

Digitalisiert von Dirk Becker, Originaldokument bereitgestellt von Harald Naafs.

Die Außensteuerröhre als Audion und Widerstandsverstärkerröhre.

Von G. Jobst, J. Richter, W. Wehnert.

Im folgenden wird eine Hochvakuum-Außensteuerröhre als Verstärker und eine gasgefüllte Außensteuerröhre als Audion beschrieben. Dabei wird gezeigt, welchen Einfluß die Formgebung der Außenwand bei dem Verstärkungsvorgang und welchen Einfluß die Gasfüllung für die Gleichrichtung und zur Unterdrückung tiefer Frequenzen hat und schließlich mit welchen Mitteln die Röhre fabrikationsreif geworden ist.

Die Verwirklichung des Gedankens der Steuerung des Elektronenstromes einer Röhre, die in ihrem Inneren nur Kathode und Anode besitzt, während die Steuerelektrode außerhalb der Röhre angebracht ist, wurde unseres Wissens erstmalig von Weagant im Jahre 1913 in Angriff genommen und hat seit dieser Zeit die Technik immer wieder beschäftigt, ohne daß jedoch auch nur einer der zahlreichen Vorschläge, soviel den Verfassern bekannt geworden ist, praktische Bedeutung erlangt hätte, was darauf beruhen mag, daß die bisherigen Formgebungen ungeeignet waren, um genügend große Steilheiten und Verstärkungen zu erreichen. Da sich ferner die Außensteuerröhren jetziger Form für

Widerstandsverstärkerzwecke wegen der dabei benötigten geringen Leistung besonders eignen, Widerstandsverstärker in großem Ausmaß aber erst in neuerer Zeit verwendet werden, so haben sie vielleicht dadurch nicht die intensive Beachtung gefunden, die zu ihrer Weiterentwicklung nötig war. In Bild 34 ist schematisch die Ausführungsform der Weagant-Röhre gezeigt, wie sie sich in allen Patenten wiederfindet. Bild 35 und 36 geben zwei von Weagant vorgeschlagene Schaltungen für Außensteuer-röhren wieder, wobei vielleicht auch die in den Zeichnungen verwendete Form der Röhre nicht nur symbolischen Charakter hat, sondern der damaligen Realisierung des Gedankens entsprach, denn in den verschiedenen Patentschriften ist über die Form und die Dimensionierung der Röhre nichts weiter angegeben.

Was den später von uns zu beschreibenden Effekt der Gasfüllung anbelangt, so ist in einem Patent von Slepian berichtet worden, welchen Einfluß die Gasfüllung auf die Unterdrückung tiefer Frequenzen hat, wobei aber in dieser Beschreibung über die daraus zu ziehenden Folgerungen und die Realisierung der Idee mittels Steuerelektrode aus Isolationsmaterial nichts gesagt wird, sondern im Gegenteil die Auswirkungen der Ionisation als störend bezeichnet werden. Auf den an sich naheliegenden Gedanken der Verwendung des Effektes zur Unterdrückung des Wechselstromtones bei direkt geheizten Wechselstromröhren mag Slepian nicht gekommen

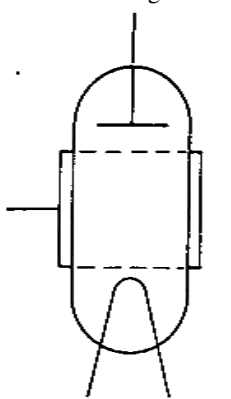


Bild 34.
Schematische Darstellung
der Weagant-Röhre.

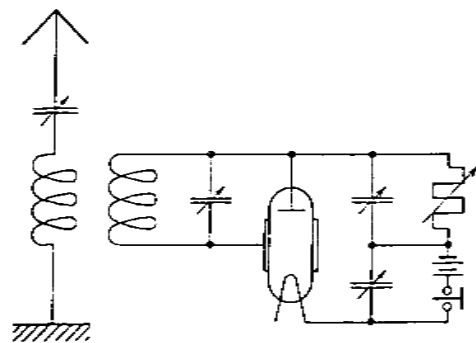


Bild 35. Weagant-Schaltung für Außensteuerröhre.

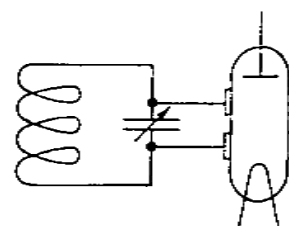


Bild 36. Weagant-Schaltung
für Außensteuerröhre.

sein, da 1921 im allgemeinen die Apparate noch fast ausschließlich mit Batterien betrieben wurden. Es ist an dieser Stelle vielleicht nicht uninteressant, die Entwicklung der Außensteuerröhre im Telefunken-Röhrenlaboratorium zu schildern und so in das Wesen der Röhre einzudringen, wie es sich dem Laboratorium zwar nicht logisch, aber in einer zeitlichen Reihenfolge geboten hat.

Die Beschäftigung mit der Idee, Röhren durch äußere Einflüsse zu steuern, stammt aus einer Spezialaufgabe des Röhrenlaboratoriums, deren Endzweck die Entscheidung eines Patentstreites war. Zu diesem Zweck waren auf Veranlassung des damaligen gerichtlichen Sachverständigen Professor Dr. Möller Röhren hergestellt worden, deren Systeme, insbesondere der Faden selbst, nach außen hin durch die anderen Elektroden nur wenig abgeschirmt waren und im Aufbau Ähnlichkeit mit der Weagant-Röhre hatten. Bei der Messung dieser Röhren ergab sich zunächst, daß ihre statischen Charakteristiken in gewissen Punkten nicht reproduzierbar waren, vielmehr von irgendwelchen, zunächst nicht bekannten Einflüssen außerhalb der Gitter- und Anodenspannung abhingen. Eine genauere Untersuchung des Effektes zeigte eine starke Abhängigkeit von äußeren Einflüssen, Auflegen der Hand auf den Glaskolben, Näherung von geerdeten Schirmen usw. Die richtige Erklärung wurde nach einiger Zeit dadurch gefunden, daß Kondensatoren verschiedener Ladung, geriebene Hartgummi- und Glasstäbe die Anodenströme der Röhre außerordentlich stark beeinflussten. Nachdem die Einwirkung der äußeren Felder bekannt war, wurden die Röhrenformen systematisch variiert, bis dann schließlich die jetzt gebräuchliche Form eines ovalen Querschnittes als wirkungsvoll und dabei auch gleichzeitig gut herstellbar erkannt wurde. Welche Formen die äußere Aufmachung der Außensteuer-röhre bis zu diesem Zeitpunkte durchgemacht hat, ist aus Bild 37 und Bild 38 zu ersehen.

Grundlegend bei all diesen Ideen war von vornherein die Gewinnung eines hinreichend kleinen Durchgriffes, um eine genügend große Widerstandsverstärkung zu bekommen und die Erreichung

einer genügend großen Steilheit durch eine entsprechende Lage der steuernden Flächen um den Glühfaden zur Beeinflussung der Raumladung.

Die Schaffung einer derartigen Röhre reizte deswegen, weil die Außensteuerung einen infolge Fehlens der dritten Elektrode billigen Aufbau ermöglichte, wie aus Bild 37 und 38 ohne weiteres zu erkennen ist. Das ist eine wichtige Eigenschaft der Röhre, zu der sich dann noch die Vorteile der geringen

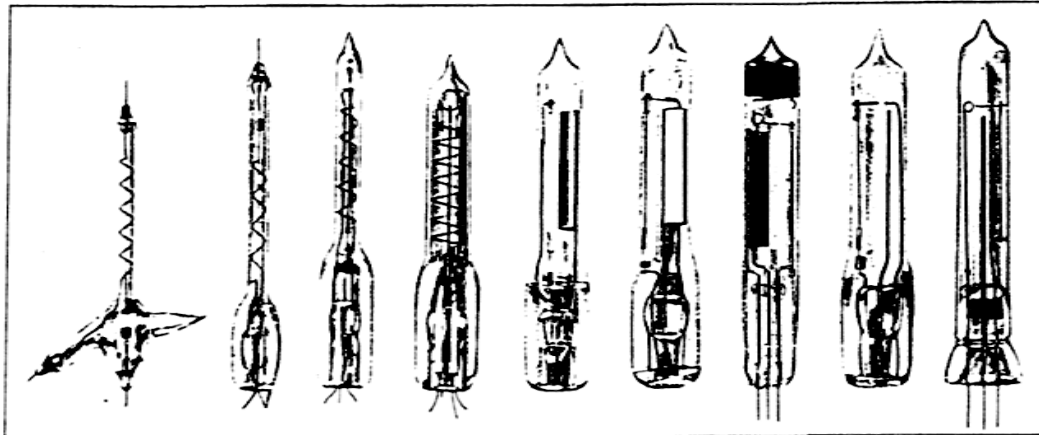


Bild 37 a—i. Verschiedene Formen der Außensteuerröhre.

Empfindlichkeit gegen niederfrequente Störungen von außen, bzw. gegen die Fadenheizung, die Ersparnis von Schaltmitteln und schließlich ihre Kleinheit gesellten, Vorteile, wie wir sie in den nachfolgenden Abschnitten näher beschreiben werden.

So einfach sich nachträglich die Gedankengänge logisch aneinanderreihen lassen, so schwer war es tatsächlich im Laufe der Entwicklung, die einzelnen Einflüsse, die die Wirkungsweise der Röhre

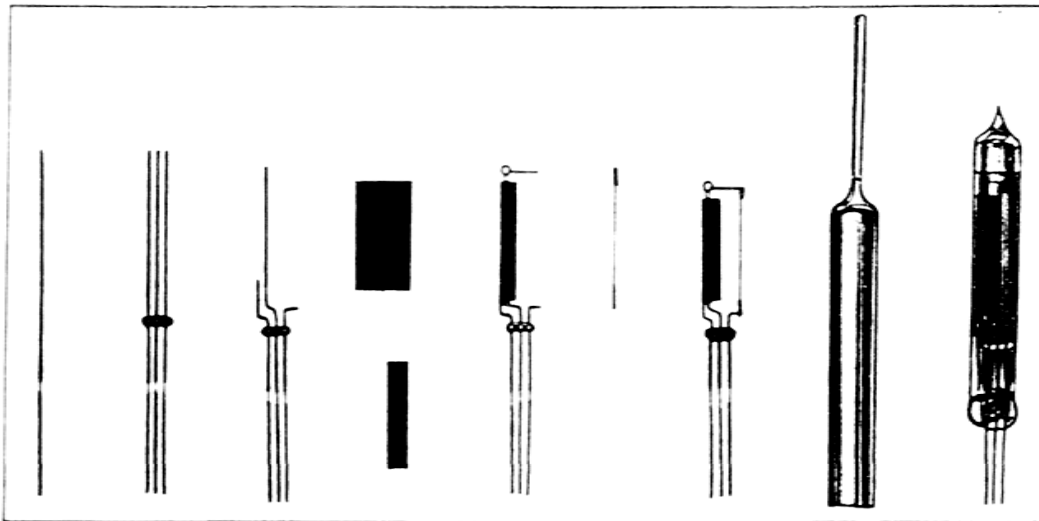


Bild 38. Innere Aufbauten der Außensteuerröhre.

bestimmen, von vornherein klar zu übersehen. Es hieße diese Ausführungen sicher nicht interessanter machen, wenn man die Irrwege, die bei der Entwicklung der Röhre begangen sind, als solche verschweigen und sie nicht an geeigneter Stelle zum besten geben würde. Besonders kompliziert gestaltete sich das Problem vor allen Dingen deswegen, weil statische Messungen an den Röhren in der ersten Zeit

wegen der unzureichenden Evakuierung schwierig waren, wie weiter unten näher angeführt wird. So halfen wir uns denn ausschließlich mit Wechselstrommessungen und mußten aus diesen mit mindestens einem unbekanntem Faktor das Wissenswerte zu ermitteln versuchen.

Soweit der geschichtliche Werdegang bis zu diesem Zeitpunkt.

Nachdem nämlich die elektrischen Dimensionen, einschließlich der Glaskörperform, festlagen und die Röhre in batteriegeheizten Widerstandsverstärkern gute Resultate zeigte, wurden wir in der Weiterentwicklung zunächst durch eine neuartige Erscheinung, den sogenannten „Sperreffekt“ der Röhre, aufgehalten.

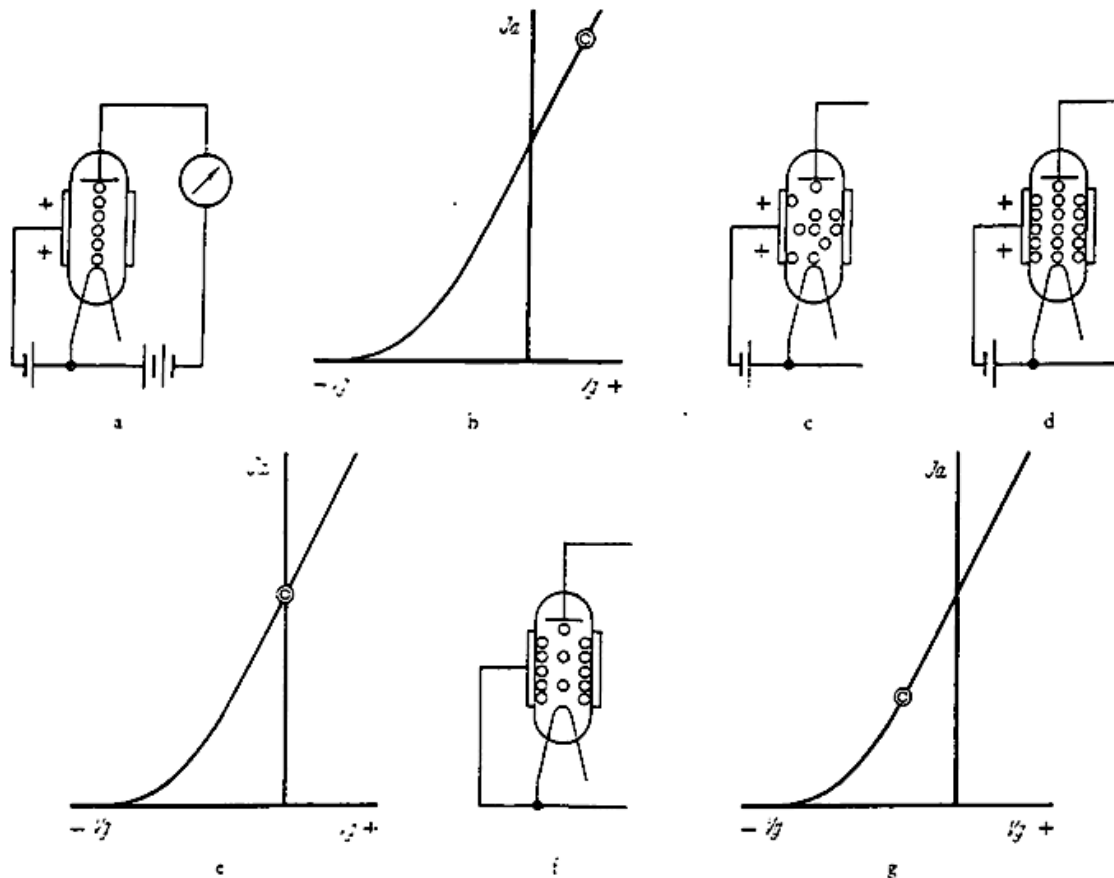


Bild 39a - g. Wirkungsweise der Außensteuerröhre bei angelegter Gittergleichspannung.

Zum Verständnis der Röhre und speziell deren Effekte sind noch einige Ausführungen notwendig: Unsere damaligen Auffassungen von der Funktionsweise der Röhre wiederzugeben, ist nicht möglich, weil das zu weit führen würde. Abgesehen aber von der uns noch mehr oder weniger unbekanntem Einwirkung des Gasrestes trafen wir wohl das Richtige. Unsere damalige Vorstellung, die ihre Bestätigung durch die späteren Untersuchungen erfahren hat, besagt über die Funktion der Röhre folgendes: Legt man an das Außengitter der Röhre eine positive Spannung, so wird sich diese zunächst so auswirken wie ein positives Gitter einer Innensteuerröhre mit einem sehr hohen Ableitwiderstand; die positive Spannung wird auf der Innenfläche des Glases durch negative Elektronen so kompensiert, daß nach dem Entladungsraum zu die Spannung des Gitters auf Null absinkt. Bild 39a stellt den Zustand dar, bevor Elektronen auf die Innenwand auftreffen, Bild 39b die dazugehörige Anodenstromkurve mit dem augenblicklich erreichten Anodenstromwert, Bild 39c den in unmeßbar kleinen Zeiten erfolgten Vorgang, mittels dessen die positive Spannung durch den Zufluß von Elektronen kompensiert wird, Bild 39d den Zustand der Röhre nach erfolgter Kompensation und Bild 39e den dann erreichten neuen Punkt der Anodenstromkurve der Röhre. Zustand 39d/39e

unterscheidet sich nicht von dem Zustand der Röhre, bei der anfänglich die Gitterspannung Null herrschte, d. h. es fließt nach wie vor der Ruhestrom der Röhre. Geht man nunmehr dazu über, den Zustand 39e dadurch zu verändern, daß man die positive Spannung des Gitters beseitigt, so bleibt auf der Glaswand der Röhre eine negative Spannung sitzen, deren Feldwirkung der ursprünglich außen angelegten Spannung nur mit umgekehrtem Vorzeichen äquivalent ist. Hätte man statt einer

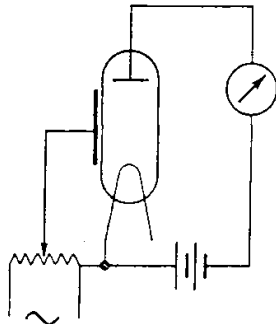


Bild 40a. Schaltung zur Aufnahme der Charakteristik mittels Wechselspannung.

positiven Spannung eine gleiche negative Spannung angelegt, so würde man im Zustand einer völlig evakuierten Röhre schon damals die gleiche Wirkung erzielt haben, wie sie durch den Zustand 39f/39g, d. h. mit einer innen angelagerten negativen Ladung erreicht wurde. Unsere zuerst hergestellten Röhren waren aber vakuummäßig nicht so gut, daß die negative Außenspannung nicht durch die Ionen der Restgase hätte ausgeglichen werden können. Infolgedessen bekamen wir höchst unzuverlässige Werte für die Wirkung der außen angelegten negativen Spannung und konnten infolgedessen die Röhre mit Gleichspannung statisch im negativen Bereich nicht richtig durchmessen. Auch bei den besten Meßtechniken, wie wir sie heute anwenden, ist die statische Messung mittels außen angelegter negativer Spannung zumindest bei frischen Röhren nur schwer möglich, ein Umstand, dessen Ursache uns seinerzeit aber nicht geläufig war. Wir halfen uns deswegen zunächst damit, daß wir die Charakteristiken der Röhre wechselstrommäßig ermittelten und erhielten dann notwendigerweise Charakteristiken, wie man sie bei normalen Innensteuerröhren mit blockiertem

Gitter bzw. Anlegen hoher Gitterwiderstände erzielen kann. Die Entstehung einer solchen Charakteristik ist in Bild 40 klargelegt.

Aus dem vorher Gesagten ist verständlich, daß die erste positive Halbwelle der Gitterwechselspannung auf den durch das Gleichstrom-Instrument angezeigten Anodenstrom keinen Einfluß hat, aber im Augenblick des Durchganges durch Null sich sofort eine negative Vorspannung an der Innen-

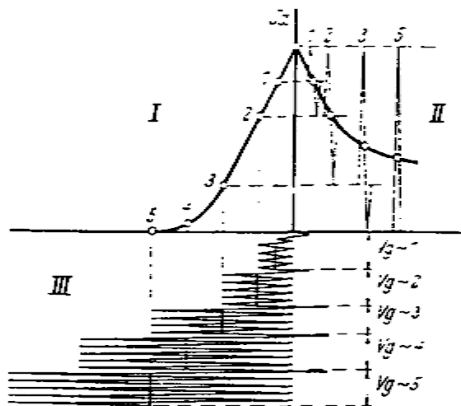


Bild 40b. Entstehung der Charakteristik bei Aufnahme mittels Wechselspannung.
I = Wirkliche Kennlinie,
II = Variable Gitterwechselspannung,
III = Gemessene Kennlinie.

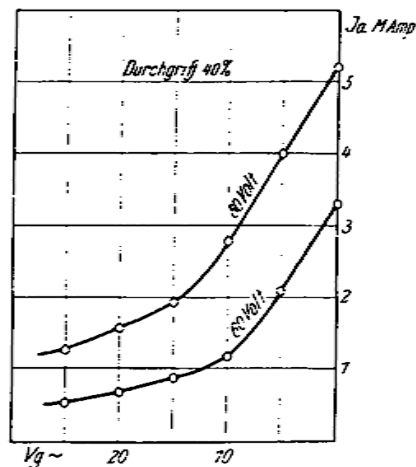


Bild 41. Mittels Wechselspannung aufgenommene Charakteristik.

fläche der Glaswand von der Größe der eben vorhanden gewesen positiven Halbwelle ausbildet, wodurch jetzt der Mittelwert des Anodenstromes auf den Arbeitspunkt 1 erniedrigt wird. Sobald jetzt eine größere positive Halbwelle als die vorausgegangene auf das Gitter gegeben wird, so wird sich sinngemäß sofort eine entsprechend größere negative Vorspannung ausbilden, sodaß der Mittelwert des Anodenstromes weiter auf die Arbeitspunkte 2, 3 usw. erniedrigt wird. Da nun aber das Gleichstrominstrument nur diesen Mittelwert der Stromänderung wiedergibt, so wird die angezeigte

Anodenstromänderung nur so lange der wahren Charakteristik entsprechen, als sich die Gitterwechselspannung auf dem linearen Teil der wahren Charakteristik bewegt. Arbeitet die Gitterwechselspannung in die Krümmung, so erfolgt eine immer größer werdende Gleichrichtung, sodaß das Anodenstrom-instrument jetzt nicht mehr die wahren Werte anzeigen kann. Die in dieser Weise aufgenommene Charakteristik muß infolgedessen vom Augenblick einer Gleichrichtung an von der wahren Charakteristik mehr und mehr abweichen, wie aus dem Bild 40 b ersichtlich ist. Charakteristiken zweier Röhren aus dem Jahre 1928, die mittels dieser Wechselspannungsmessung aufgenommen worden sind, werden in Bild 41 und 42 wiedergegeben.

Mit diesen Messungen gelang es uns aber immerhin, den Durchgriff der Rohre zu bestimmen und daraufhin die richtige Dimensionierung der Röhre vorzunehmen. Anstelle der Charakteristikmessungen mit Wechselstrom traten auch sehr bald reine Verstärkungsmessungen mit Widerständen von 1 Megohm im Anodenkreis, da diese Meßmethode genauere Meßresultate und vor allem das wirklich Wissenswerte wiedergibt. Diese Messungen wurden auch in Abhängigkeit von der Lebensdauer gemacht und ergaben, wie das Bild 43 zeigt, folgendes Ergebnis: Während eine relativ frische Röhre, Kurve a, zunächst noch nicht linear verläuft, sondern im Anfang eine Krümmung aufweist, ergaben ältere Röhren durchweg fast völlig lineare Verstärkung. Die Erklärung, daß dies mit der Gasreinheit der Röhre zusammenhänge, lag auf der Hand, fand aber seinerzeit nicht die genügende und konsequente Beachtung.

Vielmehr trat damals in den Vordergrund des Interesses der bereits erwähnte Sperrereffekt, der uns erhebliche Schwierigkeiten bereitete. Wir beobachteten nämlich nach einiger Zeit des Experimentierens, daß Schaltungsstöße, die in der Umgebung der Röhre ausgelöst wurden, die Röhre lange Zeit erheblich sperrten, der Anodenstrom auf Null abfiel und

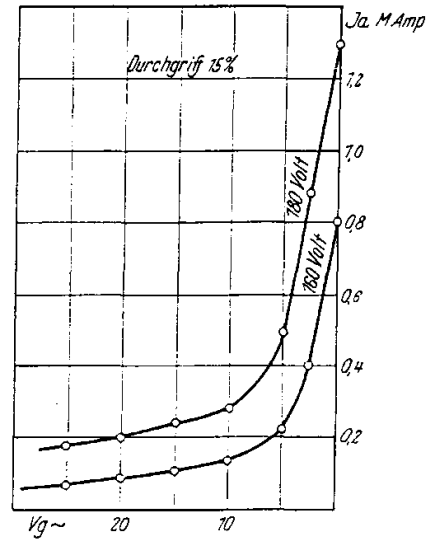


Bild 42. Mittels Wechselspannung aufgenommene Charakteristik.

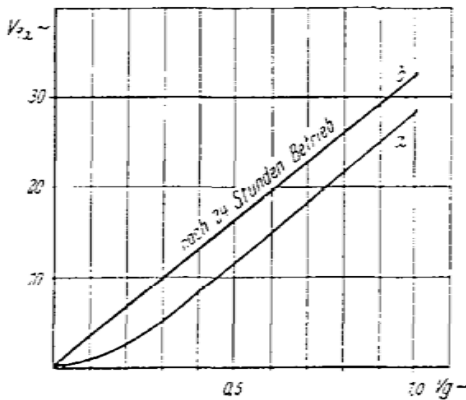


Bild 43. Verstärkungskurven einer Außensteuerröhre in frischem Zustande und nach 24 Stunden Betrieb.

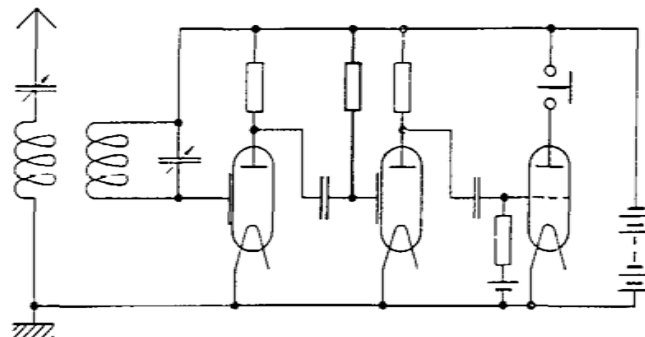


Bild 44. Empfängerschaltung mit Beseitigung des Sperrereffektes.

somit die Röhre arbeitsunfähig wurde. Dieser Effekt ist leicht zu erklären. Geht man von der im Vorhergehenden geschilderten Einwirkung positiver und negativer Spannung bzw. Wechselspannung aus, so ergibt sich, wie Bild 40 zeigte,

daß die jeweils größte Wechselstromamplitude gleichzeitig die negative Vorspannung der Röhre darstellt. Wird nun aus irgendeinem Grunde, z. B. Auftreten einer Störung, diese Amplitude sehr groß, so verschiebt sich der Arbeitspunkt der Röhre so weit in das negative Gitterspannungsgebiet, daß der Anodenstrom Null wird, eine Kompensation durch Gasionen daher nicht mehr erfolgen kann, und da die Glasleitfähigkeit des seinerzeit von uns gewählten Glases sehr gering war, so brauchte die Röhre eine sehr erhebliche Zeit, bis die negative Ladung im Inneren der Röhre abgeleitet war. Daß Weagant schon

mit denselben Erscheinungen zu kämpfen hatte, zeigen einige seiner Patente, in denen er Mittel angibt, um die Entladung der Glaswand zu beschleunigen, die darin bestehen, daß er eine auf Kathodenpotential liegende Elektrode an der Glaswand anliegen läßt, welche die negative Vorspannung ableiten soll. In einem anderen Patent wird als Sperrbeseitigungsmittel ein metallischer Belag auf der inneren Glaswand angegeben, der mit der Kathode in Verbindung steht und die Ableitung der Elektronenladung übernehmen soll. Es ist wohl selbstverständlich, daß wir diese und viele ähnliche Versuche machten, dieser unangenehmen Eigenschaft der Außensteuerröhren Herr zu werden. Im Verlaufe dieser Versuche kamen wir zu dem eigentlich naheliegenden Gedanken, eine Glassorte zu suchen, die ebenso gut verarbeitbar war wie das bis dahin verwendete Glas, aber eine sehr viel größere Leitfähigkeit besitzt.

Es ginge zu weit, von den vielen Versuchen zu berichten, die noch neben der Wahl einer geeigneten Glassorte einherliefen. Sowohl schaltungstechnisch als auch mit anderen physikalischen Mitteln versuchten wir, des Sperreffektes Herr zu werden. Es seien hier nur zwei Mittel erwähnt, die für den damaligen Entwicklungszustand bezeichnender sind als vieles andere.

Das erste bestand darin, eine photoelektrische Entladung der Glaswand herbeizuführen. Wir hatten nämlich beobachtet, daß die Sperreffekte bei guter Beleuchtung der Röhre durch helles Tageslicht oder

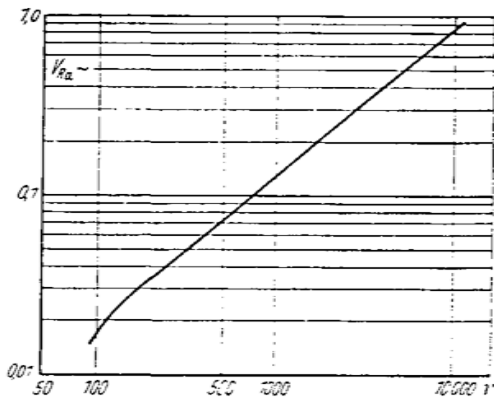


Bild 45. Anodenwechsellspannung in Abhängigkeit von der Frequenz, bezogen auf eine Eingangswchsellspannung von 1 Volt.

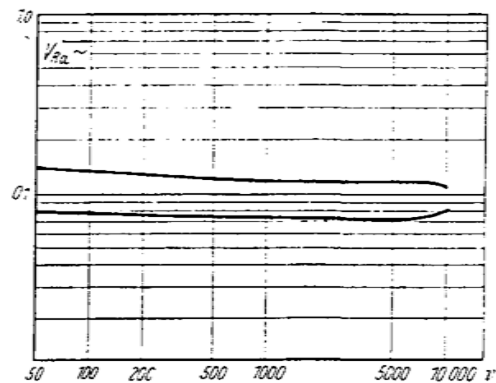


Bild 46. Niederfrequente Anodenwechsellspannung bei 80 % modulierter Hochfrequenzeingangsspannung von 1,165 Volt in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz.

elektrisches Licht sehr viel geringer waren und wußten aus Versuchen, daß wir durch Überheizung des Oxydfadens einen photoaktiven Niederschlag an der Glaswand erreichen konnten, dessen Wirkung darin bestand, daß durch die Photoaktivierung der Glaswand die Entladung der Innenfläche bedeutend schneller vor sich ging. Die natürliche Folge war der Versuch, die Innenwand stärker zu photoaktivieren und außerdem die Temperatur des Fadens zu steigern, was aber doch nicht in dem Maße geschehen konnte, wie es für das teilweise Auftreten sehr erheblicher Sperrspannungen nötig gewesen wäre. Das zweite Mittel war die Entwicklung einer Schaltung, die darin bestand, daß wir zwischen die erste und zweite Röhre eines Widerstandsverstärkers, wie ihn Bild 44 zeigt und wie er im Prinzip noch heute gebaut wird, einen Kondensator schalteten und das Gitter der zweiten Röhre auf ein hohes, aber konstantes Potential brachten. Dieses Mittel hatte bei den seinerzeit von uns verwendeten, sehr stark isolierenden Gläsern immer noch nicht den genügenden Erfolg, obgleich die Sperrzeiten dadurch um eine Größenordnung reduziert werden konnten. In Betracht kam dabei noch, daß die sehr einfache Schaltung des Verstärkers wieder auf die normale Schaltung zurückgeführt wurde, sodaß schaltungsmäßig nichts gespart wurde. Erwähnt sei hier noch, daß man auch durch besonders gute Isolation des Außengitters und damit bedingte Festhaltung der äußeren positiven Spannung eine Wirkung gegen das Sperren erzielen kann, doch wollen wir darauf nicht weiter eingehen. Die Episode des Sperrens war durch die Wahl eines besser leitenden Glases abgeschlossen. Damit war zugleich die Realisierung eines Widerstandsverstärkers, bestehend aus einer Empfangs-, einer Widerstandsverstärker- und einer normalen

Endröhre ermöglicht. Empfänger dieser Art mit Batteriebetrieb arbeiteten sehr zufriedenstellend und kamen leistungsmäßig den damals handelsüblichen Widerstandsverstärkern durchaus gleich.

Die Aufgabe ging aber jetzt dahin, die Röhre für Wechselstromnetzbetrieb geeignet zu machen. Dabei stellte sich die Schwierigkeit heraus, daß trotz der gewählten geringen Heizspannung von nur 1 V für die erste Röhre der Netzbrummtön des Verstärkers viel zu laut war und außerdem eine multiplikative Vermischung des Hochfrequenzempfanges und der 50 Perioden eintrat, die durch das bekannte „Modulieren“ des Empfanges, d. h. einer Rauigkeit der Übertragung von Sprache und durch ein Gurren bei musikalischen Darbietungen störte. Aber die Erscheinungen wurden nicht so klar beobachtet, wie sie hier geschildert sind. Wir hatten bei unseren ersten Wechselstromröhren durchaus brauchbare und gute Ergebnisse, die jedoch bei längerem ununterbrochenen Betriebe sich mehr und mehr verschlechterten. Bei der Messung größerer Stückzahlen oder im Laufe der Behandlung der einzelnen Röhren, ja selbst während des Betriebes eines Empfängers trat immer wieder die gefürchtete Wiedergabe des Brummens und Modulierens auf, wobei sich gleichzeitig die Qualität der Empfangswiedergabe sehr stark veränderte,

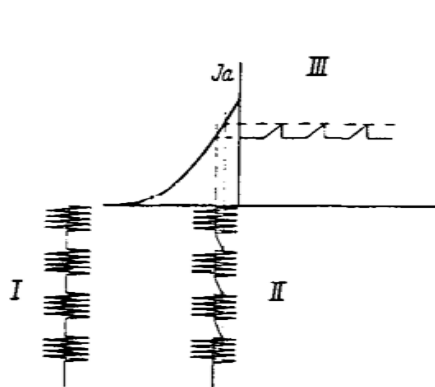


Bild 47 a. Anodenstrom-Änderung bei verschiedener Modulationsfrequenz.

- I = Eingangsfeldstärke: Hochfrequenz mit hoher Tonfrequenz moduliert.
- II = Gitterwechselspannung und sich dadurch ausbildende Wandspannung,
- III = Gesteuerter Anodenstrom.

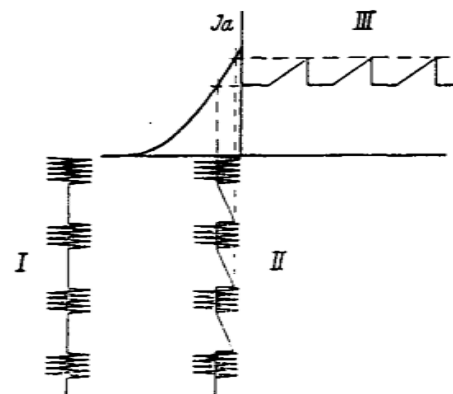


Bild 47 b. Anodenstrom-Änderung bei verschiedener Modulationsfrequenz.

- I = Eingangsfeldstärke: Hochfrequenz mit tiefer Tonfrequenz moduliert,
- II = Gitterwechselspannung und sich dadurch ausbildende Wandspannung,
- III = Gesteuerter Anodenstrom.

ohne daß dafür zunächst die geringste Erklärung gefunden werden konnte. Frische Röhren waren meist sehr gut. Hätten wir damals nicht den Fehler gemacht, in Unkenntnis der Situation die Aufgaben der ersten und zweiten Stufe durch eine einzige Röhrentype lösen zu wollen, hätten wir uns wahrscheinlich erhebliche Arbeit erspart. So kamen wir erst im Laufe einer längeren Versuchsreihe zu dem richtigen Resultat: die Güte der Röhre bei Verwendung als Gleichrichter in der ersten Stufe war nur dem Umstand zu verdanken, daß wir stellenweise sehr schlechte, gashaltige Röhren hatten. Diese zeigen nämlich weder Brummen noch Modulation.

Der nächste Schritt war nunmehr eine genaue Untersuchung des Gaseffektes, und zwar teilten sich die Versuche in Füllung der Röhre mit gesättigtem Quecksilberdampf und Füllung mit Argon von bestimmtem Druck. In der Entwicklung waren wohl beide Füllungen gleich; wir haben dann später aus gewissen Gründen die Quecksilberdampffüllung vorgezogen.

Wie wirkt nun die Gasfüllung auf die Funktion der Röhre? Um dieses verstehen zu können, wollen wir noch einmal das eingangs erwähnte statische Experiment vornehmen. Bei außen angelegter positiver Spannung bilden sich fast momentan an der Innenwand negative Ladungen aus, die von den aus dem Faden herkommenden Elektronen herrühren. Sind nun in dem Gefäß positive Ionen vorhanden, so werden diese positiven Ionen die Wirkung eines Ableitwiderstandes nach der Anode zu darstellen und die negative Elektronenladung etwas vermindern, sodaß die Elektronenladung in ihrer Wirkung etwas kleiner ist als die außen angelegte positive Spannung. Diese Wirkung ist jedoch

unerheblich und spielt für das Folgende keine Rolle, sodaß wir annehmen können, daß bei Gasfüllung sich die Röhre bei außen angelegter positiver Spannung genau so wie eine Hochvakuumröhre verhält. Erdet man jetzt aber den Außenbelag, so tritt eine Kompensation der negativen Elektronenladung durch die Ionen ein, weil eine Nachlieferung von Elektronen nicht mehr erfolgt. Zur völligen Kompensation ist jedoch infolge der Trägheit der Ionen eine gewisse Zeit erforderlich und zwar um so mehr Zeit, je schwerer die Ionen sind.

Das ganz andersartige Verhalten einer Röhre mit Gasfüllung gegenüber einer Hochvakuumröhre macht sich aber erst dann bemerkbar, wenn man an die Außenelektrode eine negative Spannung anlegt. Diese negative Außenspannung hat zur Folge, daß jetzt positive Ionen auf die Glaswand zu eilen und die außen angelegte Spannung völlig kompensieren, eine Beeinflussung des Anodenstromes also auch nicht erfolgen kann. Leitet man jetzt die Aufladung der Außenelektrode ab, so wird die durch die Ionen gebildete positive Ionenladung sehr schnell durch hinzufließende Elektronen kompensiert. Macht man nun den Versuch mehrere Male schnell hintereinander, was also auf das gleiche hinaus käme, wie das Anlegen eines Wechselfeldes an den äußeren Belag, so wird man bei verhältnismäßig langsamen Frequenzen im Inneren der Röhre überhaupt keine Wirkung erzielen, erst bei höheren Frequenzen tritt dann infolge der großen Trägheit der positiven Ionen allmählich eine Anodenstromänderung ein, die, wenn man die Frequenz immer weiter steigert, schließlich infolge der großen Trägheit der Ionen so wirkt, als ob gar keine Ionen vorhanden sind. Diese können eben den schnellen Vorgängen nicht mehr folgen. Damit ist aber



Bild 48. Arcotron 301/201.



Bild 49. Telefunken 12.

die merkwürdige Wirkung der Röhre gekennzeichnet, nämlich, daß sie höhere Frequenzen verstärkt, niedere Frequenzen aber vollkommen unterdrückt, und zwar gibt eine gemessene Kurve Bild 45 über das Unterscheidungsvermögen der Röhre für Frequenzen einen zahlenmäßigen Aufschluß, wonach die Röhre bei 10000 Perioden noch eine Verstärkung von 1, bei 1000 Perioden nur noch eine Verstärkung von 0,2 und 100 Perioden nur noch eine Verstärkung von 0,02 hat. Damit wäre aber noch nicht die Brummfreiheit der Röhre gewährleistet. Bevor wir aber darauf näher eingehen, soll noch die Wirkungsweise der Röhre bei der Gleichrichtung besprochen werden. Um das Resultat vorwegzunehmen, das zunächst nach dem vorher Gesagten paradox klingen mag: je nieder-tonfrequenter ein Hochfrequenzvorgang moduliert ist, um so besser ist die Gleichrichter- und Verstärkerwirkung der Röhre. Die Röhre bevorzugt bei der Wiedergabe musikmodulierter Hochfrequenzen die tiefen Töne. Allerdings ist diese Wirkung praktisch nicht sehr erheblich, wie aus der Kurve des Bildes 46 hervorgeht, wo nur für die tiefsten Frequenzen ein Anstieg in der

Gleichrichterwirkung erkennbar ist. Woher kommt diese Wirkung? In Bild 47 sind zwei nieder-

frequent modulierte Hochfrequenz-Wellenzüge dargestellt, die als Gitterspannung auf eine quecksilberhaltige Röhre gegeben werden, wobei sich die Figuren a und b, die eine 100% ige rechteckige Modulationskurve darstellen, nur durch die Frequenz der Modulation unterscheiden. Aus dem Bild ist zu ersehen, daß der Wellenzug a durch eine höhere Tonfrequenz als der Wellenzug b moduliert ist, was aber einen zeitlichen Unterschied zwischen Maximum und Minimum der Hochfrequenz-Amplitude zwischen beiden Wellenzügen bedingt. Durch die Trägheit der Ionen wird infolgedessen auch eine etwas geringere Kompensation der Wandladung beim Wellenzug a als beim Wellenzug b stattfinden, die wiederum eine etwas geringere Anodenstromänderung bewirkt. Die Wirkung ist also ähnlich wie bei einem normalen Audion, das ja auch die tiefen Tonlagen etwas bevorzugt.

All diese Vorgänge würden ebensogut realisiert werden in einer gasgefüllten Röhre, die ein blockiertes Gitter hätte, oder einer gasgefüllten Außensteuerröhre, deren Innenwand metallisiert wäre. Damit aber ließe sich eine Brummfreiheit nicht erzielen, denn, da der Faden selbst über seine Länge eine verschiedene Potentialverteilung hat, — erdet man ihn in der Mitte z. B., so hat er an den Enden während einer Periode alle Werte zwischen $\pm 0,5 \times \sqrt{2}$ V durchzumachen—, so hätte die Innenwand im Falle einer metallischen Belegung dem Faden gegenüber ein konstantes Potential, das durch keine Ausgleichsvorgänge infolge wechselnder Elektronen- und Ionenauf-ladungen die Wirkung dem Faden gegenüber kompensieren könnte.

Besteht aber das Gitter aus lauter voneinander isolierten Oberflächenelementen, von denen jedes

einem Stück Faden mit irgendeinem Potential gegenübersteht, so kann man diese Oberflächenelemente alle als selbständige Röhren betrachten, deren Gitter untereinander durch hohe Widerstände verbunden sind, sämtlich aber an einer mehr oder weniger großen Wechselspannung liegen. Für jedes einzelne der Gitter, also für jedes vom anderen getrennte Oberflächenelement tritt nun die Kompensation durch die Ionen ein und verhindert die Verstärkung des Niederfrequenz-, also des 50-Periodenvorganges, der durch die direkte Heizung mit Wechselstrom bedingt ist. Da Außensteuerröhren mit einer gut isolierten Innenwand-flache nun eine derartige Steuerelektrode besitzen, so läßt sich die Brummbeseitigung durch positive Ionenkompensation erzielen.

Dieser Erkenntnis mußte natürlich die Realisierung folgen. Daß es auch dabei nicht ohne Schwierigkeiten abging, und daß wir auch immer wieder von Effekten gestört wurden, deren Ursache nicht immer klar zutage lag, war ja zunächst selbstverständlich. Sie hier anzuführen, scheint nicht zweckmäßig. Wir zeigen noch das Bild der Röhre und des dazugehörigen Apparates, wie sie jetzt von Telefunken auf den Markt gebracht werden und die Verwirklichung eines Gedankens darstellen, der seit zwei Jahrzehnten von verschiedenen Seiten verfolgt wurde.

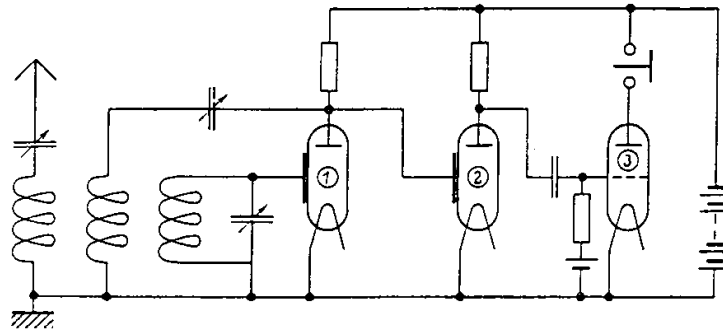


Bild 50. Prinzipielle Schaltung des Telefunken-Empfängers T 12 mit Außensteuerröhren.

1. Arcotron 301, 2. Arcotron 201, 3. RE 134.