

Bild 8a ist die Strom- oder Spannungskurve des 50 periodigen Netz-Wechselstromes, 8b und 8c sind Strom- und Spannungskurve des gleichgerichteten Stromes beim Arbeiten des Gleichrichters auf einen rein Ohmschen Widerstand. An Drehpul-Instrumenten wurden in diesem Fall ein Strom von 3 A (genau 2,98 A) und eine Spannung von 38 V abgelesen. Die Eichlinien entsprechen hier wie auch in den weiteren Oszillogrammen einem idealen Gleichstrom von 3 A und einer Gleichspannung von 12,5 V. Die weiteren Kurven geben den Verlauf von Strom und Spannung beim Arbeiten desselben Gleichrichters auf eine Batterie mit einer Gegenspannung von 27 V (Bild 8d und 8e) sowie auf eine Batterie mit einer Gegenspannung von 40 V (Bild 8f und 8g). In beiden Fällen wurde mit Hilfe eines Drehpul-Instrumentes ein Gleichstrom von 3 A (genau 2,9 bzw. 2,8 A) eingestellt und eine Gleichspannung von 42 bzw. 46,2 V ermittelt. Um den gleichen Gleichstrom von 3 A zu erhalten, ist, wie aus den Oszillogrammen ersichtlich ist, bei einer Nutzlast aus rein Ohmschem Widerstand eine Wellenstrom-Schwingungsweite von 4,65 A erforderlich, bei einer Gegen-EMK von 27 V dagegen eine Schwingungsweite von 5,9 A und bei einer Gegen-EMK von 40 V sogar 6,6 A; der Effektivwert des Wellenstromes beträgt in diesen Fällen 3,35 A (Ohmscher Widerstand), 3,8 A (27 V) und 4,2 A (40 V Gegen-EMK). Am stärksten beansprucht wird also der Kathodenwerkstoff beim Arbeiten des Gleichrichters mit dem höchstzulässigen Gleichstrom auf eine gasende 12-Zellen-Batterie. Wie durch eine große Anzahl von Dauerversuchen ermittelt wurde, haben auch in diesem Grenzfall der Belastung die Gleichrichter mit thorierte Molybdänkathode eine Lebensdauer von mehreren tausend Stunden.

## Glühkathoden-Gleichrichter von Siemens & Halske mit thorierter Molybdänkathode

Von  
Prof. Dr. A. Gehrts

Mitteilung aus dem Zentrallaboratorium des  
Wernerwerks der Siemens & Halske A.-G.  
Berlin - Siemensstadt



Sonderdruck  
aus der „Siemens-Zeitschrift“, Heft 8, 1927

Zum Laden der Sammler für die Stromversorgung von Fernsprechanlagen, wie auch zum unmittelbaren Betrieb von Signal-, Eisenbahnsicherungs- und sonstigen Fernmelde- und Kontrollanlagen (beispielsweise Rauchgasprüfer) verwendet man dort, wo Wechselstrom aus dem Netz vorhanden ist, vielfach Gleichrichter. Für die genannten Zwecke werden Stromstärken von 1,5, 3 und 6 A, seltener 10 und 20 A und Gleichspannungen von 35–40 V (12-Zellen-Batterie) und auch 90–120 V (30-Zellen-Batterie) gefordert. Unter den zahlreichen auf dem Markt befindlichen Kleingleichrichtern, die die Umformung von Wechselstrom der erwähnten kleinen Leistung in Gleichstrom ermöglichen (elektrolytische Gleichrichter, mechanische Gleichrichter, Quecksilberdampf-Gleichrichter, Glimmgleichrichter, Glühkathoden-Gleichrichter), erfreuen sich die Glühkathoden-Gleichrichter wegen ihrer Sauberkeit, ihrer Geräuschlosigkeit, ihres geringen Raumbedarfes, ihrer leichten Handhabung und ihres guten Wirkungsgrades größter Beliebtheit.

Zur Zeit sind zwei verschiedene Typen von Glühkathoden-Gleichrichtern im Handel: der Wolframglühkathoden-Gleichrichter und der Oxydkathoden-Gleichrichter. Der Wolframglühkathoden-Gleichrichter besteht aus einer Wolframdrahtspirale als Kathode in einer Edelgasatmosphäre — meistens Argon — und durchweg nur einer Anode. Zum Umformen der beiden Periodenhälften sind also zwei Kolben erforderlich. Die Glühkathode (Wolframdrahtspirale) hat eine Temperatur von 2500–2700°.

Die Kathode des Oxydkathoden-Gleichrichters besteht aus einer Erdalkalioxydschicht (vorwiegend Kalziumoxyd), die auf einen stromleitenden Kern aus Edelmetall (Platin oder Iridium) aufgetragen ist. Als Füllgas dient Argon oder Neon. Das hohe Elektronenemissionsvermögen der Erdalkalioxyde ermöglicht es, bei den Oxydkathoden-Gleichrichtern mit Kathodentemperaturen von 1500° und darunter zu arbeiten. Da die Beheizung der Kathode weniger Energie (Verlustenergie) erfordert,

ist der Wirkungsgrad des Oxydkathoden-Gleichrichters günstiger als der des Wolframglühkathoden-Gleichrichters. Dies gilt um so mehr, als die Oxydkathoden-Gleichrichter durchweg mit zwei Anoden versehen, also als Zweiweg-Gleichrichter ausgebildet sind.

Der neue Glühkathoden-Gleichrichter von Siemens & Halske, der in Zusammenarbeit mit dem Laboratorium der Deutschen Glühfadenfabrik Rich. Kurtz und Dr.-Ing. P. Schwarzkopf G.m.b.H. entstanden ist, hat eine Glühkathode aus thoriertem Molybdän. Im Gegensatz zum thorierten Wolfram, dessen Eigenschaften infolge seiner Verwendung in den Rundfunkverstärkerröhren allgemein bekannt geworden sind, ist das thorierte Molybdän, eine Erfindung der Deutschen Glühfadenfabrik, unempfindlich gegenüber Temperaturerhöhungen um einige hundert Grad und gegenüber Bombardement durch positive Ionen, soweit es sich nicht um Gase handelt, die mit dem Molybdän chemisch reagieren. Ferner braucht ein thoriertes Molybdändraht nicht erst durch ein besonderes Wärmebehandlungsverfahren „aktiviert“, d. h. in den Zustand gebracht zu werden, in dem er das hohe Elektronenemissionsvermögen aufweist. Der thorierte Molybdändraht ist ohne weiteres als hochaktive Glühkathode zu verwenden. Dies ist für Kathoden von Gleichrichtern, die mit hohen Heizströmen betrieben werden, insofern von ganz besonderer Bedeutung, als eine Überhitzung auf 3000° (zwecks Zersetzung des Thoroxydes) mit nachfolgender Erhitzung auf rund 2200° (zwecks Anreicherung von Thor auf der Oberfläche durch Diffusion aus dem Inneren), wie es beim thorierten Wolfram erforderlich ist, beträchtlich größere Querschnitte in den Kathodenzuführungen infolge der hierfür nötigen höheren Heizströme erfordern würde. Hierdurch wird aber das vakuumdichte Einschmelzen der Kathodenzuführungen wesentlich erschwert und verteuert. Aus allen diesen Gründen eignet sich thoriertes Molybdän ganz besonders gut für Kathoden von Gleichrichtern.

Zum Betrieb einer Gleichrichter-Glühkathode aus thoriertem Molybdän ist eine Temperatur von rund 1500° erforderlich. Die Temperatur der Kathode schwankt mit der Belastung etwa innerhalb der Grenzen von 1300° und 1700°. Da die Betriebs-

temperatur der thorierten Molybdänkathode nur unwesentlich von der Betriebstemperatur der gebräuchlichen Gleichrichter-oxydkathoden abweicht, so ist die Möglichkeit gegeben, die Gleichrichter mit thorierte Molybdänkathode so zu bauen, daß sie sich ohne weiteres als Ersatz für die gebräuchlichen Oxydkathoden-Gleichrichter in der gleichen Apparatur in derselben Weise benutzen lassen, wie man etwa in ein und derselben Glühlampenfassung Kohle- und Metallfadenlampen verwenden kann. Vom Standpunkt der Normung und Typisierung ist dies sicher mit Freuden zu begrüßen. Durch Einhalten der gleichen äußersten Abmessungen der Glaskolben, durch Anpassen der Kathodenheizung an die der gebräuchlichen Oxydkathoden-Gleichrichter und durch Anlehnung an die bei den Oxydkathoden-Gleichrichtern hinsichtlich der höchstzulässigen Stromstärken eingeführte Typisierung ist hierauf bei der Entwicklung der neuen Gleichrichterkolben weitestgehend Rücksicht genommen.

Die Glühkathoden-Gleichrichter mit thorierte Molybdänkathode sind sämtlich als Zweiweg-Gleichrichter ausgebildet, d. h. mit zwei Anoden versehen. Als Füllgas wird Argon verwendet. Es ist wesentlich, daß das Argon außerordentlich rein ist; der Spannungsabfall im Gleichrichterkolben beläuft sich dann auf 8—10 V.

Damit das Argon oder die Edelgasfüllung den gewünschten äußersten Reinheitsgrad auch bei Vollast dauernd behält, ist eine gute Entgasung sämtlicher Metallteile im Inneren der Gleichrichterkolben (Kathode und Anode mit Zuführungen) unerlässlich. Ob diese Entgasung durch Elektronenbombardement oder durch Hochfrequenzströme geschieht, ist für das Endergebnis ohne Bedeutung. Durch Verwendung von Magnesium als Getter — wie es in der Serienfabrikation von Rundfunkverstärkerröhren mit Oxydkathoden oder thorierten Wolframkathoden allgemein üblich ist — läßt sich der Entgasungsvorgang wesentlich abkürzen. Der auf der Glocke hierbei entstehende Spiegelbelag von metallischem Magnesium stört die Bildung des für die Gleichrichtung erforderlichen Niedervolt-Lichtbogens zwischen Kathode und Anode in keiner Weise, wie durch vergleichende Messungen an verspiegelten und unverspiegelten Kolben festgestellt wurde. Die

Anoden sind in mehreren Typen aus Tantalblech hergestellt. Tantal hat die angenehme Eigenschaft, daß es bei Rotglut Gase absorbiert, demnach wie ein Getter wirkt. Es ist nur nötig, die Anoden so zu bemessen, daß sie bei Vollast auf Rotglut kommen. Werden während des Betriebes der Gleichrichterkolben durch irgendeinen Zufall Restgase frei, so wächst der Spannungsabfall im Kolben und damit auch die Temperatur der Anoden. In dem Maße, wie die Restgase von dem glühenden Tantal absorbiert werden, sinken dann die Temperatur der Anoden und die Verlustspannung des Kolbens. Doch ist es auch — namentlich bei kleineren Stromstärken — nicht schwierig, dauernd einwandfrei arbeitende Gleichrichterkolben mit Anoden aus Eisen, Nickel oder Kohle herzustellen.

In Glühkathoden-Gleichrichtern mit Kathoden aus thoriertem Molybdän sind für die Wahl des Argondruckes wesentlich maßgebend nur die günstigsten Bedingungen für das Zustandekommen des Niedervolt-Lichtbogens. Bei Gleichrichterkolben für niedere Gleichspannung (bis etwa 40 V aufwärts) sind Druck- und Anodenabstand unter dem Gesichtspunkt einer möglichst geringen Verlustspannung gewählt, bei Gleichrichterkolben für höhere Gleichspannung (60—120 V und darüber) ist jedoch bei der Wahl von Argondruck und Anodenabstand die Durchschlagsfestigkeit von Anode zu Anode mit zu berücksichtigen. Keinesfalls ist man mit Rücksicht auf die Lebensdauer der Kolben wie bei den Wolframglühkathoden-Gleichrichtern gezwungen, den Argondruck höher, als den günstigsten Betriebsbedingungen entspricht, zu wählen, um die Verdampfung des Kathodenmaterials hintanzuhalten. Die Verdampfungs geschwindigkeit des thorierten Molybdäns ist bei der Temperatur der Gleichrichter Kathoden noch außerordentlich klein. Durch ein von der Deutschen Glühfadenfabrik Rich. Kurtz und Dr.-Ing. Paul Schwarzkopf G. m. b. H., der Herstellerin der thorierten Molybdändrähte, ausgearbeitetes Fabrikationsverfahren für die Gewinnung der Drähte ist weiter auch der Vorgang der Rekristallisation äußerst verlangsamt worden, so daß ein Bruchigwerden oder ein Zerstören der Kathoden durch Rekristallisation erst sehr spät eintreten kann.

Bisher sind die in der nachstehenden Tafel aufgeführten Gleichrichtertypen entwickelt worden:

Typ	Heizspannung V	Heizstrom A	Anodenspannung max. V	Gleichstrom max. A	Gleichspannung V	Zum Laden einer Batterie von	Höhe max. einschl. Sockel u. Stifte mm	Kolben- durch- messer max. mm
Gl 1	1,75	4,5	2×28	1—1,5	—	1—6 Zellen	125	45
Gl 1,5	1,45	6,5—7	2×55	1,5	35—40	12 „	125	50
Gl 3a	2,4	12	2×55	3	35—40	12 „	215	100
Gl 3c	2,4	12	2×55	3	35—40	12 „	185	80
Gl 6a	2,1	17	2×55	6	35—40	12 „	235	120
Gl 6c	2,1	13	2×55	6	35—40	12 „	225	100
Gl 10a	2,2	17	2×55	10	35—40	12 „	300	140
Gl 0,1b	1,75	4,5	2×125	0,1—0,15	100	—	125	50

Die in der Tafel angegebenen Werte sind Mittelwerte; Heizstrom und Heizspannung sind am unbelasteten Gleichrichterkolben gemessen. Die Typen Gl 0,1b und Gl 1, letztere gemeinsam mit einem dazugehörigen Eisenwiderstand, sind für Rundfunkzwecke entwickelt, zum Laden der Anoden- und Heizbatterien von Rundfunkempfängern. Die Bezeichnungsweise der Typen ist so gewählt, daß die Zahl den höchstzulässigen Gleichstrom und der angehängte Buchstabe die höchste Gleichspannung erkennen lassen. Die Typen mit den Buchstaben a und c sind für Gleichspannungen bis zu 40 V oder Batterie-ladung bis zu 12 Zellen bestimmt; bei den mit c bezeichneten Typen sind Anoden- und Kathoden-zuführungen in einem gemeinsamen Quetschfuß vereint, während bei den Typen a die Anoden- und Kathoden-zuführungen an zwei einander entgegengesetzten Ansätzen der Glasglocke eingeschmolzen sind. Die Typen mit dem Buchstaben b eignen sich zum Laden von Batterien bis zu 40 Zellen und können Gleichspannungen bis zu 120 V liefern.



Bild 1. Gleichrichterkolben Gl 1,5.

Bild 1 zeigt den Gleichrichterkolben Gl 1,5, der mit einem Europasockel, wie ihn die Rundfunkverstärkerröhren haben, versehen ist. Das gleiche gilt auch von den Typen Gl 1 und Gl 0,1b. Bei den übrigen Gleichrichtertypen endet die Kathode in zwei rechtwinklig umgebogenen (gekröpften) Laschen, die mittels zweier Flügelmuttern an der Gleichrichterapparatur be-

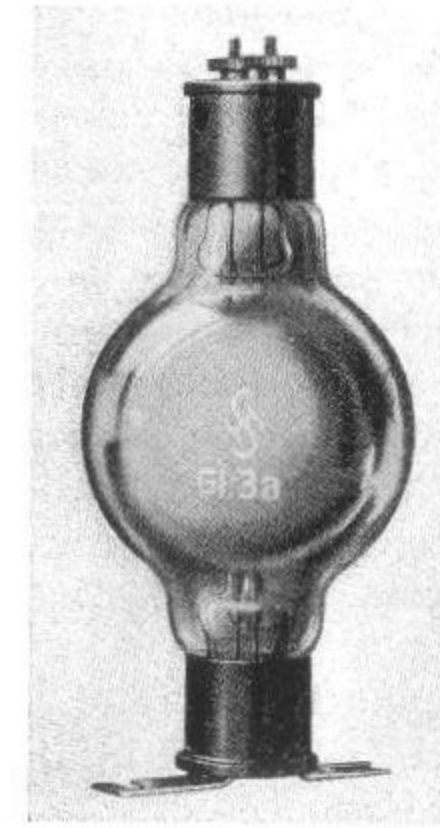


Bild 2. Gleichrichterkolben Gl 3a.



Bild 3. Gleichrichterkolben Gl 6a.

festigt werden. Die Laschen und die in diese hineingeschnittenen Schlitze sind so bemessen, daß die Kolben sich auch auf den am meisten verbreiteten Gleichrichterapparaturen für Oxyd-kathoden-Gleichrichter verwenden lassen. Um die Anoden mit den Enden der Sekundärwicklung des Transformators zu verbinden, sind die Anodenzuführungen bei den Typen Gl 3a (Bild 2), Gl 6a (Bild 3) und Gl 10a (Bild 4) an zwei Kordel-schrauben des Anodensockels angelötet, unter die die zu den

Transformatorenden führenden, mit Glasperlen bezogenen Litzen untergeklemt werden. Bei den Typen Gl 3c (Bild 5) und Gl 6c sind diese Kordelschrauben seitwärts am Kathodensockel angebracht.

Einen Einblick in den Aufbau der Gleichrichter gewährt Bild 6 (Type Gl 3a). Wie ersichtlich, besteht die Kathode

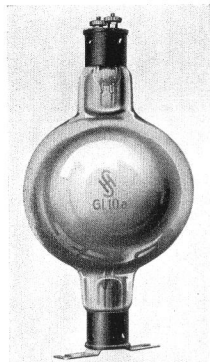


Bild 4. Gleichrichterkolben Gl 10a.

aus einer dickdrähtigen, thorierten Molybdänspirale, deren Enden an die Stromzuführungsdrähte angeschweißt sind. Die geraden Schenkel der Kathodenspirale sind mit dünnem Draht umwickelt. Auf diese Weise wird ein Abwandern des Lichtbogens von der Kathodenspirale auf die Schenkel und die Zuführungsdrähte vermieden. An den Kathodenzuführungen sind Abstrahlbleche angebracht, die verhindern, daß der Einschmelzstelle durch Wärmeleitung zuviel Wärme zugeführt wird. Zu beiden Seiten der Kathode, senkrecht zur Achse der Spirale, befinden sich in etwa 10mm Abstand von der Kathode die Anoden, zwei Tantalteller mit umgebördeltem Rand.

Wird an den Gleichrichterkolben die erforderliche Spannung gelegt, so zündet der Niedervolt-Lichtbogen fast augenblicklich. Auch bei großem äußeren Widerstande, z. B. Belastung mit nur einem Spannungsmesser, und ebenso bei der für jeden Kolben angegebenen, höchstzulässigen Akkumulatoren-Gegen-EMK tritt keine Zündverzögerung ein. Für viele An-

wendungsgebiete der Gleichrichter ist diese Eigenschaft des augenblicklichen Anspringens unerlässlich. Eine Zündung mit Hilfe einer besonderen Zündanode ist nicht erforderlich; die Gleichrichter mit thorierten Molybdänkathode arbeiten ohne Hilfszündung. Beim Auswechseln gegen einen Oxydkathoden-Gleichrichter bleibt der Kontakt für die Hilfszündung unbesetzt; es empfiehlt sich, den in den Oxydkathoden-Gleichrichtern für die Hilfszündung vorgesehenen Silitstab beim Ersatz des Kolbens

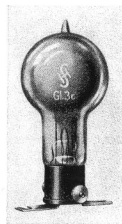


Bild 5. Gleichrichterkolben Gl 3c.

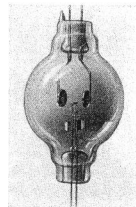


Bild 6. Gleichrichterkolben Gl 3a, unverspiegelt.

durch einen Kolben mit thorierten Molybdänkathode herauszunehmen, um das Auswechseln der Kolben zu erleichtern. In den von Siemens & Halske gebauten Gleichrichterapparaturen (Bild 7) sind keine Anschlüsse für eine Zündelektrode vorgesehen worden.

Die Lebensdauer einer Glühkathode hängt, vorausgesetzt, daß sie keinen chemischen Angriffen durch Gase und Dämpfe ausgesetzt ist, in erster Linie von der Verdampfungsgeschwindigkeit und der Rekristallisationsgeschwindigkeit des Kathodenwerkstoffes ab. Beide Größen — die Verdampfungsgeschwindig-

keit wie auch die Rekrystallisationsgeschwindigkeit — wachsen außerordentlich schnell mit zunehmender Temperatur der Glühkathode. Es ist daher mit Rücksicht auf eine hohe Lebensdauer die Temperatur der Glühkathoden so tief zu wählen, wie es nur irgend mit den Betriebsbedingungen verträglich ist. Gleich-

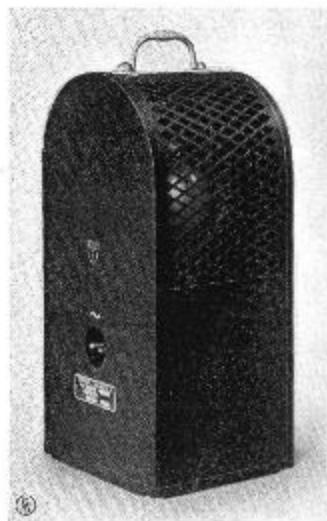


Bild 7. Gleichrichterapparat zum Laden einer 12-Zellen-Batterie mit 3A-Gleichstrom.

richter-Glühkathoden muß man nun mit Rücksicht auf die üblichen Netzschwankungen so hoch erhitzen, daß sie auch bei Unterspannungen von 5% noch einwandfrei arbeiten, andererseits dürfen sie aber bei einer entsprechenden Überspannung noch keine nennenswerte Kürzung ihrer Lebensdauer erfahren. Noch beträchtlicher ist aber die Temperaturerhöhung einer solchen Glühkathode, die durch Überlagerung des gleichgerichteten Stromes über den Heizstrom der Kathode eintritt. Da der Gleichrichter bei geringster Last anspringen, andererseits aber bei Vollast mehrere tausend Brennstunden aufweisen soll, so muß der Kathodenwerkstoff so beschaffen sein, daß er bei geringster Belastung bereits genug Elektronen zum Zünden des Niedervolt-Lichtbogens abgibt, und bei Vollast eine Verdampfungs- und Rekrystallisationsgeschwindigkeit hat, die klein genug ist, um die gewünschte lange Lebensdauer zu gewährleisten. Maßgebend für die Temperaturerhöhung der Kathode, die durch Überlagerung des Entladungsstromes über den Heizstrom hervorgerufen wird, ist aber nicht der reine Gleichstrom (der arithmetische Mittelwert, wie er mit einem Drehspul-

Instrument gemessen wird), sondern der effektive Wellenstrom (wie er mit einem quadratischen Instrument, z. B. Heizdraht-Strommesser, gemessen wird). Das Verhältnis von effektivem Wellenstrom zu reinem Gleichstrom — es ist üblich, bei

Instrument gemessen wird), sondern der effektive Wellenstrom (wie er mit einem quadratischen Instrument, z. B. Heizdraht-Strommesser, gemessen wird). Das Verhältnis von effektivem Wellenstrom zu reinem Gleichstrom — es ist üblich, bei

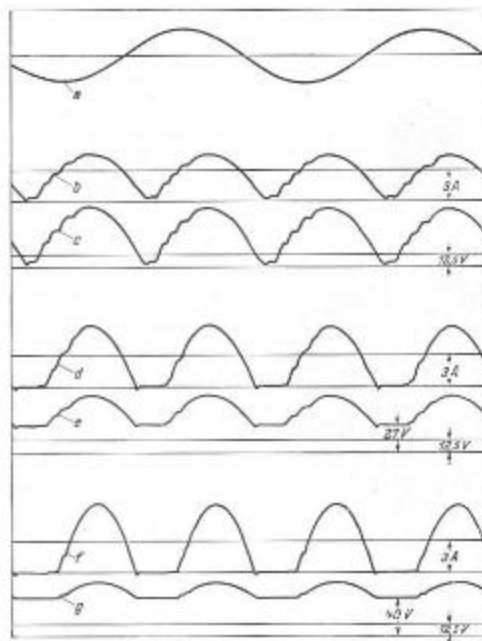


Bild 8. Strom- und Spannungskurven eines Gleichrichters Gl 3a bei verschiedener äußerer Nutzlast.

Gleichrichtern auf reinen Gleichstrom mittels Drehspul-Instrumenten einzustellen — hängt beträchtlich von der Art der Belastung ab. Man erkennt dies am besten aus den Oszillogrammen in Bild 8, die an einem Gleichrichter Gl 3a aufgenommen sind.