



Faszination Röhre

HiFi-Freaks und Hochfrequenzspezialisten haben sie eigentlich nie aus den Augen verloren - die gute alte Elektronenröhre erobert sich einen Platz vor allem in der Niederfrequenztechnik zurück. Mit diesem Beitrag beginnen wir eine neue Serie über Grundlagen und Technik der Elektronenröhren, die in mehreren Selbstbauprojekten in höchster Qualität gipfeln wird.

Edison plus 100 Jahre

Vor allem jüngere Elektroniker diesseits der 40 können heute kaum die Faszination nachvollziehen, die ihre älteren Interessenpartner überfällt, sobald diese vom „Röhrensound“ schwärmen und ihre Abenteuer beim Hochspannungs-Einstieg mit dem ersten Trioden-Audion schildern. Dennoch erlangen die Röhren auf einigen speziellen Gebieten der Elektronik heute wieder ihr Terrain zurück, und es hat auch für die jetzige Generation Sinn, sich mit ihnen zu beschäftigen.

Ohne Zweifel, die Entwicklung der Elektronik ist undenkbar ohne die Elektronenröhre und ihre vielen (auch modernen) Verwandten. Noch heute dominieren Röhren einige Anwendungsbereiche, so den Richtfunk, Rundfunk- und Fernsehsender und weite Bereiche der Militärtechnik (hier, ganz global gesagt, deswegen, weil die Röhrentechnik im Gegensatz zur Halbleitertechnik immun gegen den elektromagnetischen Impuls bei Atomwaffeneinsätzen ist).

Dabei beruht die Entdeckung dieser interessanten Technik auf einem Zufall. Denn

Thomas Alva Edison erfand nicht nur die elektrische Glühlampe, bei Versuchen mit diesen ersten Kohlefadenlampen fand er 1881 heraus, daß bei Erhitzung von Metallen Elektronen frei werden und im luftleeren Raum eine Elektronenleitung möglich ist (thermische Emission).

Diese Erkenntnis ist den Experimenten Edisons mit seiner Kohlenfadenlampe zu verdanken. Edison maß bei seinen Versuchen plötzlich einen Strom zwischen dem Glühfaden der Lampe und einer Elektrode im evakuierten Lampenkörper auf der anderen Seite (Abbildung 1). Er maß dieser

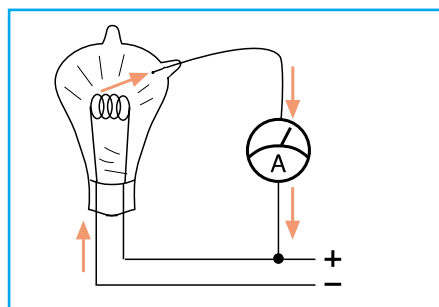


Bild 1: Das berühmte Edison-Experiment - Die Entdeckung der Elektronenröhre

Entdeckung jedoch zu seiner Zeit noch keine praktische Bedeutung bei.

Wenig später haben die Forscher de Forest und von Lieben diese Erkenntnis fortgeführt. Sie unternahmen Versuche, den thermisch erzeugten Elektronenstrom in einem luftleeren Gefäß magnetisch oder elektrisch zu steuern.

Bremsen oder Beschleunigen

Im Jahre 1907 konstruierte Lee de Forest bereits eine steuerbare Dreielektrodenröhre, indem er ein Gitter in die Zweielektrodenröhre einfügte. Und 1910 setzte auch von Lieben ein Gitter zur Steuerung des Elektronenstroms ein. Damit war die Verstärkeröhre geboren, die auf der leistungs- und trägheitslosen Steuerung durch ein im Elektronenstrom befindliches Gitter basiert. Je nach Polarität und Intensität der geringen Steuerspannung des Gitters wird hierdurch ein Verstärkungs- bzw. Dämpfungsvorgang des Elektronenstroms erreicht, wie wir noch ausführlich erfahren werden.

Auf dieser technologischen Entwicklungsstufe begann eine rasche Entwick-

lung der Röhrentechnik, es entstanden die vielfältigsten Typen für verschiedene Einsatzzwecke, so zur Verstärkung, Schwingungserzeugung und Gleichrichtung.

Bereits 1913 nahm man die fabrikmäßige Fertigung von Hochvakuumröhren auf, sie spielten bereits eine bedeutende Rolle in der Funktechnik des ersten Weltkrieges. Die großtechnische Fließbandfertigung begann um 1930 und damit auch der endgültige Siegeszug des Rundfunks für alle.

Zunächst entstanden Zweielektrodenröhren (Dioden) und Dreielektrodenröhren (Trioden) für Empfangszwecke. Die Heizung der Röhren wurde zu Anfang direkt vorgenommen, d. h., die Katode stellte gleichzeitig den Heizfaden zur Anregung der thermischen Emission dar. Später stellte man zur besseren Emission die Heizung um auf den indirekten Betrieb. Hier befindet sich die Heizwendel im Innern der röhrenförmigen Katode und regt so die Emission der speziell beschichteten Katode an.

Zur verfeinerten und gezielteren Steuerung und zum Erreichen verbesserter Verstärkereigenschaften führte man weitere Gitterelektroden wie Schirmgitter, Bremsgitter und Schutzgitter ein, so daß schließlich Röhren mit bis zu 9 Elektroden entstanden. Typischster Vertreter dieser Röhren ist die Pentode mit Katode, Steuergitter, Schirmgitter, Bremsgitter und Anode.

Durch verbesserte Materialien und maximale Ausnutzung der physikalischen Materialeigenschaften erhöhte sich ständig die erreichbare Verstärkerleistung, so daß auch bald nach Beginn der großtechnischen Fertigung leistungsfähige Verstärker gebaut werden konnten. Die gleichen Voraussetzungen führten auch sehr schnell zum Einsatz als Senderendstufen in Hochfrequenzsendern.

All in one - die Frühzeit des IC

Der nächste Evolutionsschritt war die Entwicklung der Mehrsystemröhren, bei denen mehrere Röhrensysteme in einem gemeinsamen Glaskolben integriert wurden. So war es möglich, den berühmten Volksempfänger mit nur einer Verstärkertriode und ein Endverstärkersystem in einem Glaskolben enthielt (Type VCL11).

So findet man diese Kombination in einer Reihe von Röhren, z. B. der früher sehr bekannten ECL86, in der ein Triodensystem, genutzt als Vorverstärker, und ein Pentodensystem als Endverstärker kombiniert waren. Besonders in der komplexen Technik der Fernsehempfänger fand man bis in die 70er Jahre hinein die unterschiedlichsten Mehrfachröhrensysteme.

Hier drückt sich die erste Tendenz zur Integration mehrerer Funktionen aus, wie

wir sie heute von den integrierten Schaltkreisen kennen. Schon um 1940 wurde mit der sogenannten „Loewe-Mehrfachröhre“ ein System angeboten, in dem sich bis zu 3 Röhrensysteme nebst allen zugehörigen Widerständen und Kondensatoren befanden.

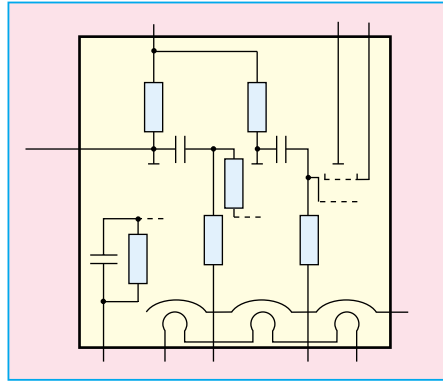


Bild 2: Das Innenleben einer Mehrfachröhre, hier vom Typ WG 33

Ein einfacher Einkreisempfänger benötigte neben dieser Röhre nur die Betriebsspannungsversorgung, den Eingangsschwingkreis und den Lautsprecher. Abbildung 2 zeigt das Innenleben einer solchen Röhre vom Typ WG 33. Ältere Leser werden sich auch an die ersten kompakteren Autoradios und Koffereempfänger mit den sogenannten Batterieröhren erinnern. Diese wiesen einen sehr hohen Integrationsgrad bei gleichzeitig maximal verkleinertem Bauelement auf.

Weil die Elektronenröhre jedoch ein Bauteil mit begrenzter Lebensdauer ist, (dies hängt mit dem Absinken der Emissionsintensität aufgrund der Elektronenwanderung im Laufe der Zeit zusammen, wie wir noch erfahren werden), setzten sich diese Integrationsröhren nicht durch, dennoch zeigen sie den schon damals erreichten hohen Stand der Fertigungstechnik auf.

Streng systematisch

Abbildung 3 zeigt eine Auswahl von Röhren, die bis zur Ablösung durch die Halbleiter das Feld der Konsumgüterelektronik beherrschten. Für die Kennzeichnung und Eingruppierung nach der Heizung und der Art der Röhrensysteme gibt es eine strenge Systematik. Sie besteht aus zwei bis drei Buchstaben, deren erster die Art der Heizung kennzeichnet. Der 2. und 3. Buchstabe beschreibt die Systeme und die folgende ein- bis vierstellige Zahl weist auf eine spezielle Baureihe hin (z. B. Stahlröhren 11er Reihe, Rimlockserie 40er Reihe, Novalröhren 80er Reihe, 7polig Miniatur 90er Reihe). Beispiel: die ECC 83 ist eine Röhre mit 6,3V-Wechselstromheizung (E), zwei Triodensystemen (CC) aus der 80er-Novalröhren-Reihe (83).

Die Tabelle 1 zeigt den sogenannten „Röhrenschlüssel“ für die wichtigsten historischen und modernen Röhrensysteme. Er hilft, unbekannte Typen zunächst grob einzuordnen, um zu entscheiden, für welchen Einsatzfall sie verwendbar sind.

Versionen...

War die Entwicklung bis in die 30er Jahre durch die Elektronenröhren mit „Dichtesteuerung“ (Steuerung des Elektronenstroms und seiner Dichte über die Gitter) gekennzeichnet, gewannen später die laufzeitgesteuerten Röhren mehr und mehr an technischer Bedeutung. Diese Röhren sind für höchste Frequenzen und große Leistungen geeignet. Zu ihnen gehören z. B. die **Magnetrons** und die **Wanderfeldröhren**. Ihre Steuerung erfolgt nicht über Gitterelektroden, sondern unter gezielter Ausnutzung des Laufzeiteffekts der bewegten Elektronen innerhalb des sogenannten Laufraums der Röhre durch äußere



Bild 3: Eine Auswahl von Röhren der Konsumgüterelektronik

Erster Kennbuchstabe	Heizart	Anwendung	Bemerkungen	Zweiter und weiterer Kennbuchstabe	Elektrodensystem	Anwendung	Beispiel
A	4 V~	Wechselstromgeräte	Parallelheizung (überholte Serie)	A	Diode	HF-Gleichrichtung; Meßgleichrichter	UAF 42 EAA 91
B	180 mA-	Gleichstromgeräte	Serienheizung (überholte Serie)	B	Duodiode mit gemeinsamer Katode	AM-Gleichrichtung; FM-Demodulation (dann mit getrennten Katoden)	EBF 80 PABC 80
C	200 mA≅	Allstromgeräte	Serienheizung (überholte Serie)	C	Triode	NF-Verstärkung, UKW-Verstärkung, Oszillator	ECL 80 ECC 83
D	1,25 ... 1,4 VB	Batteriegeräte	Parallelheizung moderne Standardserie	D	Leistungstriode	Leistungsverstärkung	AD 1 EDD 11
E	6,3 V~	Wechselstrom- und Autoeräte	Parallelheizung moderne Standardserie	E	Tetrode	NF-Verstärkung	VEL 11
H	150 mA≅	Allstrom- und Autoeräte	Serienheizung moderne Standardserie	F	Pentode	HF-, ZF-, NF-Verstärkung	EF 89 UBF 89
K	2 VB	Batteriegeräte	Parallelheizung (überholte Serie)	H	Hexode Heptode	Mischröhre	ECH 81 EH 90
P	300 mA≅	Fernsehgeräte	Serienheizung moderne Standardserie	K	Oktode	Mischröhre + Oszillator	AK 2
U	100 mA≅	Allstromgeräte	Serienheizung moderne Standardserie	L	Leistungspentode	Leistungsverstärkung	EL 84 PCL 82
V	50 mA≅	Allstromgeräte	Spezialserie für Hochvoltsparröhren	M	Magisches Auge	Abstimm-anzeige	EM 80
				Q	Nonode Enneode	FM-Demodulation + NF-Verstärkung	EQ 80
				Y	Einwegnetzgleichrichter	Netzgleichrichtung	EY 51
				Z	Zweiwegnetzgleichrichter	Netzgleichrichtung	EZ 81

Tabelle 1:
Röhrenschlüssel für die wichtigsten historischen und modernen Röhrensysteme.

re elektrische oder magnetische Felder. Die Verstärkungs- bzw. Schwingungserzeugung beruht dabei auf dem Energieaustausch der beschleunigten und durch den Laufzeiteffekt gebündelten Elektronen sowie ausgeklügelter Rückkopplungsmechanismen.

Während die dichtgesteuerten Röhren direkt durch die Halbleiter abgelöst wurden und heute nur noch als Großsenderöhren und in der gehobenen NF-Technik eine Bedeutung haben, sind die zunächst ausschließlich in der kommerziellen und Militärtechnik genutzten laufzeitgesteuerten Röhren heute in breiter Front in den Konsumgüterbereich eingedrungen - in jeder Haushaltsmikrowelle und allen Mikrowellenherden der Gastronomie ist ein Magnetron die Hochfrequenzquelle.

Die Wanderfeldröhren erlangten vor allem in der mit höchsten Frequenzen arbeitenden Richtfunktechnik eine herausragende Bedeutung.

Die dritte Gruppe der Elektronenröhren sind die **Elektronenstrahlröhren**. Sie wur-

den bereits in der Frühzeit der Röhrentechnik von solchen Pionieren wie Karl Ferdinand und Manfred von Ardenne entwickelt und dienen bereits seit den 30er Jahren als Bildwiedergaberöhre in Fernsehgeräten, Monitoren und Oszilloskopen.

Ihr Funktionsprinzip beruht im wesentlichen auf der scharfen Fokussierung und gezielten Ablenkung des Elektronenstrahls und seiner Sichtbarmachung auf einer Leuchtschicht.

Wenngleich mehr und mehr LCD-Bildschirme, Plasmaanzeigen und Anzeigen auf LED-Basis in den Markt eindringen, ist für bestimmte Bereiche wie große Bildfläche bei moderatem Preis, hohe Leuchtdichte, kurze Schaltzeiten und vor allem höchste Auflösung (z. B. CAD- und DTP-Monitore und ähnliche Anwendungen) die Herrschaft der Elektronenröhre vorläufig noch ungebrochen. Betrachtet man zusammenfassend die heute scheinbar bedeutungslose Elektronenröhre, kann man erkennen, daß die Elektronenröhre in fast jedem Haushalt - auch im Zeitalter der

Halbleitertechnik mit Höchstintegration - mindestens einmal vertreten ist. Selbstverständlich hat sich der Einsatzfall im Laufe der Zeit grundlegend geändert.

In den folgenden Beiträgen der Artikelserie sollen jedoch speziell die dichtesteuerten Elektronenröhren aus zunächst theoretischer und später praktischer Sicht betrachtet werden, um dem interessierten Leser die Möglichkeit zu geben, sich auf diesem interessanten Gebiet selbst betätigen zu können und z. B. NF-Verstärker nachzubauen oder selbst zu entwerfen.

Der Selbstbau eines solchen Verstärkers ist heute durchaus aus mehreren Aspekten heraus interessant.

Die heute auf dem Markt befindlichen Röhrenverstärker sind sämtlich im High-End-Gebiet angesiedelt und entsprechend teuer.

Außerdem bietet ein gut durchkonstruierter Röhrenverstärker nicht nur einen ausgezeichneten, typischen warmen Röhrenklang, sondern auch das Besondere für das Auge. 