

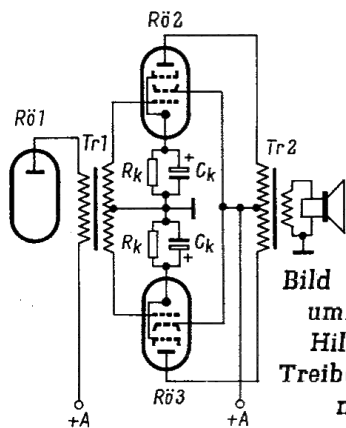
C. Jürgen Urban

Für den jungen Funktechniker

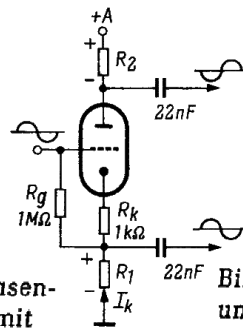
## Die Phasenumkehrstufe für den Gegentakt-Endverstärker

Bei der Gegentaktschaltung für Endverstärker werden bekanntlich zwei Endröhren, die auf einen gemeinsamen Gegentakt-Ausgangsübertrager mit primärseitiger Mittelanzapfung arbeiten, gegenphasig angesteuert. Die Vorteile der Gegentaktschaltung sind allgemein bekannt: geringe Vormagnetisierung des Übertragerkerns, geringer Klirrfaktor (etwa 4 % gegenüber 10 % bei Eintaktbetrieb), größere Sprechleistung, hauptsächlich bei AB- und B-Betrieb.

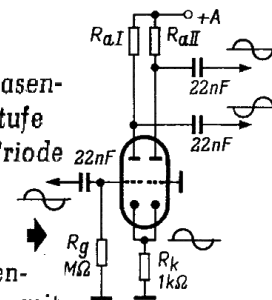
Die Endröhren benötigen zur Steuerung zwei Wechselspannungen, die zwar gleiche Größe, aber entgegengesetzte Phase besitzen müssen. Diese beiden Spannungen werden von der vorausgehenden Treiber- bzw. Phasenumkehrstufe geliefert. Eine der klassischen Phasenumkehrschaltungen ist der *Treibertransformator*, dessen Prinzipschaltung *Bild 1* verdeutlicht. An der Sekundärwindung des Transformators Tr 1 werden die an den beiden Enden gegenphasig auftretenden Spannungen für die Endröhren abgenommen, wobei die Mittelanzapfung an Masse liegt, so daß die beiden Wechselspannungen symmetrisch zum Nullpunkt auftreten.



**Bild 1. Phasenumkehr mit Hilfe eines Treibertransformators**



**Bild 2. Phasenumkehrstufe mit einer Triode**



**Bild 3. Phasenumkehrstufe mit einer Doppeltriode**

Die vorausgehende Röhre R0 1 nennt man allgemein *Treiberröhre*, den in den meisten Fällen untersetzenden Transformator Treibertransformator, und die gesamte Stufe trägt den Titel *Treiberstufe*. Dieses Prinzip findet heute noch oft in Transistor-Empfängern und -Verstärkern Verwendung, während in den heutigen Röhrenverstärkern fast ausschließlich von den nachfolgend beschriebenen Schaltungen Gebrauch gemacht wird.

Bild 2 zeigt die Schaltung einer Phasenumkehrstufe mit einer Triode. Der Gitterableitwiderstand und der Katodenwiderstand sind hier an einen Punkt geführt, der über den Widerstand  $R_1$  an Masse liegt und von dem die eine der beiden gegeneinander gedrehten Wechselspannungen abgenommen wird. Am Anodenwiderstand  $R_2$ , der die gleiche Größe wie  $R_1$  haben muß, wird die gegenphasige Wechselspannung abgegriffen. Der Außenwiderstand der Triode ist also praktisch in zwei gleich große Widerstände aufgeteilt, von denen je einer in der Katoden- und Anodenzuleitung liegt und einen bestimmten Spannungsabfall durch den Anodenstrom hervorruft.

Betrachten wir nun die Phasenlage an Katode und Anode, so ergibt sich folgendes:

Erhält das Steuergitter eine negative Spannung, so sinkt bekanntlich der Anodenstrom; das obere Ende des Widerstandes  $R_1$ , das eine bestimmte positive Spannung aufweist, wird negativer; die Anode wird jedoch positiver, da der negative Spannungsabfall am Anodenwiderstand  $R_2$  geringer wird. Erhält nun das Gitter eine positiv gerichtete Spannungshalbwelle, so steigt der Anodenstrom; das heiße Ende von  $R_1$  wird positiver, die Anode jedoch negativer. Die Potentialänderungen an der Katode und an der Anode verlaufen also gegenphasig. Dabei ist die Wechselspannung an der Katode mit der Steuerspannung am Gitter in gleicher Phase.

Die üblichen Werte für den Katodenwiderstand  $R_k$  liegen bei 1 k $\Omega$  und für die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  ergeben sich Werte von 16...100 k $\Omega$ , wobei engtoleriertere Typen ( $\pm 1\%$ ) verwendet werden

müssen.

Die Triode liefert in dieser Schaltung keine große Verstärkung, da sie durch den Widerstand  $R_1$  stark stromgegengekoppelt ist. Bild 3 zeigt dagegen die Schaltung einer Phasenumkehrstufe, die mit einer Doppeltriode bestückt ist und etwa 30fach verstärkt. Hier wird das erste System am Gitter und das zweite über den gemeinsamen Katodenwiderstand in Gitterbasisschaltung gesteuert. Für die Phasenlage ergibt sich folgendes:

Erhält das Gitter des Systems I die positive Halbwelle der Wechselspannung, so steigt der Anodenstrom, und am Anodenwiderstand  $R_{aI}$  entsteht ein negativ gerichteter Spannungsabfall. Gleichzeitig wird die Katode positiver, und da diese Spannung auch an der Katode des in Gitterbasisschaltung arbeitenden Systems II liegt, sinkt dessen Anodenstrom, und die Spannung an  $R_{aII}$  wird positiver. Die Spannungsabfälle an den beiden Anodenwiderständen haben also entgegengesetzte Phase und gleiche Größe.

Bild 4 zeigt eine Variante dieser Schaltung mit galvanischer Kopplung zur Vorröhre, wobei also der Koppelkondensator entfällt. Die am Anodenwiderstand der Pentode EF 86 herrschende Gleichspannung gelangt, überlagert von der Nf-Wechselspannung, an beide Gitter, von denen das rechte über den großen Kondensator C tonfrequenzmäßig an Masse liegt, also nur die Gleichspannung erhält. Da ein Steuergitter normalerweise jedoch negativ gegenüber der Katode sein soll, legt man die Katode hoch, indem man den Spannungsabfall am Katodenwiderstand um den Betrag der vorgeschriebenen Gittervorspannung größer macht als die am Gitter herrschende Gleichspannung, so daß also die Katode wieder positiver ist als das Gitter. Auf diese Weise gelangt man zu den ungewöhnlich großen Katodenwiderständen von z. B.  $68\text{ k}\Omega$  in Bild 4, Werte, bei denen die Röhren normalerweise schon gesperrt wären.

Die katodengekoppelten Gegentakts-Endstufen arbeiten ebenfalls nach dem in Bild 3 gezeigten Prinzip (Bild 5). Hierbei wird dem Gitter der einen Endröhre  $Rö\ 1$  die Nf-Wechselspannung zugeführt, während die andere Endröhre  $Rö\ 2$  über den gemeinsamen Katodenwiderstand  $R$  in Gitterbasisschaltung gesteuert wird. Da die beiden Anodenströme, wie aus dem über Bild 3 Gesagten hervorgeht, gegenphasig verlaufen, läßt man die beiden Endröhren auf einen Gegentakts-Ausgangsübertrager arbeiten, dessen Wechselstromwiderstand etwa den doppelten Wert des Außenwiderstandes einer Endröhre hat. Diese Gegentaktschaltung benötigt zur Steuerung nur eine Wechselspannung, da die entsprechende gegenphasige Spannung in der Schaltung selbst erzeugt wird.

Von der Möglichkeit, für nur eine Endröhre die Phase zu drehen, wird in Bild 6 Gebrauch gemacht. Die untere Endröhre  $Rö\ 4$  erhält ihre Steuerspannung direkt von der Anode der Vorröhre  $Rö\ 1$ , während die obere Endröhre  $Rö\ 3$  ihre Spannung über die Röhre  $Rö\ 2$  erhält, die die an der Anode

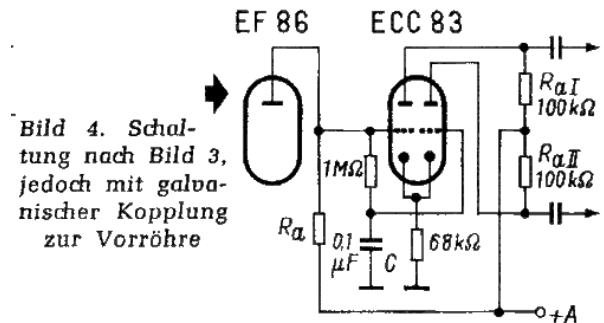


Bild 4. Schaltung nach Bild 3, jedoch mit galvanischer Kopplung zur Vorröhre

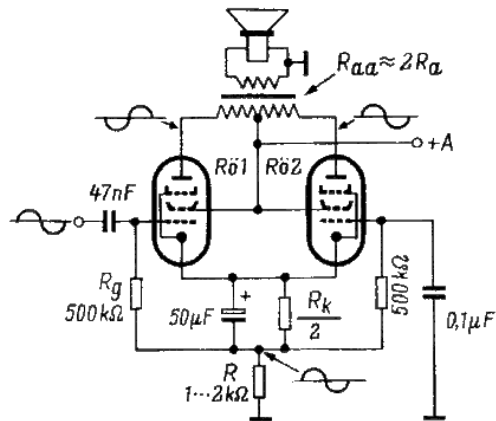


Bild 5. Prinzipschaltung der katodengekoppelten Gegentakts-Endstufe

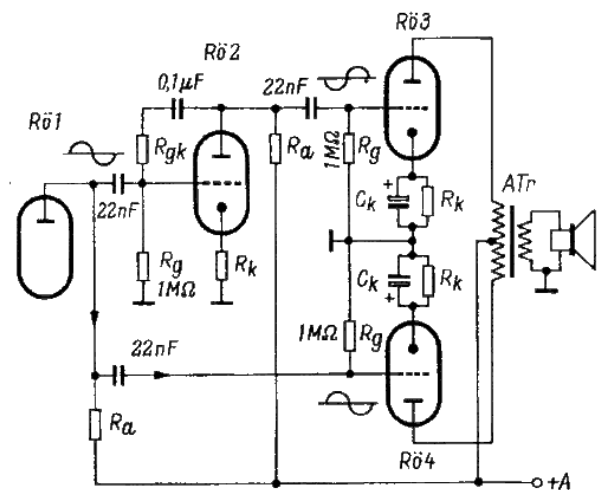


Bild 6. Phasendrehung mit einer Hilfsröhre, die für nur eine Endröhre die Phase dreht

von R<sub>ö</sub> 1 auftretende Wechselspannung mit dem Faktor 1 verstärkt (stark gegengekoppelt) und dabei die Phase um 180° dreht. Als Phasendrehröhre R<sub>ö</sub> 2 kann hier z. B. auch eine Hf- oder Zf-Röhre in Reflexschaltung verwendet werden, eine Möglichkeit, von der manchmal in Kofferempfängern Gebrauch gemacht wurde. Bild 7 gibt hierzu einen Schaltungsauszug aus einem früheren, mit Batterieröhren bestückten Reiseempfänger wieder.

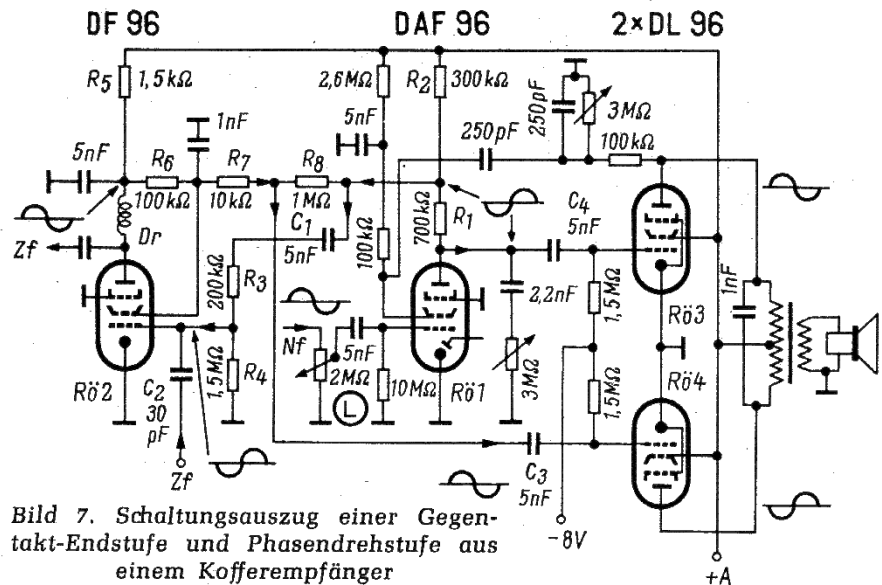
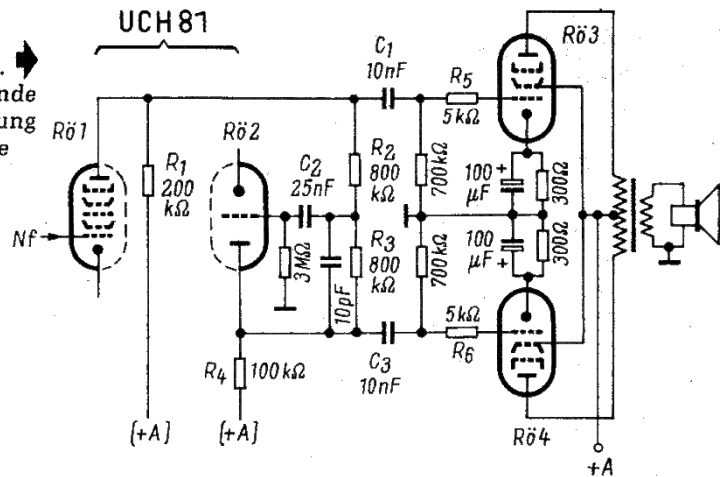


Bild 7. Schaltungsauszug einer Gegentakt-Endstufe und Phasendrehstufe aus einem Kofferempfänger

Die Röhre R<sub>ö</sub> 1 (DAF 96) erhält die Nf-Spannung über den Lautstärkeeinsteller und ein Koppelglied. An der Anode tritt dann die verstärkte Wechselspannung auf, die über den Kondensator C<sub>4</sub> auf das Steuergitter der oberen Endröhre R<sub>ö</sub> 3 (DL 96) gegeben wird. Weiter wird die

Bild 8. Selbstsymmetrierende Phasendreherschaltung mit einer Röhre UCH 81



Anodenwechselspannung durch den Spannungsteiler R<sub>1</sub>/ R<sub>2</sub> geteilt, gelangt über die Schaltelemente C<sub>1</sub>, R<sub>3</sub> und R<sub>4</sub> auf das Gitter der Reflexröhre R<sub>ö</sub> 2, die gleichzeitig über den Kondensator C<sub>2</sub> die Zf-Spannung erhält. Diese Zf-Spannung fällt an der Zf-Drossel Dr ab, während die ebenfalls verstärkte und um 180° gedrehte Tonfrequenz am Anodenwiderstand R<sub>5</sub> abfällt und über die Schaltelemente R<sub>6</sub>, R<sub>7</sub> und C<sub>3</sub> auf das Gitter der unteren Endröhre R<sub>ö</sub> 4 gelangt. Der 1-M $\Omega$ -Widerstand R<sub>8</sub> dient zur Gegengekopplung, um die Verstärkung auf den Faktor 1 zu drosseln.

Eine einfachere Möglichkeit zeigt Bild 8. Hier arbeitet das Heptodensystem einer UCH 81 als Nf-Vorröhre in Reflexschaltung und das Triodensystem als selbstsymmetrierender Phasendreher, ebenfalls in Reflexschaltung.

Am Anodenwiderstand R<sub>1</sub> fällt die vom Heptodensystem verstärkte Nf-Spannung ab, die dann über C<sub>1</sub> und R<sub>5</sub> auf das Gitter von R<sub>ö</sub> 3 gelangt. Die Spannung wird jedoch außerdem durch den Spannungsteiler R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> geteilt und eine der Teilspannungen über den Kondensator C<sub>2</sub> auf das Triodengitter der UCH 81 gegeben. Am Anodenwiderstand R<sub>4</sub> fällt dann die um 180° gedrehte Spannung ab und wird über C<sub>3</sub> und R<sub>6</sub> auf das Gitter der unteren Endröhre gegeben. Bei dieser Schaltung dient der Widerstand R<sub>3</sub> zur Spannungsteilung und als Gegengekopplungswiderstand von der Anode zum Gitter der Röhre R<sub>ö</sub> 2, der bewirkt, daß die Anordnung den Verstärkungsfaktor 1 einhält.

Als letztes Beispiel für eine Schaltung nach Bild 5 sei hier noch die Gegentakt-Baß-Endstufe in einigen Grundig-Stereo-Geräten erwähnt, deren Prinzip Bild 9 verdeutlicht<sup>1)</sup>. Bei dieser Schaltung werden die Bässe im Eingang derart verkoppelt, daß sie zu jeder Zeit in jedem Kanal mit gleicher Amplitude vorhanden sind. Die Spannung des oberen Kanals wird alsdann in der Röhre R<sub>ö</sub> 3 um

<sup>1)</sup> Radio-Praktiker-Bücherei Nr. 97/98, Kleines Stereo-Praktikum, S. 103. Franzis-Verlag.

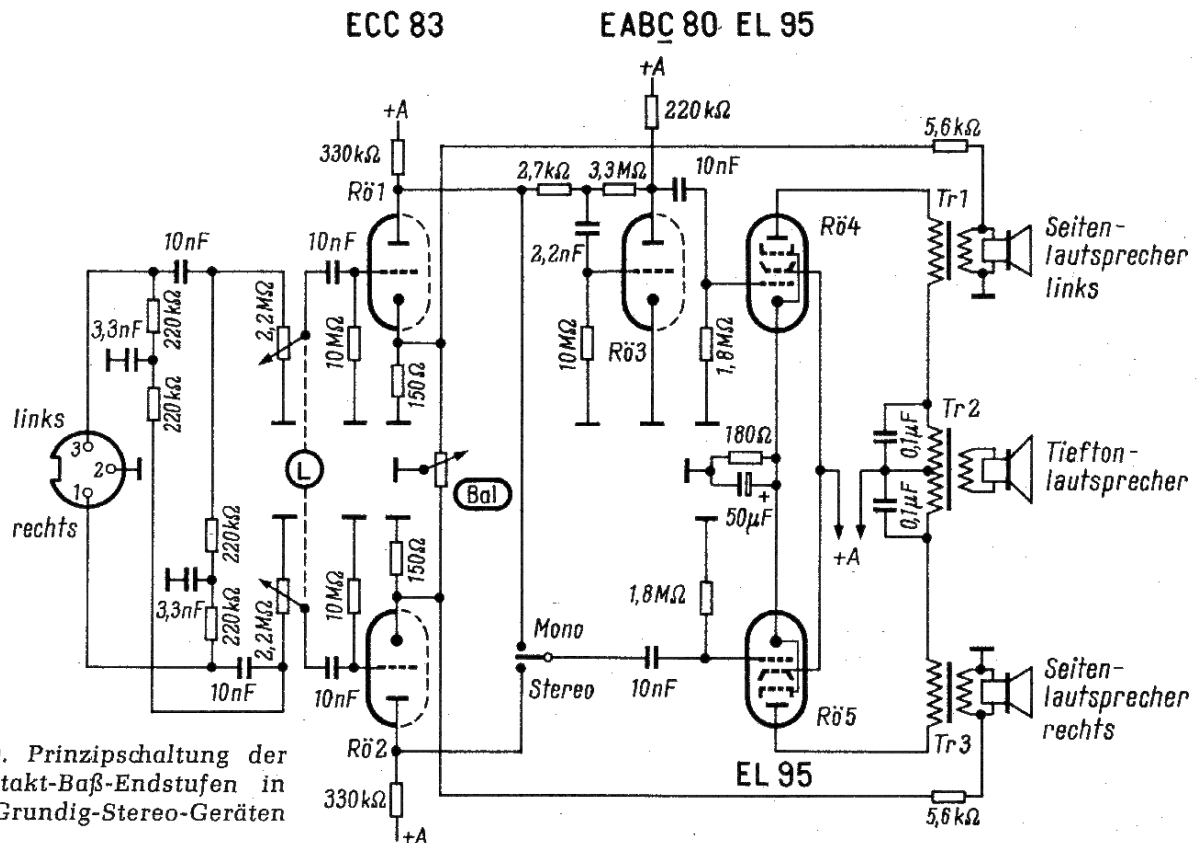


Bild 9. Prinzipschaltung der Gegentakt-Baß-Endstufen in den Grundig-Stereo-Geräten

180° in der Phase gedreht, so daß nun die beiden Endröhren im Gegentakt angesteuert werden. An den beiden Ausgangsübertragern Tr 1 und Tr 3 mit verhältnismäßig geringer Induktivität fallen nur die Mittellagen und Höhen ab, und sie werden den Basislautsprechern zugeführt, während die Bässe fast ungehindert zum Gegentakt-Ausgangstransformator Tr 2 gelangen, der für die hohen und mittleren Töne mit zwei Kondensatoren von je 0,1 µF überbrückt ist.

Der Tieftonlautsprecher gibt also die Bässe beider Kanäle wieder (bekanntlich kann unser Ohr Töne unterhalb etwa 300 Hz nicht orten; es ist daher gleichgültig, ob sie von den beiden Stereo-Basislautsprechern oder von einem gemeinsamen Tieftöner wiedergegeben werden<sup>2)</sup>).

Der Vorteil dieser Schaltung ist nur der, daß für die Bässe die volle Gegentaktleistung beider Endröhren und für die Mittellagen und Höhen die Sprechleistung einer Endröhre pro Stereo-Kanal zur Verfügung stehen. Bei der normalen Bestückung mit 2 x EL 95 erhalten wir z. B. für die Bässe etwa 5 W und für die Mittellagen und Höhen je 2,5 W pro Kanal, während bei Verwendung von 2 x EL 84 in den Luxusgeräten etwa 10 W für die Bässe und etwa 5 W pro Stereo-Kanal an die Seitenlautsprecher abgegeben werden.

<sup>2)</sup> Radio-Praktiker-Bücherei Nr. 97/98, Kleines Stereo-Praktikum, S. 66. Franzi-Verlag.