

3.3 Audion mit Rückkopplung

Auszug aus dem Radio-Baubuch, B. Kainka, Elektor-Verlag 2005

Die ECC81 ist wie die ECC82 keine ausgesprochene Niederspannungsröhre, kommt aber mit 12 V für Heizung und Anodenspannung aus. Die Heizung beider eignet sich für Parallelschaltung mit 6,3 V/0,3 A oder für Serienschaltung mit 12,6 V/0,15 A. In Serienschaltung kommt man mit einer 12-V-Batterie für Heizung und Anode aus. In dieser Hinsicht ist die ECC81/82 der Niederspannungsröhre ECC86 überlegen, die nur mit Parallelheizung arbeitet. Die ebenfalls mit 12 V heizbare ECC83 ist übrigens für den Empfänger wegen ihres zu geringen Anodenstroms nicht geeignet.

Die Rückkopplung wurde bereits bei der aktiven Entdämpfung des Schwingkreises beim Detektorempfänger vorgestellt und führt auch zu besserer Trennschärfe und Empfindlichkeit eines Audions. Rückkopplung bedeutet, dass das HF-Signal verstärkt und dann phasenrichtig wieder auf den Schwingkreis zurückgekoppelt wird. Das selbe Prinzip wird auch bei einem Oszillator angewandt. Beim Audion arbeitet man jedoch entweder mit veränderlicher Kopplung oder mit veränderlicher Verstärkung, sodass man den Grad der Rückkopplung einstellen kann. Kurz vor dem Einsatz eigener Schwingungen kommt es dabei zur maximalen Verstärkung schwacher HF-Signale.

Der Schwingkreis ist zunächst durch verschiedene Energieverluste gedämpft. Dazu zählen Verluste am Drahtwiderstand, der endliche Eingangswiderstand der Röhre und die dämpfende Wirkung der Antenne. Wenn nun alle diese Verluste durch die Rückkopplung gerade ausgeglichen werden, erhält man theoretisch einen Schwingkreis mit unendlicher Güte. In der Praxis kann tatsächlich eine Güte bis über 10 000 erreicht werden. Das führt dann zu einer geringen Bandbreite von z.B. 600 Hz im 6-MHz-Band. Dabei kommt es schon zu einer Schwächung der Seitenbänder bzw. einer Anhebung der tieferen Modulationsfrequenzen. Tatsächlich kann man mit dem Audion eine selektive Anhebung des Trägersignals erreichen, was zu einer verbesserten Demodulations-Empfindlichkeit führt.

Die Anordnung der Rückkopplung kann in vielen Variationen erfolgen. Praktisch jede Oszillatorschaltung kann auch als Audion dienen. Hier wird die besonders einfache Dreipunktschaltung mit Rückkopplung über die Kathode verwendet, die nur eine Anzapfung der Schwingkreisspule benötigt. Der Kopplungsgrad hängt von der Lage der Anzapfung ab und ist maximal bei Anzapfung auf der Hälfte der Gesamtspule. Bei ausreichender Verstärkung der Röhre kommt man mit etwa 1/10 der Spule für die Rückkopplungswicklung aus. Um aber auch bei geringer Anodenspannung und nicht zu loser Antennenkopplung noch einen Schwingungseinsatz zu erreichen, wird hier die Anzapfung auf die Hälfte gelegt. Für eigene Experimente ist es sinnvoll, gleich eine Spule mit mehreren Anzapfungen zu wickeln.

Wichtig ist, dass die Rückkopplung bis zum Schwingungseinsatz eingestellt werden kann. Bei zu starker Antennenkopplung oder bei einer Spule mit zu viel Widerstand kann es vorkommen, dass die Verstärkung der Röhre nicht ausreicht, um die Kreisverluste auszugleichen. Tatsächlich ist es im Mittelwellenbereich wegen der hohen Resonanzwiderstände meist problemlos, den Schwingungseinsatz zu erreichen, während auf Kurzwelle schon eine Spule mit geringen Verlusten nötig ist.

Ob eine Röhre mit gegebener Steilheit genügend Verstärkung zum Aufbau von Schwingungen erreicht, kann an einem Beispiel nachvollzogen werden. Bei 6 MHz und 300 pF beträgt der kapazitive Widerstand ca. 90 Ω . Bei einer Leerlaufgüte von $Q = 100$ beträgt der Resonanzwiderstand des Schwingkreises 9 k Ω . Die Impedanz an der Kathodenzapfung beträgt nur ein Viertel davon, also ca. 2,25 k Ω , wenn die Anzapfung genau auf der Hälfte liegt. Damit eine Verstärkung größer als Eins möglich wird muss die Steilheit mindestens $S = 1 / 2,25 \text{ k}\Omega$ also mindestens ca. $S = 0,44 \text{ mA/V}$ betragen. Vor allem bei Röhrenschaltungen mit reduzierter Anodenspannung ist daher eine hohe Leerlaufgüte des Schwingkreises wichtig. Insbesondere sollte die Kurzwellenspule aus dickem Draht mit einer Stärke von ca. 1 mm gewickelt werden.

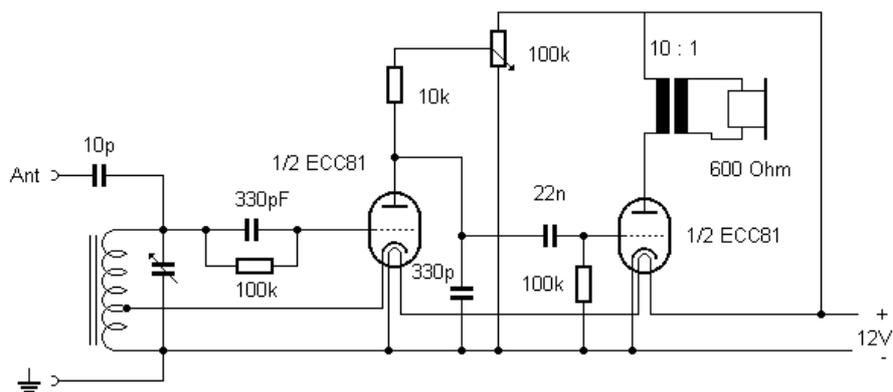


Bild 3.8 Ein Audion mit Rückkopplung

Die Rückkopplung wird hier über eine Veränderung der Anodenspannung und damit der Steilheit und der Verstärkung der Röhre eingestellt. Mit dem Rückkopplungs-Poti lässt sich die optimale Rückkopplung sehr feinfühlig bedienen. Die Schaltung führt zu einem weichen Schwingungseinsatz. Bei zu starker Antennenkopplung kann der Fall eintreten, dass die Verstärkung der Röhre nicht mehr für einen Rückkopplungseinsatz ausreicht. Eine schwächere Antennenkopplung bringt in diesem Fall mehr Verstärkung. Auch Versuche mit einem kleineren Gitterwiderstand können Erfolg bringen, weil die Röhre dann mit mehr Anodenstrom und mehr Steilheit betrieben wird.

Eine Abschätzung der durch die Entdämpfung erreichten Spulengüte gelingt über die Bestimmung der Bandbreite. Das Audion trennt bei optimaler Einstellung problemlos Stationen im Kanalabstand von nur 10 kHz. Man kann von einer Bandbreite von ca. 6 kHz ausgehen, wobei bereits die höheren Modulationsfrequenzen hörbar gedämpft werden. Im 6-MHz-Band ergibt sich daraus eine effektive Güte von 1000 und ein Resonanzwiderstand von ca. 100 k Ω . Alle dämpfenden Einflüsse durch die angeschlossene Antenne und den Innenwiderstand der Röhre werden durch die Rückkopplung aufgehoben. Die aktuelle Güte hängt von der genauen Einstellung der Rückkopplung ab. Tatsächlich kann man nahe beim Schwingungseinsatz eine noch höhere Güte erreichen. Allerdings steigt ab einem gewissen Punkt die Lautstärke nicht mehr weiter an, weil die Seitenbänder nicht mehr mit angehoben werden.

Dieses Audion bringt bereits Empfangsleistungen, die sich mit einem einfachen Superhet messen können, besonders weil prinzipbedingt keine Spiegelfrequenzen auftauchen und eine gute Großsignalfestigkeit gegeben ist. Der Fernempfang mit einem Röhrenaudio macht wirklich Freude. Besonders in den Abendstunden ist bereits mit einer Drahtantenne von nur drei Metern Länge hervorragender Fernempfang möglich. Mit auswechselbaren Steckspulen lassen sich mehrere Wellenbereiche oder gespreizte Kurzwellenbänder realisieren. Auch Empfänger für einzelne Amateurfunkbänder sind möglich. Mit angezogener Rückkopplung lassen sich CW- und SSB-Signale empfangen, was mit einem Superhet nur dann möglich ist, wenn er über einen Überlagerungssoszillator (BFO) verfügt.

Ein SSB-Sender überträgt keinen Träger und nur das untere oder das obere Seitenband. Mit einem AM-Empfänger hört man nur ein undeutliches Geräusch. Der Empfänger muss nun den Träger an genau der richtigen Frequenz zusetzen. Bei ungenauer Abstimmung hört man eine Micky Maus-ähnlich verzerrte Stimme. Im 80- und im 40-m-Band wird das untere Seitenband verwendet. Das Audion muss also etwas oberhalb der Empfangsfrequenz abgestimmt werden. Erste Erfolge erzielt man meist im 40-m-Band oberhalb etwa 7050 kHz.

Am unteren Bandende nahe 7000 kHz hört man CW-Sender. Hier werden unmodulierte Träger mit der Morsetaste ein- und ausgeschaltet. Damit man etwas hört, muss das Eingangssignal mit einem zweiten Signal überlagert werden. Dazu stimmt man das Audion mit angezogener Rückkopplung um 500 Hz bis 1 kHz unterhalb oder oberhalb des Signals ab. Die genaue Einstellung bestimmt die Tonhöhe. Eine Abweichung von 800 Hz erzeugt auch eine Schwebung von 800 Hz. Bei genauer Abstimmung auf Schwebungsnull hört man nichts mehr.

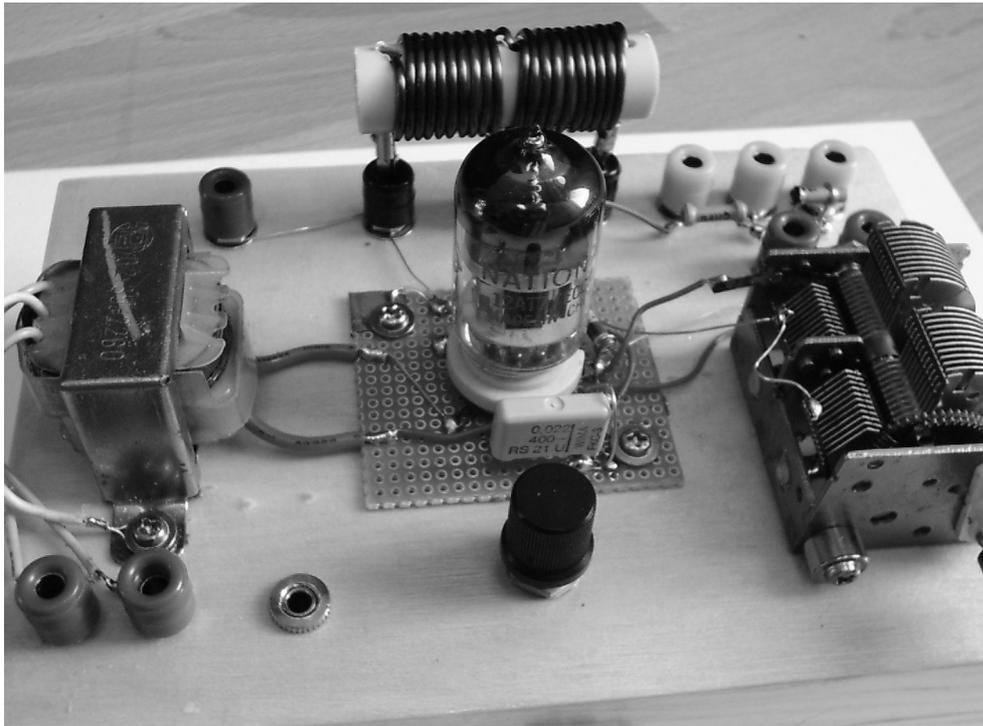


Bild 3.9 Das ECC81-Audion auf einem Holzchassis

Ein entscheidendes Merkmal eines guten Audions ist der weiche Einsatz der Rückkopplung. Ein harter, plötzlicher Einsatz erschwert die Einstellung und führt zu Verzerrungen. Wichtig für einen weichen Einsatz ist eine sich selbst zurückregelnde Verstärkung bei großer Schwingungsamplitude. Durch den Gitterstrom lädt sich das Gitter negativer auf. Man kann oft beobachten, dass Eigenschwingungen knapp oberhalb der kritischen Einstellung aufhören, wenn auf einen starken Sender abgestimmt wird. Die große Signalspannung des Nutzsignals selbst regelt also die Verstärkung zurück. Das funktioniert aber nur bei einer ausreichend kurzen Gitterzeitkonstante.

Vergrößert man den Gitterkondensator z.B. bis auf $1\ \mu\text{F}$, wird eine feinfühligere Einstellung unmöglich. Es kommt statt dessen zu Pendelschwingungen mit knatternden Geräuschen. Bei jedem neuen Schwingungsansatz gelangt die Röhre durch die einsetzenden Schwingungen in einen Arbeitspunkt mit höherem Anodenstrom und mehr Steilheit, was die Rückkopplung noch verstärkt. Die Schwingung wird dann immer größer, bis sie durch eine starke Aufladung des Gitters abreißt. Mit einem kleinen Gitterkondensator unter $1\ \text{nF}$ dagegen regelt sich die Verstärkung ausreichend schnell zurück, sodass es zu einer Stabilisierung der Amplitude kommt.

Beide für die Demodulation verantwortlichen Vorgänge in der Röhre, nämlich Gittergleichrichtung und Anodengleichrichtung, spielen hier zusammen. Während die Anodenstromkennlinie den Strom mit der Aussteuerung vergrößert, sorgt der ansteigende Gitterstrom durch die negative Aufladung des Gitters für eine Verringerung des Anodenstroms. Diese Regelung funktioniert in gewissen Grenzen sogar wie eine Schwundregelung (AGC) und regelt Feldstärkeschwankungen teilweise automatisch aus.

Die vorgestellte Schaltung wurde mit geringen Änderungen und einer ECC82 in der Jubiläumsausgabe des Kosmos-Experimentierkastens Radiomann 2004 verwendet. Kosmos legte besonderen Wert auf ein schönes Holzgehäuse und historische Anklänge an die Anfänge der Radiotechnik. Die steckbare Spule erlaubt den Bandwechsel. Für den Kurzwellenbereich wird eine Zylinderspule verwendet, auf Mittelwelle arbeitet man mit einer Flachspule.



Bild 3.10 Der Kosmos-Radiomann mit Mittelwellenspule