Ein elektrisches Ventilrohr[1].

Von A. Wehnelt.

Eingereicht am 14. Oktober 1905.

Aus dem physikalischen Institut der Universität Erlangen.

Im Verlaufe eines Vortrages[2]) „über die Aussendung negativer Ionen durch glühende Metallverbindungen", gehalten auf der 76. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Breslau (1904), führte ich ein elektrisches Ventilrohr vor, welches zur Umformung von Ein- oder Mehrphasenwechselströmen, d. h. also elektrischen Schwingungen in pulsierenden Gleichstrom diente, ähnlich wie dies die auf anderen Grundsätzen beruhenden Umformer von Hewitt (Quecksilberdampfumformer) und von Grätz (Aluminiumgleichrichtezellen) tun. Eine eingehende Beschreibung der Versuche mit dem Ventilrohr hatte ich bisher nicht gegeben, da ich zunächst eine Reihe von glastechnischen Schwierigkeiten überwinden wollte, um die von mir im Laboratorium vielfach verwendeten Röhren nicht in unvollkommener Form der Technik zugänglich zu machen. Da diese Schwierigkeiten nun behoben sind, so gebe ich jetzt einen kurzen Auszug aus der demnächst in der Elektrotechnischen Zeitschrift erscheinenden ausführlichen Arbeit.

Das Ventilrohr. In einer Reihe von Abhandlungen[3])

---

[1]) D.R.P. Nr. 157845 vom 15. Januar 1904. [Das alleinige Recht zur Herstellung der Röhren habe ich der Firma E. Gundelach, Gehlberg in Thüringen übertragen.]

[2]) A. Wehnelt, Physik. Zeitschr. 5, S. 680–681. 1904.

[3]) A. Wehnelt, Sitzungsber. d. Phys.-med. Soz. Erlangen S. 150 bis 158. 1903 — Ann. d. Phys. (4) 14, S. 425–468. 1904 — Phys. Zeitschr. 5, S. 680–681. 1904 — Phil. Mag. (6) 10, S. 80–90. 1905 — Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unter. 18, S. 193–198. 1905.

habe ich gezeigt, daß einige Oxyde, besonders diejenigen des Baryums, Strontiums und Kalziums im glühenden Zustande zahlreiche negative Ionen aussenden, und daß sie deshalb als Kathoden in Entladungsröhren verwendet den Kathodenfall der Glimmentladung stark herabsetzen bezw. gänzlich aufheben.

In dem Ventilrohr wird nun diese Eigenschaft der Oxyde, im glühenden Zustande unter geeigneten Versuchsbedingungen so gut wie keinen Kathodenfall zu besitzen, benutzt. Dasselbe enthält als Kathode ein Blech aus irgend einem schwer schmelzbaren Leiter (z. B. von Metallen, Platin, Iridium, Tantal u. s. w.), das in irgend einer Weise erhitzt werden kann und mit Metalloxyd bezw. Metalloxydmischungen überzogen ist. Als Anoden dienen je nach dem Zwecke, dem das Rohr dienen soll, ein oder mehrere starke Elektroden aus irgend einem Leiter.

Wird die Kathode des sehr weit evakuierten Rohres auf hohe Temperatur erhitzt, und verbindet man eine der Anoden mit dem positiven, die glühende Metalloxydelektrode mit dem negativen Pole einer Gleichstromquelle, so beträgt das Entladungspotential des Ventilrohres nur zirka 18—20 Volt bis zu Stromstärken, die durch die Größe der Oberfläche und die Temperatur der glühenden Oxydelektrode gegeben sind. Wie ich an anderer Stelle mitgeteilt habe, kann bei hohen Temperaturen, die durch die Flächeneinheit (1 cm^2) der glühenden Oxydkathode hindurchgehende Stromstärke, also die Stromdichte, 2 bis 3 Ampère betragen, ohne daß ein Kathodenfall auftritt. Die äußerste Stromdichte, bis zu welcher kein Potentialfall an der Kathode eintritt, nannte ich Grenzstromdichte[1]). Wird diese überschritten, so tritt ein mit wachsender Stromstärke schnell ansteigender Kathodenfall auf. Die Grenzstromdichte für jede Temperatur ist bestimmt durch die bei dieser Temperatur ausgesandte Zahl von negativen Ionen.

Wählt man die Stromstärke im Rohre so, daß an der Kathode kein Kathodenfall vorhanden ist, so hat der Strom nur den Anodenfall und den Fall auf der positiven Säule zu überwinden. Wie besondere Messungen zeigten, ist der Anodenfall unabhängig von der Stromstärke und je nach Wahl und Reinheit der benutzten Metalle 18—20 Volt; ferner ist der Fall auf

---

[1]) A. Wehnelt, Ann. p. Phys. (4) 14, S. 447—449. 1904.

der positiven Säule bei sehr tiefen Drucken und großen Stromstärken sehr gering (zwischen 1 und 2 Volt), so daß er bei sehr geringem Abstande zwischen Anode und Kathode keine merkliche Rolle spielt. Aus dem eben Gesagten ergibt sich das geringe Entladungspotential des Rohres, wenn der Strom in Richtung von der kalten zur heißen Elektrode übergeht.

Kehrt man die Stromrichtung um, so daß die kalte Elektrode zur Kathode wird, so ist das Entladungspotential des Rohres für diese Stromrichtung sehr groß, da schon der normale Kathodenfall zirka 300 Volt beträgt. Da das Rohr aber sehr weit evakuiert ist, so beträgt der Kathodenfall an den kalten Elektroden viele tausend Volt.

Sendet man daher durch das Ventilrohr elektrische Schwingungen von irgend welcher Herkunft, so läßt das Rohr nur die Phase des Stromes durch, bei der die glühende Oxydelektrode Kathode ist, die andere Phase hingegen nicht, so lange die Spannung der Schwingungen unterhalb des Kathodenfalles an der kalten Elektrode liegt, d. h. das Rohr verhält sich dem elektrischen Strome gegenüber wie ein Ventil.

Wirkungsgrad des Ventilrohres. Verbindet man die Klemmen des Ventilrohres mit einer Stromquelle, deren Spannung sinusartig verläuft (elektrischer Schwingungskreis, Wechselstrommaschine etc.), so sind die Vorgänge im Stromkreise einer Berechnung zugänglich.

Es sei $e = E \sin 2\pi \frac{t}{T}$ die Gleichung der elektrischen Schwingung, worin e der Momentanwert und E die Amplitude der Spannung und T die Periode der Schwingung ist. Es sei ferner W der induktions- und kapazitätsfreie Widerstand des Stromkreises, V das unter den oben beschriebenen Umständen konstante Entladungspotential des Ventilrohres, dann ist die Stromstärke zur Zeit t

$$i = \frac{e - V}{W} = \frac{1}{W}\left(E \sin 2\pi \frac{t}{T} - V\right).$$

Aus diesem Werte läßt sich durch Integration sowohl die effektive Stromstärke, als auch die mittlere Stromstärke berechnen. Da letztere hauptsächlich für unsere Zwecke in Betracht kommt (z. B. bei der Ladung von Akkumulatoren), so möge nur sie hier berechnet werden.

Unter mittlerer Stromstärke $\bar{J}$ in einem Zeitraume T versteht man diejenige, die mit T multipliziert die gesamte während der Zeit T bewegte Elektrizitätsmenge Q gibt.

Es ist also

$$\bar{J} = \frac{Q}{T}$$

wobei Q die in einer Periode den Stromkreis durchströmende Elektrizitätsmenge und T die Dauer einer Periode bedeuten möge.

Nun ist

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} i \cdot dt$$

also, wenn man für i den oben gefundenen Wert einsetzt,

$$\bar{J} = \frac{1}{W\,T} \int_{t_1}^{t_2} (E \sin 2\pi \frac{t}{T} - V)\,dt.$$

Die Grenzen t_1 und t_2 sind folgendermaßen zu ermitteln. Zur Zeit $t = 0$ beginnt die Spannung zu wachsen von $e = 0$ an. Solange e kleiner ist als das Entladungspotential V des Rohres, fließt kein Strom im Stromkreise; von da an setzt der Strom ein und fließt solange, bis e wieder $= V$ geworden ist. Von da ab geht während des übrigen Teiles der Periode kein Strom mehr durch das Rohr. Die Grenzen t_1 und t_2 sind demgemäß zu ermitteln aus

$$e = V = E \sin 2\pi \frac{t_1}{T} = E \sin 2\pi \frac{t_2}{T}$$

$$\text{wobei } t_2 = \frac{T}{2} - t_1.$$

Dient der pulsierende Strom zur Ladung einer Akkumulatorenbatterie von der mittleren Klemmenspannung P, so ist die mittlere Stromstärke

$$\bar{J} = \frac{1}{W\,T} \int_{t_1}^{t_2} (E \sin 2\pi \frac{t}{T} - V - P)\,dt.$$

Als Nutzeffekt η würde in diesem Falle gelten

$$\eta = \frac{\text{Mittlere Stromstärke} \times \text{Batteriespannung}}{\text{gesammten Energieverbrauch}}.$$

Der gesamte Energieverbrauch der Wechselstromquelle einschließlich der Energie zur Erhitzung der Metalloxydelektrode ist mit einem Wattmeter zu bestimmen. Der Nutzeffekt hat sich, worüber an anderer Stelle berichtet werden soll, als recht zufriedenstellend erwiesen.

Anwendungen des Ventilrohres. Das Ventilrohr habe ich bisher unter anderem in folgenden Fällen mit großem Erfolg angewandt.

1. Zur Ladung von Akkumulatoren mit Einphasenstrom. Das Ventilrohr ist hierzu bequemer als der Umformer von Hewitt, der einer besonderen Zündung bedarf, um bei Einphasenstrom im Betriebe zu bleiben. Durch Parallelschaltung beliebig vieler Röhren können beliebig große Akkumulatorenbatterien von einer Wechselstromquelle aus geladen werden.

2. Zur Ladung von Akkumulatoren und zum Betriebe von Gleichstrombogenlampen mit Drehstrom[1]). Man benützt zu diesem Zweck ein Rohr mit drei kalten Metallelektroden und einer glühenden Oxydelektrode, verbindet erstere mit den drei Enden eines in Sternschaltung geschalteten Drehstromtransformators, letztere mit dem Knotenpunkte desselben.

3. Zur Ladung von Hochspannungsakkumulatorenbatterien mit einem Hochspannungstransformator oder dem Induktorium. Um die zweite Phase des Transformators bezw. die Schließungsströme des Induktoriums möglichst vollkommen zu unterdrücken, umgibt man die Metallanoden mit Glasröhren[2]), so daß der Kathodenfall an ihnen sehr hohe Werte erreicht. Über verschiedene Schaltungen zur Ausnutzung beider Stromphasen verweise ich auf die ausführliche Mitteilung.

4. Zur Trennung der Schließungs- und Öffnungsströme bei Induktorien, sowohl für die gewöhnlichen elektromedizinischen Zwecke, als auch im besonderen beim Betriebe von Röntgenröhren mit großen Induktorien.

5. Zum Betriebe von großen Induktorien mit dem elektrolytischen Unterbrecher durch Wechselstrom. Man schaltet in den Wechselstromkreis die Primärspule des Induktoriums den elektrolytischen Unterbrecher und das Ventil-

---

[1]) Bei Zweiphasenstrom muß man entsprechend 2 Anoden benutzen.

[2]) vgl. A. Wehnelt, Ann. d. Phys. (3) 65, S. 511—542. 1898.

rohr. Durch geeignete Schaltungen kann man auch beide Phasen des Wechselstromes ausnutzen. Der Unterbrecher arbeitet hierbei so gut, wie mit Gleichstrom, ohne die beim Betriebe mit Wechselstrom auftretende Abnutzung der Anode zu zeigen.

6. Als Empfänger bei der drahtlosen Telegraphie. Da die Wirksamkeit des Ventilrohres nicht von der Wechselzahl abhängt, so werden auch von den schnellsten Wechselströmen, d. h. den elektrischen Wellen, stets nur die einen Phasen hindurchgelassen. Schaltet man daher in einen Empfängerkreis, der von Schwingungen getroffen wird, ein Ventilrohr und ein Galvanometer, so zeigt das Galvanometer einen Ausschlag an, es geht also ein Strom durch dasselbe. Man kann hierbei die Galvanometerausschläge entsprechend verstärken, wenn man beide Phasen ausnützt. Man erreicht dies, indem man zwei Ventilröhren parallel schaltet, aber so, daß sie entgegengesetzte Phasen hindurchlassen; die durch jedes Rohr fließenden pulsierenden Ströme sendet man je durch eine Spule eines Differentialgalvanometers in solcher Richtung, daß sich ihre Wirkungen summieren.

Erlangen, Physikal. Institut der Universität, September 1905.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: 37

Autor(en)/Author(s): Wehnelt A.

Artikel/Article: Ein elektrisches Ventilrohr 264-269