

100 Jahre Rückkopplung und Röhren-Oszillatoren

Autor:
Prof. Dr. Berthold Bosch
Bochum
Tel. 0234 791481

Während der Jahre 1911 bis 1914 wurden die grundlegenden Konzepte der (positiven) Rückkopplung in Röhrenschaltungen erarbeitet und patentiert, die dann in Funk- und Radiotechnik eine wichtige Rolle spielten. In diesem Beitrag geht es vor allem um die zum Teil verwickelten Vorgänge in jenen Anfangsjahren.

Beim Mechanismus der Rückkopplung wirkt ein Teil der Ausgangsgröße eines verstärkenden Systems auf dessen Eingang zurück. Je nach Art und Richtung (Phasenlage) des zurückgeführten Signals kann eine Selbstverstärkung (positive Rückkopplung, Mitkopplung) oder eine Selbstschwächung (negative Rückkopplung, Gegenkopplung) auftreten. Im Folgenden handelt es sich immer um Mitkopplung, wenn lediglich von „Rückkopplung“ die Rede ist. Liegt ein schwingungsfähiges Gebilde vor und ist eine konstante Energiequelle vorhanden, kann es auf Grund der Rückkopplung zur Erzeugung ungedämpfter Schwingungen kommen. Beispiele aus der Mechanik sind die Orgelpfeife und die Pendeluhr, aus der Elektrotechnik die selbsterregte Gleichstrommaschine und der Wagnersche Hammer.

Telegrafie-Überlagerer gesucht

1910/11 wurde die Verwendung ungedämpfter Schwingungen in der Funktechnik zur Überbrückung größerer Entfernungen verstärkt diskutiert. Im Überseeverkehr waren die Sendefrequenzen inzwischen auf 25 bis 60 kHz – später bis 15 kHz – gesunken, vor allem, weil die Absorption der Wellen an der Erdoberfläche mit der Frequenz abnimmt. So konnte man an den Einsatz leistungsstarker Hochfrequenz-Maschinensender denken. Gegenüber Löschfunkensendern ließen sich mit ihnen höhere Leistungen erzeugen. Bereits bei gleicher Antennenleistung ergaben sich mit ungedämpften Schwingungen größere Reichweiten bei störungsfreierem Empfang. Um den üblichen Hörempfang zu ermöglichen, verwendete man auf der Empfängerseite zunächst schnelle periodische Unterbrecher wie Ticker und Schleifer. Als vorteilhafter erwies sich der Überlagerungsempfang (Heterodyn-, Interferenze mpfang). Er erforderte am Empfangsort allerdings einen Hilfsoszillator, dessen Schwingungen gegenüber dem Antennen-Empfangssignal um etwa 1.000 Hz versetzt waren.



Bild 1: ALEXANDER MEISSNER (1883-1958)

Im Empfänger entstand durch Überlagerung von Antennen- und Lokalsignal dann eine Schwebung im Hörbereich (z. B. 1.000 Hz), deren Amplitude der Stärke des empfangenen als auch der des Lokalsignals proportional war. So ließ sich bei schwachen Empfangssignalen allein durch Vergrößern des Lokalsignals eine „Verstärkung“ des Kopfhörersignals um das 10- bis 20-fache gegenüber dem Tickerempfang erreichen. Aufwändig war auf der Empfangsseite die anfängliche Verwendung von Maschinen- oder Lichtbogengeneratoren als Überlagerer. Versuche, einfachere rückgekoppelte Schwingungserzeuger mittels spezieller Gasentladungsröhren, Summerschaltungen oder Telefon-Relais zu realisieren, waren wenig erfolgreich [1] [2].

Der berühmte Meißner-Oszillator

Anfang 1911 konnte der Österreicher ROBERT VON LIEBEN mit seiner verbesserten, nun gashaltigen Röhrentriode („LRS-Relais“) Niederfrequenz-Verstärkung reproduzierbar demonstrieren. Fachleuten war bereits bekannt, dass jeder Verstärker die Tendenz hat, durch gewollte oder ungewollte Rückkopplung in Schwingungen zu geraten [3]. Die Realisierung eines selbsterregten Röhrenoszillators konnte somit nicht mehr lange dauern. Auf dem Weg vom Röhrenverstärker zum Oszillator musste – in „Patent-Deutsch“ ausgedrückt – nur eine mäßige „Erfindungshöhe“ überwunden werden. Dieses dürfte auch ALEXANDER MEISSNER gewusst haben. MEISSNER, ein 1883 in Wien geborener Ingenieur und Physiker (Bild 1), war seit 1908 in der Telefunken GmbH mit grundlegenden Arbeiten beschäftigt. Er erkannte bald die Bedeutung der als Telefon-Verstärker gedachten Lieben-Röhre für die Funktechnik. Neben der Verwendung der Röhre als Hoch- und Niederfrequenz-Verstärker, vor bzw. hinter dem Empfangsdetektor, betraf dies – so die Hoffnung – auch den gesuchten Überlagerungsozillator.

Im Februar 1912 schloss ein Firmen-Konsortium – vor-

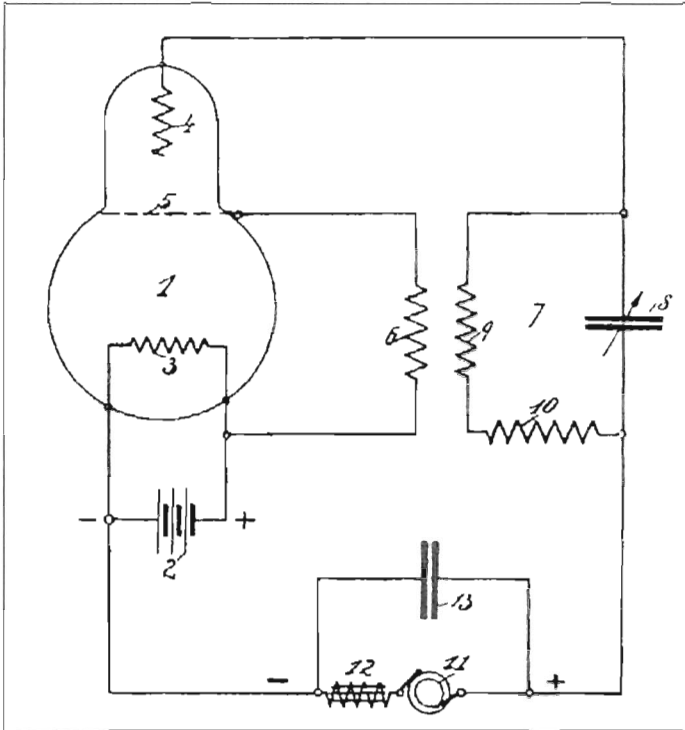


Bild 2: Oszillatorschaltung nach A. MEISSNER, 1913.

nehmlich aus AEG, Siemens und Telefunken bestehend – mit ROBERT VON LIEBEN einen Vertrag über die Nutzung von dessen Röhren-Patenten. Als Vertragspartner der deutschen Firmen fungierte die Relais-Gesellschaft m.b.H., welche VON LIEBEN in Wien und seine Mitarbeiter SIEGMUND STRAUSS sowie EUGEN REISZ gegründet hatten. Deren Landsmann ALEXANDER MEISSNER konnte für Telefunken voll ans Werk gehen, als der Vertrag nach Ablauf einer neunmonatigen Optionszeit wirksam wurde. Der Nachweis von Verstärkung auch im HF-Bereich war bald erbracht, und Anfang 1913 gelang MEISSNER mit der Rückkopplung vom Anoden- auf den Gitterkreis die Realisierung eines HF-Oszillators. Am 10. April 1913 meldete Telefunken die Idee MEISSNERS für einen Oszillator zum Patent an (Bild 2). Im Hauptanspruch der Patentschrift ist die Rückkopplung nicht auf die induktive Art beschränkt. Das Patent wurde als DRP 291.604 erteilt und für die Firma zu einem ihrer wertvollsten Schutzrechte. Wie Telefunken Patent-Chef OTTO VON BRONK 1923 schrieb [4], sei MEISSNER der Erste gewesen, der die große Bedeutung der Rückkopplung bei Glühkathodenröhren erkannt habe. Sein Verfahren sei in „allen Kulturstaaten“ patentiert worden. MEISSNER baute umgehend einen ersten Überlagerungsozillator auf (Bild 3). Nach entsprechender Modifikation führte er mit einem Exemplar im Juni 1913 kurzzeitig Sprechverkehr zwischen dem Berliner Labor und dem 35 km entfernten Nauen durch.

Nach jahrelanger Fehde hatte Telefunken 1912 mit der britischen Marconi Co. ein Kooperationsabkommen geschlossen. Als der Marconi-Ingenieur C. S. FRANKLIN Anfang 1913 von einem Besuch in Berlin zurückkehrte, brachte er die Neuigkeit von Meissners HF-Oszillator mit. Das war für MARCONI in Chelmsford eine alarmierende Nachricht, denn man arbeitete selbst an diesem Thema. Immerhin meldete FRANKLIN am 12. Juni 1913 ein Patent (Brit. Pt. 13.636) zur kontrollierten Rückkopplung als Mittel zur Schwingkreis-

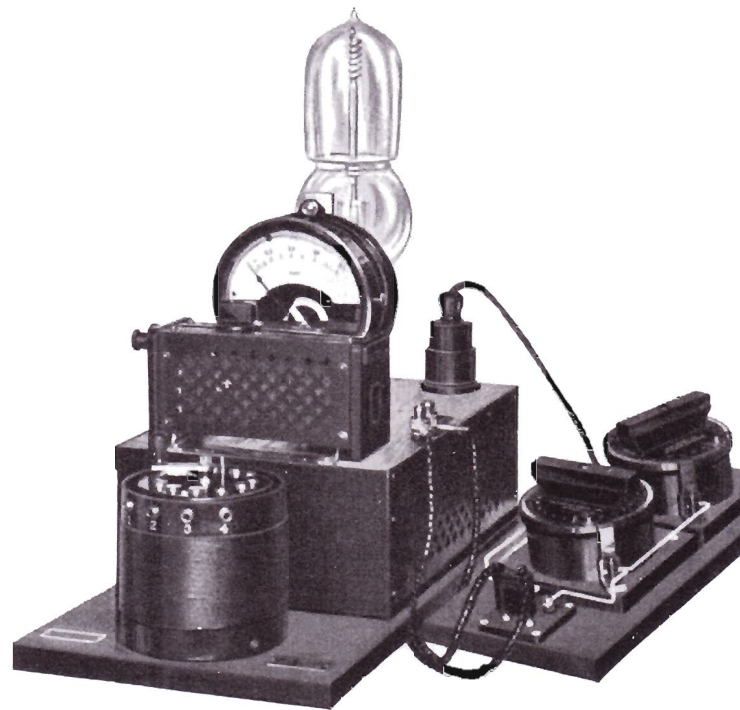


Bild 3: Überlagerungsozillator mit Lieben-Röhre, 1913.

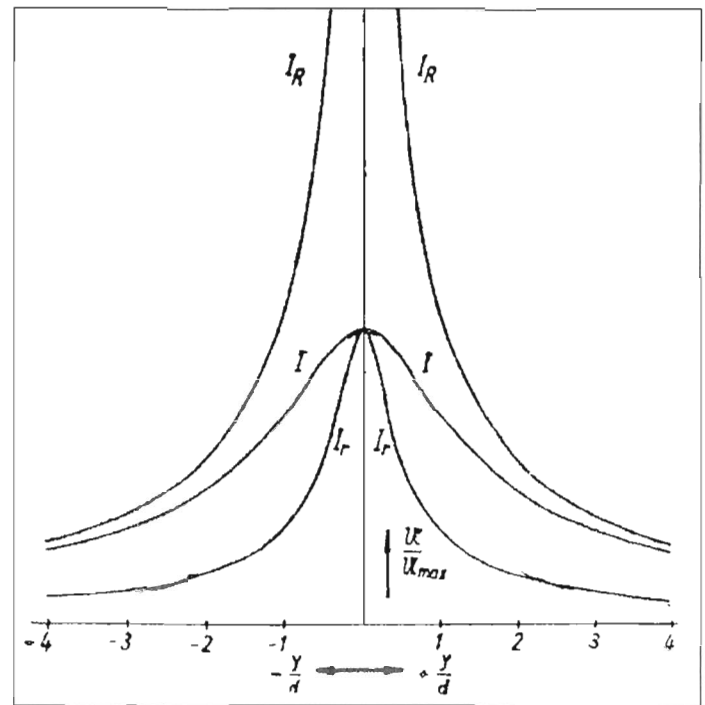


Bild 4: Resonanzkurven: I Schwingkreis ohne Rückkopplung; I_R mit Rückkopplung, I_r umgerechnet auf Höhe von I [Pitsch].

entdämpfung an, um die Trennschärfe sowie Empfindlichkeit eines Empfängers zu erhöhen (Bild 4). Und am 9. Dezember 1913 beantragte HENRY J. ROUND, der Chefingenieur der Marconi Co., den Schutz einer bemerkenswerten Schaltung für den Empfang ungedämpfter Schwingungen. Es handelte sich um eine Detektortriode, die durch Rückkopplung gleichzeitig als lokaler Oszillator beim Überlagerungsempfang wirkte (Bild 5). Dies wurde „Autodyn-Verfahren“ genannt (Brit. Pt. 28.413, DRP 359.839).

MEISSNERS Vorläufer

MEISSNER war nicht der Erste, der sich den rückgekoppelten Röhrenoszillator patentieren ließ. Bereits vier Monate früher, am 11. Dezember 1912, war ihm SIEGMUND STRAUSS von der Wiener Relais-Gesellschaft mit einer österreichischen Patentanmeldung zuvorgekommen (Österr. Patent 71.340). STRAUSS' Oszillatorschaltung mit induktiver Rückkopplung (Bild 6) ähnelt in verblüffender Weise der Meißner-Schaltung. Laut von BRONK [4] soll MEISSNER erst einige Jahre später von dem STRAUSS-

Patent erfahren haben. Es ist viel darüber gerätselt worden, warum STRAUSS seine Anmeldung nur in Österreich vornahm. Vielleicht wollte die Wiener Seite dem Berliner Käuferkonsortium der Röhrenrechte, die es für 100.000 Gold-Mark erworben hatte, nicht schon in der Luft liegende Anwendungspatente wegschnappen.

Aber auch der weitere Wiener Gesellschafter, EUGEN REISZ, meldete vor MEISSNER eine entsprechende Rückkopplungsschaltung zum Patent an. REISZ war im Februar 1912 in die Dienste der AEG getreten, um im Berliner Kabelwerk Oberspree als Leiter des Relais-Laboratoriums die Vervollkommnung der LRS-Röhre voranzutreiben. Ihm war sicherlich bekannt, dass MEISSNER Anfang des Jahres 1913 im etwa zehn Kilometer entfernten Labor der Tochterfirma Telefunken an der Realisierung eines Oszillators mit Rückkopplung arbeitete. Am 9. April 1913, einen Tag vor MEISSNERS Anmeldung, reichte REISZ einen Antrag auf Erteilung eines Schutzrechtes für einen rückgekoppelten Röhrenverstärker zur Weiterleitung an das Patentamt der USA bei der U.S.-Botschaft in Berlin (oder derjenigen in Wien?) ein. Die Unterschrift von SIEGMUND STRAUSS als einem der beiden Zeugen für die tatsächliche Abfassung dieses Patentantrages durch REISZ findet man am Schluss des Antrags. Eine Anmeldung in Deutschland oder Österreich erfolgte nicht. Aus der einzigen dem Anmeldetext beigegebenen Abbildung (Bild 7) wurde vielfach geschlossen, es handle sich um eine Anwendung der Röhre lediglich im NF-/Telefon-Bereich. Diese Beschränkung geht aus den formulierten Ansprüchen nicht hervor; siehe auch TUCKER [5]. In der Patentschrift steht, dass die Signalquelle auch eine Antenne sein kann, weiterhin dass ungedämpfte Schwingungen auftreten können, wenn der Widerstand W in Bild 7 zu klein gewählt wird. Warum wie schon bei STRAUSS eine solch selektive Anmeldung, diesmal nur in den USA? War es STRAUSS und REISZ lediglich eine Genugtuung, nach ihrem Nachweis von Verstärkung nun – patentamtlich bestätigt – auch die wahren (Erst-)Erfinder der zweitwichtigsten Anwendung (Rückkopplung, Oszillator) ihres Sprösslings, des LRS-Relais, zu sein? REISZ wurde sein U.S.-Patent unter der Nr. 1.234.489 erteilt.

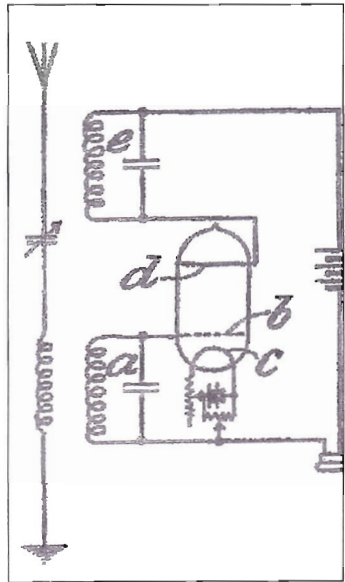


Bild 5: Selbstüberlagerer von H. ROUND, 1913.

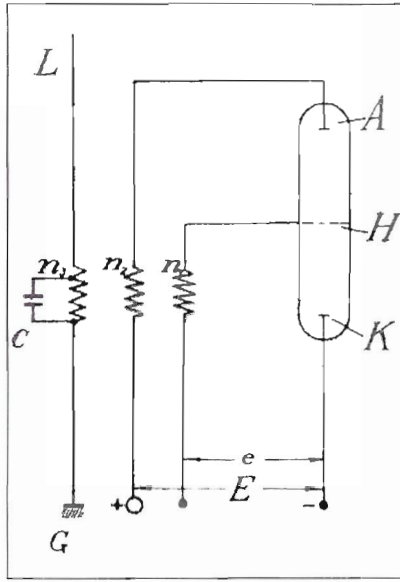


Bild 6: Oszillatorschaltung von S. STRAUSS, 1912.

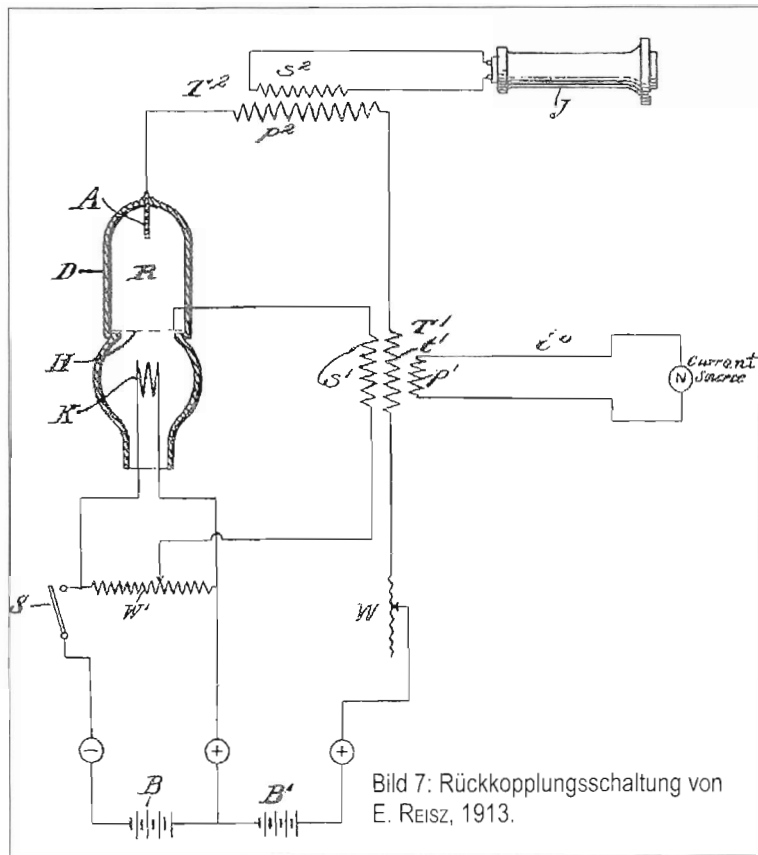


Bild 7: Rückkopplungsschaltung von E. REISZ, 1913.

Situation in den USA

Chronologisch ist zunächst FRITZ LOEWENSTEIN zu nennen (Bild 8), der vierte in diesem Beitrag vorkommende Österreicher. Nach einem Ingenieurstudium in Wien emigrierte dieser 1899 in die USA, wo er zunächst als Assistent von NIKOLA TESLA arbeitete (der selbst in Wien studiert hatte) und dann 1910 in Brooklyn eine eigene Firma gründete. Einer seiner Kunden waren die Hammond Labs., welche für die U.S. Navy die Möglichkeit zur Funksteuerung von Torpedos und Schiffen untersuchten. LOEWENSTEIN sollte hierfür geeignete Sender und Empfänger entwickeln. Er erinnerte sich der Audionröhre von DE FOREST und versuchte 1911, mit solchen Röhren NF- u. HF-Verstärkung zu erreichen. Beides gelang, als er das Vakuum der Röhren verbesserte und ihnen eine negative Gittervorspannung gab. Erfolgreich erprobte er seinen Röhrenverstärker im November 1911 zunächst als Telefonverstärker. Nun war es zur Realisierung auch von Oszillatoren nicht mehr weit. Für NF-Frequenzen gelang dies im Dezember 1911 und für „Hoch“-Frequenzen (15 bis 25 kHz) Anfang 1912. Wahrscheinlich

lag eine Rückkopplung über die Gitter-Anoden-Kapazität der Röhrentriode vor. Mit dem Oszillator als Sendegenerator führte LOEWENSTEIN drahtlose Sprachübertragung zwischen Stockwerken seines Gebäudes und zu einem etwas entfernten hohen Bürohaus durch [6]; vgl. [7]. Im April 1912 meldete er seinen Verstärker zum Patent an, das vom Patentamt praktisch bis auf die Verwendung der negativen Gittervorspannung zusammengestrichen wurde (U.S. Pt. 1.231.764). Den Oszillator ließ LOEWENSTEIN nicht schützen. Wahrscheinlich war ihm diese Anwendung zu selbstverständlich. Die American Telephone & Telegraph Company (AT&T) kaufte ihm 1918 das Patent für 150.000 \$ ab: „Bloß für das Einfügen einer kleinen, ewig haltenden Batterie vor dem Gitter“ [8].

Zu wenig Beachtung findet die 1912 erbrachte Leistung eines jungen U.S.-amerikanischen Physik-Dozenten namens ROBERT GODDARD. Für Untersuchungen an Kristalldektoren stellte er sich damals selbst eine elektrisch bzw. magnetisch gesteuerte Vakuumröhre mit zwei Anoden her, die in einer Gegentaktschaltung HF-Relaxationsschwingungen lieferte. Das Ausgangssignal lenkte über eine Steuerelektrode bzw. Spule rückkoppelnd die zwei Elektronenstrahlen entgegengesetzt ab. Er erhielt hierfür das am 1. Aug. 1912 beantragte U.S. Patent 1.159.209. Kommerziell blieb das Patent ungenutzt, denn GODDARD wandte sich 1913 voll seinem zweiten Interessengebiet, der Raketentechnik, zu. Dort war er so erfolgreich, dass heute das „Goddard Space Flight Center“ der USA seinen Namen trägt. Erst 1936, nach Ablauf des Patentschutzes, stellte die Collins Radio Co. einige Goddard-Röhren her, z. B. den Typ C-100A [9].

Besser bekannt geworden ist der 1890 geborene EDWIN HOWARD ARMSTRONG aus New York, der 1912 Elektrotechnik im Department von Professor PUPIN an der Columbia-Universität studierte. Als begeisterter Radioamateur besaß er eine De-Forest-Audionröhre, offenbar eines der besser funktionierenden Exemplare (Bild 9). Analytisch veranlagt, suchte er die Wirkungsweise dieser Röhre zu ergründen. Dem Erfinder DR. LEE DE FOREST war dies seit 1907 nicht gelungen. Als ARMSTRONG einige Messgeräte der Universität, darunter ein Oszilloskop, benutzen durfte, stellte er erstaunt fest, dass sich an der Röhrenanode neben den erwarteten NF- auch noch HF-Signale fanden. Er fügte Blindwiderstände (L , C) in den Anodenkreis ein, um zu sehen, was diese bewirkten. Ein im September 1912 eingeschaltetes Spulen-Variometer bewirkte Erstaunliches: Zuvor nie gehörte Telegrafie-Stationen aus Irland, Hawaii und aus Mittelamerika tönnten plötzlich laut aus dem Kopfhörer. Beim Abstimmen des Anodenkreises traten manchmal Pfeifsignale, auch ein Jaulen auf. ARMSTRONG interpretierte dies als Folge des Auftretens von Oszillationen in seiner Schaltung. Die Erklärung für die Ursache der erstmals beobachteten ungewöhnlichen Effekte war schwierig. Schließlich kam die Erleuchtung. Über die Gitter-Anoden-Kapazität fand eine Rückkopplung von der Anode auf den Gitterkreis statt. Um die Rückkopplung flexibler und zuverlässiger zu machen, ging ARMSTRONG zu einer induktiven Verkopplung der Kreise vor der Kathode (Heizfaden) über (Bild 10). Seine Professoren MORECROFT und ARENDT rieten ihm dringend, sich um einen Patentschutz zu kümmern. Dafür fehlten ARMSTRONG aber die nötigen 150 \$. Er ließ seine Schaltung am 31. Januar 1913 lediglich von einem

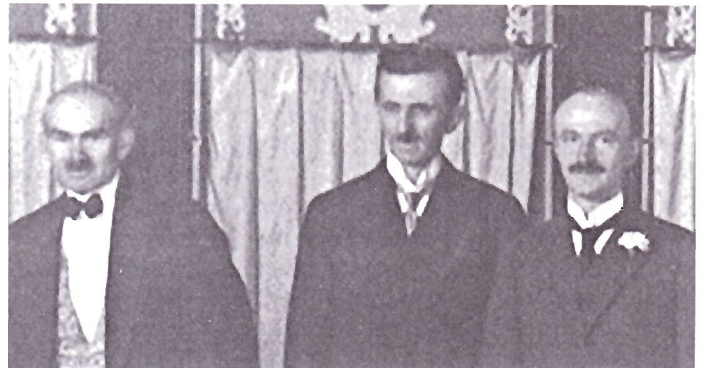


Bild 8: V.l.n.r.: LEE DE FOREST, NIKOLA TESLA UND FRITZ LOEWENSTEIN, etwa 1915 [NMAH].

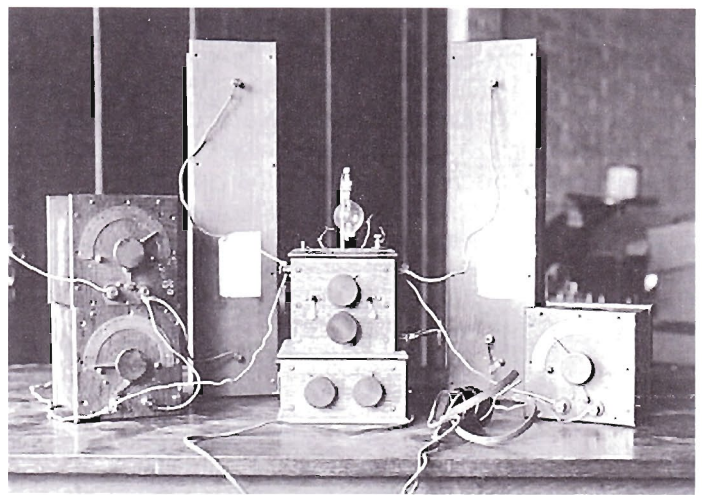


Bild 9: ARMSTRONGS Audion-Empfänger, 1912/13; De-Forest-Audionröhre in der Mitte [NMAH].

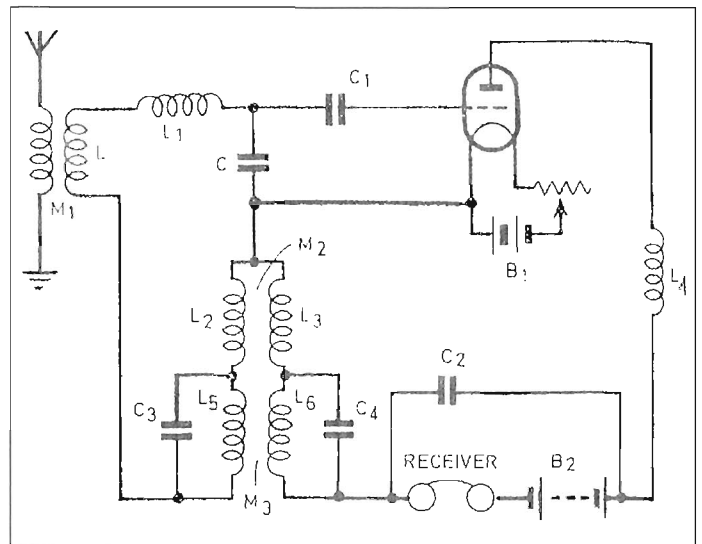


Bild 10: Audion-Empfänger mit kombinierter HF- und NF-Rückkopplung, nach ARMSTRONG 1914 [11] [5].

Notar für 25 Cents beglaubigen [10].

Inzwischen Assistent an seiner Universität, beantragte ARMSTRONG erst am 29. Okt. 1913 ein Patent für seinen Rückkopplungsempfänger. Es wurde am 6. Okt. 1914 erteilt (Nr. 1.113.149). Im Dezember 1914 und im September 1915 veröffentlichte er vielbeachtete Artikel, in denen er die Vorgänge beim Audion überzeugend erklärte [11]. Er

galt nun als versierter Fachmann (Bild 11). ARMSTRONG hatte im Oktober 1913 vergessen, ein Schutzrecht auch für den Oszillator, das „Schwingaudion“, zu beantragen. Als er dies am 18. Dez. 1913 nachzuholen versuchte, war es zu spät (jedoch als Brit. Pt. 24.231 erteilt). Am 29. Okt. 1913 hatte bereits der Physiker IRVING LANGMUIR von der amerikanischen General Electric Co. – in Göttingen bei NERNST promoviert und Nobelpreisträger von 1932 – um Rechtsschutz für ein „Schwingaudion“ nachgesucht. (An diesem Tag beantragte LANGMUIR zudem ein Patent für einen äußeren Audion-Gitterableitwiderstand bei Verwendung einer Hochvakuumtriode, für die er am 16. Okt. einen Patentantrag gestellt hatte: U.S. Pt. 1.558.436.). Für ARMSTRONG hatte die Ablehnung des Schwingaudions keine nachteiligen Folgen. Die Patentprüfer sahen das rein passiv betriebene Rückkopplungsaudion und das Schwingaudion nicht als getrennte Gegenstände.

Telefunken beantragte in den USA im März 1914 Patentschutz für den Meißner-Oszillator. Nach der „Pariser Unions-Übereinkunft“ von 1883 ff. kann eine Patentanmeldung in einem ausländischen Staat unter Inanspruchnahme des ursprünglichen Prioritätsdatums, bei MEISSNER der 10. April 1913, innerhalb eines Jahres (nach)angemeldet werden. Damit gab es Anfang 1914 in den USA drei konkurrierende Patentansprüche für HF-Oszillatoren mit rückgekoppelter Röhrentriode (MEISSNER, ARMSTRONG, LANGMUIR).

DE FOREST und der bizarre Rechtsstreit

LEE DE FOREST, der 1907 die gittergesteuerte Audion-Triode erfunden hatte, nahm zunehmend empört zur Kenntnis, was der „Grünschnabel“ ARMSTRONG mit dem Audion erreicht haben wollte. An der Röhrenanode gäbe es kein HF-Signal, war sein Diktum, und das mit der Rückkopplung sei Unsinn. Am 12. März 1914 beantragten er und sein Assistent C. LOGWOOD den Schutz einer Oszillatorschaltung („ultra-audion“), die keinen erkennbaren Rückkopplungszweig aufwies (U.S. Pt. 1.170.881 – Bild 12). Mit ihr hat er durchaus HF-Schwingungen erzeugen können, und er verkaufte einige dieser Apparaturen als „Autodyn-Detektoren“ an die Navy. Es war ARMSTRONG, der nachwies, dass auch beim Ultra-Audion eine Rückkopplungsschaltung vorliegt, wenn man die Röhrenkapazitäten berücksichtigt. Am 4. September 1915 reichte DE FOREST, der inzwischen das ARMSTRONG erteilte Patent studiert hatte, erneut eine Patentanmeldung ein. Deren Ansprüche beschrieben nun im wesentlichen das, was ARMSTRONG vorgebracht hatte, nämlich Schaltungen mit externem Rückkopplungszweig. DE FOREST benutzte andere Formulierungen (z. B. „kick-back“ statt „feed-back“) und arrangierte Schaltbilder anders. Der Patentprüfer wies diesen Antrag mit dem Hinweis auf ARMSTRONG prompt zurück. Dies brachte DE FOREST dazu, sich eine Spezialität des U.S.-Patentrechts zunutze zu machen. In den USA gilt bei konkurrierenden Patentanmeldungen derjenige als berechtigt, der die Erfindung glaubhaft zuerst gemacht und nicht, wer sie zuerst angemeldet hat. Ein besonderer „Interferenz-Ausschuss“ (interference board) beim Patentamt prüft in ausführlichen Anhörungen, wer tatsächlich der Erste gewesen war.

DE FOREST beantragte ein solches Interferenz-Prüfverfahren. Er hatte sich erinnert, dass Anfang August 1912 bei Versuchen, mit seiner Röhre einen Verstärker für Te-

lefonzwecke zu realisieren, ein Störeffekt aufgetreten war: Seine Anordnung war damals in wilde Schwingungen mit Geheul aus dem Kopfhörer ausgebrochen. Er wies nun auf diesen Termin als sein Prioritätsdatum für die Erfindung des Oszillators hin, nachdem er seinerzeit die Bedeutung der Beobachtung nicht erkannt hatte. Bei ARMSTRONG kam als Prioritätsdatum jetzt die notarielle Schaltungsbeglaubigung vom 31. Januar 1913 ins Spiel. MEISSNER und LANGMUIR, die dem Interferenz-Verfahren beigetreten waren, hatten mit ihren jeweiligen Prioritätsdaten keine guten Karten. Die oben schon erwähnte Patentanmeldung von E. REISZ galt als nicht-konkurrierend [5].

Das Interferenz-Verfahren wurde 1917 nach dem Kriegseintritt der USA auf Eis gelegt. Im selben Jahr hatte DE FOREST seine Radio-Patente – bereits erhaltene wie auch die noch in der Prüfung befindlichen – für 250.000 \$ an die AT&T veräußert. Anfang 1919, als ARMSTRONG noch als Funkoffizier in Frankreich stationiert war, ersuchte DE FOREST das Patentamt darum, in seinen im Interferenz-Verfahren befindlichen Anträgen den Begriff „Hochfrequenzschwingungen“ durch „elektrische Schwingungen“ zu ersetzen. Dem wurde entsprochen. ARMSTRONG verkaufte 1920 das Rückkopplungspatent von 1914 zusammen mit seinem neuen, den Superhet betreffenden für 335.000 \$ an die Westinghouse Co. Im wieder angelaufenen Interferenz-Verfahren wurde ARMSTRONG die Priorität mit dem 13. Jan. 1913 zugesprochen. Das daraufhin von DE FOREST angerufene Berufungsgericht verwarf 1924 jedoch die Entscheidung pro ARMSTRONG und gewährte stattdessen DE FOREST die Patentrechte in modifizierter Form (Pte. 1.507.016 und 1.507.017). Das Armstrong-Patent von 1914 wurde annulliert. Diese überraschende neue Bewertung kam zum einen deswegen zustande, weil DE FOREST inzwischen eine Labor-Notiz vom 6. August 1912 gefunden hatte, die offensichtlich eine Rückkopplungsschaltung zeigte (Bild 13). Wichtig war bei der Entscheidung auch, dass das formal-juristisch agierende Berufungsgericht bei DE FOREST mit seiner „Erzeugung von elektrischen Schwingungen“ den übergeordneteren Anspruch sah gegenüber lediglich den „HF-Schwingungen“ bei ARMSTRONG. Der von ARMSTRONG daraufhin angerufene Oberste Gerichtshof der USA blieb 1927 bei der vorinstanzlichen Entscheidung für DE FOREST. In einem letzten Versuch ließ ARMSTRONG einen kleinen Radiohersteller gegen das De-Forest-Patent verstoßen und zahlte dessen Kosten in einer neuen Prozessrunde. Auch hier entschied 1934 letztlich das Oberste Gericht erneut gegen ARMSTRONG. Die Fachwelt reagierte entsetzt auf diese Entscheidung: Dort galt ARMSTRONG als wahrer Erfinder der Rückkopplung, DE FOREST lediglich als juristischer Erfinder. Allein für Anwaltskosten waren in der zwanzigjährigen Auseinandersetzung anderthalb Millionen Dollar aufgewendet worden [10] [12].

Konsequenzen für Telefunken

Telefunken versuchte bis zu dem ultimativen Richterspruch von 1927 vergeblich, den MEISSNER-Oszillator in den USA wieder ins Spiel zu bringen. Das MEISSNER-Patent war also offensichtlich nicht „in allen Kulturstaaten“ erteilt worden. Übrigens auch nicht in Österreich, wo das „Reisz'sche“ Oszillatorpatent dies verhinderte. Kaum hatte ARMSTRONG sein Rückkopplungspatent im Oktober 1914

erhalten, wurde Telefunken für monatlich 100 \$ sein erster Lizenznehmer. Da 1914, bald nach Kriegsbeginn in Europa, die von Deutschland genutzten Seekabel nach Übersee gekappt worden waren, blieb das Land auf verlässliche interkontinentale Funkverbindungen angewiesen. Anstelle des Überlagerers mit Lieben-Röhre verwendete man in der Telefunken-Station Sayville bei New York nun ARMSTRONGS schwingendes Rückkopplungsaudion als zuverlässigen Überlagerer und gleichzeitig empfindlichen Detektor. Am 10. Januar 1914 hatten MEISSNER und Telefunken-Direktor GRAF VON ARCO in den USA eine Art Sammelpatent beantragt. Es enthielt die in Deutschland im 2. Halbjahr 1913 als Erweiterungen des von-Bronkschen Verstärkerpatentes (1911) angemeldeten Empfangsschaltungen mit Rückkopplung, betont aber stärker als diese die Benutzung eines Ionen-Relais, der Lieben-Röhre (die sich Anfang 1914 bei Telefunken des Höhepunktes ihrer Wertschätzung erfreute). Es mag dem U.S.-Patentamt leichter gefallen sein, das Sammelpatent im August 1919 zu erteilen (Pt. 1.314.102), als die Lieben-Röhre bereits durch Hochvakuumröhren verdrängt war.

In Deutschland besaß ARMSTRONG kein Schutzrecht für das Rückkopplungsaudion. So überrascht es nicht zu lesen, dass VON BRONK das Telefunken erteilte Patent für eine „Audion-Rückkopplung“ (DRP 290.257) als eines der wichtigsten Schutzrechte der Firma bezeichnete [13]. Überraschend ist zunächst aber das Anmeldedatum dieses Patentbesitzes, der 16. Dezember 1913, denn DE FORESTS „Audion-Detektor“ wurde erst ab Ende 1914 – nach den Veröffentlichungen ARMSTRONGS [11] – ernst genommen. Die Erklärung liefert der Patentanspruch, in dem es lediglich ganz allgemein um eine Röhrenstufe geht, die gleichzeitig rückgekoppelter HF-Verstärker und Detektor sein soll. Keine Rede ist dort von Audion-Gittergleichrichtung. Die gezeigte Beispielschaltung entspricht technisch derjenigen in Bild 5 (Anodengleichrichtung).

Weitere Entwicklung

Mit der Einführung von Hochvakuumröhren – 1913 in den USA (Western Electric, General Electric), 1914 bei Telefunken – begann bald auch die Entwicklung von Senderöhren. Der erste Röhrensender nach MEISSNER, vorgestellt im Juni 1915, verwendete die Triode EVS 129 und lieferte 10 Watt HF-Leistung (Bild 14). Ein anderes Beispiel aus dem Jahr 1915 ist der Versuchs-Telefoniesender der U.S.-Navy-Station Arlington, der die Leistung von 550 Röhren des Typs 204 B kombinierte und so auf eine Ausgangsleistung von einigen Kilowatt kam (Bild 15). Mit ihm konnte in Einwegverbindungen Honolulu und Paris erreicht werden. In den Jahren des Ersten Weltkrieges entstanden die zahlreichen uns heute geläufigen Arten von Oszillatorschaltungen.

Zahlreiche Varianten entstanden auch beim rückgekoppelten Audion-Empfänger. 1921 gab GUSTAV LEITHÄUSER eine viel verwendete Schaltung an, bei der die induktive Rückkopplung kapazitiv eingestellt wird. Großes Aufsehen erregte das Pendelrückkopplungs-Audion. Es wurde 1922 von HOWARD ARMSTRONG präsentiert (U.S. Pt. 1.424.065), basierend auf Arbeiten des Briten JOHN BOLITHO, dessen entsprechendes Brit. Patent 156.330 ARMSTRONG für 5.000 \$ erworben hatte. Bei dieser Schaltung wird dafür

gesorgt, dass das Audion um den Punkt der Selbsterregung pendelt, wodurch die Empfindlichkeit des Empfängers außerordentlich gesteigert wird. Die RCA wollte nicht wieder wie beim Superhet-Patent von ARMSTRONG zu spät kommen und erwarb die Rechte am Pendelrückkoppler umgehend für 200.000 \$ und ein ansehnliches Paket an RCA-Aktien – ein für die RCA schlechtes Geschäft, denn für den vorgesehenen Mittelwellen-Rundfunkempfang war das Pendelaudion schlecht geeignet. ARMSTRONG bereitete der RCA-Spitze weiteres Ungemach, als er seinem Verhandlungspartner, dem Vizepräsidenten SARNOFF die beste Sekretärin „wegheiratete“.

Schlussbemerkung

Die geschilderten Rückkopplungsschaltungen – Mitkopplung betreffend – waren in den 1920er-bis 1950er-Jahren für die Funk- und Radiotechnik sehr wichtig und sind es in Transistorschaltungen heute noch. Ab den 1930er-Jahren nahm aber die Anwendung der Gegenkopplung zu. Dies geschah zur Verbesserung der Klangqualität in Audioverstärkern und zur Stabilitätserhöhung sowie Verzerrungsminderung in Telefonverstärkern. Von besonderer Bedeutung wurde die Gegenkopplung schließlich in Schaltungen der Regelungstechnik.

Quellen:

- [1] Zenneck, J. und Rukop, H.: Lehrbuch der Drahtlosen Telegraphie. 5. Aufl. 1925.
- [2] Hogan, J. L.: Developments of the Heterodyne Receiver. Proc. IRE, 3 (1915), S. 249 – 259.
- [3] Barkhausen, H.: Das Problem der Schwingungserzeugung. Leipzig 1907.
- [4] von Bronk, O.: Die historische Entwicklung der Elektronenröhre in der drahtlosen Telegraphie. Tfk-Ztg. Nr. 32/33, 1923, S. 7 – 19.
- [5] Tucker, D. G.: The History of Positive Feedback. The Radio & Electronic Engineer, 42 (1972), S. 69 – 80.
- [6] Miessner, B. F.: On the Early History of Radio Guidance. 1964.
- [7] Lebeth, T.: Technische Entwicklung der Rundfunkröhre in Österreich. 2011.
- [8] Espenschied, L.: Proc IRE, 47 (1959), S. 1253 – 1258. Auch web: IEEE Espenschied Oral History Interview, 1973.
- [9a] Goddard, E. C. (Hrsg.): The Papers of Robert H. Goddard. Vol. I, 1970.
- [9b] Hall, M. D.: Robert H. Goddard and the Goddard Oscillator. The AWA Review 7 (1992), S. 150 – 155.
- [10] Lewis, T.: Empire of the Air. 1991
- [11a] Armstrong, E. H.: Operating Features of the Audion. Electrical World, 62 (1914), S. 1149 – 1152.
- [11b] Proc. IRE, 3 (1915), S. 215 – 247.
- [12] Hong, S.: Wireless - from Marconi's Black Box to the Audion. 2001. Auch web: A History of the Regeneration Circuit - From Invention to Patent Litigation. www.ieeeahn.org (2004).
- [13] von Bronk, O.: Telefunken Patentbesitz. In Festschrift „25 Jahre Telefunken“. 1928.
- [14] Aitken, H. G. J.: The Continuous Wave. 1985.