Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 23 (1932)

Heft: 14

Artikel: Untersuchungen über den Einfluss der Elektronenemission an den Anoden auf die Entstehung von Rückzündungen im Quecksilberdampf-Gleichrichter

Autor: Kobel, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1059329

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: 02.10.2025

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

Untersuchungen über den Einfluss der Elektronenemission an den Anoden auf die Entstehung von Rückzündungen im Quecksilberdampf-Gleichrichter.

Von *E. Kobel*, Ingenieur, Baden.

621.314.65

Es wird über Versuche berichtet, welche das Physikalische Laboratorium der A.-G. Brown, Boveri & Cie, Baden, im März 1930 anstellte, um den Einfluss der Elektronenemission auf die Entstehung von Rückzündungen im Quecksilberdampfgleichrichter zu untersuchen. Aus den Versuchen wird abgeleitet, dass Elektronenemissionen aus Eisen- oder Graphitanoden von Quecksilberdampfgleichrichtern nicht in dem Masse als Rückzündungsursache in Frage kommen, wie heute vielfach angenommen wird.

L'auteur décrit des essais effectués en mars 1930 dans les laboratoires de physique de la S. A. Brown, Boveri et Cie. à Baden, pour étudier l'influence de l'émission électrique sur le réamorçage des redresseurs à vapeur de mercure. On peut déduire de ces essais que dans les redresseurs l'émission électronique des anodes de fer ou de graphite ne joue pas, parmi les causes du réamorçage, le rôle important qu'on lui attribue souvent aujourd'hui.

Ueber die Entstehungsursache von Rückzündungen an den Anoden von Quecksilberdampfgleichrichtern gehen die Meinungen der Fachleute stark auseinander. In der Literatur findet man oft die Ansicht vertreten, dass die Restladungsträger, welche im Raume vor den Anoden eine bestimmte Zeit nach dem Löschen des Vorwärtsstromes dort noch vorhanden sind, die Ventilwirkung zum Versagen bringen [1]). Diese Schlussfolgerung stützt sich auf Versuche, hauptsächlich auf Rückstromoszillogramme, die wohl den zeitlichen Verlauf dieses Rückstromes und die Abhängigkeit desselben vom Vorwärtsstrom erkennen lassen, die aber den experimentellen Beweis eines Zusammenhanges zwischen den Restladungen und dem Versagen der Ventilwirkung nicht erbringen. So ist es denn erklärlich, dass aus andern Versuchen, bei welchen der Einfluss von Fremdladungsträgern auf die Höhe der Bogenzündspannung direkt untersucht werden konnte, ein solcher Einfluss auf das Versagen der Ventilwirkung nicht nachgewiesen werden kann [2]). In neueren Untersuchungen wird eine intensive Ionisation des Raumes vor einer sperrenden Anode sogar als für die Ventilwirkung vorteilhaft angesprochen [3]).

Als eine andere, sehr gefährliche Rückzündungsursache wird ferner die Emission von Elektronen aus der Oberfläche von sperrenden Anoden angesehen. Man ist der Auffassung, dass eine Anode, welche während der Sperrzeit Elektronen emittiert, sofort ihre Ventilwirkung verliert.

Im folgenden wird kurz über Versuche berichtet, die im März 1930 im Physikalischen Laboratorium der A.-G. Brown, Boveri & Cie. in Baden zum Zwecke des Studiums des Einflusses der Elektronenemission auf die Entstehung von Rückzündungen im Quecksilberdampfgleichrichter gemacht wurden.

Beschreibung der Apparatur.

Eine kugelförmige, grosse Elektronenröhre mit einer Wolfram-Wendelkathode und einem Molybdänzylinder als Anode enthält einige cm³ Quecksilber. Die Röhre ist dauernd an eine Hochvakuumpumpe angeschlossen und zwecks Einstellung verschiedener Quecksilberdampfdrücke in einen Thermostat eingebaut. Die Messung des Emissionsstromes erfolgte bei tief gekühlter Röhre mit der erforderlich hohen Gleichstrom - Sättigungsspannung. Die maximale Kathodentemperatur in der Mitte der Wolframwendel wurde mit einem optischen Pyrometer, die mittlere Temperatur mittels Widerstandsmessung bestimmt. Diese Temperaturen dienten nicht zur Berechnung der Emission, sondern nur zur angenäherten Bestimmung der Quecksilberdampfdichte an der Kathodenoberfläche. Als Anodenstromquelle diente zur Messung der Emission eine Gleichstrom - Hochspannungsgruppe, bestehend aus zwei in Serie geschalteten Gleichstromgeneratoren. Zur Untersuchung der Bogenzündspannungen mit und ohne Elektronenemission aus der Kathode wurde als Stromquelle ein aus dem 50periodigen Netz gespiesener Transformator 319/20 000 V, 31,5 kVA, verwendet. Die Schaltungen sind in Fig. 1 und 2 dargestellt. Anodenstrom und Spannung wurde entweder mit Präzisionsinstrumenten oder mit dem Schleifenoszillographen, Heizstrom und Spannung mit Präzisionsinstrumenten gemessen.

Die Messungen wurden in der folgenden Reihenfolge durchgeführt:

1. Messung der mittleren und der maximalen Temperatur der Wolframspirale als Funktion der Heizspannung und der Heizleistung.

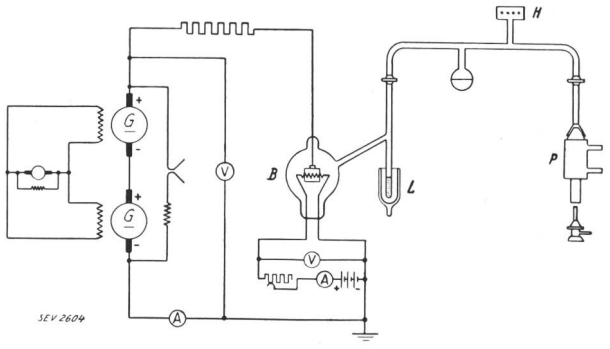

Fig. 1.
Schaltschema zur Messung der Elektronenemission mittels Gleichstrom.
G Gleichstromhochspannungsmaschine.
B Versuchsröhre.
P Hochvakuumpumpe.
H Vakuummeter.
L Gefäss für flüssige Luft.

[1]) Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemenskonzern, Bd. 9, 1930. Bull. SEV 1932, Nr. 4, S. 90.

[2]) BBC-Mitteg. Febr. 1930 und Jan. 1932.

[3]) C. G. Found and J. Langmuir, The Physical Review, Vol. 39, Nr. 2, p. 237.

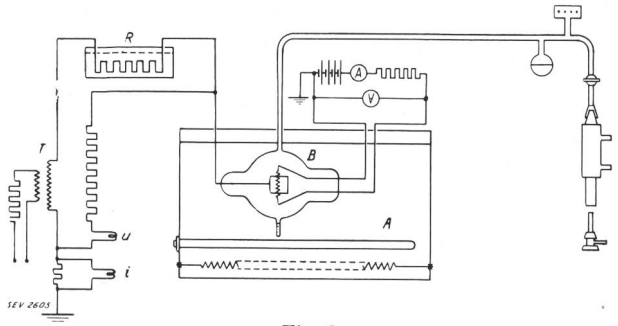

Fig. 2.
Schaltschema zur oszillographischen Aufnahme der Röhrencharakteristik.
T Transformator 319/20000 V, 31,5 kVA.
i und *u* Oszillographenschleifen zur Messung des Stroms i_A und der Spannung u_{AK}.
B Versuchsröhre.
A Thermostat.
R Vorschaltwiderstand in Oel.

2. Messung der Elektronenemission der Kathode bei verschiedenen Kathoden-Heizspannungen.

3. Oszillographische Aufnahme der dynamischen Röhrencharakteristik und Untersuchung der Rückzündungshäufigkeit mit hoher Wechselspannung bei kalter und emittierender Kathode, bei verschiedenen Quecksilberdampfdrücken.

4. Untersuchung der zusätzlichen Erwärmung der Kathode durch die aufprallenden positiven Quecksilberionen bei einer bestimmten Anfangsheizung der Kathode und bei einem Quecksilberdampfdruck von $1{,}3 \cdot 10^{-3}$ mm Hg.

Die Messresultate sind die folgenden:

1. Die mit dem optischen Pyrometer in der Mitte der Wolframspirale gemessene korrigierte Temperatur liegt durchschnittlich um ca. 400 bis 500° C höher als die aus der Widerstandszunahme berechnete mittlere Temperatur. Die Zahlenwerte sind in Fig. 3 in Kurvenform wiedergegeben.

2. Bei der Messung der Elektronenemission zeigte sich die aus der Literatur [4]) bekannte Erscheinung, dass bei thorierten Glühkathoden die aktive, monomolekulare Thoriumschicht sowohl bei hoher Kathodentemperatur als auch unter der Wirkung des Ionenbombardementes rasch zerstäubt. Damit sinkt dann die Emission in kurzer Zeit auf den viel kleinern, dem reinen Wolfram entsprechenden Wert. Durch Diffusion aus dem Innern des Wolframdrahtes stellt sich dann bei ausgeschalteter Anodenspannung die Thoriumschicht auf der Kathodenoberfläche von selbst wieder her, so dass beim nächsten Einschalten der Anodenspannung zunächst die hohe Emission der thorierten Kathode auftritt, welche dann rasch wieder auf den kleinen Wert der reinen Wolframkathode abklingt. In Fig. 4 sind sowohl die Anfangsemissionen der monomolekularen Thoriumschicht als auch die stationäre Emission nach der Zerstäubung derselben in halblogarithmischer Darstellung als Funktion der Heizspannung wiedergegeben. Wird der Rohransatz, der das Quecksilber enthält, in flüssige Luft eingetaucht, so sinkt der Quecksilberdampfdruck in der Röhre auf Null und damit zeigt sich ein der Elektronenröhre analoges Verhalten. Unterhalb der Sättigungsspannung ist der Anodenstrom begrenzt durch die negative Raumladung der emittierten Elektronen in der näheren Umgebung der Kathode. Dass das Langmuir-Schothkysche Raumladegesetz $I_A = K \cdot U_A^{3/2}$ befriedigend erfüllt ist, zeigt Fig. 5. Sobald nur geringe Quecksilberdampfmengen in der Röhre enthalten sind, tritt Stossionisation ein, wodurch die negative Raumladung neutralisiert wird und der Anodenstrom sofort nach Erreichen der Ionisationsspannung auf den vollen Sättigungswert ansteigt.

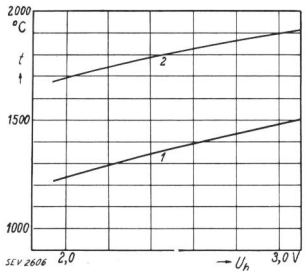

Fig. 3.
Mittlere (1) und maximale (2) Temperatur (° C) der Wolframspirale für verschiedene Heizspannungen (V).

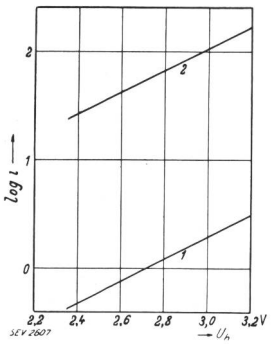

Fig. 4.
Emissionsströme bei verschiedenen Heizspannungen in halblogarithmischer Darstellung (*i* in mA).
1 Emissionsstrom nach, 2 vor Zerstäubung der monomolikularen Thoriumsschicht.

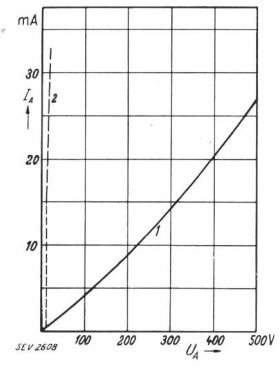

Fig. 5.
Anodenstrom (mA) als Funktion der Anodenspannung (V).
1 ohne,
2 mit Quecksilberdampf.

3. Bei der Aufnahme der Oszillogramme wurde stets so verfahren, dass die Anodenspannung nur so lange an die Röhre gelegt wurde, als die Aufnahme erfordert. Es handelt sich dabei um eine Zeit von höchstens 1 bis 2 s, so dass der Quecksilberdampfdruck im Innern der Röhre während dieser Zeit infolge des Temperaturgefälles in der Glaswand durch die abzuleitende Energie nicht wesentlich verändert wird. Bei den Temperaturen von 20 und 40° C im Oelthermostat entsprechend einem Quecksilberdampfdruck von p_{Hg} 1,3 und $3{,}0 \cdot 10^{-3}$ mm Hg zeigen die Oszillogramme, welche bei kalter Kathode, d. h. ohne Elektronenemission, aufgenommen wurden, nichts besonderes. Der Scheitelwert der Spannung zwischen Kathode und Anode steigt in beiden Richtungen auf ca. 20 kV an, ohne dass ein nennenswerter selbständiger

[4]) Dr. W. Hull, JAIEE, Nov. 1928, p. 798.

Glimmstrom beobachtet wird. Das Innere der Röhre bleibt dunkel. Das erste Oszillogramm mit geheizter Kathode ist in Fig. 6 wiedergegeben. Dabei war die Temperatur im Oelthermostat 40,1° C und $p_{Hg} = 6{,}5 \cdot 10^{-3}$ mm Hg, die Heizspannung an der Kathode 2,75 V entsprechend einer Emission von $I = 60$ mA, die mittlere Kathodentemperatur $t_m = 1430°$ C, die maximale $t_{max} = 1850°$ C. Wie aus diesem Oszillogramm zu entnehmen ist, beträgt der gesamte Anodenstrom nicht nur 60 mA, sondern dieser ist durch zusätzliche Emission aus der Kathode und wohl zum grössten Teil durch Ladungsträgerbildung infolge Stossionisation im Quecksilberdampf auf 208 mA angewachsen. Bogenzündungen finden keine statt, denn die Spannung zwischen Anode und Kathode steigt während der Brennzeit auf 9,3 kV an. Die in der Röhre in Wärme umgesetzte Leistung beträgt dabei 450 W oder 1,2 W/cm² Röhrenoberfläche. Die Ventilwirkung bleibt während der Sperrzeit gegen eine Scheitelspannung von 15 kV aufrecht erhalten. Zu Beginn der Vorwärtsperiode steigt der Strom zuerst proportional der Transformatorspannung an und ist während dieser Zeit widerstandsbegrenzt. Die Spannung an der Röhre selbst bleibt solange klein, bis der Strom seinen durch die Emission und den geringen Dampfdruck begrenzten Wert von 208 mA erreicht hat. In diesem Moment beginnt die Spannung zwischen Anode und Kathode angenähert sinusförmig bis auf 9,3 kV Scheitelwert anzusteigen. Der Verlauf der Spannung zwischen Anode und Kathode geht klar aus den folgenden Gleichungen hervor:

Transformatorspannung:	$u = U_{max} \sin \omega t$
Spannung Anode-Kathode	$= u_{AK}$
Anodenstrom (Momentanwert)	$= i_A$
Anodenstrom (Sättigungswert)	$= I_A$
Vorschaltwiderstand im Anodenkreis	$= R$

Während der Sperrzeit ist:

$$u_{AK} = u = U_{max} \sin \omega t$$

Während der Brennzeit ist:

$$u_{AK} = U_{max} (\sin \omega t) - i_A \cdot R$$

für $u_{AK} = 0$ wird

$$i_A = \frac{U_{max} \sin \omega t}{R}$$

und sobald $i_A = I_A$ wird, ist

$$u_{AK} = U_{max} (\sin \omega t) - I_A \cdot R$$

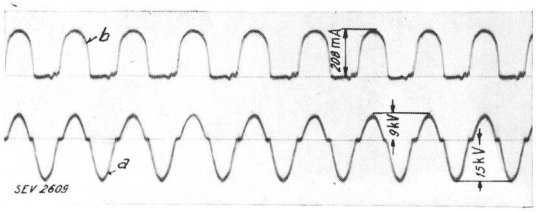

Fig. 6.

$U_H = 2{,}75$ V
$t_m = 1430\ ^0$ C
$t_{Hg} = 40{,}1\ ^0$ C
$I = 60$ mA
$t_{max} = 1850\ ^0$ C
$p_{Hg} = 6{,}5 \cdot 10^{-3}$ mmHg

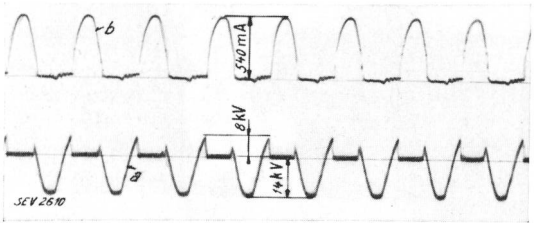

Fig. 7.

$U_H = 0$ V
$t_m = 60\ ^0$ C
$t_{Hg} = 60\ ^0$ C
$I = 0$ mA
$p_{Hg} = 26 \cdot 10^{-3}$ mmHg

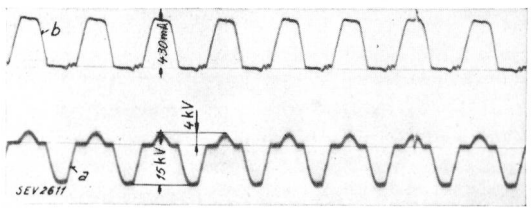

Fig. 8.

$U_H = 3{,}17$ V
$t_m = 1540\ ^0$ C
$t_{Hg} = 59{,}9\ ^0$ C
$I = 160$ mA
$t_{max} = 1930\ ^0$ C
$p_{Hg} = 26 \cdot 10^{-3}$ mmHg

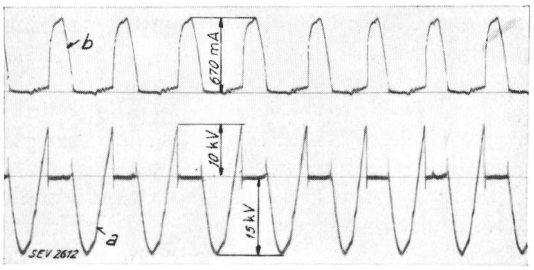

Fig. 9.

$U_H = 0$ V
$t_m = 60\ ^0$ C
$t_{Hg} = 60\ ^0$ C
$I = 0$ mA
$p_{Hg} = 26 \cdot 10^{-3}$ mmHg

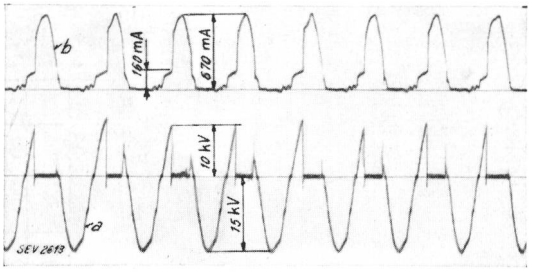

Fig. 10.

$U_H = 2{,}75$ V
$t_m = 1430\ ^0$ C
$t_{Hg} = 60{,}1\ ^0$ C
$I = 60$ mA
$t_{max} = 1850\ ^0$ C
$p_{Hg} = 26 \cdot 10^{-3}$ mmHg

Fig. 6 bis 10.

Oszillogramme der Spannung zwischen Anode und Kathode (*a*) und des Anodenstromes (*b*), aufgenommen bei den in der Legende jeden Oszillogrammes angegebenen Zuständen.

U_H = Heizspannung an der Kathode.
I = Emissionsstrom.
t_m = Mittlere Kathodentemperatur.
t_{max} = Maximale Kathodentemperatur.
t_{Hg} = Temperatur im Oelthermostat = Temperatur des Quecksilberdampfes.
p_{Hg} = Druck des Quecksilberdampfes.

Unter der Wirkung dieser hohen Röhrenspannung erlangen die Elektronen grosse kinetische Energie und erwärmen die Anode bei Dauerbetrieb auf Weissglut. Der innere Widerstand der Röhre erscheint klein, solange der Sättigungswert des Anodenstromes I_A noch nicht erreicht ist, dann steigt derselbe bis auf rund 43 000 Ohm an:

$$R_i = \frac{U_{max}(\sin \omega t) - I_A \cdot R}{I_A} = \frac{U_{max} \sin \omega t}{I_A} - R.$$

Bogenzündungen treten in beiden Stromrichtungen keine auf. Im Gegensatz zu Fig. 6 zeigt Fig. 7 ein Oszillogramm mit regelmässigen Bogenzündungen bei kalter Kathode. Hierbei war die Oeltemperatur 60° C und $p_{Hg} = 26 \cdot 10^{-3}$ mm Hg. Die Quecksilberdampfdichte, die diesem Sattdampfdruck entspricht, beträgt $2{,}6 \cdot 10^{-7}$ gr/cm^3 und ist offenbar genügend gross, um unter der Wirkung einer Spannung von 8 kV, die für die Zündung eines Lichtbogens notwendige hohe Ladungsträgerzahl zu liefern. Der Strom steigt in einer für den Schleifenoszillograph unmessbar kurzen Zeit auf den vollen widerstandsbegrenzten Wert an, denn die Spannung an der Röhre sinkt nach der Zündung auf den kleinen Wert der Bogenspannung. Der Bogenstrom reisst regelmässig bei ca. 0,2 A ab, wobei die Spannung auf rund 5 kV emporspringt. Zu beachten ist nun im Vergleich hierzu Fig. 8, wo unter Beibehaltung desselben Quecksilberdampfdruckes die Kathode geheizt wurde. Bei der hohen Elektronenemission von 160 mA an der Kathode sollte ein Lichtbogen ohne weiteres möglich sein, falls die Elektronenemission an einer sperrenden Anode wirklich für die Ventilwirkung so gefährlich ist. Dies ist aber durchaus nicht der Fall, denn die Spannung steigt auf ca. 4 kV an. Nur zweimal treten kurzzeitige Bogenzündungen auf. Es ist zwar anzunehmen, dass, wenn die Spannung zwischen Anode und Kathode auf den bei Fig. 7 beobachteten Wert von 8 kV ansteigen könnte, dann regelmässige Bogenzündungen auftreten würden. Tatsächlich zeigt nun das Oszillogramm (Fig. 10), welches bei demselben Quecksilberdampfdruck von $p_{Hg} = 26 \cdot 10^{-3}$ mm Hg aufgenommen wurde, dass bei kleinerer Emission von rund 60 mA Bogenzündungen regelmässig bei rund 10 kV auftreten. Das Oszillogramm Fig. 9, welches in Wiederholung der Messung nach Fig. 7 unter Beibehaltung des Quecksilberdampfdruckes von $p_{Hg} = 26 \cdot 10^{-3}$ mm Hg, jedoch bei kalter Kathode, aufgenommen wurde, zeigt dieselbe Bogenzündspannung von rund 10 kV. Die Differenz von 2 kV in der beobachteten Bogenzündspannung gegenüber Fig. 7 ist der vergrösserten Messgenauigkeit des Oszillographen bei der Aufnahme des Oszillogrammes nach Fig. 9 zuzuschreiben. Die beiden Fig. 9 und 10 enthalten das merkwürdige Resultat, dass selbst eine verhältnismässig starke Elektronenemission von 60 mA die Bogenzündspannung bei Quecksilberdampfdichten, wie sie im Grossgleichrichter vorkommen, nicht zu beeinflussen vermag. Es soll aber darauf hingewiesen werden, dass die Quecksilberdampfdichte in der Umgebung der Kathode durch die hohe Temperatur derselben ganz wesentlich verringert wird. Wenn wir die Dampfdichte in nächster Umgebung der Kathode für die beiden Oszillogramme Fig. 9 und 10 miteinander vergleichen, so erhalten wir folgendes:

Bei Fig. 9 ist die Kathode kalt. Die Quecksilberdampfdichte entspricht der Sattdampfdichte für 60° C. Bei Fig. 10 dagegen beträgt die mittlere Kathodentemperatur $t_m = 1430°$ C. Eine dünne, die Kathode umgebende Dampfschicht nimmt die Temperatur der Kathode an, wodurch in dieser Schicht der Dampf stark überhitzt wird. Der Quecksilberdampfdruck kann während der kurzen Betriebszeit, die zur Aufnahme eines Oszillogramms nötig ist, als konstant angenommen werden. Die Temperatur der innern Glaswand, auf welcher sich Kondensat befindet, soll sich nicht geändert haben.

Wenn R die allgemeine Gaskonstante, V_0 das Volumen der dünnen, die Kathode umgebenden Dampfschicht bei der absoluten Temperatur T_0 °K und V_1 bei T_1 °K bedeuten und in der Röhre während des Versuches überall derselbe Dampfdruck $p_0 = p_1 = p$ herrscht, so gilt das Boyle-Gay-Lussacsche Gesetz:

$$p \cdot V_0 = R \cdot T_0 \qquad V_1 = V_0 \cdot \frac{T_1}{T_0}$$
$$p \cdot V_1 = R \cdot T_1$$

Das Volumen der innersten Dampfschicht vergrössert sich proportional der abosluten Temperatur derselben, wenn der Druck konstant bleiben soll. Bei der Erwärmung der Kathode von $T_0 = 333$ °K auf $T_1 = 1703$ °K verringert sich daher die Dichte des Dampfes auf ca. den fünften Teil. Die Verkleinerung der Bogenzündspannung infolge der Elektronenemission von 60 mA aus der Kathode wird daher bei Fig. 10 gerade aufgehoben durch die Dampfverdünnung infolge der Ueberhitzung.

4. Bei den unter 2 und 3 beschriebenen Versuchen wurde beobachtet, dass die Kathodenheizspannung U_H beim Einschalten der Anodenspannung je nach dem Quecksilberdampfdruck, der in der Röhre herrscht, mehr oder weniger ansteigt, wobei der Heizstrom I_H gleichzeitig abnimmt. Diese Erscheinung wird verursacht durch die zusätzliche Erwärmung der Kathode infolge der Energiezufuhr durch die positiven Quecksilberionen. Bei einer Röhrentemperatur von 20° C wurde beobachtet:

Bei ausgeschalteter Anodenspannung

$U_H = 2{,}95$ V, $I_H = 17{,}6$ A, $R_t = 0{,}167$, $t_m = 1465$ °C

Bei eingeschalteter Anodenspannung wie bei Fig. 6

$U_H = 3{,}22$ V, $I_H = 17{,}22$ A, $R_t = 0{,}187$, $t_m = 1620$ °C

Nach den Messungen unter 1. erfordert eine mittlere Kathodentemperatur von 1620° C eine Heizleistung von 76,4 W. Durch den Heizstrom werden aber nur 55,4 W zugeführt, so dass dem Ionenstrom 21 W zukommen. Dabei ist der Abkühlungseffekt durch die Emission nicht berücksichtigt, weil dieser weniger als 1,5 W ausmacht. Aus einem

gleichzeitig aufgenommenen Oszillogramm (hier nicht wiedergegeben) geht hervor, dass die mittlere Spannung, welche während dem Stromdurchgang an der Röhre liegt, rund 2000 V beträgt. Damit ergibt sich auf der Kathodenoberfläche ein Ionenstrom von 35 mA oder ca. 8 % des Elektronenstromes. Durch die Heizwirkung der positiven Quecksilberionen steigt der Emissionsstrom weit über den Wert, welcher der angelegten Heizspannung entspricht.

Zusammenfassung.

Die beschriebenen Versuche zeigen, dass die gefürchtete Elektronenemission aus der Oberfläche der Gleichrichteranoden während der Sperrzeit derselben die Zündspannung des Rückzündungsbogens tatsächlich beeinflusst, wenn man die Verringerung der Quecksilberdampfdichte durch Ueberhitzung berücksichtigt. Bei einem Sattdampfdruck von $26 \cdot 10^{-3}$ mm Hg entsprechend einer Dampfdichte von $2{,}6 \cdot 10^{-7}$ g/cm³ ist die Bogenzündspannung ohne Emission und mit 60 mA Anfangsemission gleich gross. Die mittlere Kathodentemperatur, die für diese Emission notwendig ist, beträgt 1703 °K und hat eine Verringerung der Dampfdichte auf $^1/_5$ der Sattdampfdichte zur Folge. In diesem speziellen Fall hebt der die Bogenzündspannung verkleinernde Einfluss der Elektronenemission den vergrössernden Einfluss der Dampfverdünnung gerade auf. Da die Emission mit der Temperatur exponentiell, die Dampfverdünnung aber nur linear zunimmt, überwiegt bei grösseren Temperaturen und Emissionen deren Einfluss, so dass die Bogenzündspannung sinkt. Hier nicht beschriebene Oszillogramme bestätigen diese Auffassung. Trotzdem muss aus den Resultaten dieser Versuche geschlossen werden, dass Elektronenemission aus Eisen- oder Graphitanoden von Quecksilberdampfgleichrichtern nicht in dem Masse als Rückzündungsursache in Frage kommt, wie heute vielfach angenommen wird. Anodentemperaturen von 1000° C sind noch viel zu niedrig, um Emissionsströme von der Grössenordnung 100 mA zu ermöglichen. Wenn auch ein beträchtlicher Strom positiver Quecksilberionen grosser Geschwindigkeit auf die Sperranode auftrifft und dadurch einerseits durch zusätzliche Erwärmung und anderseits durch direkte Auslösung [5]) den totalen Emissionsstrom erhöht, so wird das in den seltensten Fällen zu Rückzündung führen. Bei den Versuchen nach Fig. 10 stieg die Anfangsemission von 60 mA infolge der zusätzlichen Wirkung der positiven Ionen auf 160 mA, ohne dass die Bogenzündspannung dadurch gegenüber dem Versuch mit kalter Kathode (Fig. 9) abgenommen hat. Elektronenemission an einer sich in der Sperrperiode befindlichen Anode kann aber dann gefährlich werden, wenn die Quecksilberdampf- oder Restgasdichte zugleich gewisse Werte überschreitet. Bei Dampfdichten über $0{,}08 \cdot 10^{-5}$ g/cm³ und Emissionsströmen von 200 mA konnte mehrmals ein direkter Uebergang des unselbständigen Elektronenstromes in den selbständigen Bogenstrom ohne Zündspannungsspitze beobachtet werden.

[5]) Oliphant, Proc. Roy. Soc., May 1929. C. G. Found and I. Langmuir, The Physical Review, Vol. 39, Nr. 2, p. 237.

Der Evolventen-Transformator.

Von Prof. Ing. *Robert Edler*, Honorardozent an der Technischen Hochschule in Wien.

621.314.2

Unter Hinweis auf den Aufsatz «Der Transformator mit Evolventenkern» von Prof. Dr. techn. M. Vidmar, Ljubljana (in der E. u. M. 1932, Nr. 17), in dem der Grundgedanke des neuen Transformators und die Theorie für die Formgebung des Kernes, des Mantels und des Joches veröffentlicht wurde, werden die Fabrikationswege, die Betriebseigenschaften und die wirtschaftlichen Auswirkungen besprochen, die sich aus der neuen Bauform erwarten lassen.

L'idée fondamentale du nouveau transformateur et la théorie qui a conduit à la forme du noyau, de la culasse et de la cuirasse ont été publiées dans un article de M. Vidmar, professeur à Ljubljana, intitulé «Le transformateur à noyau en développante» (E. u. M. 1932, No. 17). Se référant à cet article, l'auteur explique ici les possibilités de fabrication, les propriétés en service et les suites économiques que la nouvelle forme laisse entrevoir.

I. Der Aufbau des Evolventen-Transformators.

Es ist bekannt, dass der Aufbau eines Transformators um so günstigere Erfolge mit sich bringt, je enger die Wicklungen das Kerneisen und je enger der ganze magnetische Kreis (Kern, Joch, Mantel) die Spulen umschliessen.

Am günstigsten sind ferner kreisrunde Spulen, da sie sich am leichtesten wickeln lassen und mit der geringsten Drahtlänge die grösste Fläche umschliessen.

Der Kern im Hohlraum der Spule wurde bisher stets aus ebenen Blechen aufgebaut.

Die für die Fabrikation einfachste Querschnittsform des Eisenkernes, das Quadrat (Fig. 1), füllt jedoch den zylindrischen Hohlraum nur zu 63,7 % aus. Der vielfach angewendete Kreuzquerschnitt (Fig. 2) erhöht zwar die Ausnutzung auf 78,8 %, wenn das günstigste Verhältnis $c : b = 1 : 1{,}618$ gewählt wird, er erfordert aber zwei verschiedene Blechschnitte, was die Fabrikation verteuert. Eine noch weitergehende Abstufung der Kernblechbreiten (Fig. 3) verbessert zwar die Aus-

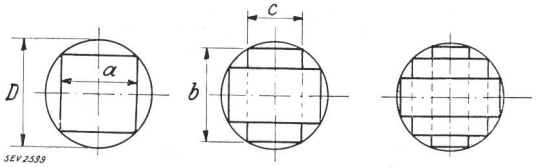

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.