



Faszination Röhre Teil 5

Schwingungserzeugung und HF-Verstärkung ist wohl auch heute noch einer der Hauptanwendungsbereiche von Elektronen- und Wanderfeldröhren im professionellen Bereich. Deshalb wollen wir uns im vorliegenden Teil unserer Serie rund um die Röhre auch diesem Thema anhand von zum Teil praktisch nachvollziehbaren HF-Schaltungen für den Sende- und Empfangsbereich widmen.

Am Anfang steht die Schwingungserzeugung

Die elektromagnetische Schwingung ist eine wichtige Grundlage sowohl der Nachrichtenübermittlung als auch für andere technische Anwendungen wie der Hochfrequenzerwärmung.

Erinnern wir uns an die letzte Folge, als wir die Gegenkopplung von Verstärkern ausführlich betrachtet haben. Dies hatte schon einen Grund, denn auch in der HF-

Schwingungserzeugung ist dieses Prinzip die Grundlage der Funktion.

Wird vom Ausgang einer Verstärkerstufe ein Teil der Ausgangsspannung auf den Eingang zurückgekoppelt, ergibt sich je nach Phasenlage der zurückgekoppelten Spannung eine Gegenkopplung oder eine Mitkopplung. Zur Schwingungserzeugung wird die Mitkopplung ausgenutzt.

In der HF-Technik wird als Arbeits- (Last-) Widerstand der Röhre meist ein Schwingkreis verwendet.

Die Frequenz der entstehenden Schwin-

gung ist durch die Resonanzfrequenz des meist im Anodenkreis liegenden Schwingkreises bestimmt:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

Dabei sind L und C die „wirksamen Kapazitäten und Induktivitäten, die je nach Schaltung und Frequenzbereich von den tatsächlich eingesetzten Bauteilwerten abweichen können.

Die bekanntesten Schaltungsvarianten zur Schwingungserzeugung sind im Bild 32 dargestellt, ihre wesentlichen Merkmale in der Tabelle 4 aufgelistet.

Baut man eine dieser Schaltungen auf und tut etwas für normale Elektroniker ohne Amateurfunklizenz Unerlaubtes, indem man eine zusätzliche Koppelwicklung mit einer kleinen Antenne anbringt, hat man bereits den ersten, freilich unmodulierten Sender aufgebaut. Solche Schaltungen arbeiten zuverlässig je nach Dimensionierung bis in den Bereich bis 100 MHz.

Bild	Schaltungsname	Rückkopplung und Kopplungsfaktor
32.1	Meißner	über Kopplungsspule und Kopplungsgrad
32.2	Hartley	über induktive Spannungsteilung und Wahl des Abgriffs
32.3	Collpitts	über kapazitive Spannungsteilung und Wahl des Kapazitätsverhältnisses
32.4	ECO	über induktive Spannungsteilung und Wahl des Abgriffs
32.5	Huth-Kühn	Anodengitterkapazität und Parallelkapazität

Tabelle 4: Die Grundsaltungen für die Schwingungserzeugung

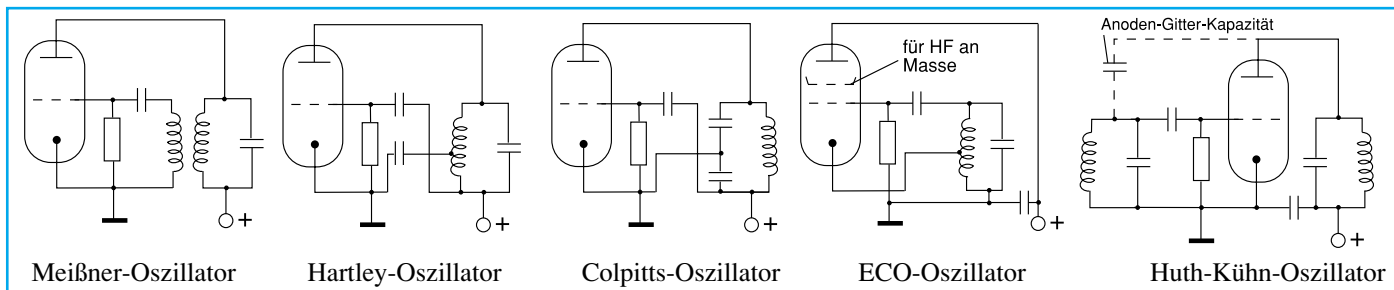


Bild 32: Die fünf HF-Oszillator-Grundsaltungen für Röhren

Will man dagegen Schwingungen im GHz-Bereich erzeugen, versagt die Dimensionierung von Schwingkreisen mit herkömmlichen Spulen und Kondensatoren.

Wegen der Beziehung

$$C = \lambda \cdot f \approx 30 \cdot 10^9 \cdot \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

erhält man z. B. für

$$f = 1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ s}^{-1}$$

$\lambda \approx 30 \text{ cm}$, d.h., die Wellenlänge kommt für Frequenzen oberhalb 1 GHz in den Bereich der mechanischen Abmessungen

nung eines derartigen Systems mit der Leistungstriode 2C39 und das elektrische Ersatzschaltbild dazu dargestellt. Ebenso erkennt man das sich ausbildende Schwingungsbild innerhalb des Topfkreises. Die Leistungsauskopplung erfolgt an der Stelle, an der das Produkt aus Spannung und Strom ein Maximum erreicht.

Auch im Konsumgüterbereich gab es ähnliche Anordnungen. So erfolgte bei den ersten röhrenbestückten UHF-Tunern, z. B. von Grundig, die Frequenzabstimmung über die mechanische Längenänderung einer halbkreisförmig angeordneten „Leitung“, bis eine Ablösung dieser Variante durch die Kapazitätsdioden erfolgte.

Oszillator, als Sender eingesetzt, bestenfalls einige Meter weit reichen. Die Schwingungen kommen noch recht schwach am Fußpunkt der Antenne an, was liegt also näher, als sie vorher zu verstärken? Eine Leistungsstufe muß her.

Schauen wir uns also eine typische HF-Verstärkerstufe an, wie wir sie in Abbildung 34 sehen. Wir erkennen im Gitter- und Anodenkreis je einen Schwingkreis, der jeweils auf die zu verstärkende Frequenz abgestimmt ist. Neben der Schaltung kann man die Selektionskurve dieser (verlustbehafteten) Schwingkreise sehen.

Die Verstärkung der Stufe beträgt :

$$V = S \cdot R_a$$

R_a ist die Parallelschaltung des Resonanzwiderstandes des Schwingkreises und des Röhren-Innenwiderstands.

Mit der Bandbreite $b_{0,7}$, die sowohl die Kreisverluste als auch den Röhreninnenwiderstand berücksichtigt, ergibt sich bei gegebener Schwingkreiskapazität C die Verstärkung der Stufe zu:

$$V = S \cdot 30 \cdot \frac{1}{2\pi \cdot C \cdot b_{0,7}}$$

Beispiel:

Für eine Verstärkerstufe mit der EF 89 ergibt sich bei einer Steilheit von $S = 3,6 \text{ mA/V}$, einer Kreiskapazität von 300 pF und einer Bandbreite von $b_{0,7} = 12 \text{ kHz}$ eine Verstärkung von 160.

In Abbildung 34 taucht noch eine Kapazität C_{ga} auf - die Gitter-Anodenkapazität. In Abbildung 32.5 wurde diese Kapazität in der Oszillatorschaltung bewußt zur Rück-

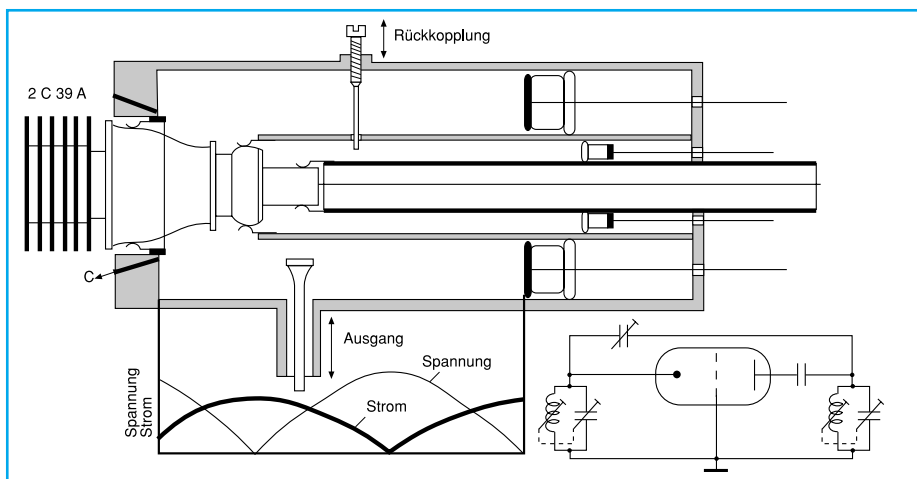


Bild 33: Höchstfrequenz-Leistungsgenerator für den Dezimeterbereich

der bei Röhrentechnik nicht eben kleinen Baugruppen und Schaltungen.

Die „Schwingkreise“ gehen in mechanische Gebilde wie Topfkreise und Löcherleitungen über, die mit ihren Abmessungen in Verbindung mit den Röhrenkapazitäten die Schwingfrequenz bestimmen. Welche Gebilde bei derart hohen Frequenzen als frequenzbestimmende Elemente zustande kommen, konnten Sie ja schon in unserem Beitrag über die Radarwarner erfahren.

Spezielle Trioden, die z. B. als Schebentrioden bezeichnet werden, sind so ausgebildet, daß die Röhre in zwei Topfkreisen angeordnet ist und durch die mechanische Länge eben dieser Topfkreise die Schwingfrequenz bestimmt wird.

In Abbildung 33 sind die Schnittzeich-

Schwache Schwingungen? Verstärken!

So, wie Schwingungen erzeugt werden, wissen wir jetzt. Jedoch würde ein solcher

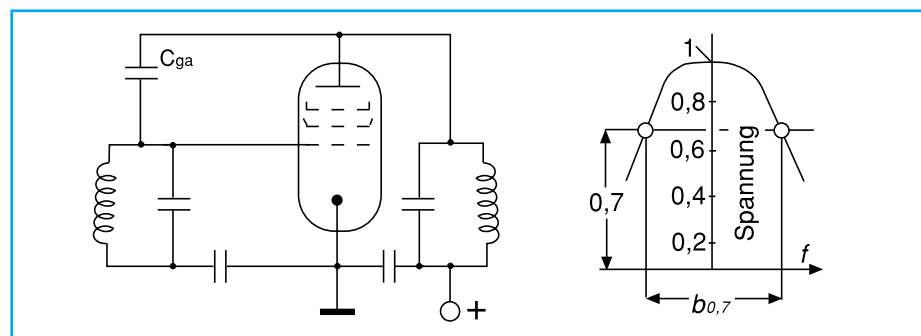


Bild 34: HF-Verstärkerstufe und Schwingkreisdurchlaßkurve

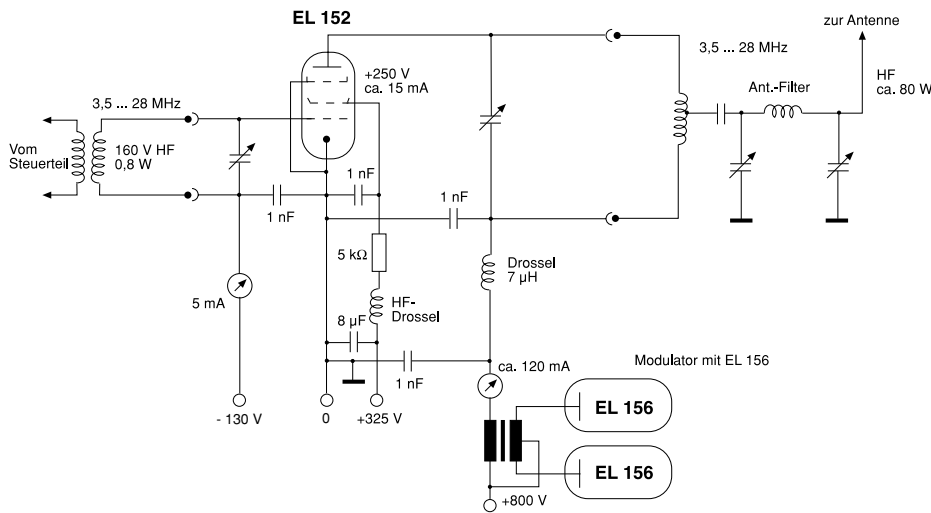


Bild 35: Schaltung einer Sender-Endstufe mit Anoden-/Schirmgittermodulation

kopplung und damit zur Schwingungs-erzeugung ausgenutzt.

In der Verstärkerschaltung wirkt sie dagegen störend, da sie die Stabilität der Schaltung beeinflusst und zur „Schwingneigung“ führt. Daher ist C_{ga} also möglichst klein zu halten. Ist diese Kapazität nicht vernachlässigbar, werden zur Minderung der Schwingneigung spezielle Neutralisationsschaltungen verwendet.

Der Sender wird moduliert

Eine nahezu komplette Senderschaltung eines 80W-Röhrensenders mit der EL 152 in Katodenbasisschaltung ist in Abbildung 35 zu sehen. Das Gitter 1 ist stark negativ vorgespannt und wird von einer hohen HF-Spannungsamplitude gesteuert, die ein auf die Sendefrequenz abgestimmter Koppelkreis liefert. Die Steuerspannung für diesen Schwingkreis wird von einer leistungsfähigen, frequenzstabilen Oszillatorstufe geliefert. Die Leistungsröhre arbeitet auf einen ebenfalls auf die Sendefrequenz abgestimmten Schwingkreis, an dessen Anzapfung die HF ausgekoppelt wird. Ein Antennenfilter paßt die Antenne optimal an.

In der Anodenleitung liegt ein NF-Transformator, der von einer NF-Gegentaktendstufe angesteuert wird und eine Amplitudenmodulation der HF bewirkt. Ebenso könnte die Modulation über das Schirmgitter vorgenommen werden - ein Grundprinzip vieler AM-Sender.

Die Nachricht in der Schwingung - der Empfänger

Wozu senden wir elektromagnetische Schwingungen aus? Um sie irgendwo weit weg zu empfangen. Empfänger verstärken schwache elektromagnetische Schwingungen und demodulieren deren Nachrichteninhalt.

Bei den amplitudenmodulierten Schwingungen, wie sie der eben beschriebene Sender abgibt, erfolgt diese Demodulation nach entsprechender Verstärkung durch Dioden.

Eine lange Jahre sehr beliebte Röhrenempfängerschaltung ist das rückgekoppelte Audion, dessen Grundschaltung in Abbildung 36 zu sehen ist.

Hier werden in einer einzigen Röhre mehrere Funktionen vereinigt:

- an der Gitter-Katodenstrecke erfolgt die Gleichrichtung der am Eingangsschwingkreis anliegenden modulierten HF-Schwingung;
- an der Strecke Katode-Gitter-Anode werden gleichzeitig die demodulierte NF- und die HF-Spannung verstärkt;
- durch Rückführung eines Teils der im Anodenstrom vorhandenen HF-Komponente auf den Eingangsschwingkreis tritt eine Entdämpfung des Kreises auf, was zu einer größeren Spannung am Gitter der Röhre durch Resonanzüberhöhung führt. Das wiederum führt zu einer Erhöhung der Gesamtverstärkung und der Selektivität.

Einen leicht nachvollziehbaren Sonderfall des Audions bildet das Pendelaudion, wie wir es in Abbildung 37 für den UKW-Rundfunkbereich sehen. Es ist durch eine fest eingestellte Rückkopplung gekenn-

zeichnet, so daß die Schaltung als Oszillator arbeitet. Durch die Wahl des Arbeitspunktes und der Bauteile im Gitterkreis tritt eine niederfrequente Unterbrechung der Schwingung auf, die wiederum die oben beschriebene, dieses Mal periodische Entdämpfung des Eingangskreises mit einer Frequenz oberhalb des Hörbereichs auslöst. Die Verstärkung solch einer einfachen Schaltung ist außerordentlich hoch.

Ältere Modellbauer werden sich noch erinnern, Pendelaudions arbeiteten viele Jahre in Fernsteuerempfängern.

Super, Super

Trotz der einfachen Schaltung wurden die Audions immer weiter durch die Überlagerungsempfänger in den Hintergrund gedrängt (ursprünglich Superheterodynempfänger genannt, heute sagt man nur noch Super). Die „Super“ weisen eine höhere Selektivität sowie eine geregelte Verstärkung auf und genügen damit den gestiegenen Anforderungen an Empfänger durch höhere Senderdichte und neue Hörgewohnheiten.

Diese Technik der „Super“ basiert im wesentlichen auf einer Mischung der zu empfangenen Eingangsschwingung mit einer Oszillatorschwingung, die als Mischergebnis die Zwischenfrequenz bildet, die weiter verstärkt wird. Diese ZF ist vom Eingangskreis entkoppelt und kann in weiten Grenzen verstärkt werden. Die dafür zuständige Verstärkerstufe ist als HF-Verstärker mit besonders hoher Selektivität (durch Einsatz mehrerer Filter) ausgeführt und ermöglicht eine hohe Verstärkung des umgesetzten HF-Signals sowie eine von anderen Einflüssen weitgehend unbeeinflusste Demodulation des Signals.

Besonders im Bereich Oszillator/Mischstufe gibt es zahlreiche Schaltungsvarianten, die wir an dieser Stelle jedoch der weiterführenden Literatur überlassen wollen.

Batteriesuper selbst gebaut

Wir wollen uns jedoch zum Abschluß

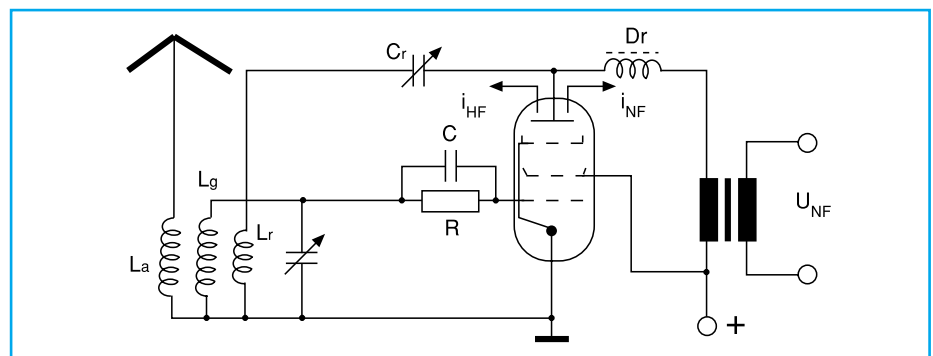


Bild 36: Rückgekoppeltes Audion (C = 100 pF, R = 1 MΩ).

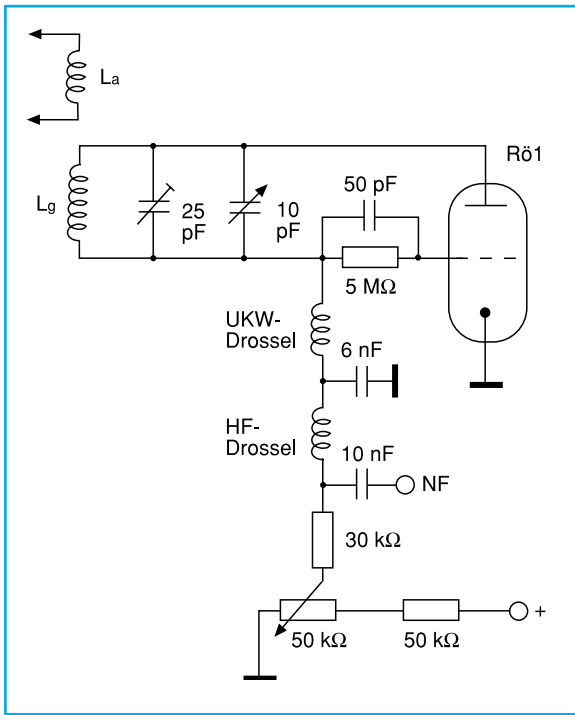


Bild 37: UKW-Pendelaudio-schaltung

($L_A = 1$ Wdg., Cu-Draht $\varnothing 1$ mm, Windungsdurchmesser 10 mm; $L_G = 2$ Wdg., Cu-Draht $\varnothing 1$ mm, Windungsdurchmesser 6 mm; $R_{\text{Ö1}}$ z. B. EC 92; UKW-Dr. = 25 Wdg. Cu-Draht $\varnothing 0,5$ mm, Windungsdurchmesser 6 mm, HF-Dr. = 8 mH)

ZF von genau 455 kHz entsteht

Im Gitter 3 wird die Eingangsfrequenz eingekoppelt. An der Anode erfolgt das Aussieben der Zwischenfrequenz über ein Bandfilter, diese gelangt an die ZF-Verstärkertriode DF 96 (wir erkennen das genaue Prinzip aus Abbildung 34), wird dort verstärkt und über das als Arbeitswiderstand arbeitende Bandfilter der Diodenstrecke der Röhre DAF 96 zur Demodulation zugeführt.

Die nach der Demodulation zur Verfügung stehende NF-Spannung gelangt über das $1\text{M}\Omega$ -Lautstärke-Poti zum einen an das Gitter 1 der DAF 96 zur NF-Vorverstärkung und zum anderen über $R = 3\text{M}\Omega$ und $C = 50\text{nF}$ mit einer Zeitkonstanten von 150 ms an das Gitter 3 der DK 96 zur automatischen Verstärkungsregelung. Die DL 96 schließlich bildet den NF-Leistungsverstärker.

Wer Experimente mit einem Röhrenempfänger durchführen möchte, sollte es

mit dieser Schaltung versuchen. Die einfache Struktur ohne technische „Fußangeln“ und vor allem die benötigte Betriebsspannung von nur 40 V bis 60 V machen den Nachbau einfach.

Sicherheitshinweis: Innerhalb des Aufbaus ist die berührungsgefährliche Betriebsspannung $> 42\text{V}$ frei zugänglich.

Aufbau und Inbetriebnahme dürfen daher nur von Fachkräften vorgenommen werden, die aufgrund Ihrer Ausbildung dazu befugt sind. Die geltenden Sicherheits- und VDE-Bestimmungen sind zu beachten.

Der Aufbau muß so gestaltet sein, daß ein zufälliges Berühren der betriebsspannungsführenden Teile (Leiterbahnen, Anschlüsse usw.) nicht möglich ist. Ggf. müssen entsprechende Abdeckungen angebracht werden.

Man kommt also mit einem Kleinnetzteil oder gar mit der Reihenschaltung von fünf 9V-Blockbatterien für diese ersten Experimente aus - ein unschätzbare Sicherheitsvorteil!

Zu beachten ist, daß die Heizspannung 1,5 V nicht übersteigen darf, da die Heizfäden dieser empfindlichen Röhren leicht zerstört werden. Hier läßt sich aufgrund der geringen Gesamtstromaufnahme von nur 125 mA auch erfolgreich eine Monozelle einsetzen.

Der Aufbau kann auf Lötleisten, einem Experimentierchassis oder auch auf einer Leiterplatte erfolgen. Die frequenzbestimmenden Bauteile sind im Elektronikhandel mitunter sogar als komplette Spulen-/Drehko-Sätze erhältlich.

Die Elektronen-Röhre in der Meßtechnik ist das zentrale Thema des nächsten Artikels. **ELV**

unseres Exkurses durch die Röhren-HF-Technik noch einmal die komplette Schaltung eines Röhren-Batterie-Supers für MW und LW (Braun Exporter 2) ansehen (Abbildung 38).

An dieser Schaltung läßt sich das Überlagerungsprinzip deutlich zeigen.

Die Röhre DK 96 arbeitet als selbstschwingende Mischstufe. Die Oszillatorfrequenz wird im System Katode/Gitter 1/Gitter 2 erzeugt (Meißner-Oszillator). Durch den Doppeldrehkondensator wird einmal die Abstimmung des Eingangskreises auf die gewünschte Frequenz durchgeführt, zum anderen bestimmt er synchron dazu die Oszillatorfrequenz so, daß eine

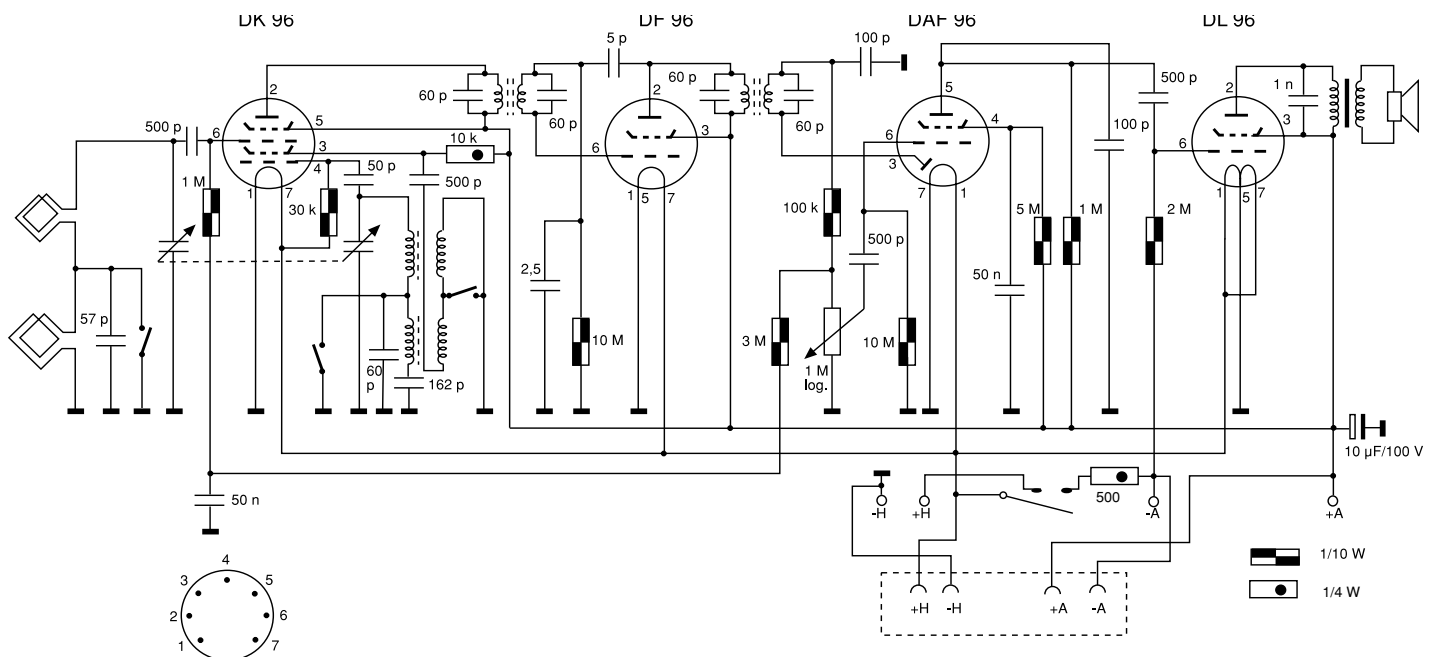


Bild 38: Schaltung eines Batterie-Röhrensupers (Braun Exporter 2), gut geeignet für eigene Experimente.