkelraumes auf der Anodenseite des Gitters kann es dann offenbar gar nicht kommen, weil bei der infolge der Seltenheit der Zusammenstösse schwachen Ionenbildung durch den plötzlich einsetzenden Mehrverbrauch ein Mangel an solchen entsteht. Dadurch überwiegt die negative Raumladung und diese schwächt sofort den Anodendurchgriff ab, wodurch die Neubildung von Ionen fast plötzlich aufhört und der Anodenstrom auf den sehr kleinen, raumladebegrenzten Strom abgeschwächt wird. Mit der Verkleinerung des Durchgriffes steigt der innere Widerstand der Entladungsstrecke Gitter—Anode. Damit wird aber die Stromdichte in den Gitterlöchern so stark verkleinert, dass die Dicke $X$ [10]) des positiven Dunkelraumes genügend gross wird, um die Gitteröffnungen gänzlich zu schliessen und damit auch den raumladebegrenzten Elektronenstrom auf die Anode zum Verschwinden zu bringen. Wenn auch bei wachsender negativer Raumladung die Geschwindigkeit der Elektronen steigt, so kann dadurch eine vermehrte Ionisation nicht einsetzen, weil diese im Raume zwischen Gitter und Anode durch die geringe Anzahl der Zusammenstösse und nicht durch die Geschwindigkeit begrenzt ist. Es kommt daher offenbar beim Löschvorgang auf eine plötzliche Verminderung der positiven Ionendichte zwischen Gitter und Anode, d. h. auf eine willkürliche Beeinflussung der Quasineutralität an. Dies ist auch um so eher möglich, als die Diffusion von Ionen aus dem Raume vor dem Gitter durch die Ausbildung des positiven Dunkelraumes um die Gittermaschen behindert wird. Die Ionenüberschwemmung [11]) des Steuergitters auf der Anodenseite ist daher trotz Ionisation zwischen Gitter und Anode vermeidbar. Infolge zweier sich gegenseitig unterstützenden Vorgänge, vermehrter Ionenverbrauch durch Ableitung eines negativen Gitterstromes und verminderte Ionenzufuhr infolge Erschwerung der Diffusion und Unterdrückung der Neubildung durch die Verkleinerung des Anodendurchgriffes wird der Anodenstrom ausserordentlich rasch ausgelöscht. Durch die plötzlich eintretende Zunahme des scheinbaren, inneren Widerstandes der Entladungsstrecke von einem sehr kleinen auf einen sehr grossen Wert findet ein wesentlicher Energieverlust nicht statt, im Gegenteil zu den stetig steuerbaren Kopf- und Wandstromverstärkern, bei denen der innere Widerstand die Grössenordnung von 50 Ohm aufweist.

[9]) W. Schottky, Physik. Z. 1924, Bd. 25, S. 342.

[10]) $X = \sqrt{k \cdot \frac{U^{3/2}}{I}}$, $I$ = Stromdichte des positiven Ionenstromes.

[11]) E. Lübcke u. W. Schottky, Wiss. Veröff. Siemens-Konz. 1930, Bd. 9, S. 397.

Fig. 5 zeigt, dass bei grösserer Sattdampfdichte, wobei die Zusammenstösse zwischen Elektronen und Hg-Dampfatomen auch im Raume zwischen Anode und Gitter häufiger werden, der Anodenstrom erst bei grösseren Gitterspannungen unterbrochen wird, und zwar ebenfalls mit grosser Raschheit. Hier scheint zum Löschen des Anodenstromes eine Konzentrierung der Elektronenstrahlen, welche durch die Gitterlöcher in den Anodenraum eintreten, nötig zu sein. Mit zunehmender negativer Gitterspannung werden ja die Gitterlöcher infolge der Ausbildung des Dunkelraumes immer enger, so dass die seitliche Streuung der Elektronen immer kleiner wird. Auf diese Weise wird offenbar die Möglichkeit der Ionenbildung zwischen Gitter und Anode auf zwei verschiedene Arten verringert. Erstens wird die Ionisation in den Raumteilen zwischen den Strahlen vermindert, weil der Ionisierungsquerschnitt der Strahlen kleiner geworden ist, und zweitens verringert sich die Dampfdichte innerhalb der fadenförmigen Elektronenstrahlen. Aus diesen Gründen ist es auch verständlich, dass das Verhältnis des Anodenstirnquerschnittes zum freien Durchtrittsquerschnitt aller Gitterlöcher sowie der Durchmesser der Gitterlöcher eine grosse Rolle spielen.

Damit in engem Zusammenhang steht das Verhältnis der den Ionenstrom aufnehmenden Gitteroberfläche auf der Anodenseite zu der für den Durchtritt des Elektronenstromes zur Verfügung stehenden Durchtrittsfläche. Dass die Elektronen in konzentrierten Strahlen auf die Anode auftreffen, beweist das Aussehen der Anodenoberfläche nach den Versuchen. Die Gitterlöcher waren scharf auf der Anode abgebildet. Ueber die Existenz von gas- und raumladungskonzentrierten Elektronenstrahlen sind von E. Brüche [12]) interessante Versuche durchgeführt worden.

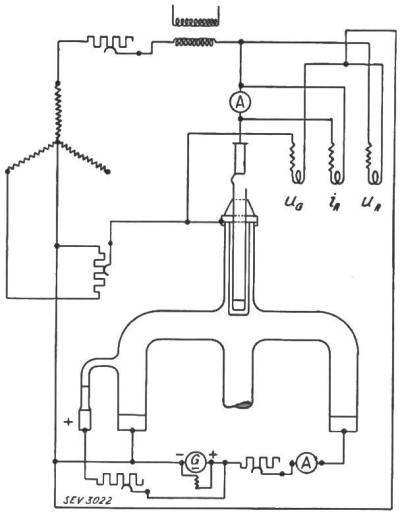



Fig. 8.
Schaltschema zur Aufnahme der Oszillogramme Fig. 9 und 10.
$u_A$ Oszillographenschleife für Anodenspannung.
$u_G$ Oszillographenschleife für Gitterspannung.
$i_A$ Oszillographenschleife für Anodenstrom.

[12]) E. Brüche, Z. Physik 1932, Nr. 3 und 4, S. 177.

Da die Ionisation zwischen Gitter und Anode von der Dampfdichte abhängig ist, so ist selbstverständlich, dass auch Anoden- und Gittertemperatur von Einfluss sein müssen. Die Versuche haben

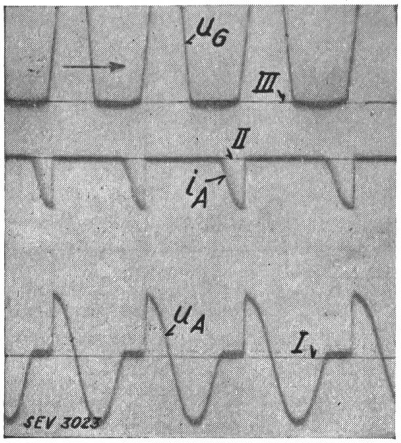



Fig. 9.

Oszillogramm der Unterbrechung eines pulsierenden Anodenstromes (Einphasenstrom).

$u_A$ Anodenspannung, Nullinie I; 1 mm ~ 36 V.
$i_A$ Anodenstrom, Nullinie II; 1 mm ~ 1,2 A.
$u_G$ Gitterspannung, Nullinie III; 1 mm ~ 22,5 V.

gezeigt, dass das Löschen des Anodenstromes bei um so grösseren Sattdampfdrücken möglich ist, je höher Anoden- und Gittertemperatur sind. Nachdem die bereits beschriebenen Versuche die prinzipielle Möglichkeit, einen brennenden Anodenstrom mittels geeignet dimensionierter Steuergitter zu unterbrechen, bewiesen haben, ist es naheliegend, daran zu denken, auch periodisch brennende Anodenströme während ihrer Brennperiode zu unterbrechen. Die Oszillogramme Fig. 9 und 10 wurden mit der in Fig. 8 wiedergegebenen Schaltung aufgenommen. Bei beiden Versuchen wurde ein mit 50 Per./s pulsierender Anodenstrom im Scheitelpunkt unterbrochen. Die Oszillogramme

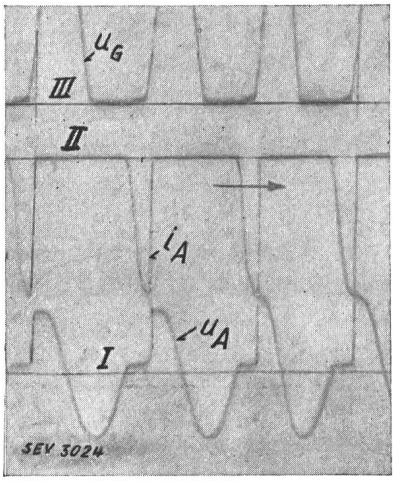



Fig. 10.

Oszillogramm der Unterbrechung eines pulsierenden Anodenstromes (Einphasenstrom).

$u_A$ Anodenspannung, Nullinie I; 1 mm ~ 36 V.
$i_A$ Anodenstrom, Nullinie II; 1 mm ~ 1,2 A.
$u_G$ Gitterspannung, Nullinie III; 1 mm ~ 22,5 V.

zeigen die Gitterspannung zwischen Gitter und Kathode ($u_G$), den Anodenstrom ($i_A$) und die Anodenspannung zwischen Anode und Kathode ($u_A$).

Um auch grössere Anodenströme auf diese Art während der Brennperiode zu löschen, wurde eine dreianodige Steuerröhre nach Fig. 11 gebaut. Jede der drei Anoden kann bei einer Stromdichte von

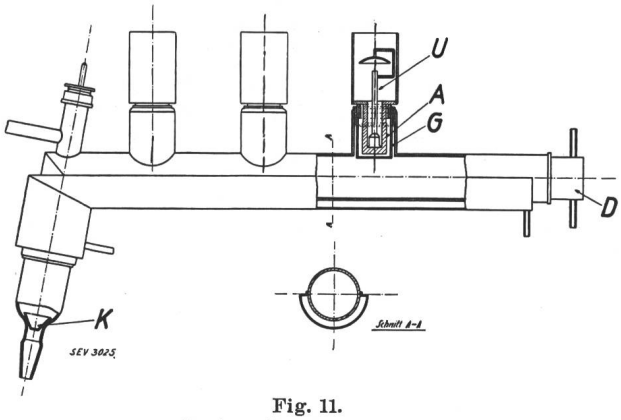



Fig. 11.
Dreianodige Steuerröhre.
*A* Anode.
*D* Erregeranode.
*G* Gitter.
*K* Kathode.
*U* Kühlereinsatz.

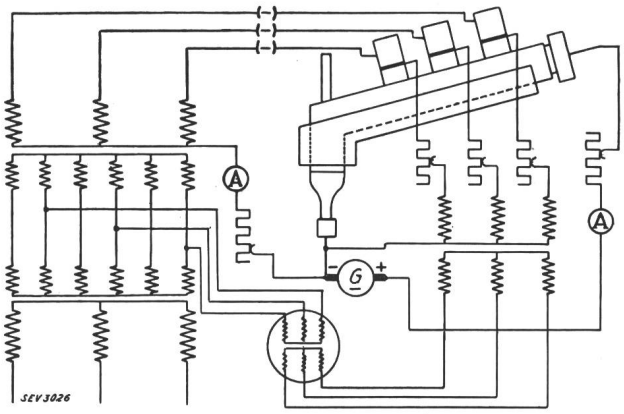



Fig. 12.
Schaltschema der dreianodigen Steuerröhre für Phasenkompensation.

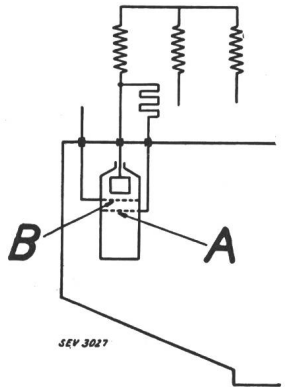



Fig. 13.

Anode mit Erreger-, bzw. Ableiter- und Löschgitter.

*A* Ableiter- und Erregergitter.
*B* Löschgitter.

10 A/cm² in den Gitterlöchern einen Strom von 80 A beherrschen. Die Anoden sind durch Flüssigkeitsverdampfung gekühlt. Die Röhre selbst besteht aus einem Stahlrohr mit aufgeschweisstem

einseitigem Längskühlmantel. Der Kathodenfleck wird in einem konischen Wolframtrichter fixiert. Das Steuergitter umgibt die Anode käfigartig und

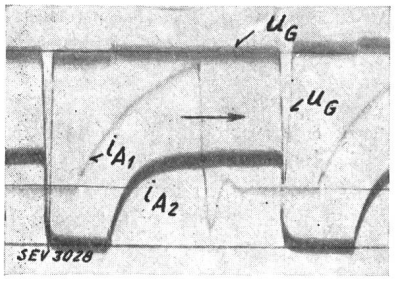


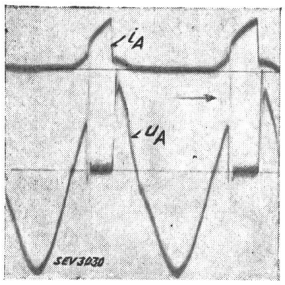

Fig. 14.

Oszillogramm der Unterbrechung eines Gleichstromes.

$i_{A1}$ Anodenstrom ohne Ableitergitter.
$i_{A2}$ Anodenstrom mit Ableitergitter.
$u_G$ Gitterspannung.

ist auf der Stirnseite mit gleichmässig verteilten kreisförmigen Löchern versehen. Direkt vor den Gittern brennt ein Erregerlichtbogen, um das Zünden der Anodenströme zu erleichtern.

Mit dieser Steuerröhre konnte in dreiphasiger Schaltung (Fig. 12) zum ersten Mal die Gleichspannung durch vorzeitiges Löschen der Anoden-



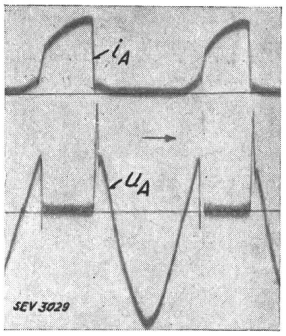




Fig. 15. 1 mm ~ 23,7 V ~ 9,6 A.

Fig. 16. 1 mm ~ 21,1 V ~ 8,6 A.

Oszillogramme der Unterbrechung eines Einphasenanodenstromes mit Kommutierungsgitter.
$i_A$ Anodenstrom.
$u_A$ Anodenspannung.

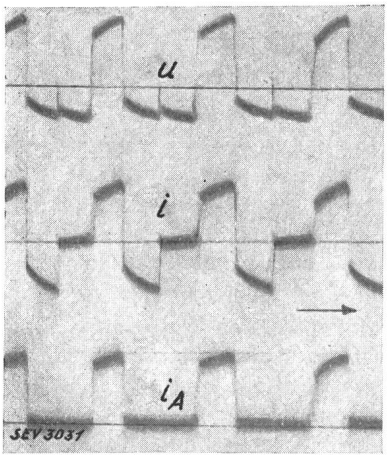



Fig. 17.

Selbständige Wechselrichtung mittels Löschsteuerung und Kommutierungsgitter.

$i_A$ Anodenstrom; 1 mm ~ 7 A.
$i$ Phasenstrom; 1 mm ~ 2,3 A.
$u$ Verkettete Spannung.

ströme stetig reguliert werden, wobei der $\cos\varphi$ auf der Primärseite des Transformators nicht induktive, sondern kapazitive Werte aufwies.

Die in Fig. 13 dargestellte Schaltung ist für grössere Ströme und zum Einbau in einen Grossgleichrichter der gegenwärtigen technischen Bau-

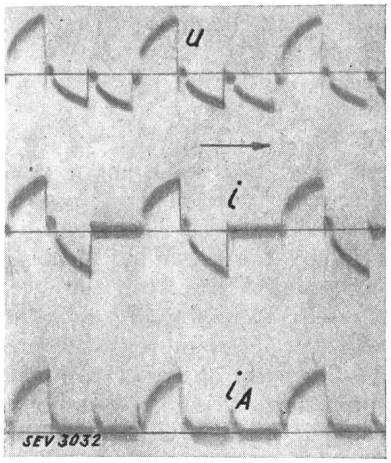



Fig. 18.

Selbständige Wechselrichtung mittels Löschsteuerung und Kommutierungs-, gitter.

$i_A$ Anodenstrom; 1 mm ~ 7 A.
$i$ Phasenstrom; 1 mm ~ 2,3 A.
$u$ Verkettete Spannung.

art geeignet. In dieser Schaltung wird das Gitter *A* dauernd über einen Widerstand mit der Anode verbunden, während das der Anode benachbarte Gitter *B* als eigentliches Steuergitter dient. Das dem Steuergitter *B* vorgelagerte Gitter *A* übernimmt in dieser Schaltung zwei Aufgaben: Erstens erzeugt es die für den Zündvorgang nötige Ionisation, weil es wegen der Verbindung mit der Anode einen Elektronenstrom aufnimmt, der dann auch Ionisation im Raume zwischen den Gittern verursacht. Zweitens übernimmt es die Ableitung der Vorwärtsextraspannung beim Löschvorgang. Diesem zweiten Gitter könnte mit Recht auch der Name «Kommutierungsgitter» gegeben werden. An einem sechsanodigen Grossgleichrichter, bei dem drei Anoden mit Erreger, bzw. Ableiter- und Löschgitter nach Fig. 13 ausgerüstet waren, wurden neben vielen andern hier nicht wiedergegebenen Oszillogrammen auch die Osz. Fig. 14 bis 18 auf-

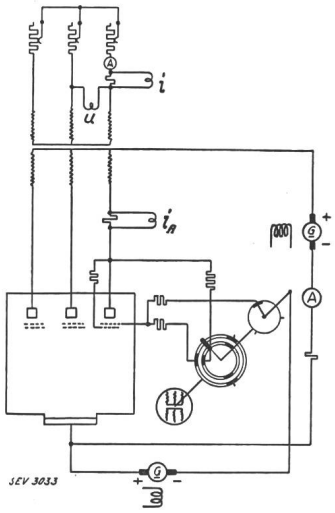



Fig. 19.

Schaltschema für selbständigen, dreiphasigen Wechselrichterbetrieb.

genommen. Osz. Fig. 14 zeigt das Löschen eines Gleichstromes von ca. 120 A bei einer Spannung von 400 V, und zwar den Anodenstrom ohne Ab-

leitergitter ($i_{A1}$) und mit Ableitergitter ($i_{A2}$), sowie die Spannung zwischen Gitter und Kathode ($u_G$). In Osz. Fig. 15 und 16 ist die vorzeitige Löschung eines 50periodigen Wechselstromes gezeigt (Anodenstrom $i_A$, Spannung Anode — Kathode $u_G$). Bei diesen Oszillogrammen ist der Erreger- bzw. Löschgitterstrom als Vor- bzw. Nachläufer des Anodenstromes in Kurve $i_A$ gut zu erkennen.

Osz. Fig. 17 und 18 stellen die Strom- und Spannungsverhältnisse bei selbständigem dreiphasigem Wechselrichterbetrieb dar, bei Schaltung nach Fig. 19. Dabei war auf der Wechselstromseite des Transformators keine taktgebende Wechselspannung vorhanden. Der Transformator war symmetrisch auf Ohmsche Widerstände belastet. Die Frequenz des wechselgerichteten Stromes wurde allein durch die Drehzahl des Kontaktgebers der Löschgittersteuerung bedingt und entspricht ca. 50 Per./s. Die beiden Oszillogramme unterscheiden sich dadurch, dass bei Fig. 16 die Brenndauer des Anodenstromes ($i_A$) 1/3 Periode beträgt, so dass sich die Anoden lückenlos ablösen und der Kathodenstrom annähernd konstant bleibt, wogegen bei Fig. 17 die Brenndauer etwas kleiner ist als 1/3 Periode und zwischen den Stromstössen der einzelnen Anoden kleine Stromunterbrüche entstehen.

Was die Erklärungen über die physikalische Wirkungsweise der Löschsteuerung anbetrifft, soll betont werden, dass diese nur qualitativen Charakter hat und dass noch viele Erscheinungen abzuklären sind, bevor eine befriedigende Theorie dieser Steuerung gegeben werden kann. Da die Versuche durch die A.-G. Brown, Boveri & Cie. weitergeführt werden, wird sich später Gelegenheit geben, näher auf die physikalischen Vorgänge einzutreten, die sich beim Unterbrechen des Anodenstromes abspielen.

# Neue Hauptstromauslöser für Oelschalter.

Von *E. Heusser*, Aarau.

621.316.925.4

*Es werden die Beanspruchungen der Hauptstromauslöser und deren Nachprüfung auf dem Versuchsstand, soweit eine solche möglich ist, erörtert. Dann werden vier Auslösertypen der Fabrik elektrischer Apparate Sprecher & Schuh A.-G., Aarau, in bezug auf Charakteristik, Wirkungsweise und Verwendungsmöglichkeit beschrieben.*

*L'auteur expose les sollicitations que subissent en service les déclancheurs à action directe et leur contrôle sur la plateforme d'essai pour autant que cela est possible. Il décrit ensuite 4 types de déclancheurs de la Fabrique d'Appareils Electriques Sprecher & Schuh S. A., Aarau, leurs caractéristiques, leur fonctionnement et leurs applications.*

## I. Allgemeines.

Zur automatischen Auslösung von Oelschaltern in Hochspannungsverteilnetzen, Transformatorenstationen und Abonnentenstationen haben direkt wirkende Hauptstromauslöser auf dem europäischen Kontinent allgemeine Anwendung gefunden.

Da es sich dabei immer um Maximalstromzeitauslöser handelt, ist ihr Verwendungsbereich durch den mit Höchststromauslösung erreichbaren Schutz der elektrischen Anlage gegeben, d. h. er beschränkt sich auf die Fälle, wo der reine Maximalstromschutz, momentan oder mit zeitlicher Verzögerung wirkend, genügt. Die Abschaltzeit kann stromabhängig, stromunabhängig (konstant) oder begrenzt stromabhängig gemacht werden, indem im letzten Fall die Auslösezeit nach Ueberschreitung eines gegebenen Ueberstromwertes konstant wird. Die stromabhängige wie die stromunabhängige Auslösung kann auch mit sofortiger Auslösung bei Kurzschluss, d. h. bei Ueberschreitung eines gegebenen Ueberlaststromwertes, versehen werden.

Nach subjektiven Gesichtspunkten sind Hauptstromauslöser namentlich zu verwenden

1. für Stromverbraucher als Einzelrelais zum Ueberlast- und Kurzschlußschutz und
2. für Verteilnetze als Selektivrelais zum Kurzschlußschutz.

Bei Verwendung in Verteilnetzen ist als figürliche Netzgestaltung das offene oder «Baum»-Netz vorausgesetzt; doch ist die Verwendung in geschlossenen oder Ringnetzen nicht ausgeschlossen, wenn das Ringnetz bei Isolationsdefekten in offene Teile gespalten werden kann durch Momentauslösung einzelner Schalter, die nach Abschaltung des gestörten Netzteiles wieder geschlossen werden.

Wo besonders hohe Ansprüche an die Präzision der Auslösung nicht gestellt werden müssen, ist das Anwendungsgebiet solcher Hauptstromauslöser praktisch recht ausgedehnt.

Gegenüber der Maximalstromzeitauslösung mit Stromwandler und Sekundärrelais zeichnen sich die Hauptstromauslöser durch folgende Vorteile aus: Einfachheit der Installation, Wegfall von Stromwandlern und Schalttafelapparaten, Wegfall von Hilfsstromquellen zur Schalterauslösung und geringe Anlagekosten.

Die zahlreichen europäischen Fabrikate dieser Art weisen je nach Herstellerfirma grosse Unterschiede nach Bauart und Betriebseignung auf. Mancherorts mangeln auch passende Einrichtungen zu ernsthafter Erprobung der gegebenen Garantien, mit der Folge, dass solche unvollkommenen Apparate selbst Betriebsstörungen veranlassen. Daneben kann aber auch auf Fabrikate hingewiesen werden, die mit grösster Sorgfalt in technischer Vollkom-