

4.3 Das Audion

4.3.1 Geschichtliches zum Audion

Das „Audion“ wurde von Lee de Forest 1906 erfunden und zum Patent angemeldet. Es war ein Glasgefäß in der Form einer Glühbirne mit Schraubsockel für den Anschluß eines haarnadelförmigen Glühfadens. An der Spitze des Gefäßes war ein zusätzlicher Quetschfuß eingeschmolzen, der einen zickzack-förmig gebogenen Draht (das „Gitter“) und ein kleines Blech (die „Anode“) trug. Bild 4.15 zeigt eine Schaltungsanordnung aus seinem Patent von 1908.[27]

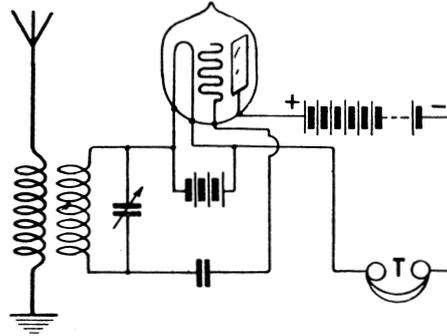


Bild 4.15: Forest's „Audion“ in einer Empfangsschaltung. Die Darstellung der „Audion“ Röhre entspricht im Prinzip der konstruktiven Anordnung der Elektroden.

Die Audion-Röhre hatte eine Gasfüllung (von geringem Druck), weshalb kein Gitterableitwiderstand erforderlich war. Audionschaltungen ohne Gitterableitwiderstand findet man noch häufig bei frühen Veröffentlichungen. Die Funktionsweise des Audions wurde erst 1915 durch Armstrong geklärt.

4.3.2 Audion-Schaltungen

Nach heutigem Sprachgebrauch ist ein Audion eine Detektorschaltung (mit Triode oder Pentode) und nicht mehr (wie bei Lee de Forest) die Röhre selbst. Bild 4.16 [6] zeigt zwei entsprechende Schaltungen.⁵

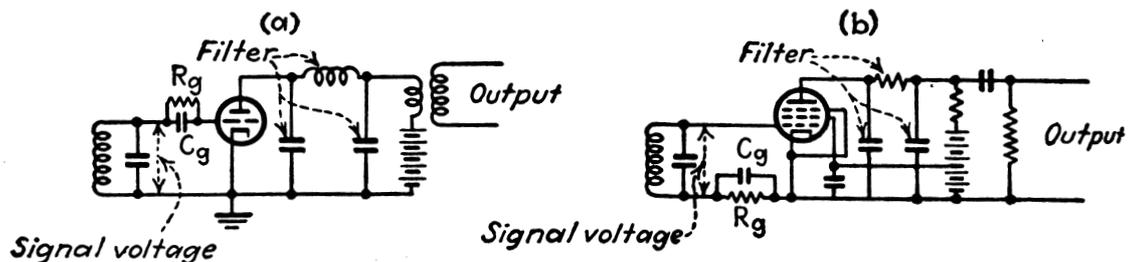


Bild 4.16: Audion-Schaltungen mit Triode und Pentode

Die Signalspannung am Eingang ist das amplitudenmodulierte hochfrequente Signal. Als Ausgangssignal ist das demodulierte Nachrichtensignal gewünscht. Wie in Bild 4.16 dargestellt ist, findet daher im Ausgang eine Tiefpaß-Filterung statt, um die Hochfrequenz von den nachfolgenden Stufen fernzuhalten. In der Praxis wird häufig der hier dargestellte Aufwand für die Filterung nicht getrieben. In einfacheren Fällen reichen auch schon die Schaltkapazitäten für eine ausreichende Unterdrückung der Hochfrequenz.

Typisch für die Audion-Schaltung ist die RC-Kombination R_g, C_g am Gitter und der fehlende Katodenwiderstand. Das Audion wird empfindlicher, wenn die RC-Kombination hochohmig dimensioniert wird.⁶ Man

⁵Die ursprüngliche Audion-Schaltung hat noch keine Rückkopplung, wie es für spätere Audion-Schaltungen typisch ist.

⁶Mit $R_g \approx 100 \text{ k}\Omega$ bis $500 \text{ k}\Omega$ erhält man ein sog. „Kraft-Audion“. [6]

wählt dazu $R_g \approx 1 \text{ M}\Omega$ bis $2 \text{ M}\Omega$. Die Audion-Schaltung wird dadurch allerdings Brumm-empfindlich. Gegebenenfalls ist in Bild 4.16 links die RC-Kombination abzuschirmen. Unter dem Gesichtspunkt der Brumm-Empfindlichkeit ist die Schaltung in Bild 4.16 rechts, bei der die RC-Kombination nicht am Gitter liegt, sehr ungünstig, weil hier der Schwingkreis zusätzlich Brummen „einfangen“ kann.

Bei (frühen) Audion-Schaltungen mit Trioden wird zur Auskopplung der NF gerne ein NF-Trafo (mit Übersetzungsverhältnis 1:4) verwendet. Audion-Schaltungen mit Pentoden haben eine ausreichend große Verstärkung, so daß die (preiswertere) Widerstands-Beschaltung ausreicht.

4.3.3 Die Wirkungsweise des Audions

Ist die Signalspannung 0, fließt der maximale Anodenstrom. Die Röhre arbeitet dann im Arbeitspunkt A_1 . Bild 4.17 [19] zeigt dies im I_a/U_g Diagramm einer Röhre.

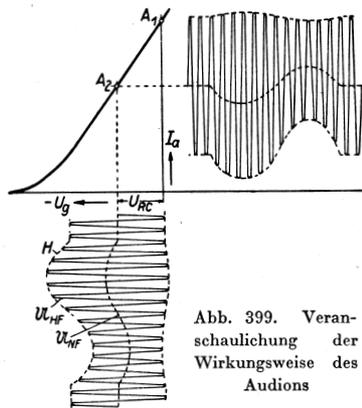


Abb. 399. Veranschaulichung der Wirkungsweise des Audions

Bild 4.17: Zur Wirkungsweise des Audions

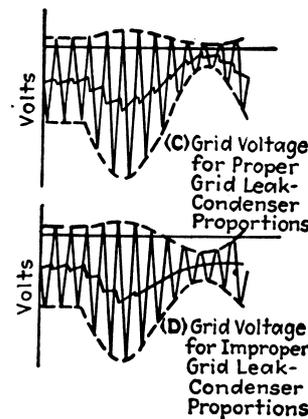


Bild 4.18: Auswirkung der Größe der RC-Konstante beim Audion; „Diagonal Clipping“ bei zu großer RC-Zeitkonstante (D)

Liegt eine Signalspannung an, so wirkt die Gitter-Katoden-Strecke wie eine (Röhren-) Diode. An der Diode kann nur eine sehr kleine (positive) Spannung entstehen, da sie dann leitend wird. Dadurch verschiebt sich das Gitterpotential in das Negative. Die Röhre arbeitet dann im (mittleren) Arbeitspunkt A_2 . Der Anodenstrom I_a ist ein (ziemlich lineares) Abbild der Spannung am Gitter, wenn keine Röhren mit Regel-Charakteristik verwendet werden. Durch die Tiefpaß-Filterung im Anodenkreis, Bild 4.16, wird der (hochfrequente) Wechselanteil des Anodenstroms kurzgeschlossen. Der niederfrequente Anteil (gestrichelt in Bild 4.17) erzeugt dann die demodulierte Nachrichtenspannung.

Da die Gitter-Katoden-Strecke der Röhre wie eine Diode wirkt, gelten für die Dimensionierung der RC-Zeitkonstanten die gleichen Überlegungen wie bei der Diodengleichrichtung, Abschnitt 3.1 „Hüllkurven-Demodulator“ (Seite 6). Bei falscher Dimensionierung⁷ kann auch hier eine Art von „Diagonal Clipping“ entstehen, Bild 4.18, Fall (D). [6]

Wie aus Bild 4.17 ferner zu erkennen ist, entsteht beim Audion das demodulierte Signal bereits am Gitter (durch Spitzen-Gleichrichtung)⁸, gestrichelte Linie U_{NF} . Wegen der Spitzen-Gleichrichtung wird der Schwingkreis am Gitter entsprechend bedämpft.

4.3.4 Eigenschaften des Audions

Vorteilhaft ist die große Empfindlichkeit des Audions und seine guten Rückkopplungs-Eigenschaften. Dadurch sind auch noch schwache Sender ohne vorherige Hochfrequenzverstärkung empfangbar. Auf diesen Eigenschaften beruht die große Verbreitung der Einkreis Audion-Empfänger in den Anfangsjahren des Rundfunks.

Nachteilig beim Audion ist seine leichte Übersteuerbarkeit, die ab ca. 0,5 V bis 1 V Hochfrequenz-Spannung

⁷Mit zusätzlicher Rückkopplung kommt man im Grenzfall dann zu einem intermittierenden Betrieb. Dieser hat wieder eine Anwendung: „Pendel-Audion“, ein besonders empfindliches Audion das für höhere Frequenzen geeignet ist.

⁸Im Unterschied zum „Anoden-Gleichrichter“, bei dem das demodulierte Signal erst an der Anode auftritt.

auftritt. Diese ist ebenfalls aus Bild 4.17 zu erkennen.⁹ Wird das Audion mit einer so großen HF-Spannung U_{HF} angesteuert, daß der Fußpunkt der Röhren-Kennlinie (stets) nach links überschritten wird, wird die (untere) Hüllkurve an den Anodenstrom I_a konstant zu Null, wodurch dann aber auch der Mittelwert konstant wird und das demodulierte Signal nur noch aus einer Gleichspannung besteht.

Der Klirrfaktor eines Audions steigt ab der Übersteuerungsgrenze rapide an, während er sich darunter entsprechend der Dioden-Demodulation verhält, wo bei kleinen Amplituden infolge einer quadratischen Gleichrichtung der Klirrfaktor ansteigt, Bild 4.19. [19]

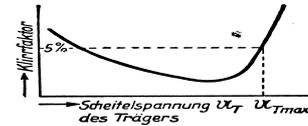


Bild 4.19: Der Klirrfaktor des Audions

Eine Übersteuerung kann in der Praxis dadurch festgestellt werden, daß die Abstimmung des Empfängers von der Sendermitte nach links oder rechts verdreht wird. Durch die Verstimmung wird in einem solchen Fall das demodulierte Signal lauter.

Ein weiterer Nachteil des Audions ist die Schwierigkeit bei der Anwendung einer Schwundregelung.

4.3.5 Audion nach Nestel

Ein Grund für die leichte Übersteuerbarkeit des Audions ist die Verschiebung des Arbeitspunktes der Röhre infolge des Gleichanteils, der am Gitter entsteht und der proportional mit der HF Amplitude zunimmt, Bild 4.17.

Nach einem Vorschlag von Nestel werden die Eigenschaften „Gleichrichten“ und „Verstärken der NF“ des Audions getrennt und mit 2 Röhren (Diode & Pentode) ausgeführt. Bild 4.20 zeigt das Schaltbild eines Lorenz 100W mit Nestel-Audion, bestehend aus AB 2 und AF 7.¹⁰

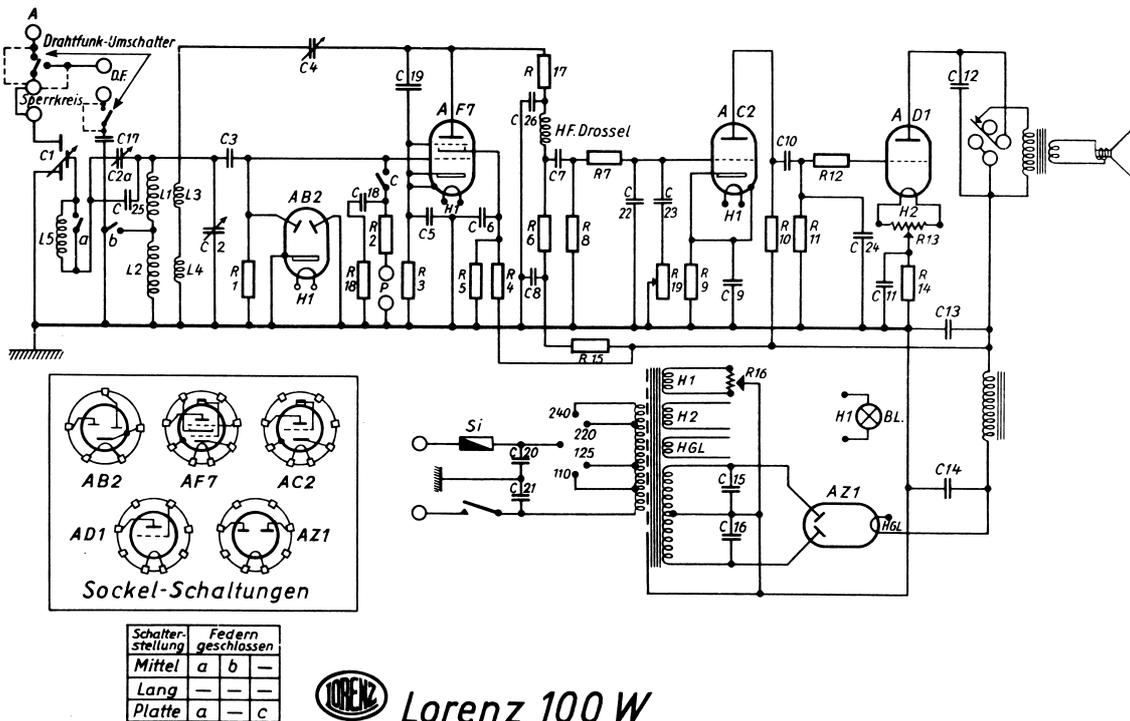


Bild 4.20: Lorenz 100W mit „Nestel“-Audion

⁹Infolge der hochfrequenten Wechselaussteuerung kann in der Praxis für ein Audion nur mit ca. 30 — 40 % der NF-Spannung am Ausgang gerechnet werden, die sich bei reinem NF-Betrieb ergeben würde. [6]

¹⁰Wie aus der Endstufe mit der AD 1 erkennbar wird, handelt es sich bei diesem Gerät um einen „Hi-Fi“ Empfänger nach damaliger Technik (Baujahr 1937). Verzerrungsfreien AM-Empfang auf LW und MW gibt es aufgrund der ionosphärischen Reflexionen nur im Nahbereich eines Senders, wo reine Bodenwellenausbreitung herrscht und (noch) keine Raumwelle eintrifft. Als Selektionsmittel im Empfänger genügt daher i.a. ein einzelner Schwingkreis (Einkreis-Empfänger). Für schwierigere Fälle gibt es noch einen Sperrkreis.

Die NF Verstärkerstufe erhält einen Katodenwiderstand $R_3 = 1\text{ K}\Omega$ mit parallelem Kondensator. Dadurch läßt sich zum Einen ein günstiger Arbeitspunkt einstellen und zum Anderen wirkt die Gegenkopplung in der Katode der Arbeitspunktverschiebung durch die überlagerte Gleichspannung entgegen.¹¹

Mit Hilfe (der Größe) des Widerstandes $R_{11} = 5\text{ K}\Omega$ und des Kondensators $C_{19} = 100\text{ pF}$ läßt sich die Verstärkung der Hochfrequenz so einstellen, daß die Rückkopplung des Nestel–Audions gut bedienbar wird. Für die Verstärkung der Niederfrequenz ist der Wert des Widerstandes $R_6 = 100\text{ K}\Omega$ maßgeblich. Man hat also hier die Möglichkeit, alle 3 Arten der Verstärkung (Gleichspannung, niederfrequente Spannungen, hochfrequente Spannungen) praktisch unabhängig von einander festzulegen und somit die Funktion des Nestel–Audions zu optimieren.

4.3.6 Wunderlich–Audion

Ein Audion kann auch dadurch übersteuerungsfester gemacht werden, daß die Wechselaussteuerung durch das hochfrequente Signal, siehe Bild 4.17 (Seite 20), stark reduziert wird.

Dieser Ansatz wird mit der „Wunderlich“ Röhre verfolgt, welche es in den Jahren 1932/33 in den USA gab. Sie wurde für den Einsatz in einem Kraft–Audion entwickelt. Bei dieser Röhre handelte es sich um eine Spezial–Triode mit 2 gleichberechtigten Gittern und einer gemeinsamen Anode.¹²

Die hierfür passende Schaltung ist ein Gegentakt–Audion, Bild 4.21. [6]

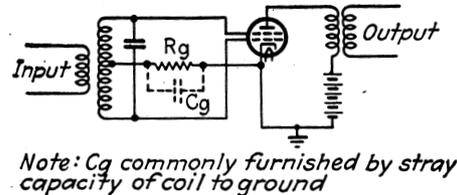


Bild 4.21: Gegentakt–Audion mit „Wunderlich“ Röhre

Eine genauere Betrachtung von Bild 4.21 zeigt, daß die beiden Gitter der Wunderlich Röhre als „Anoden“ für eine Vollweg–Gleichrichtung des (modulierten) HF–Signals arbeiten. An R_g entsteht (zunächst ohne Berücksichtigung von C_g) die Spannung $|u_{RF}(t)|$, wenn jede der Teilspannungen auf der Sekundärseite des Übertragers $u_{RF}(t)$ sein soll. Durch das Glättungs–C C_g bleibt dann an R_g praktisch nur noch ein Gleichanteil bestehen, dem die Nachrichtenspannung überlagert ist.

Da die beiden Gitter in ihrer Wirkung gleichartig sind, heben sich ihre Auswirkungen auf den Anodenstrom auf, wenn sie im Gegentakt angesteuert werden. Damit wird die hochfrequente Aussteuerung unterdrückt. Die Gleichgröße und die NF–Spannung wirken jedoch auf beide Gitter gleichphasig, weshalb sie verstärkt werden. Ein Wunderlich–Audion kann deshalb (ohne Übersteuerung) eine ca. 3 mal so große Ausgangs–Spannung liefern wie ein gewöhnliches Audion. [6]

Für den Fall, daß absolute Symmetrie besteht, ist die Frequenz der (modulierten) HF–Schwingung an der Anode der Wunderlich–Röhre unterdrückt.¹³ Damit ist dann keine Rückkopplung des Audions zur Empfindlichkeitssteigerung möglich. In der Praxis wird dies z.B. aufgrund von Unsymmetrien des Übertragers oder der Krümmung der I_a/U_g Kennlinien kein Problem darstellen.

¹¹Aufgrund der Gleichstrom–Gegenkopplung durch den Katodenwiderstand der AF7 im Lorenz 100W reduziert sich der Einfluß auf die Arbeitspunktverschiebung auf $\approx 1\%$ gegenüber einem Audion (ohne Katodenwiderstand).

¹²Ähnlich wirkende Röhren (mit gemeinsamer Anode) wie die „Wunderlich“ waren von Sylvania die „29“ und die „69“ und von Ken–Rad die „KR20“ und die „KR22“. Ein kommerzieller Einsatz dieser Typen ist nicht bekannt.[28]

Auch modernere Doppeltrioden wie die ECC82 o.ä. müßten sich dafür eignen, wenn die Anoden parallelgeschaltet werden.

¹³Eine Fourier–Analyse ergibt die doppelte Frequenz und Vielfache davon.