

Rückkopplung im Nf-Verstärker

Die Gegenkopplung stellt eine der meistbenutzten Maßnahmen zur Beeinflussung des Frequenzganges von Nf-Verstärkern dar. Daneben spielt die positive Rückkopplung seit einigen Jahren eine wenn auch nicht unbestrittene Rolle. Sie wird einmal zwischen Vorverstärkerstufen verwendet, um die Verstärkung heraufzusetzen, zum anderen zwischen dem Ausgang des Verstärkers und einer vorangehenden Stufe, um den Innenwiderstand des Verstärkers gleich dem der Schwingspule des Lautsprechers zu machen. Die letztere Art der Rückkopplung wird regelmäßig in Verbindung mit Gegenkopplung verwendet, wobei das Verhältnis zwischen Gegen- und Rückkopplung eingestellt werden kann.

Rückkopplung zwischen Spannungsverstärkerstufen

Bekanntlich weisen die Katoden zweier einander folgender Nf-Verstärkerstufen in Katodenbasisschaltung entgegengesetzten Frequenzgang auf. Wird in der Schaltung *Bild 1* die Anode der linken Röhre und damit das Gitter der rechten positiver, dann steigt der Strom durch R 6. Damit wird die Vorspannung der linken Röhre größer. Ihr Anodenstrom sinkt und die Spannung an der Anode steigt noch weiter an. Dieser Vorgang schaukelt sich also auf und es sind infolgedessen die Voraussetzungen für eine positive Rückkopplung gegeben. Im vorliegenden Falle sind die Katoden über den Widerstand R 4 miteinander verbunden, so daß eine Rückkopplung auftritt, aber durch die Größe des Widerstandes R 4 derart begrenzt ist, daß der Verstärker nicht schwingt. Auf diesem Wege gelingt es mit geringen Mitteln, einen Teil der Verstärkungsverluste auszugleichen, die infolge der unüberbrückten Katodenwiderstände durch Stromgegenkopplung verursacht werden. Der ohmsche Widerstand im Rückkopplungsweg vermeidet Phasendrehungen, wie sie sich bei Verwendung von kapazitiven und induktiven Blindwiderständen für verschiedene Frequenzen in verschiedener Größe ergeben würden.

In einer Schaltung nach *Bild 2* läßt sich durch eine derartige Schaltung ein Teil des Verstärkungsverlustes ausgleichen, der sich durch die gegenkoppelnde Wirkung des großen Widerstandes R 6 ergibt.

Weniger übersichtlich als in den vorhergehenden Fällen ist die Rückkopplung nach *Bild 3*, wo der Kondensator C 1 den Rück-

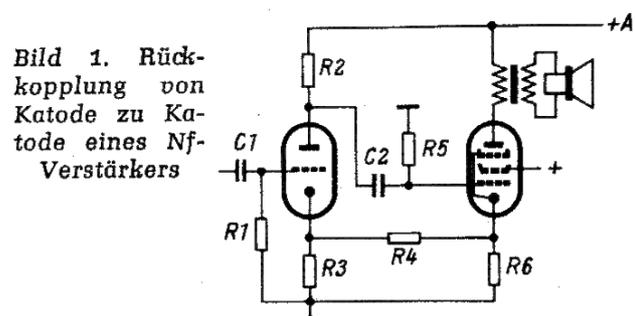


Bild 1. Rückkopplung von Katode zu Katode eines Nf-Verstärkers

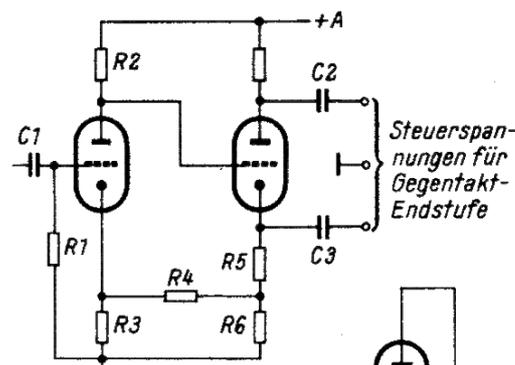


Bild 2. Ausgleich des Verstärkungsverlustes durch Rückkopplung

Rechts:
Bild 3. Frequenzabhängige Rückkopplung von Katode zu Katode

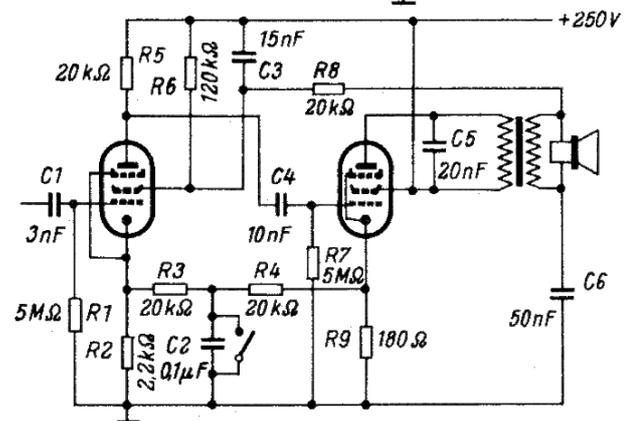
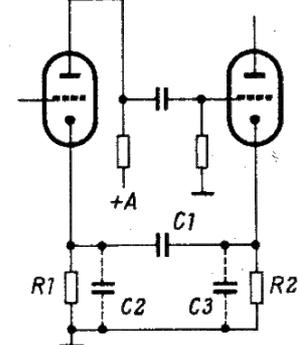


Bild 4. Rückkopplungsschaltung zur Verzerrung der Bässe

kopplungsweg zwischen den beiden Katoden darstellt. Da sein kapazitiver Widerstand mit wachsender Frequenz abnimmt, ist diese Art der Rückkopplung bei hohen Frequenzen wirksamer als bei niedrigen; darüber hinaus spielen die angedeuteten Schaltungskapazitäten C 2 und C 3 eine Rolle.

Synthetische Bässe

In der Praxis hat Rückkopplung von Katode zu Katode in Nf-Verstärkern eine merkwürdige Verwendung gefunden. Wenn man dem menschlichen Gehör Obertöne eines bestimmten Grundtons zuführt, so kombiniert es sich den fehlenden Grundton hinzu; es hört also etwas, was gar nicht vorhanden ist. Diese Tatsache wird bei Verstärkern benutzt, deren Lautsprecher tiefe Töne auf Grund ihrer Konstruktion und Größe nur schlecht oder gar nicht wiedergeben. In solchem Falle verzerrt man die tiefsten Frequenzen absichtlich so, daß eine Vielzahl von Oberschwingungen entsteht, die der Lautsprecher wiedergibt. Dann hört das Ohr diese sogenannten synthetischen Bässe. Ein Mittel zur Verzerrung stellt die frequenzabhängige Rückkopplung dar, wie sie die Schaltung *Bild 4* zwischen den Katoden der Röhren über R 3 und R 4 aufweist; daneben ist Gegenkopplung von der Sekundärseite des Ausgangstransformators auf das Schirmgitter der ersten Röhre vorgesehen. Der Rückkopplungsgrad kann durch den Schalter über dem Kondensator C 2 beeinflußt werden. Praktische Anwendung hat diese Art der Rückkopplung im Philips-Phonokoffer III, AG 2113 gefunden, von dessen Schaltung *Bild 5* einen Ausschnitt zeigt. Die Widerstände R 3 und R 8 stellen den Rückkopplungsweg dar, der durch C 3 frequenzabhängig beeinflußt wird.

Daneben kann am Potentiometer R 10 sowohl Rück- als auch Gegenkopplung eingestellt werden, wie es nachfolgend noch zu erläutern ist.

Rückkopplung vom Ausgang her

Wie der Praktiker aus Erfahrung weiß, ist nichts einfacher, als aus einer Gegenkopplung durch Vertauschen der Anschlüsse am Ausgangstransformator eine Rückkopplung zu machen. Wird nach *Bild 6* nur ein Teil der Windungen der Sekundärseite verwendet, so läßt sich der Rückkopplungsgrad in weiten Grenzen wählen. Auf diese Art gelingt es, den Ausgangswiderstand des Verstärkers gleich den Widerstand der Schwingspule des Lautsprechers zu machen und dadurch einen – in der Literatur umstrittenen – Einfluß auf den Frequenzgang des Verstärkers auszuüben, der allerdings in der Praxis deutlich zu hören ist, so daß diese Art der Rückkopplung in Verbindung mit Gegenkopplung wachsende Bedeutung gewinnt. Eine naheliegende Erklärung des Effekts geht von der Tatsache aus, daß bei Anpassung des Ausgangswiderstandes des Verstärkers an den Widerstand der Schwingspule des Lautsprechers sofort Fehlanpassung eintritt, wenn die Schwingspule etwa infolge mechanischer Resonanz der Membran selbständige, nicht vom Lautsprecherstrom gesteuerte Schwingungen ausführt. Bei der Kombination von Gegen- und Rückkopplung tritt in solchem Falle eine Vergrößerung der Gegenkopplung und Verminderung der Rückkopplung ein, so daß die selbständigen Schwingungen der Membran gedämpft werden.

Einen einfachen Fall kombinierter Gegen- und Rückkopplung stellt die Schaltung nach *Bild 7* dar, die zur Stabilisierung des Nf-Verstärkers von Rundfunkempfängern vorgeschlagen worden ist. Über

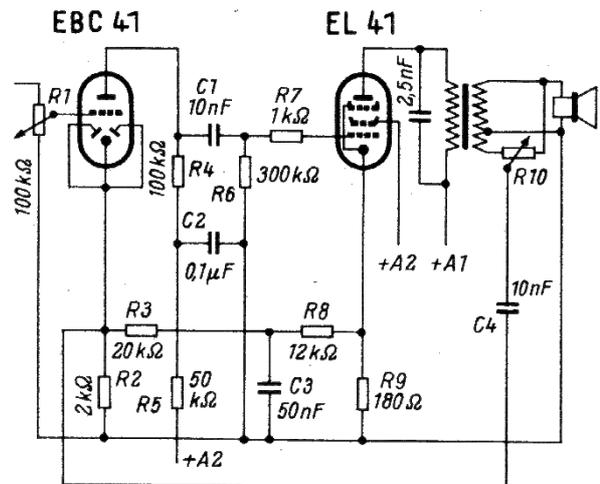


Bild 5. Ausschnitt aus der Schaltung des Philips-Phonokoffers III, AG 2113

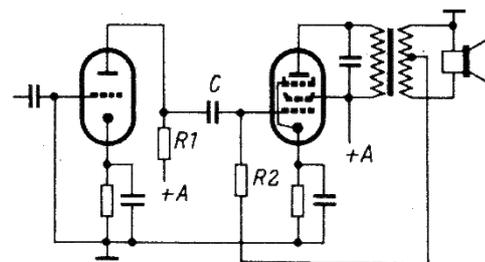


Bild 6. Rückkopplung vom Lautsprecherkreis zum Gitter der Endröhre

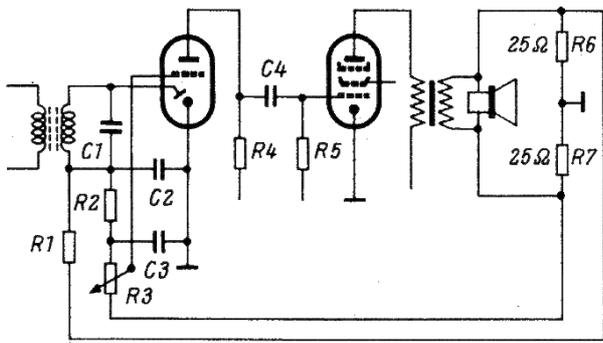


Bild 7. Automatisch wirkende Rückkopplung vom Empfängeranfang auf Demodulator und Nf-Spannungsverstärkerstufe

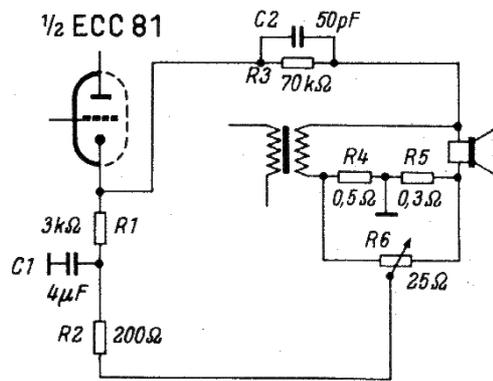


Bild 8. Kombinierte Rück- und Gegenkopplung vom Ausgang auf die Spannungsverstärkerstufe

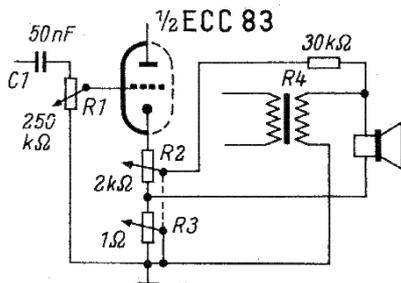
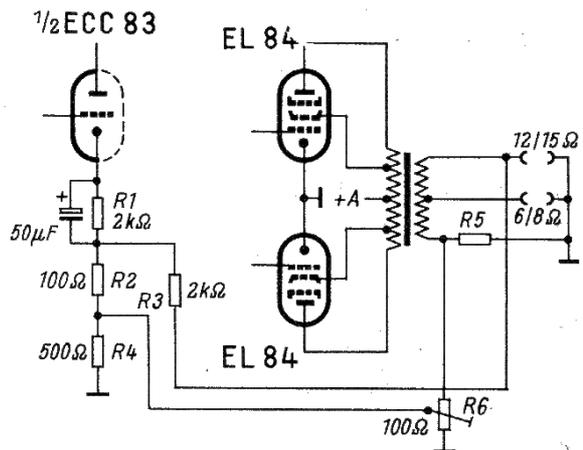


Bild 10. Gekoppelte Einstellung von Rück- und Gegenkopplung vom Ausgang auf die Katode der Spannungsverstärkerstufe

Rechts: Bild 11. Ausschnitt aus der Schaltung des Verstärkers Telewatt T 30 von Klein & Hummel



der Ausgangsspannung liegen die Widerstände R 6 und R 7, deren Verbindung am Chassis liegt. Durch die Wahl der Größe der Widerstände R 1, R 2 und R 3 ergibt sich auf der Schleifbahn von R 3 ein Punkt, der die von der Sekundärseite des Ausgangstransformators stammende Spannung nicht führt. Steht der Schleifer auf der einen oder anderen Seite dieses Punktes, so erhält das Steuergitter der Triode-Diode gegen- oder rückkoppelnde Spannung. Liegt dieser Punkt nahe dem Ende des Potentiometers R 3, das über R 2 mit dem Diodenkreis verbunden ist, und sind die Anschlüsse entsprechend gepolt, so ist bei kleinen Lautstärken Rückkopplung, bei großen Gegenkopplung wirksam.

Kombinierte Gegen- und Rückkopplung

Eine übersichtliche Art der Kombination von Rück- und Gegenkopplung zeigt der Schaltungsausschnitt Bild 8. Hier liegen die Widerstände R 4 und R 5 in Reihe mit Transformatorwicklung und Lautsprecherschwingspule. Da die Verbindung zwischen R 4 und R 5 am Chassis liegt, gibt es auf der Schleifbahn von R 6 einen spannungsfreien Punkt, der die Teile der Bahn verbindet, auf denen der Schleifer Rück- oder Gegenkopplungsspannung abgreift und über R 2 und R 1 der Katode einer voraufgehenden Spannungsverstärkerstufe zuführt. Dabei beschränkt sich der Einfluß auf die hohen Tonfrequenzen, weil der Kondensator C 1 die tiefen ableitet. Der an R 6 einstellbare Kopplungsgrad wirkt je nach Einstellung gegen oder mit der Gegenkopplung vom Lautsprecher über R 3/C 2 zur Katode der Vorröhre.

Sollen sowohl Rück- als auch Gegen-

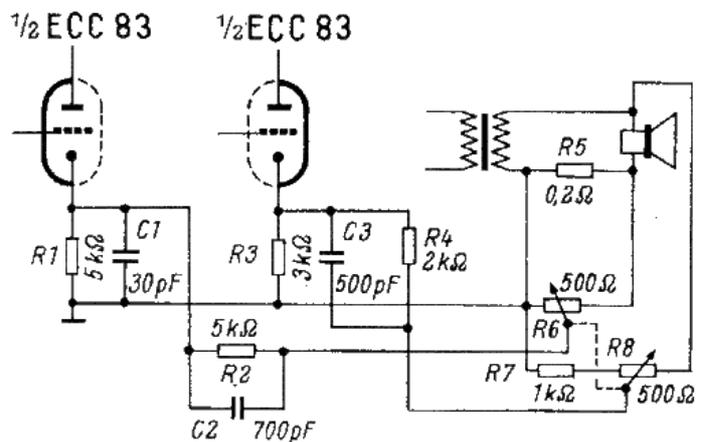


Bild 9. Gekoppelte Einstellung von Rück- und Gegenkopplung

kopplung veränderlich sein, so kann das durch eine Anordnung nach Bild 9 geschehen. Hier liegen die Widerstände R 5 und R 6 parallel im Lautsprecherkreis, R 7 und R 8 darüber. Da die Potentiometer R 6 und R 8 mechanisch gekuppelt sind, zeigen Gegen- und Rückkopplungsspannung entgegengesetzten Verlauf, wobei die beiden Kanäle durch R 4/C 3 bzw. R 2/C 2 und C 1 frequenzabhängig ausgelegt sind. In ähnlicher Weise sind in Bild 10 Gegen- und Rückkopplung miteinander kombiniert. Mit wachsendem Widerstand R 3 nimmt die Rückkopplung zu, während die Gegenkopplung durch die Kombination von R 2 mit R 3 zugleich unwirksamer wird.

GM-Kopplung

In Deutschland befaßt sich die Firma Klein & Hummel seit einer Reihe von Jahren mit der kombinierten Rück- und Gegenkopplung, die sie als GM-Kopplung (Gegen-Mitkopplung) bezeichnet. Unabhängig von Arbeiten des Auslandes hat sie eine Reihe von Nf - Verstärkern entwickelt (Telewatt T 30, Telewatt V 120 und Telewatt V 333), von denen *Bild 11* einen Ausschnitt aus der Schaltung des erstgenannten zeigt. Sowohl der Gegenkopplungskanal als auch der Rückkopplungskanal gehen von der Sekundärseite des Ausgangstransformators aus und greifen an der Katode der der Phasenumkehrstufe voraufgehenden Spannungsverstärkerstufe an. Der Gegenkopplungskanal beginnt beim oberen Anschluß der Sekundärseite und führt über den Widerstand R 3 zur Verbindung zwischen R 1 und R 2. Der Rückkopplungskanal geht vom unteren Anschluß der Sekundärseite aus und führt den an R 5 auftretenden Spannungsabfall Potentiometer R 6 zu. Hier wird der Rückkopplungsgrad eingestellt; die abgegriffene Spannung gelangt an die Verbindung zwischen R 2 und R 4. Beide Kanäle arbeiten ausschließlich mit ohmschen Widerständen, sind also für alle Frequenzen phasenrein.

Dr. A. Renardy

Schrifttum

- Pitsch, H., Lehrbuch der Funkempfangstechnik, 2. Aufl. Leipzig 1950, Seite 508
Langford-Smith, F., Radio Designer's Handbook, 4. Aufl. London 1954, Seiten 352 und 1241
Miller, J. M., Combining Positive and Negative Feedback, Electronics, März 1950, Seite 106
Renardy, A., Kombinierte Mit- und Gegenkopplung bei Kraftverstärkern, Radio Magazin 1955, Nr. 11, Seite 365
Roddam, T., More about Positive Feedback, Wireless World, Oktober 1949, Seite 365, November 1949, Seite 423
Scott, R. F., Variable Damping in Audio Amplifiers, Radio-Electronics, März 1955, Seite 64
Voorhoeve, N. A. J., Niederfrequenz-Verstärkertechnik, Philips Technische Bibliothek, Hamburg 1952, Seite 177 ff.
-