

Weitere Untersuchungen mit dem Zweiröhren- und Vielröhrengenerator kurzer elektrischer Wellen¹⁾.

Von M. T. Grechowa in Moskau.

Mit 12 Abbildungen. (Eingegangen am 15. Juni 1926.)

In Fortsetzung einer früheren Arbeit des Verfassers wird ein Zwei- sowie Vielröhrengenerator für kurze ungedämpfte elektrische Schwingungen beschrieben. Die Abhängigkeit der Wellenlänge und der Intensität der Schwingungen von den Betriebsbedingungen und der Beschaffenheit des äußeren Schwingungskreises wird untersucht. Die Bedingungen, bei welchen bestimmte Obertöne des Schwingungskreises erregt werden, werden festgestellt. Wellenlängen bis zu 18 cm herab sind erhalten worden. Versuche mit der Vielröhrenschtaltung, die bis zu der Röhrenzahl 7 ausgeführt worden sind, haben ergeben, daß die Schwingungsintensität schneller als die Röhrenzahl wächst.

In zwei in dieser Zeitschrift erschienenen Aufsätzen des Verfassers²⁾ wurde ein Zweiröhrengenerator kurzer, ungedämpfter elektrischer Wellen beschrieben. Etwas später wurde ein entsprechender Generator von Scheibe³⁾ angegeben. Vorliegende Arbeit enthält die Beobachtungsergebnisse, die mit dem erwähnten Zweiröhrengenerator sowie auch mit einem Vielröhrengenerator von derselben Art erhalten worden sind.

I. Der Generator. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde die gegenüber dem ursprünglichen Schema modifizierte Schaltung des

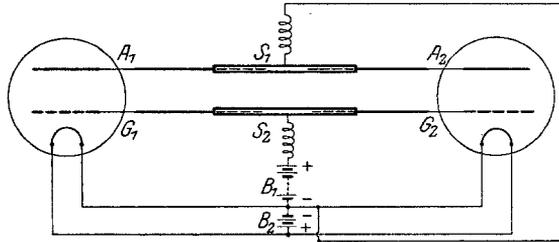


Fig. 1.

Generators benutzt, die schon kurz a. a. O. angegeben worden ist. Dabei erhielt der äußere, die zwei Röhren verbindende Schwingungskreis die einfachere Form eines Lecherschen Zweidrahtsystems. Die Anodenzyylinder zweier Elektronenröhren wurden durch den gradlinigen Leiter $A_1 A_2$

¹⁾ Die Arbeit ist in der Sitzung des Physikalischen Forschungsinstituts am 26. Januar 1926 vorgetragen.)

²⁾ M. T. Grechowa, ZS. f. Phys. **35**, 50 und 59, 1925.

³⁾ A. Scheibe, Jahrb. d. drahtl. Telegr. **27**, 1, 1926.

verbunden (Fig. 1), dessen Länge verändert werden konnte. Die Gitter der beiden Röhren wurden ebenfalls durch den geradlinigen Leiter $G_1 G_2$ verbunden. Die Gitterspannung wurde einer Batterie B_1 mittels einer Potentiometer-schaltung entnommen. Die Anodendrähte $A_1 A_2$ wurden mit dem negativen Ende des Glühfadens verbunden. Der Heizstrom wurde von der Batterie B_2 geliefert und durch zwei parallel geschaltete Schiebewiderstände in üblicher Weise reguliert. In der Fig. 1 sind das Voltmeter und das Amperemeter im Heizstromkreis sowie die Milliampere-meter,

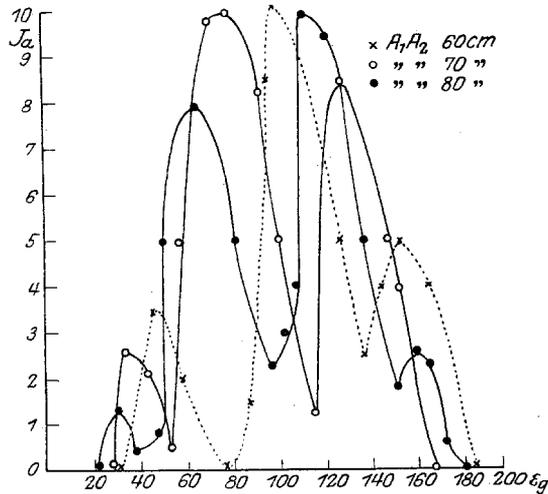


Fig. 2.

welche zur Messung des Anodenstromes I_a , des Gitterstromes I_g sowie des gesamten Emissionsstromes I_e dienen, nicht eingezeichnet. Die Anoden- und Gitterspannungen wurden durch die kleinen Drosselspulen S_1 und S_2 zugeleitet, die mit einem Ende mit dem Potentiometer bzw. dem negativen Ende der Glühfadenzuleitung verbunden waren, und mit dem anderen Ende an jede beliebige Stelle der Drähte $A_1 A_2$ und $G_1 G_2$ angelegt werden konnten.

Die Wellenlänge der erhaltenen Schwingungen wurde mittels eines induktiv mit dem Generator gekoppelten Lecherschen Systems bestimmt. Das Lechersche System bestand aus zwei parallelen Drähten mit zwei Brücken und einem Thermoelement, das parallel einer der Brücken geschaltet war. Der Abstand zwischen dem Lecherschen System und dem Generator konnte beliebig verändert werden.

II. Die Abhängigkeit der Wellenlänge vom Schwingungskreis, von der Gitterspannung und vom Heizstrom. Die

Messungen wurden in folgender Weise ausgeführt. Die Drähte A_1, A_2 und G_1, G_2 , die wir im folgenden als den äußeren Schwingungskreis bezeichnen wollen, bekamen eine bestimmte Länge, und es wurde die Abhängigkeit der Wellenlänge und der Intensität des Anodenstromes I_a von der Gitterspannung E_g bestimmt. In Fig. 2 sind die entsprechenden $I_a E_g$ -Kurvenscharen — als Parameter diente hier die Länge des äußeren Schwingungskreises — dargestellt. Die Kurven der Fig. 2 beziehen sich auf die äußeren Schwingungskreislängen von 60, 70 und 80 cm. Die Kurven, die für Schwingungskreislängen von 60 bis 20 cm erhalten worden sind und in Fig. 2 nicht eingetragen wurden, haben das gleiche Aussehen. Wie aus Fig. 2 ersichtlich, wird die Intensität des Anoden-Elektronenstromes, die in unserem Falle, wo $E_a = 0$ ist, der Schwingungsintensität (im Lecherschen System gemessen), parallel verläuft, durch eine Kurve dargestellt, welche aus einer Reihe einzelner „Buckel“ besteht. Die Zahl, die Größe und die Lage dieser „Buckel“ hängt von der Länge des äußeren Schwingungskreises ab.

Die Gitterspannung wurde während dieser Versuche von 0 bis zu 700 Volt variiert. Bei jeder der dabei benutzten Röhrenarten entstanden jedoch Schwingungen nur bis zu einem bestimmten E_g . So wurden mit den russischen Röhren P 5 des Trusts für Schwachstromindustrie (gewöhnliche Verstärkerröhren mit einem Anodendurchmesser von 9 mm und einem Gitterdurchmesser von 3,5 mm) Schwingungen nur bis zu einer Gitterspannung von 200 Volt erhalten.

Fig. 3 enthält Kurven, die die Wellenlänge wiedergeben, welche bei einer bestimmten Länge des äußeren Schwingungskreises und verschiedenen E_g erhalten wurden. Wie aus der Figur ersichtlich, ergeben alle Gitterspannungen, die ein und demselben Buckel der $I_a E_g$ -Kurven der Fig. 2 entsprechen, Punkte, welche auf einer Geraden liegen. Diese Gerade wird von beiden Seiten in Stellen unterbrochen, die einem Minimum des Anodenstromes und der Schwingungsintensität entsprechen. Beim Übergang zu höheren Gitterspannungen, die schon einem neuen Anodenstrombuckel entsprechen, kann die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Gitterspannung durch eine neue Gerade dargestellt werden, die wiederum bei einer Gitterspannung unterbrochen wird, welche dem nächsten Minimum von I_a entspricht usw. An solchen Minimumstellen konnten zuweilen beide Wellen, die längere und die kürzere, gleichzeitig beobachtet werden; die Intensität der Schwingungen war in diesen Punkten gering. Fig. 3 enthält Kurven, die Schwingungskreislängen von 20 bis 80 cm entsprechen.

Da ein System aus zwei parallelen Drähten, die an beiden Enden durch je eine Kapazität (Gitteranode) verbunden sind, mit einer Wellenlänge schwingen muß, die der Grundperiode dieses Schwingungssystems oder einem von dessen unharmonischen Obertönen entspricht, so liegt die

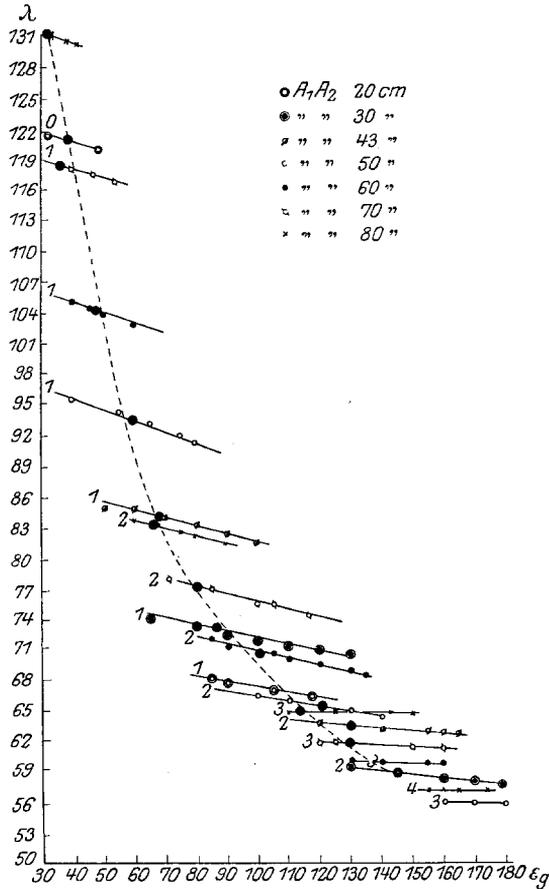


Fig. 3.

Vermutung nahe, daß die beobachteten Wellenlängen dem Grundtone und den Obertönen des Systems der Drähte A_1A_2 , G_1G_2 mit den beiden Röhrenkapazitäten an den Enden entsprechen. Diese Vermutung wird durch die Lage der Spannungsknoten und der Spannungsbäuche in den Drähten A_1A_2 , G_1G_2 teilweise gestützt. Die ungefähre Lage der Knoten und Bäuche bei Betriebsbedingungen, die verschiedenen „Buckeln“ des Anodenstromes entsprechen, ist in Fig. 4 angegeben. Ein Teil der Knoten

und Bäuche wurde in den äußeren Teilen des Schwingungskreises gefunden. Die Lage der übrigen wurde bei Annahme der Voraussetzung festgelegt, daß an den Gittern und den Anoden der Röhren Spannungsbäuche liegen müssen. In der Fig. 4 sind die Spannungsbäuche durch schwarze Punkte, die Spannungsknoten durch kleine Kreuze angegeben. Auf Grund der

erwähnten Voraussetzungen und der beobachteten Lage der Schwingungsknoten u. -bäuche schließen wir, daß die Wellenlänge, welche dem Maximum des Anodenstromes im ersten Buckel jeder Kurve der Fig. 2 entspricht, die erste Oberschwingung des entsprechenden schwingenden Systems darstellt. Desgleichen stellt die Wellenlänge, die dem Maximum des zweiten Buckels entspricht, die

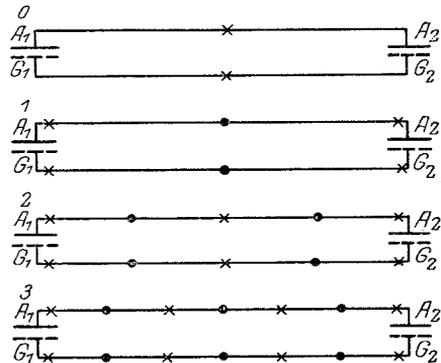


Fig. 4.

zweite Oberschwingung desselben Systems dar usw. Wir bezeichnen deswegen die entsprechenden Buckel mit den Nummern 1, 2, 3 usw.

Bei kürzeren Schwingungskreisen wurde noch ein „Buckel Nr. Null“ aufgefunden, welcher der Grundschwingung des Schwingungssystems entspricht. Von dieser Bezeichnungsweise ist in Fig. 4 und 3 Gebrauch gemacht. In letzterer ist neben jeder Geraden, die die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Gitterspannung darstellt, die Nummer des Buckels und folglich der Oberschwingung angegeben, welcher diese Gerade entspricht.

Wenn wir unsere Aufmerksamkeit darauf lenken, wie sich die Buckel der Anodenstrom-Gitterspannungskurve dem Aussehen und der Lage nach bei einer Änderung des äußeren Schwingungskreises ändern, so sehen wir (Fig. 2), daß bei Vergrößerung der Länge des Schwingungskreises jeder „Buckel“ sich nach links, also in der Richtung der kleineren Gitterspannungen, verschiebt. Dabei wird die Höhe des letzten Buckels, der auf der Seite der hohen E_g -Werte liegt, größer, die Höhe des „ersten Buckels“ — auf der Seite der kleineren E_g — kleiner. Bei weiterer Vergrößerung der Länge des Schwingungskreises erscheint im Bereiche höherer E_g ein neuer „Buckel“, welcher ebenfalls bei weiterer Vergrößerung der Länge des Schwingungskreises zuerst wächst, dann nach Erreichung eines Maximums wieder abnimmt. Diesem Buckel folgt ein anderer usw. Der „Buckel Nr. Null“, welcher bei Schwingungskreis-

längen von 15 bis 40 cm zu beobachten ist, verschiebt sich bei größeren Schwingungskreislängen in den Bereich sehr niedriger Gitterspannungen (15 bis 20 Volt), wobei die Schwingungsintensität so gering wird, daß die Wellenlänge nicht mehr bestimmt werden kann.

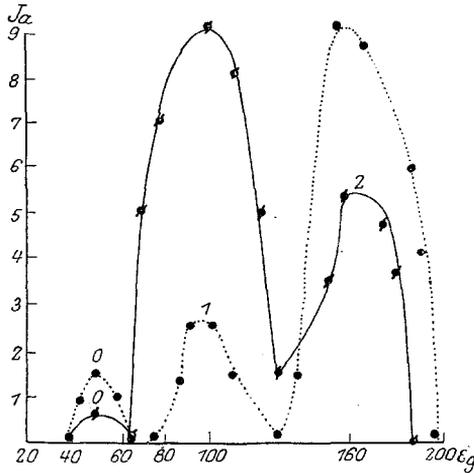


Fig. 5.

Dem Maximum des Anodenstromes entsprach im Bereich desselben Buckels auch immer das Maximum der Schwingungsintensität (im Lecherschen System gemessen); das Verändern und Verschieben der $I_a E_g$ -Kurven geschieht so, daß, wenn wir in Fig. 2 die Punkte der Maxima der einzelnen $I_a E_g$ -Kurven miteinander verbinden, wir wieder eine glatte Kurve erhalten, die die einzelnen $I_a E_g$ -Kurven

umhüllt. Das Maximum dieser letzteren Kurve entspricht einer Gitterspannung, welche ungefähr den Mittelwert der Gitterspannungen darstellt, in deren Bereich die Schwingungen überhaupt zu beobachten sind.

In Fig. 3 sind die Wellenlängen, welche bei einer bestimmten Schwingungskreislänge der größten im Bereich des betreffenden „Buckels“ beobachteten Intensität entsprechen, durch fette Punkte bezeichnet. Durch diese Punkte ist eine gestrichelte Kurve gezogen, die gut die Bedingung von Barkhausen und Kurz $\lambda^2 E_g = \text{const}$ erfüllt. Die aus den Dimensionen der Röhren nach den Formeln von Scheibe¹⁾ berechneten Wellenlängen sind jedoch etwas größer als die beobachteten, so daß die Wellenlängenkurve nach Scheibe berechnet etwas höher zu liegen käme als die in Fig. 3 eingezeichnete gestrichelte Kurve.

Aus der Lage der fetten Punkte der Fig. 3 können wir den Schluß ziehen, daß die Wellenlänge, welche bei einer bestimmten Gitterspannung der größten Schwingungsintensität entspricht, davon unabhängig ist, ob wir es mit der ersten Oberschwingung eines bestimmten Schwingungs-

¹⁾ A. Scheibe, Ann. d. Phys. **73**, 54, 1924.

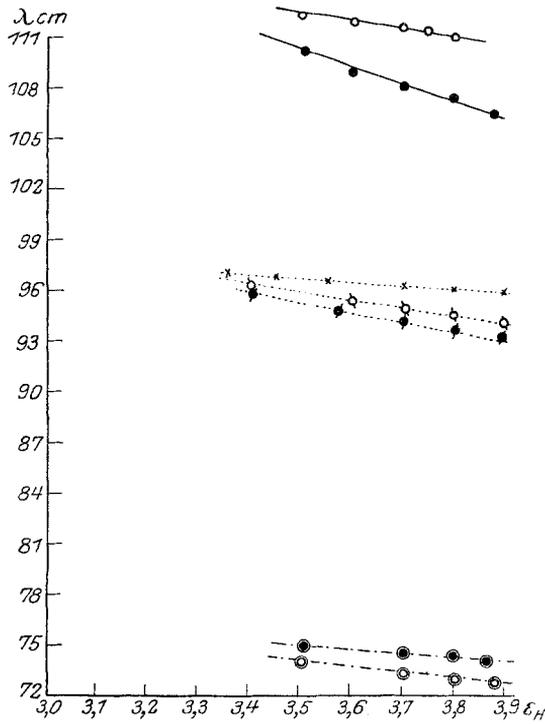
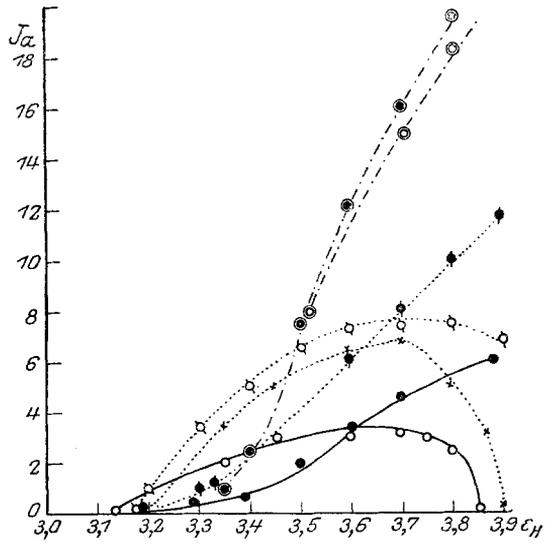


Fig. 6.

kreises oder mit einer höheren Oberschwingung eines Schwingungskreises anderer Länge zu tun haben¹⁾.

Bei den Messungen wurden die Spannungszuleitungen (die Drosselspulen S_1 und S_2 , Fig. 1) mit den Drähten A_1A_2 und G_1G_2 in der Regel

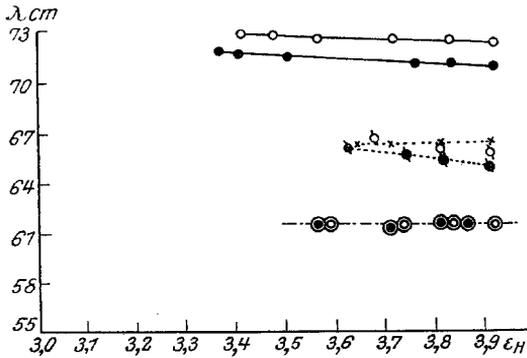
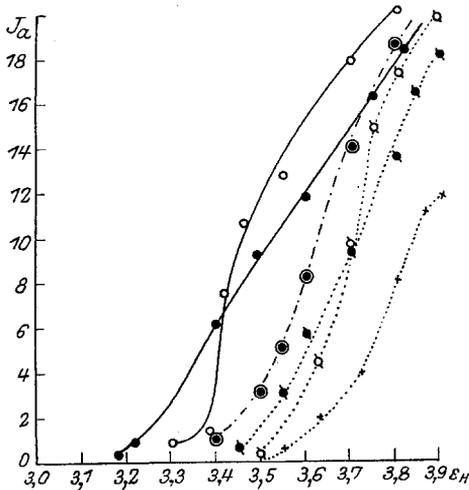


Fig. 7.

beziehlich auf eine Länge des äußeren Schwingungskreises von 30 cm. Der „Buckel Nr. Null“ ist an diesen Kurven deutlich zu erkennen. Diese Abhängigkeit der Schwingungsintensität von der Lage der Punkte, wo die

in Punkten verbunden, die Spannungsknoten entsprachen. Welche Wirkung eine Veränderung der Verbindungspunkte der Zuleitungen mit dem Schwingungssystem ausübte, ist aus den Kurven der Fig. 5 ersichtlich. Die punktierte bzw. die ausgezogene Kurve stellt den Fall dar, daß die Drosselspulen an den Spannungsknoten der Schwingungen angelegt sind, welche dem zweiten bzw. dem ersten Anodenstrombuckel entsprechen. Diese Kurven zeigen deutlich, daß die Intensität des Anodenstromes im Bereich eines „Buckels“ stark herabsinkt, wenn die Zuleitungen in einem Spannungsbauhe angelegt sind. Die Kurven der Fig. 5 be-

¹⁾ Wie schon erwähnt, war es bei diesen Messungen nicht möglich, die Zuleitungen im Innern der Röhre und durch den Sockel mit in Rechnung zu ziehen. Deshalb werden jetzt Messungen mit besonders gebauten Röhren vorgenommen, die keine unkontrollierbaren Zuleitungen enthalten und bei denen die Obertöne des ganzen schwingenden Systems berechnet werden können.

Spannungszuleitungen an die Drähte des Schwingungssystems angelegt sind, macht es verständlich, weshalb in den $I_a E_g$ -Kurven, die in der früheren Arbeit des Verfassers wiedergegeben sind, nur zwei Anodenstrombuckel zu sehen sind. Damals waren die Zuleitungen in der Mitte der Drähte des Schwingungssystems fest angelötet und es waren dadurch Bedingungen geschaffen, welche für die Entstehung des „Buckels Nr. 2“ günstig waren. Deshalb war allein dieser Buckel genügend stark ausgeprägt und wurde allein untersucht.

Der ganze Bereich der Gitterspannungen, in welchem die Schwingungen erhalten, und die Zahl der Anodenstrombuckel, die beobachtet werden können, hängt im starken Maße von der Röhrenart ab. Mit den 10-Watt röhren Г. Б. 2 u. Г. Б. 3 des Radiolaboratoriums von Nishnij-

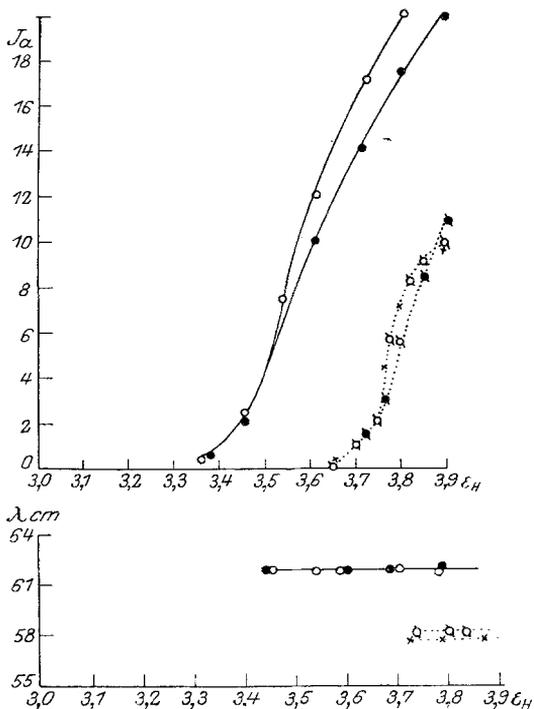


Fig. 8.

Nowgorod wurden Schwingungen bis zu einer Gitterspannung von 325 Volt erhalten und fünf bis sechs Anodenstrombuckel beobachtet. Dabei hatten einzelne Buckel manchmal eine komplizierte Form. Zuweilen entstand bei den Buckeln höherer Ordnung eine Wellenlänge, die zweimal kürzer war als die der Gitterspannung nach der Beziehung $\lambda^2 E_g = \text{const}$ entsprechende Wellenlänge. So wurden mit den Röhren Г. Б. 3 bei Gitterspannungen von 310 bis zu 325 Volt bei einer Schwingungskreislänge von 10 bis 15 cm Wellenlängen im Bereich von 18 bis 22 statt der nach der Gitterspannung erwarteten 36 bis 44 cm beobachtet.

Die Fig. 6, 7 und 8, die die Abhängigkeit der Wellenlänge vom Heizstrom darstellen, zerfallen jede in zwei einzelne Teile: der obere Teil gibt die Abhängigkeit des Anodenstromes I_a , der untere Teil jeder

Fig. 6, 7, 8 die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Heizspannung an. Die Kurven der Fig. 6 beziehen sich auf je einen Buckel Nr. 1, die der Fig. 7 auf je einen Buckel Nr. 2 und die Kurven der Fig. 8 auf je einen

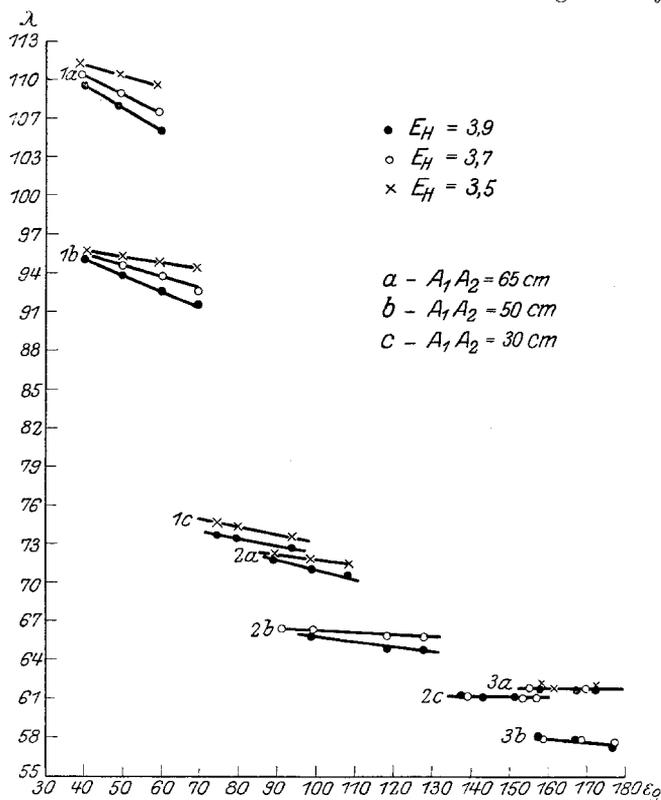


Fig. 9.

Buckel Nr. 3. Alle drei Figuren enthalten Kurven für Schwingungskreislängen von 30, 50 und 65 cm. Bei jeder Figur sind die betreffenden Bezeichnungen angegeben.

Die Beziehung zwischen Heizspannung und Wellenlänge ist aus der verschiedenen Neigung der einzelnen λE_H -Kurven in den unteren Teilen der Fig. 6, 7 und 8 ersichtlich. Die größte Wirkung übt die Intensität d des Heizstromes auf Schwingungen aus, die im Bereich des „ersten Buckels“ erhalten werden (Fig. 6). Dabei ist diese Einwirkung desto stärker, je näher die Betriebsbedingungen dem oberen Knick der Kennlinie $I_e E_g$ entsprechen. Im Bereich des zweiten Anodenstrombuckels (Fig. 7), welcher bei höheren Gitterspannungen erhalten wird, ist die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Heizspannung geringer als beim

ersten Buckel. Im Bereich des „dritten Buckels“ scheint die Wellenlänge von der Heizspannung unabhängig zu sein (Fig. 8). Fig. 9, die Beobachtungen im Bereich verschiedener Buckel darstellt, gibt die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Gitterspannung bei verschiedenen Werten der Heizspannung wieder.

III. Beobachtungsergebnisse bei Anwendung einer einzelnen Röhre. Es wurde eine Reihe von Beobachtungen mit einem Generator ausgeführt, welcher eine einzelne Röhre enthielt. Die dabei angewendeten Röhren waren im hiesigen Laboratorium besonders gebaut. Die inneren Anoden- und Gitterzuleitungen waren so kurz und geradlinig wie nur

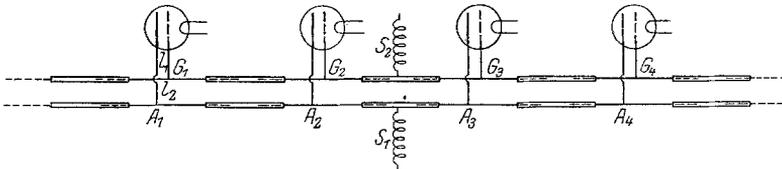


Fig. 10.

möglich gemacht. Der Anodenzylinder und das Gitter wurden je mit einem von zwei parallel verlaufenden Drähten verbunden. Die Länge dieser Drähte wurde zwischen 15 und 125 cm variiert, ihr gegenseitiger Abstand zwischen 1,5 und 0,5 cm. Diese Messungen ergaben ein Bild, das den mit dem Zweiröhrengenerator gefundenen Resultaten ganz ähnlich war. Nur die Intensität der Schwingungen, die bei dieser Schaltung erhalten wurden, war viel geringer als beim Zweiröhrengenerator. Der Bereich der Gitterspannungen, in welchem Schwingungen beobachtbar waren, erstreckte sich von 30 bis zu 100 Volt (Röhre mit Gitterdurchmesser 3 mm und Anodendurchmesser 10 mm). Bei jeder bestimmten Länge des Schwingungskreises (d. h. der mit Anode und Gitter verbundenen parallelen Drähte) wurde nur ein Buckel beobachtet, ein zweiter erwies sich als sehr schwach oder fehlte gänzlich. Die Wellenlängen, die diesem zweiten Buckel entsprechen würden, gehörten zu Gitterspannungen, die an der Grenze oder außerhalb des Bereichs lagen, in welchem die Schwingungen überhaupt beobachtbar waren. Der Buckel, der untersucht werden konnte, erwies sich unserer oben angeführten Bezeichnungsweise und der Lage der Spannungsknoten und -bäuche nach als Buckel Nr. 0, Nr. 1, Nr. 2 usw., je nach der Länge der Paralleldrähte. Ähnlich wie bei dem Zweiröhrengenerator verschob sich bei Vergrößerung dieser Länge jeder Buckel nach der Seite der kleineren Gitterspannungen, wobei er zuerst bis zu einer maximalen Höhe anwuchs, um sich dann wieder zusammenzuziehen. Wenn ein Buckel beinahe im Verschwinden

war, erschien von der Seite der größeren Gitterspannungen her der nächste Anodenstrombuckel. Oder auch, die Schwingungen waren bei einer bestimmten Länge des Schwingungskreises gar nicht zu beobachten, und der nächste Anodenstrombuckel erschien erst bei weiterer Vergrößerung

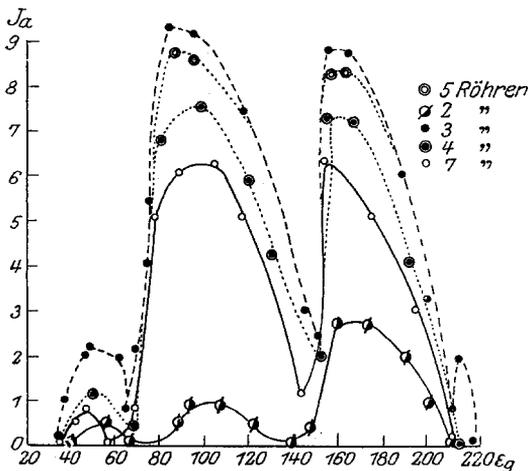


Fig. 11.

dieser Länge. Zum Beispiel waren bei der erwähnten Röhre — Anode 10 mm, Gitterdurchmesser 3 mm, Fadendurchmesser 0,1 mm — die Schwingungen bei keiner Gitterspannung zu beobachten; bei einer Länge des Schwingungskreises einmal von 40 cm, ein zweites Mal von 95 cm.

Um die größtmögliche Intensität der Schwingungen zu erhalten, mußten die Spannungszuleitungen in Punkten des Paralleldrahtsystems angelegt werden, welche Spannungsknoten entsprachen.

IV. Der Vierröhrengenerator. Das Schaltungsschema des Vierröhrengenerators ist in Fig. 10 dargestellt; es ist aus dem Schaltungsschema des Zweiröhrengenerators durch Hinzufügen weiterer Röhren entstanden. Da nur eine geringe Zahl Röhren gleicher Art zur Verfügung stand, war es nicht möglich, eine besondere Auswahl von gleichen Röhren zwischen den Röhren jeder Art zu treffen. Die Kurven der Fig. 11 zeigen die Abhängigkeit des Anodenstroms I_a von der Gitterspannung bei der Erzeugung der Schwingungen mittels 2, 3, 4, 5 und 7 Verstärkeröhren P. 5 des Trusts für Schwachstromindustrie. Die Drahtlängen $A_1 A_2 = A_2 A_3 = \dots = G_1 G_2 = G_2 G_3 = \dots$ betragen dabei 30 cm. Wie aus Fig. 11 ersichtlich ist, wird die Intensität des Anodenstromes bei der Vermehrung der Zahl der Röhren größer, das Aussehen der $I_a E_g$ -Kurven bleibt aber das frühere. Mit dem Anodenstrom wächst dabei auch die Intensität der Schwingungen. Um einige quantitative Resultate zu erhalten, wurden die von unserem geschlossenen Schwingungskreis ausgestrahlten Wellen mittels eines Rahmens mit Detektor und Zeigergalvanometer (10^{-6} Amp.) in einigen Metern Entfernung vom Generator empfangen. Die Kurve der Fig. 12 gibt die

Abhängigkeit der Stromintensität im Empfänger von der Zahl der Röhren im Generator an. Als Einheit wurde die Stromintensität bei Verwendung von zwei Röhren und bei einer Wellenlänge von 60 cm angenommen. Bei Verschiebung des Empfängers war ein starker Einfluß der Reflexion der Wellen an den Zimmerwänden bemerkbar. Deshalb können die Daten der Fig. 12 nicht als Absolutwerte zur Feststellung der genauen Abhängigkeit der Schwingungsintensität von der Röhrenzahl benutzt werden, obwohl sie alle bei ein und derselben unveränderten festen Stellung des Empfängers erhalten worden sind. Das Ansetzen einer kleinen Antenne am Schwingungskreis vergrößerte stark die Ausstrahlung des Generators und die im Empfänger beobachtete Intensität.

Was die Wellenlänge anbetrifft, so zeigten die Messungen in dem mit dem Generator schwach gekoppelten Lecherschen System, daß sie sich bei Vermehrung der Zahl der Röhren des Generators nicht ändert, und daß die Resonanzkurven nur ganz unbedeutend verzerrt werden.

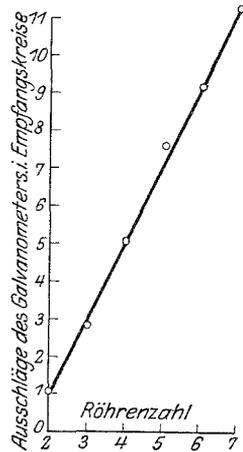


Fig. 12.

Die Lage der Spannungsknoten und der Spannungsbäuche blieb bei dem Vielrohrgenerator dieselbe wie bei dem Zweiröhrgenerator. Um eine ganz regelmäßige Verteilung der Knoten und Bäuche auf den Paralleldrähten zu erzielen, wurde die Länge $l_1 l_2$ (Fig. 10) dieser Drähte bis zu den mittleren Röhren auf Anraten des Leiters des Radiolaboratoriums in Nishnij-Nowgorod, Prof. Dr. M. A. Bontsch-Brujewitsch, verändert. Dadurch konnten die Unregelmäßigkeiten beseitigt werden, die das Vorhandensein der mittleren Röhren bei gewissen Wellenlängen verursachte.

In der Vielrohrgenerator-Schaltung wurden außer den erwähnten Messungen mit den Verstärkerröhren P. 5 (Gitterdurchmesser 3,5 mm, Anodendurchmesser 9 mm) auch Messungen mit Röhren T. 1 desselben Trusts sowie mit den Röhren Г. Б. 2 und Г. Б. 3 des Radiolaboratoriums in Nishnij-Nowgorod ausgeführt.

V. Zusammenfassung. 1. Bei Verwendung einer schon früher angegebenen und in dieser Arbeit näher beschriebenen Schaltung von zwei oder mehr zylindrischen Elektronenröhren können intensive, kurze, ungedämpfte elektrische Wellen erhalten werden.

2. Es liegt kein Hindernis vor, durch Vermehrung der Röhrenzahl die Intensität der Schwingungen beliebig zu steigern.

3. Die in dieser Arbeit erhaltenen Beobachtungsergebnisse erlauben uns den Schluß zu ziehen, daß bei Verwendung der hier beschriebenen Zwei- und Vielröhrengeneratoren bei Betriebsbedingungen, die die maximale Intensität der Schwingungen liefern, Wellenlängen erhalten werden, die der Grundschwingung oder einer der Oberschwingungen des Systems entsprechen, das aus den Röhrenkapazitäten und den die Röhren verbindenden Drähten gebildet wird.

4. Bei Veränderung der Gitterspannung tritt an gewissen Stellen eine neue Oberschwingung des erwähnten Systems an Stelle der früheren auf, was das Entstehen eines neuen Maximums in der $I_a E_g$ -Kurve zur Folge hat.

5. Bei weiterer Vergrößerung der Gitterspannung verschwinden die Schwingungen und der Anodenstrom. Bei verschiedenen Röhrenarten ist die Grenze, bis zu welcher Schwingungen erhalten werden, eine verschiedene.

6. Bei anderen Gitterspannungen als die, die dem Maximum der Schwingungsintensität entsprechen, wird eine Abhängigkeit der Wellenlänge von der Gitterspannung erhalten, welche den Formeln und der Theorie von Scheibe nicht entspricht. Im Bereich jeder Oberschwingung wird statt der Kurve von Scheibe eine Gerade erhalten. Einzelne Gerade, die ein und derselben Länge des Schwingungskreises, aber verschiedenen Betriebsbedingungen entsprechen, bilden ein treppenartiges Gebilde. Bei kleinen Gitterspannungen ist die Neigung der λE_g -Geraden gegen die Abszissenachse kleiner als die Neigung der Kurve von Scheibe. Dabei hängt diese Neigung von der Größe des Emissionsstromes ab. Bei größeren E_g wird die Neigung der λE_g -Geraden noch kleiner, bis diese Gerade schließlich bei hohen Gitterspannungen parallel der Abszissenachse verläuft und von der Größe des Emissionsstromes unabhängig ist. Auf diese Weise ist bei hohen Gitterspannungen die Wellenlänge im Bereich ein und derselben Oberschwingung (ein und desselben Anodenstrombuckels) von der Gitterspannung und der Größe des Emissionsstromes unabhängig, was die Vermutung nahelegt, daß in diesem Falle die Wellenlänge ausschließlich durch die Beschaffenheit des Stromkreises bedingt wird.

Diese Arbeit ist in der Vakuumtechnischen Abteilung des Staatlichen Elektrotechnischen Prüfungsinstituts ausgeführt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, dem Leiter der Abteilung, Herrn Prof. Dr. W. I. Romanoff, für sein fortdauerndes Interesse an der Arbeit und vielen guten Rat, sowie Herrn Dozent Dr. N. Kapzov für manchen guten Rat meinen tiefen Dank auszusprechen.

Moskau, im Mai 1926.
