

C. JURGEN URBAN

Elektroakustik

Niederfrequenz-Entzerrer

Dieser Beitrag befaßt sich hauptsächlich mit den praktischen Ausführungen von Entzerrerschaltungen. Die theoretischen Grundlagen wurden ausführlich in der [FUNKSCHAU 1962, Heft 10, Seite 261](#), dargestellt.

Mit der Wiedergabe von Sprache und Musik über elektroakustische Anlagen wird meist nach einer Möglichkeit verlangt, den Frequenzgang der Darbietung den physikalischen Eigenheiten und Erfordernissen oder auch nur dem persönlichen Geschmack des Zuhörers anzupassen.

Die hierfür geeigneten Schaltungen, Entzerrer genannt, beeinflussen den Frequenzgang auf folgende Weise:

1. als frequenzabhängiger Blindwiderstand eines Kondensators (sinkt mit zunehmender Frequenz),
2. als frequenzabhängiger Blindwiderstand einer Spule (steigt mit zunehmender Frequenz),
3. als frequenzabhängiger Resonanz-Widerstand eines Schwingkreises (sinkt mit zunehmender Annäherung an die Resonanzfrequenz).

In der Praxis wird der ersten Möglichkeit, der Verwendung von Kondensatoren, der Vorzug gegeben, da sie billiger als Spulen und Nf-Schwingkreise sind.

Vier Grundschaltungen

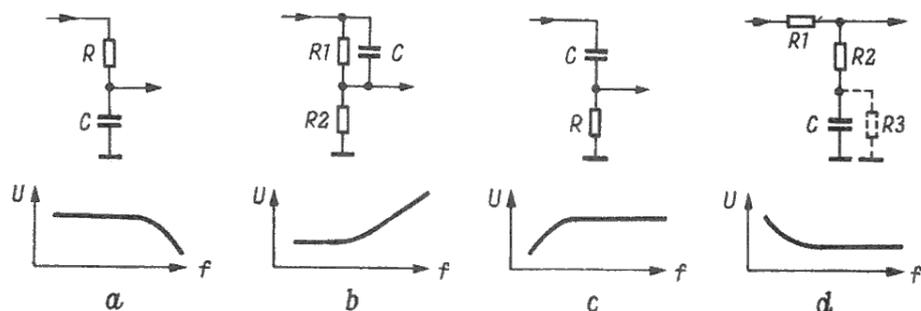
Die gebräuchlichen vier Arten, den Frequenzgang mit Hilfe von Kondensatoren und Widerständen zu beeinflussen, sind in *Bild 1* zusammengestellt. Unter dem jeweiligen Schaltbild ist in einer Kurve die Frequenzabhängigkeit dargestellt. Diese Entzerrer sind als frequenzabhängige Spannungsteiler zu verstehen, bei denen das Spannungsteilerverhältnis zugunsten oder zuungunsten eines bestimmten Frequenzbereiches verschoben wird. Von der Berechnung soll hier abgesehen werden; dafür sei auf die vorhandene Literatur verwiesen.

Die gebräuchlichste und „verbreitetste“ Schaltung ist wohl die als „Tonblende“, richtiger als Klangfarben-Einsteller bezeichnete (*Bild 2*), die nach Bild 1a geschaltet ist. Hier liegt ein Kondensator bestimmter Größe in Serie mit einem Potentiometer im Gitter- oder Anodenkreis einer Röhre. Je kleiner der Widerstand des Potentiometers eingestellt wird, desto mehr Höhen werden von dem Kondensator nach Masse abgeleitet und gedämpft.

Der Kondensator mit einem Wert von 2 bis 5 nF, den man oft parallel zur Primärseite des Ausgangsübertragers schaltet, erfüllt praktisch auch den Zweck eines Klangfarben-Einstellers. Der Scheinwiderstand des Ausgangstransformators wächst mit zunehmender Frequenz, so daß die Höhen stärker wiedergegeben werden als die Bässe und der Klang somit zu dünn und spitz erscheint. Der Parallelkondensator überbrückt den Außenwiderstand für die Höhen mehr als für die Tiefen, so daß die Wiedergabe insgesamt ausgeglichener wirkt.

Bild 1. Die vier Arten der Frequenzgangbeeinflussung:

- a = Höhendämpfung,
b = Höhenanhebung,
c = Baßdämpfung,
d = Baßanhebung



Die Höhenanhebung in *Bild 1b* beruht darauf, daß der Widerstand R1 für die Höhen durch die Kapazität C überbrückt wird. Diese Schaltung findet man in einigen Geräten auch als sogenannte Baßblende, dann ist R1 ein veränderbarer Widerstand. Ist der volle Wert von R1 eingeschaltet, so sperrt der Kondensator die Bässe ab. In der anderen Stellung wird der Kondensator kurzgeschlossen und damit unwirksam; die Bässe werden also ungehindert übertragen.

Die Baßdämpfungsschaltung nach *Bild 1c* erinnert an die Kombination Koppelkondensator – Gitterableitwiderstand. Eine nennenswerte Benachteiligung der Bässe entsteht erst, wenn die Zeitkonstante der Kombination wesentlich unter 5 Millisekunden (5 nF bei 1 M Ω) sinkt.

Bei der Baßanhebungsschaltung in *Bild 1d* leitet der Kondensator C die Höhen bis herunter zu 800 Hz nach Masse ab, so daß hier die Spannung nur durch das Verhältnis von R 1 zu R 2 geteilt wird. Für die Bässe besitzt der Kondensator jedoch einen verhältnismäßig großen Widerstand, so daß die Spannungsteilung für diese geringer und daher die abgegebene Spannung größer wird. Erfordert die Schaltung eine galvanische Verbindung, so schaltet man der Kapazität einen hochohmigen Widerstand parallel. Diese Anordnung kann z. B. auch in den Anodenkreis einer Röhre gelegt werden (*Bild 3*). Hier ist der Anodenwiderstand in zwei Widerstände von 56 k Ω und 100 k Ω aufgeteilt, und der Widerstand R 2 ist mit 10 nF überbrückt, so daß man vereinfacht sagen kann: Die Bässe fallen am Gesamtwiderstand von 156 k Ω ab, während für die Höhen nur der Teilwiderstand R1 mit 56 k Ω als Außenwiderstand wirksam ist.

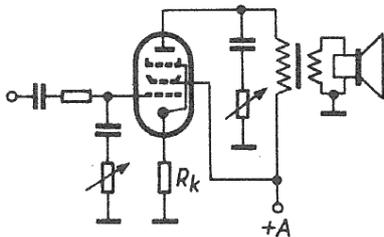


Bild 2. Anschaltungsmöglichkeit des Klangfarben-Einstellers im Gitter- und Anodenkreis

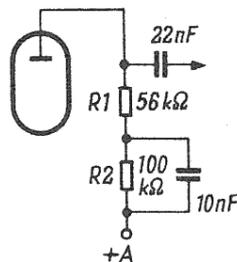


Bild 3. Baßanhebung im Anodenkreis

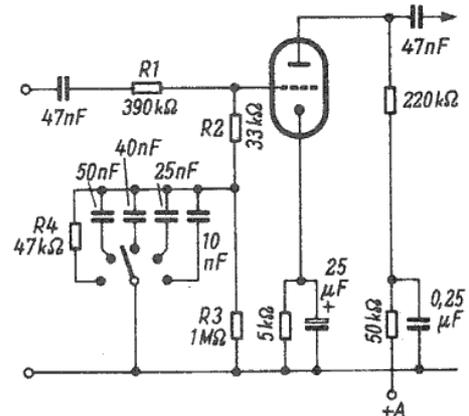


Bild 4. Baßanhebung im Gitterkreis

Beispiele aus Schaltungen

Eine Baßanhebungsschaltung, die in Stufen einstellbar ist, zeigt *Bild 4*. Hier bilden die Widerstände R 1, R 2 und R 3 einen Spannungsteiler und der Widerstand R 3 kann mit verschiedenen zuschaltbaren Kondensatoren überbrückt werden. Die Bässe werden um so stärker angehoben, je kleiner die zugeschaltete Kapazität ist; wenn nur R 4 zugeschaltet wird, ist die Anordnung frequenzunabhängig.

Glieder zur Baßanhebung verwendet man auch bei dem gehörrichtigen Lautstärkeinsteller. Bei dieser Schaltung (*Bild 5a*) müssen die Bässe bei kleinen Lautstärken gegenüber den Mittellagen und Höhen angehoben werden, um das lautstärkeabhängige Klangempfinden des menschlichen Ohres auszugleichen. Sobald der Schleifer in der Nähe des Anzapfungspunktes steht, wird das R-C-Glied (*Grundschialtung 1d*) wirksam.

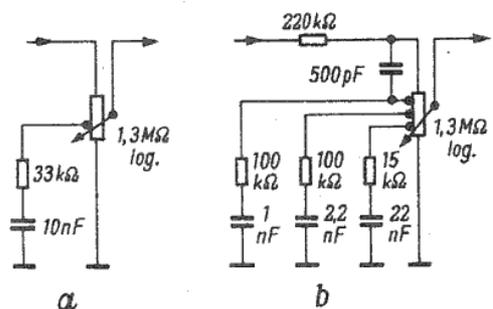


Bild 5. Gehörrichtige Lautstärkeinstellung durch Baßanhebungsglieder an den Anzapfungen des Potentiometers

Bei den dreifach angezapften linearen Potentiometern, die man oft in Stereo-Nf-Teilen vorfindet, sieht die Anordnung zunächst verwirrend aus. Der Grund dafür liegt bei der Fertigung. Ein Stereo-Tandempotentiometer soll einen größtmöglichen Gleichlauf aufweisen, um beim Betätigen ein Verschieben (Wandern) des Stereo-Effektes zu vermeiden. Logarithmische Potentiometer lassen sich aber nur schwer mit der erforderlichen Genauigkeit herstellen. Also nimmt man zwei lineare Potentiometer, versieht sie mit je drei Anzapfungen und beschaltet diese Anzapfungen mit Widerständen genau definierter Größe, um auf diese Weise eine annähernd logarithmische Regelkennlinie zu erhalten. Zur gehörrichtigen Lautstärkeinstellung werden zwischen diesen Widerständen und dem Massepunkt Kondensatoren verschiedener Größe eingefügt, so daß die Baßanhebung um so stärker wird, je weiter der Schleifer dem Massepunkt zuge dreht wird (*Bild 5b*). Außerdem schaltet man oft noch Kondensatoren im Wert von einigen Picofarad vom heißen Ende auf die

Anzapfungen, um damit die Höhen bei kleineren Lautstärken etwas anzuheben.

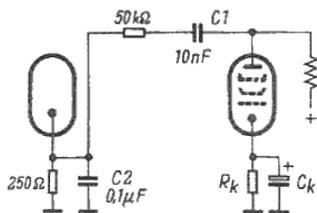
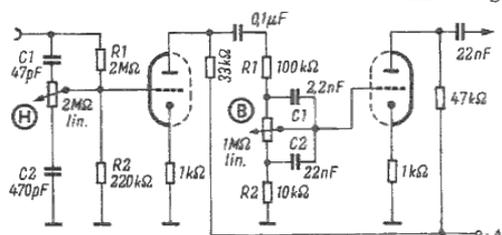


Bild 6. Lautsprecherentzerrung im Gegenkopplungskanal

Unten: Bild 7. Vorverstärker mit einstellbarer Baß- und Höhenanhebung



Links: Bild 7a. Frequenzgangbeeinflussung der Schaltung Bild 7

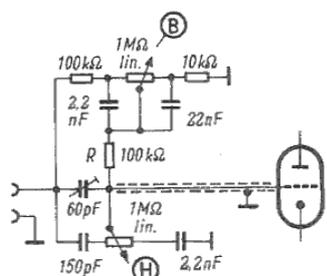


Bild 8. Diese Schaltung eines Entzerrers für Bässe und Höhen ist fast zu einem Standard geworden (Man vergleiche hierzu auch „Entzerrer in Transistor-schaltungen“ auf Seite 564 dieses Heftes)

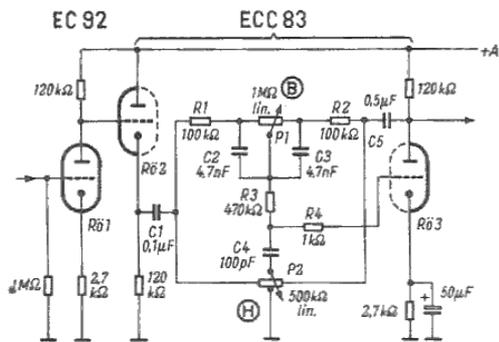


Bild 9. Schaltung ähnlich Bild 8, aber die Gegenkopplung ist in den Entzerrer mit einbezogen

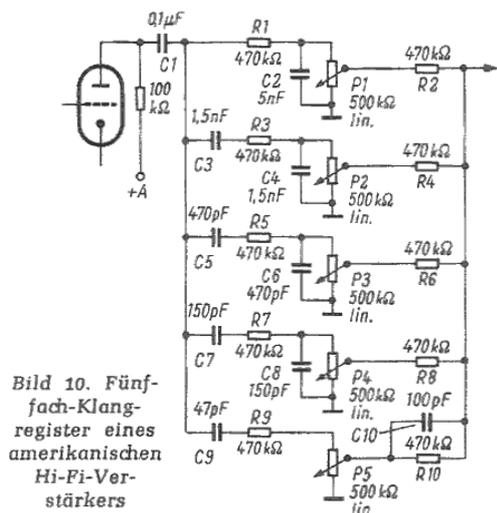


Bild 10. Fünf-fach-Klangregister eines amerikanischen Hi-Fi-Verstärkers

Legt man eine der anfangs beschriebenen Grundschaltungen in einen Gegenkopplungszweig, so kehrt sich ihre Wirkung in das Gegenteil um. Die Grundschaltung *Bild 1a* in der Gegenkopplung bewirkt, daß die Höhen weniger gegengekoppelt – also weniger gedämpft – werden und sie erscheinen im Klangbild angehoben. Meist wird die Lautsprecher-Grundentzerrung, die aus einer Baß- und einer Höhenanhebung zum Ausgleich des Abfalls der Lautsprecher bei den Höhen und den Tiefen besteht, in den Gegenkopplungszweig gelegt.

Die in *Bild 6* gezeigte Schaltung weist eine Gegenkopplung von der Anode der Endröhre auf die Katode der Vorröhre auf. Hierbei sperrt der Kondensator C 1 die Bässe ab, so daß diese weniger gegengekoppelt, also angehoben werden. Die Kapazität C 2 leitet die Höhen aus dem Gegenkopplungskanal nach Masse ab, so daß also auch die Höhen angehoben werden.

Bei allen frequenzabhängigen Gegenkopplungen in den Endstufen muß man bedenken, daß die angehobenen Bereiche einen höheren Klirrfaktor aufweisen als die Mittenfrequenz und die Klangreinheit somit bei größerer Aussteuerung darunter leiden kann.

Kontinuierlich einstellbare Entzerrer

Oft wird eine Möglichkeit zum stetigen und stufenlosen Einstellen der Entzerrer gewünscht. Um auch den gehobeneren Ansprüchen an den Klang gerecht zu werden, sieht man heute bereits bei den Empfängern der Mittelklasse eine Schaltung vor, bei der sich Bässe und Höhen sowohl anheben als auch absenken lassen. Ein Beispiel hierfür zeigt *Bild 7*. Steht der Schleifer des Potentiometers H am oberen Anschlag, so werden die Höhen durch den Kondensator C1 bevorzugt. Am unteren Anschlag dagegen werden die Höhen von der Kapazität C2 nach Masse abgeleitet. Nach dieser Höhenkorrektur wird das Klangbild von dem ersten Triodensystem verstärkt und gelangt an den Baßeinsteller B. Steht hier der Schleifer im oberen Anschlag, so wird das Potentiometer B von dem Kondensator C 2 überbrückt, so daß die Höhen über den Widerstand R 2 nach Masse abgeleitet werden; die Bässe scheinen angehoben. Wenn der Schleifer jedoch am unteren Anschlag steht, so wird die Kapazität C 2 überbrückt, und die Kombination P 2 – C1 wirkt als Baßdämpfung.

Durch Zusammenfassen der beiden Anordnungen in *Bild 7* zu einem einzigen Netzwerk gelangt man zu einer Standardschaltung nach *Bild 8*, die in den letzten Jahren vielfach verwendet wurde. Da man mit dieser Anordnung die beiden Enden der Frequenzkurve stark anheben und absenken kann, wie der schraffierte Bereich in *Bild 7a* veranschaulicht, haben die Techniker im Labor-

gebrauch den Namen *Kuhschwanz-Entzerrer* dafür geprägt. Die Funktion dieser Schaltung entspricht der von Bild 7. Der Trimmer dient zur Kompensation der Abschirmkapazität bis zum Gitter der nächsten Röhre. Der Widerstand R entkoppelt die beiden Potentiometer.

Einen besonders großen Regelbereich erzielt man, wenn man das Entzerrer-Netzwerk in die Gegenkopplung mit einbezieht, wie es *Bild 9* darstellt. Auf zwei galvanisch gekoppelte Triodensysteme, von denen das zweite einen Katodenausgang besitzt, folgt das Netzwerk. Mit dem Potentiometer P 1 können die Bässe eingestellt werden.

Steht der Schleifer am linken Anschlag, so wird der Kondensator C 2 überbrückt, und die Nf-Spannung gelangt unbeeinflusst über die Widerstände R 1, R 3 und R 4 an das Gitter der Röhre 3. Von der Anode dieser Röhre jedoch gelangt eine Gegenkopplungsspannung über C 5, R 2 und das Netzwerk auf ihr Gitter. Die Parallelschaltung von Potentiometer P 1 und Kondensator C 3 stellt für die Bässe einen hohen Widerstand dar, so daß diese weniger gegengekoppelt und somit angehoben werden. In der rechten Endstellung des Schleifers gelangt die unbeeinflusste Gegenkopplungsspannung auf das Gitter, während jetzt der Kondensator C 2 parallel zum Potentiometer P 1 liegt und die Bässe vom Steuergitter fernhält, so daß sie gedämpft erscheinen. In der Mittenstellung des Schleifers ist die Frequenzkurve für die Tiefen annähernd linear.

Ähnlich verhält sich der Höheneinsteller H (P 2). Wenn der Schleifer links steht, gelangen die Höhen vom Eingang über den Weg P 2 – C 4 – R 4 bevorzugt an das Gitter, während bei Rechtsstellung dagegen die Höhen aus dem Gegenkopplungsweig das Gitter beeinflussen, so daß die Frequenzkurve nun steil abfällt.

Klangregister

An ein Mischpult erinnert die Anordnung in *Bild 10*. Diese Schaltung ist einem amerikanischen Hi-Fi-Verstärker entnommen. Die Potentiometer P 1 bis P 5 beeinflussen fünf Frequenzbereiche, in die das Nf-Spektrum unterteilt ist. Die ersten vier Potentiometer sind mit Kondensatoren überbrückt, an denen die entsprechenden Frequenzbereiche abfallen, dem fünften werden die Höhen über die kleine Kapazität C 9 zugeführt. Die Widerstände zwischen den Schleifern und dem Sammelpunkt dienen zum Entkoppeln; sie sollen ein Zusammenbrechen der Nf-Spannung bei Massstellung eines Schleifers verhindern. Bemerkenswert ist noch, daß der Widerstand R 10 mit einem kleinen Kondensator überbrückt ist, der eine zusätzliche Klangverdunkelung bei Massstellung des Schleifers von P 5 bewirken soll.

Ein anders geartetes Klangregister aus dem Nf-Teil eines deutschen Rundfunkempfängers zeigt *Bild 11*. Hier sind ebenfalls fünf Einstellmöglichkeiten vorgesehen, von denen zwei mit RC-Gliedern und drei mit Resonanz-Schwingkreisen arbeiten.

Saug- oder Leitkreise besitzen bei ihrer Resonanzfrequenz den geringsten Widerstand. Erteilt man einer Röhre einen großen Katodenwiderstand, der eine starke Stromgegenkopplung bewirkt, und schaltet die Saugkreise dem Katodenwiderstand parallel, so wird die Gegenkopplung für die betreffenden Frequenzen aufgehoben, und sie erscheinen angehoben. Mit Spezialpotentiometern deren Schicht in der Mitte geteilt ist, lassen sich die Saugkreise einmal an die Anode legen, so daß sie ihre Resonanzfrequenz sehr stark bedämpfen, und zum anderen werden sie dem Katodenwiderstand parallel geschaltet, um dadurch ihre Resonanzfrequenz anzuheben. Der Kondensator C 11 am Potentiometer P 5 bewirkt eine allgemeine Höhenanhebung oder -Absenkung. Die Tiefen

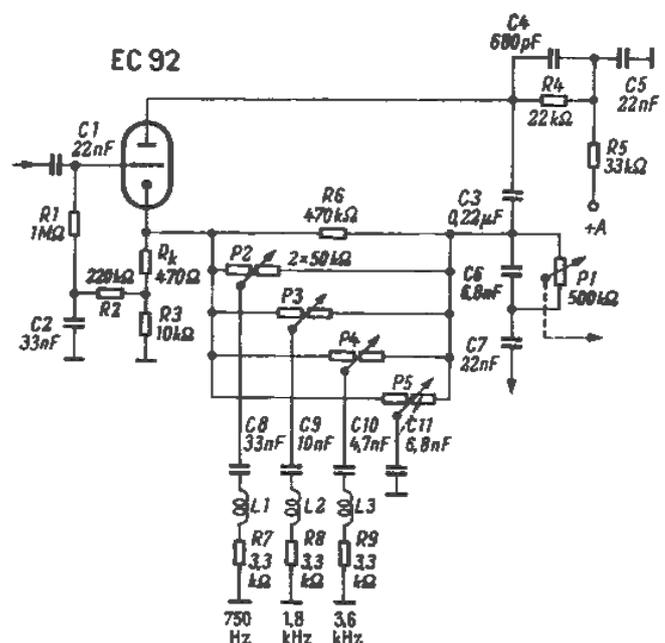


Bild 11. Klangregister mit Saugkreisen

werden durch die Kombination C6 / P1 mehr oder weniger gedämpft und außerdem durch einen zweiten mit P1 gekoppelten Einsteller, der im Bild nicht gezeichnet ist, im Gegenkopplungsweig der Endstufe angehoben.

Rein gehörmäßig regelt dieses Entzerrer-Netzwerk sehr eindrucksvoll; man kann jedoch geteilter Meinung sein, ob der Phasengang solcher Schaltungen den neuen Hi-Fi- Forderungen entspricht. denn Schwingkreise erzeugen schwer kontrollierbare Ein- und Ausschwingvorgänge, die den Klang verfälschen können.
