

XXX. Einige mögliche Störungserscheinungen durch Sekundäremission von isolierenden Teilen in der Röhre

Nicht alle Elektronen, die aus der Kathode einer Röhre treten, treffen die positiven Elektroden der Röhre. Eine Anzahl Elektronen begibt sich nach den isolierenden Röhrenteilen oder verläßt das Elektroden-system und prallt unter bestimmten Umständen gegen die Glaswand des Kolbens. Hierbei kann die Arbeitsweise der Röhre durch die Sekundäremission des Glases oder anderer isolierender Materialien gestört werden. Obgleich diese Störungen durch zweckmäßige Konstruktionen der Röhren eingeschränkt werden können, ist es doch wichtig, die Möglichkeit dieser Erscheinung näher zu untersuchen. Im folgenden werden diese durch Sekundäremission bedingten Störungen beschrieben.

§ 178. Das Aufladen von Isolatoren oder isolierten Teilen

Die Sekundäremission isolierender Teile aus Glas oder anderem Material, als Folge gegen sie aufprallender Elektronen, bewirkt, daß sich solche Teile unter dem Einfluß der Anodenspannung zu einem hohen positiven Potential aufladen können, wenn der Sekundäremissionsfaktor größer als 1 ist. Dies wird auch mit in der Röhre isoliert angebrachten, also nicht geerdeten Metallteilen der Fall sein. Die durch die aufgeladenen Teile hervorgerufenen elektrostatischen Felder können die Elektronenbewegung im Elektroden-system beeinflussen; ferner kann das Verspringen des Potentials von Isolatoren störende Spannungen zwischen Steuergitter und Kathode verursachen oder können die Sekundärelektronen, die sich zur Anode bewegen, den inneren Widerstand verkleinern.

Zunächst soll die Erscheinung des Aufladens selbst näher behandelt werden. Zu diesem Zweck werde eine Röhre mit einem Schirmgitter betrachtet (z.B. die Tetrode E 442), deren Steuergitter ein festes Potential in Bezug auf die Kathode besitzt (siehe Abb. 340). Dem Schirmgitter g_2 wird erst eine ziemlich hohe positive Spannung von z.B. 150 V zugeführt. Nimmt man die I_a/V_a -Kennlinie dieser Röhre auf, so verläuft diese wie in Abb. 341 angegeben. Hieraus zeigt sich,

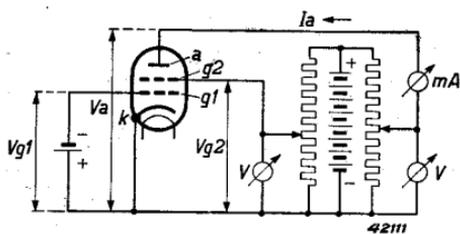


Abb. 340

Schematische Darstellung der Messung zum Aufnehmen der I_a/V_a -Kurve einer Schirmgitterröhre.

zunächst soll die Erscheinung des Aufladens selbst näher behandelt werden. Zu diesem Zweck werde eine Röhre mit einem Schirmgitter betrachtet (z.B. die Tetrode E 442), deren Steuergitter ein festes Potential in Bezug auf die Kathode besitzt (siehe Abb. 340). Dem Schirmgitter g_2 wird erst eine ziemlich hohe positive Spannung von z.B. 150 V zugeführt. Nimmt man die I_a/V_a -Kennlinie dieser Röhre auf, so verläuft diese wie in Abb. 341 angegeben. Hieraus zeigt sich,

daß der Anodenstrom zwischen bestimmten Grenzen der Anodenspannung negativ ist. Dies muß der verhältnismäßig hohen Schirmgitterspannung V_{g2} zugeschrieben werden, wobei natürlich die Bedingung erfüllt sein muß, daß der maximale Sekundäremissionsfaktor δ an der Anodenoberfläche größer als 1 ist.

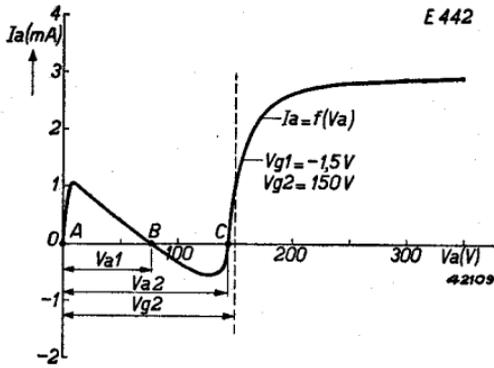


Abb. 341
 I_a/V_a -Kurve der Röhre von Abb. 340
 bei einer Schirmgitterspannung $V_{g2} = 150$ V
 (Steuergitterspannung $V_{g1} = -1,5$ V).

Bei $V_a = 0$ wird $I_a = 0$ sein und bei einer Anodenspannung gleich V_{a1} ist der Sekundäremissionsstrom offenbar gleich dem Primärelektronenstrom zur Anode. Der Sekundäremissionsfaktor δ ist hierbei folglich gleich 1. Ist die Anodenspannung höher als V_{a1} , so wird der Anodenstrom negativ werden, bis ein bestimmtes Minimum (oder Maximum des negativen Anodenstromes) erreicht wird. Nimmt die Anodenspannung V_a weiter zu, so daß sie in die Nähe des Wertes V_{g2} kommt, so

wird der Übergang der Sekundärelektronen zum Schirmgitter infolge verschiedener Effekte, wie Raumladung, Austreten der Sekundärelektronen in verschiedene Richtungen (räumliche Streuung der Sekundärelektronen) und geringer Potentialunterschied zwischen Anode und Schirmgitter, schwieriger werden. Die Sekundärelektronen, die in der Richtung des Schirmgitters keine genügend große Geschwindigkeitskomponente besitzen, können dieses letztere nicht mehr erreichen und kehren zur Anode zurück. Steigt die Anodenspannung noch weiter, dann können schließlich auch die schnelleren Sekundärelektronen das Schirmgitter nicht mehr erreichen und wird der Anodenstrom rasch positiv.

Wie bereits in Kapitel XIII aufgeführt wurde, nimmt der Anodenstrom bei immer weiter steigender Anodenspannung fortwährend zu, bis ein verhältnismäßig konstanter Wert erreicht wird.

Abb. 341 zeigt, daß die Anodenspannung bei einem Anodenstrom gleich Null drei verschiedene Werte haben kann, nämlich $V_a = 0$, $V_a = V_{a1}$ und $V_a = V_{a2}$. Wenn die Anodenspannung einen dieser drei Werte hat, wird beim Unterbrechen der Anodenzuleitung nichts geschehen. In diesem Fall hat man eine „schwebende“ Anode, die sich nur in einem der drei beschriebenen stromlosen Zustände befinden kann, nämlich in

dem, welcher durch die Punkte A, B oder C angegeben wird. Von diesen sind die mit A und C bezeichneten Punkte stabil, während der mit B bezeichnete Punkt labil ist. Befindet sich die Anode nämlich im Zustand B, so wird die geringste Abweichung des Sekundäremissionsfaktors zur Folge haben, daß die Anodenspannung nach 0 oder V_{a2} verspringt. Durch eine geringe Verringerung von δ wird der Sekundärelektronenstrom kleiner; die Anode erhält folglich mehr negative Ladung aus dem Primärelektronenstrom, als infolge des Sekundärelektronenstromes abgeht und wird daher weniger positiv. Dadurch nimmt δ weiter ab, was wieder eine weitere Abnahme der Anodenspannung bewirkt, bis diese schließlich bis auf Null gesunken ist. Nimmt δ dagegen zu, so wird das umgekehrte geschehen und die Anodenspannung bis auf V_{a2} ansteigen.

In den Zuständen A und C wird durch eine Änderung von δ dagegen nichts geschehen. Im Zustand C wird eine Zunahme von δ ein leichtes Ansteigen der Anodenspannung zur Folge haben. In diesem Fall nimmt jedoch die Sekundäremission infolge der Zunahme der Anodenspannung ab, wie das Ansteigen der I_a/V_a -Kennlinie mit der Anodenspannung in diesem Anodenspannungsgebiet andeutet. Die Anode wird hierdurch wieder weniger positiv und stellt sich auf einen neuen stabilen Wert des Potentials ein. Auch im Zustand A wird eine Zunahme von δ das Ansteigen der Anodenspannung verursachen. (In diesem Fall hat jedoch das stärkere Ansteigen des Primärelektronenstromes als das des Sekundärelektronenstromes eine Beschränkung der Anodenspannungszunahme zur Folge.)

Befindet sich die schwebende Anode im Zustand A (dem sogenannten unteren Zustand), so kann sie durch einen Spannungsstoß, der größer als V_{a1} ist, in den Zustand C (den sogenannten oberen Zustand) gebracht werden.

Man kann sich nun anstatt einer schwebenden Anode die Oberfläche eines Isolators denken. Wir betrachten beispielsweise die Innenseite des Glaskolbens einer Röhre gemäß Abb. 340, deren Anode entfernt ist und dessen auf ein hohes Potential (z.B. 150 V) gebrachtes Schirmgitter g_2 , als Anode wirkt. Im allgemeinen wird der Sekundäremissionsfaktor δ einer solchen Glasoberfläche schon bei verhältnismäßig niedrigen Spannungen (etwa 70 V) größer als 1 sein. In diesem Fall ist der obere Zustand möglich, der beispielsweise durch einen Spannungsstoß oder durch einen geringen Strom vom Schirmgitter g_2 zur Glaswand eingeleitet werden kann. Das Potential der Glaswand stellt sich dann auf einen Wert ein, der ungefähr gleich der Schirm-

gitterspannung V_{g_2} ist. Das Glas wird somit fortwährend von den Primärelektronen getroffen, die durch die Maschen des Schirmgitters hindurchfliegen, während eine gleich große Anzahl Sekundärelektronen zum Schirmgitter zurückfließt. In der Praxis wird man sich anstatt des Schirmgitters g_2 eine Anode denken müssen und werden sich die Glaswand oder andere isolierende Teile durch die an der Anode vorbeifliegenden Elektronen aufladen. Manchmal ist die Anode aus Metallgaze hergestellt und können auch Elektronen durch die Maschen der Gaze fliegen und die Glaswand treffen.

§ 179. Einfluß der Aufladung von Isolatoren auf die Wirkungsweise der Röhren

a. Hochfrequenzröhren, Schalteffekt ¹⁾

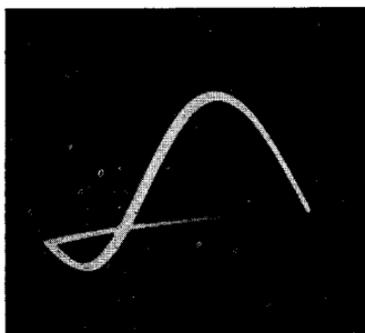
Bei Hochfrequenzröhren ist es wichtig, daß der innere Widerstand möglichst groß ist, also daß der Anodenstrom bei sich verändernder Anodenspannung möglichst konstant bleibt. Tritt nun Sekundäremission der Kolbenwand oder von Isolatoren in der Röhre auf, so wird im Zustand C der Sekundärelektronenstrom aus dem Isolator gleich dem Primärelektronenstrom zum Isolator sein. Dieser Primärstrom ändert sich nun im allgemeinen stark mit der Spannung des Isolators oder der Kolbenwand, welche ungefähr auf dieselbe Weise wie die Anodenspannung an- und absteigt. So wird also der Sekundärelektronenstrom, der zur Anode fließt und der den Elektronenstrom von der Kathode zur Anode vergrößert, ebenfalls von der Anodenspannung abhängig sein. Dies hat zur Folge, daß auch der resultierende Elektronenstrom zur Anode stark von der Anodenspannung abhängt. Das bedeutet, daß der innere Widerstand der Röhre klein geworden ist. Ist in den Anodenkreis ein Hochfrequenzkreis aufgenommen, so wird dieser durch die Herabsetzung des inneren Widerstandes mehr gedämpft werden und wird die Verstärkung der Hochfrequenzstufe sinken.

Man bezeichnet diese Erscheinung als den **Schalteffekt**, weil diese zusätzliche Dämpfung verschwindet, wenn die Anodenspannung vorübergehend abgeschaltet wird, ohne daß die Heizstromzufuhr unterbrochen wird. Durch die Unterbrechung der Zufuhr der Anodenspannung wird nämlich die Glaswand oder der Isolator in den unteren Zustand gebracht, verschwindet die Sekundäremissionserscheinung und bleibt die Glaswand oder der Isolator in diesem Zustand, bis aus irgendeiner Ursache eine neuerliche Aufladung erfolgt.

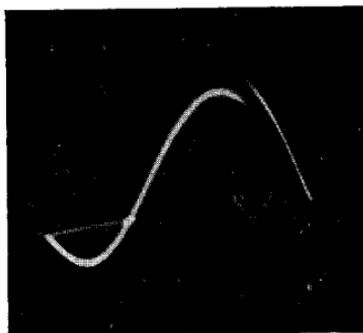
¹⁾ Vgl. auch J. L. H. Jonker, Philips' Techn. Rundschau, Bd. 3, S. 215—220.

b. Endröhren, Verzerrungseffekt

Eine andere Folge des Aufladens von Isolatoren und der Innenwand des Glaskolbens durch ein Elektronenbombardement ist das Auftreten



40758



40759

Abb. 342

Rechts: Die Unregelmäßigkeit, die bei einer Endröhre infolge von Potentialsprüngen von Isolatoroberflächen in der Kurve der Anodenspannung als Funktion der Zeit auftritt.

Links: Oszillogramm dieser sinusförmigen Anodenwechselspannung ohne diesen Effekt.

einer im Lautsprecher wahrnehmbaren Verzerrung in Endröhren (z.B. ein knisterndes oder kratzendes Geräusch).

Diese Verzerrung kann mittels eines Kathodenstrahloszillographen sichtbar gemacht werden. Wir erhalten dann ein Oszillogramm, wie in Abb. 342 rechts dargestellt ist. Sie tritt hauptsächlich bei großen Lautstärken auf; ihr Entstehen läßt sich auf die folgende Weise erklären.

Bei der Unterbrechung der Anodenzuleitung einer wie in Abb. 340 angegebenen Röhre sind nur die zwei Potentialzustände A und C möglich (siehe Abb. 341). Der Zustand C wird jedoch nur auftreten können, solange die Schirmgitterspannung der Röhre genügend hoch ist. Bei Herabsetzung der Schirmgitterspannung verschwindet allmählich das Anodenspannungsgebiet mit negativem Anodenstrom, so daß bei verhältnismäßig niedriger Schirmgitterspannung (siehe in Abb. 343 Kurve a für $V_{g2} = 60 \text{ V}$) der Anodenstrom für alle Anodenspannungen positiv bleibt.

Dies ist natürlich eine Folge der geringeren Geschwindigkeit der Primärelektronen bei niedrigen Schirmgitterspannungen und bei Anodenspannungen, die unter dem Wert der Schirmgitterspannung liegen, wodurch die Sekundäremissionsfähigkeit der Anodenoberfläche abgenom-

men hat. (Bei Anodenspannungen, die höher als die Schirmgitterspannung sind, können die Sekundärelektronen aus der Anode das Feld zwischen Schirmgitter und Anode nicht überwinden und kehren deshalb wieder zur Anode zurück.) Denken wir uns nun wieder, wie im Falle des Schalteffektes, die Anode durch die Oberfläche eines Isolators (Glaswand, Glasperle oder Glimmer), die sich in der Nähe einer Röhrenanode befindet, und das Schirmgitter g_2 durch die Anode einer Röhre ersetzt. Bei Anodenwechselspannungen mit großen Amplituden, wie diese in Endröhren bei starken Signalen auftreten, wird es vorkommen können, daß, wenn in der einen Hälfte der Wechselspannungsperiode die Anodengleichspannung niedrig ist, der Zustand C nicht auftreten kann (siehe Kurve a in Abb. 343) und die Isolatoren sich somit auf dem Potential von 0 V befinden müssen, während in der

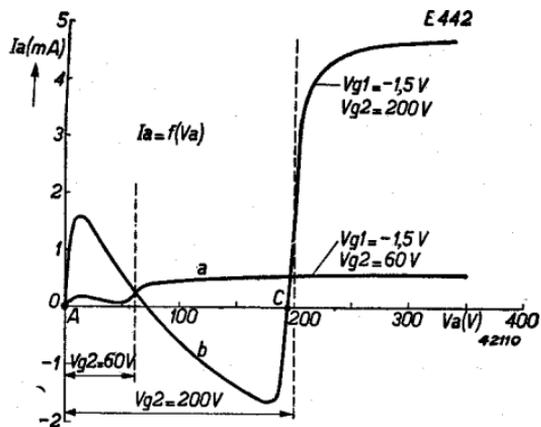


Abb. 343

I_a/V_a -Kurven der Röhre von Abb. 340 bei einer Schirmgitterspannung von 60 V (Kurve a) und bei einer Schirmgitterspannung von 200 V (Kurve b) (Steuergitterspannung $V_{g1} = -1,5$ V).

anderen Hälfte der Wechselspannungsperiode der Zustand C auch möglich ist (siehe Kurve b in Abb. 343). Der Potentialzustand C kann beispielsweise durch einen Spannungsstoß entstehen, der von der Anode auf die Isolatoroberfläche kapazitiv übertragen wird.

Wir sehen also die Möglichkeit eines mit der Anodenwechselspannung periodisch erfolgenden Verspringens des Potentials der Kolbenwand oder der Oberfläche eines oder mehrerer anderer isolierender Teile. Diese Potentialsprünge können nun kapazitiv wieder das Steuergitter beeinflussen und auf diese Weise, da sie viele höhere Harmonische erzeugen, die oben beschriebene Verzerrung hervorrufen. Im allgemeinen wird der Spannungsstoß, der die Kolbenglaswand vom Zustand A in den Zustand C bringt, durch eine kapazitive Spannungsteilung der Anodenwechselspannung durch die Kapazitäten zwischen der Oberfläche der Kolbenwand und der Kathode und zwischen der Kolbenwand und der Anode entstehen. Ist die Kapazität zwischen der Anode und der Kolbenwandoberfläche groß in Bezug auf die Kapazität

zwischen dieser Oberfläche und der Kathode, dann wird der Spannungsstoß an der Kolbenwandoberfläche groß sein, und umgekehrt wird der Spannungsstoß klein sein, wenn die Kapazität zwischen Anode und Kolbenwand in Bezug auf die Kapazität zwischen Kolbenwand und Kathode klein ist. Wenn dieses letzte der Fall ist, ist es möglich, daß der Zustand C nicht erreicht werden kann und die Verzerrung folglich nicht auftritt. Deshalb macht man in Röhren wie der EL 3, der EL 5 und der EL 6 die Kapazität zwischen der Kolbenwandoberfläche und der Kathode absichtlich groß, indem man unten am Kolben, an der Außenseite, einen Rand von Metallbelag anbringt, der mit der Kathode verbunden ist.

§ 180. Mittel zur Vermeidung des Schalt- und des Verzerrungseffektes in der Röhre

Um dem Auftreten des Schalteffektes in Hochfrequenzröhren und des Verzerrungseffektes in Endröhren vorzubeugen, werden verschiedene Maßnahmen getroffen. Vor allem liegt es auf der Hand, die Glaswand des Kolbens und, bzw. oder die Isolatoren in den Röhren mit einem Stoff zu bedecken, dessen Sekundäremissionsfaktor kleiner als 1 ist. Hierfür kann Kohlenstoff oder Wolframoxyd verwendet werden.

Ferner muß dafür gesorgt werden, daß eine möglichst geringe Anzahl Primärelektronen aus dem Elektrodensystem gegen isolierende Teile und die Glaswand des Kolbens prallen. Bei den modernen Röhren ohne Quetschfuß wird aus diesem Grunde, ebenso wie dies früher auch wohl getan wurde, ein Käfig um das Elektrodensystem angebracht. Dieser Käfig hat dasselbe Potential wie die Kathode und verhindert, daß Sekundärelektronen aus der Glaswand die Anode erreichen können. Im Fall von Sekundäremission der Kolbenwand kann man die Potential-sprünge an derselben auch vermeiden, indem man die Kolbenwand von außen metallisiert und diese Metallschicht auf einem konstanten niedrigen Potential hält (z.B. auf Kathodenpotential). Bei Hochfrequenzröhren wird damit vermieden, daß das Potential der Kolbenwand sich im Zustand C befindet, insofern nicht eine Ableitung infolge von Niederschlag zwischen der Anode und der Kolbenwand vorhanden ist. Dieser Ableitwiderstand bildet dann mit dem Ableitwiderstand zwischen der Innenwand des Kolbens und der Metallisierung einen Spannungsteiler, der ein hohes Potential der Innenwand und dadurch den Zustand C zur Folge haben kann.