

Mehr Sound

Klangformung in Gitarrenverstärkern neu durchdacht

Wie ein
Gitarren-
verstärker

klingt, wird

entscheidend durch seinen

Frequenzgang bestimmt.

Dieser entsteht vor allem im

Klangsteller-Netzwerk, das hier

einen völlig anderen Aufbau hat

als in HiFi-Verstärkern. An dieser

Stelle stecken noch allerhand

Verbesserungsmöglichkeiten.

Helmuth Lemme

Studiert man die Schaltungen von Gitarrenverstärkern, dann fallen einem schnell zahllose Gemeinsamkeiten auf. Insbesondere bei den Röhren-Typen kommt ganz offensichtlich auf einige wenige kreative Erfinder ein Heer von Trittbrettfah-

ern, die deren Schaltungen mehr oder weniger nachbauen, ohne viel eigene Entwicklungsarbeit zu investieren. Was die Altvordenen zu Erfolg gebracht hat, „muss“ ja einfach gut sein. Neue Ideen sind geradezu verpönt.

Urvater der meistkopierten Schaltungen ist Leo Fender. Er war keineswegs der erste Hersteller von Gitarrenverstärkern; schon lange vor ihm produzierten Rickenbacker, Gibson und einige andere. Aber er war zumindest der erste wirklich erfolgreiche. In den 40er Jahren des letzten Jahrhunderts hatte er in der Nähe von Los Angeles ganz klein angefangen, ab 1946 begann die Firma kräftig zu wachsen. Zwar konnte er selbst nicht Gitarre spielen, doch das machte nichts, denn er hatte erstens ein exzellentes Gehör und zweitens beste Kontakte zu sehr vielen Gitarristen in Südkalifornien. Von deren Wünschen lernte er, und entsprechend konzipierte er die Schaltungen. Gleichzeitig waren seine Geräte mechanisch instabil, so dass sie häufige harte Transporte ohne Schäden überstanden. Einer der Gründe für den besonderen Klang war ein gezielt verbogener Frequenzgang, der bei den Musikern besser ankam als ein geradliniger. Denn bei E-Gitarren ist nicht HiFi gefragt, sondern was aus dem Lautsprecher kommt, soll ganz einfach gefallen. Als beson-

ders günstig zeigte sich eine Anhebung von Bässen und Höhen und eine Abschwächung im mittleren Frequenzbereich.

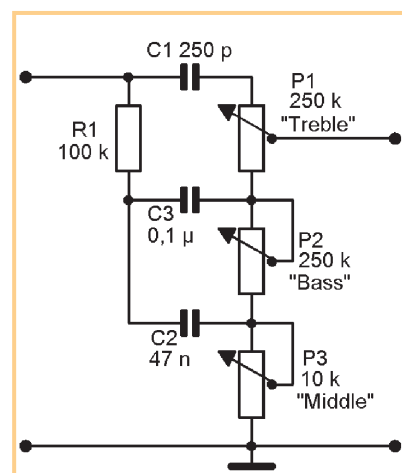


Bild 1. Die Fender-Klangformungsschaltung mit drei Potis, von vielen anderen Herstellern kopiert.

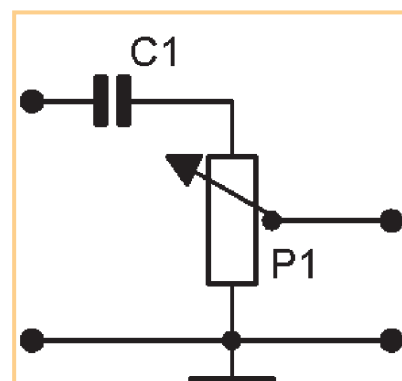


Bild 2. Der Höhensteller-Teil: RC-Hochpass.

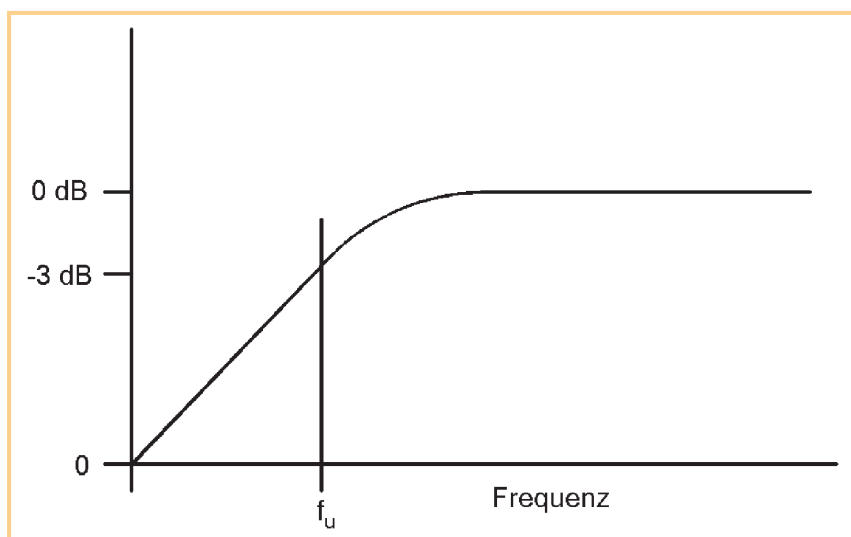


Bild 3. Frequenzgang des Hochpasses von Bild 2.

Erzeugt wird dieses Verhalten in erster Linie im Klangsteller-Netzwerk. Fender erfand dafür seine ganz eigene Schaltung. Am Anfang ließen sich damit nur Höhen und Bässe regulieren, später auch noch Mitten- und Präsenz-Frequenzen.

Bild 1 zeigt die in vielen Modellen verwendete Grundschiung. Wie sie funktioniert, versteht man am besten, wenn man sie in mehrere Teile zerlegt. Betrachten wir zuerst die obere Hälfte: Hier sitzt ein RC-Hochpass, gebildet aus dem Kondensator C1 im Signalweg und dem Potenziometer P1: Dessen unteres Ende sei hier zunächst – durch Drehen von Mitten- und Bass-Poti an den linken Anschlag – auf Masse gelegt (Bild 2). Dieses Gebilde lässt hohe Frequenzen ungehindert durch und schwächt tiefe ab, mit sinkender Frequenz immer stärker. Die Filtersteilheit ist 6 dB pro Oktave, die untere 3-dB-Grenzfrequenz beträgt: $f_u = 1/(2 \pi P1 C1)$. Bild 3 zeigt den typischen Frequenzgang. Das Potenziometer wirkt also als Lautstärkesteller für die hohen Frequenzen.

Der untere Teil der Schaltung von Bild 1 enthält einen RC-Tiefpass, bestehend aus dem Widerstand R1 und dem Kondensator C2 (Bild 4). Er lässt tiefe Frequenzen ungehindert durch und schwächt die hohen, mit steigender Frequenz immer mehr. Die obere 3-dB-Grenzfrequenz beträgt $f_o = 1/(2 \pi R1 C2)$, darüber beginnt ein Abfall mit 6 dB pro Oktave (Bild 5). Legt man jetzt zu C2

das Potenziometer P2 parallel, hier als variabler Widerstand geschaltet, dann wirkt dieses als Lautstärkesteller für die tiefen Frequenzen.

Diese beiden Teile werden jetzt miteinander kombiniert. Der Hochpass wird sozusagen oben auf den Tiefpass draufgestellt, indem das untere Ende von P1 nicht an Masse, sondern an den Ausgang des Tiefpasses kommt. Dann addieren sich die Ausgangsspannungen, und die Schaltung erhält die Form von Bild 6.

Hoch- und Tiefpass erzeugen auf ihren Flanken bei ihren Ausgangssignalen entgegengesetzte Phasenverschiebungen: beim Hochpass voreilend, beim Tiefpass nachlaufend. In der praktischen Dimensionierung der Schaltung liegt die untere Grenzfrequenz des Hochpasses um einiges über der oberen Grenzfrequenz des Tiefpasses. Im Bereich dazwischen addieren sich zwei Signale mit annähernd entgegengesetzter Phasenlage; das bedeutet, dass sie sich gegenseitig abschwächen. Zur

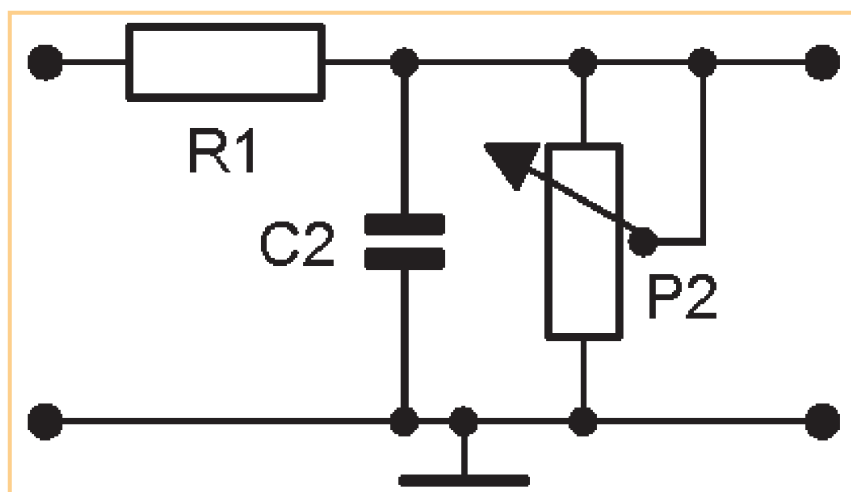


Bild 4. Der Basssteller-Teil: RC-Tiefpass.

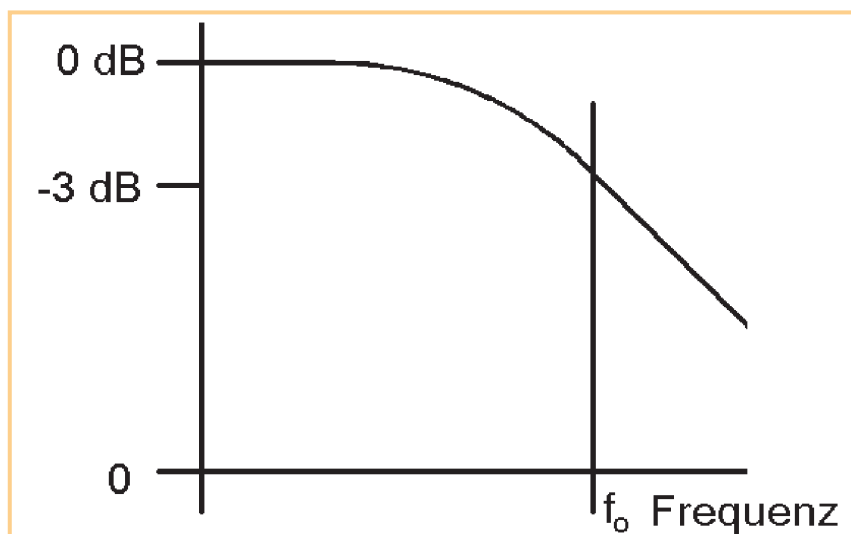


Bild 5. Frequenzgang des Tiefpasses von Bild 4.

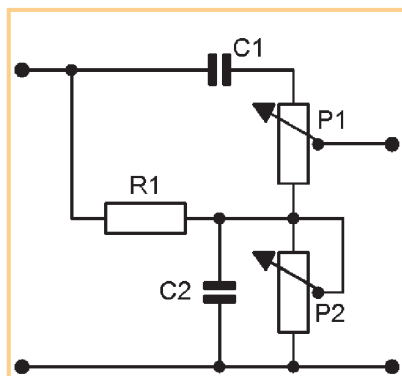


Bild 6. Hoch- und Tiefpass aufeinander gestellt.

vollständigen Auslöschung kommt es dabei allerdings nicht. Damit ergibt sich beim Frequenzgang (P1 und P2 voll aufgedreht) ein tiefes Minimum im Mittelbereich. Dreht man P1 an den linken Anschlag und P2 an den rechten, wirkt der Tiefpass allein, die Höhen sind abgeschwächt, der Klang wird dumpf. Bei umgekehrter Stellung wirkt der Hochpass allein, die Bässe sind abgeschwächt, der Ton ist dünn und spitz. So hat man mit den beiden Potis weitgehende Einstellmöglichkeiten. Stehen beide am linken Anschlag, kommt überhaupt kein Ton mehr heraus. Um das zu vermeiden, hat Fender bei vielen älteren Modellen in den Fußpunkt der Schaltung einen Widerstand von 6,8 k Ω gelegt. Außerdem hat er noch den Kondensator C3 hinzugefügt. Wer mit der Dimensionierung etwas herumexperimentiert, findet schnell, dass dieser keinen großen Einfluss ausübt; man kann ihn auch durch eine Drahtbrücke ersetzen, ohne dass sich sehr viel ändert. Entscheidend für die klanglichen Eigenschaften sind C1 und C2.

Der Fußpunktwiderstand schränkt allerdings die Wirkung von P1 und P2 ein. Die Absenkung von Höhen und Bässen ist damit bei weitem nicht mehr so stark. Um die Möglichkeiten zu erweitern, wurde dieser Widerstand eines Tages durch ein drittes Poti P3 ersetzt und mit „Middle“ bezeichnet. Diese Bezeichnung ist aber eigentlich nicht ganz korrekt, es ist eher Begrenzer für die Wirkung von Höhen- und Bass-Poti. Annähernd geradlinig ist der Frequenzgang, wenn P3 am rechten Anschlag steht und P1 und P2 am linken. Dreht man hier alle drei

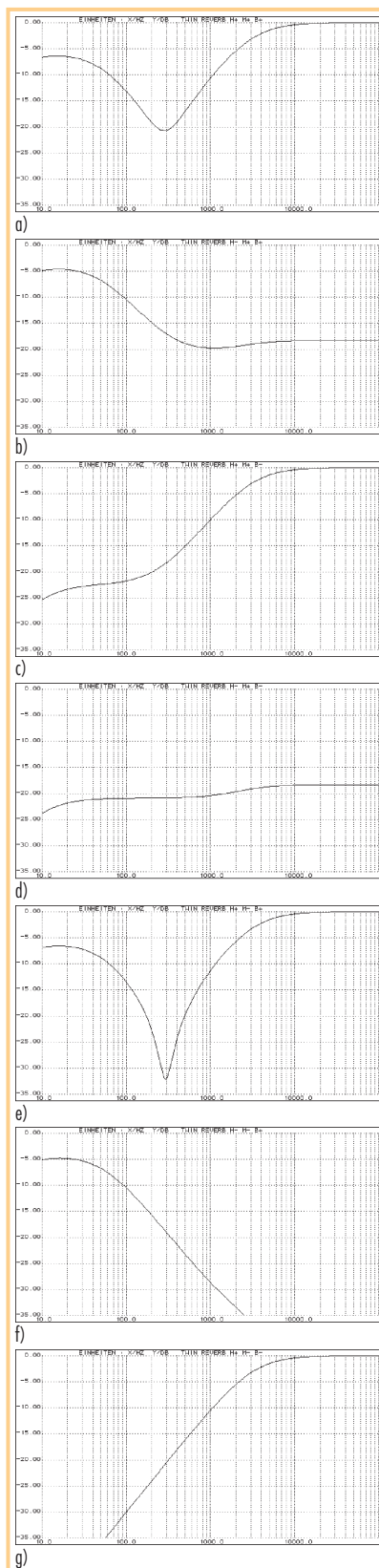


Bild 7. Mögliche Frequenzgänge mit der Fender-Schaltung von Bild 1 (Endstellungen der Potis)

- a) Bässe +, Mitten +, Höhen +
- b) Bässe +, Mitten +, Höhen –
- c) Bässe –, Mitten +, Höhen +
- d) Bässe –, Mitten +, Höhen –
- e) Bässe +, Mitten –, Höhen +
- f) Bässe +, Mitten –, Höhen –
- g) Bässe –, Mitten –, Höhen +

Potis nach links, ist der Verstärker auch wieder stumm. Aber daran haben sich die Musiker inzwischen gewöhnt. Dieses Netzwerk (Bild 1) wurde in sehr vielen Fender-Verstärkern verwendet und von einer großen Anzahl von anderen Herstellern kopiert. Bild 7 gibt die damit möglichen Frequenzgänge wieder (jeweils in den Endstellungen der Potis). Charakteristisch ist das Mittenloch bei etwa 300 Hz.

Viele Firmen haben auch nur das grundsätzliche Prinzip ungefähr übernommen, aber die Dimensionierung geändert. So z. B. Vox: Der „AC30 Treble Boost“ hat nur das Höhen- und das Bass-Poti, keines für die Mitten, (Bild 8). Der Höhensteller hat hier eine sehr starke Wirkung und beeinflusst auch die Bässe mit – im umgekehrten Sinne. Der Basssteller wirkt dagegen nur sehr wenig, auf der Hälfte des Drehwinkels tut sich fast überhaupt nichts. Hier liegt das Mittenloch bei etwa 450 Hz. Der AC30 hat außerdem noch einen weiteren Höhensteller, der mit „Cut“ bezeichnet ist (ganz rechts neben dem Netzschalter). Mit dem kann man nur Höhen wegnehmen, und zwar – unlogischerweise – indem man ihn ganz nach rechts dreht. Die Schaltung ist eine Serienschaltung eines Potis (250 k Ω) mit einem Kondensator (4,7 nF), die zwischen die Gitter der Endstufenröhren geschaltet ist (Bild 9). Kaum ein Gitarrist arbeitet damit. Eine sinnvollere Verwendung dieses Potis ist ein Master-Volume-Steller, zu dem man es leicht umbauen kann: Man überbrückt einfach den Kondensator und schließt das Poti andersherum an. Dann kann man die Vorstufe übersteuern und gleichzeitig die Endstufe leiser drehen.

Der allererste Marshall-Verstärker „JTM45“ (1962) war schaltungsmäßig eine exakte Kopie des Fender Bassman. Bei den späteren Modellen hat Jim Marshall dann den Klangstellerteil abgeändert (Bild 10). Hier tritt der Effekt nicht mehr auf, dass der Ton völlig verschwindet, wenn man alle drei Potis an den linken Anschlag dreht. Das grundsätzliche Prinzip ähnelt aber nach wie vor Fender. Das Mittenloch liegt hier bei etwa 500 Hz.

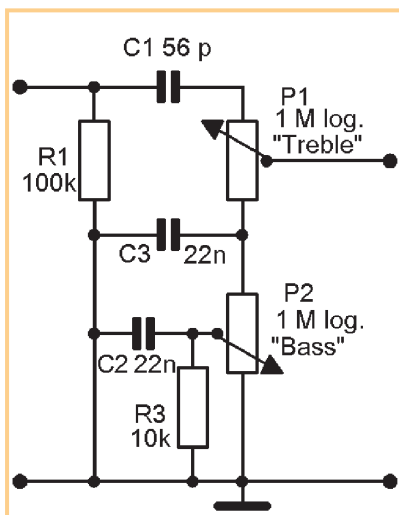


Bild 8. Die Klangsteller-Schaltung im Vox AC30.

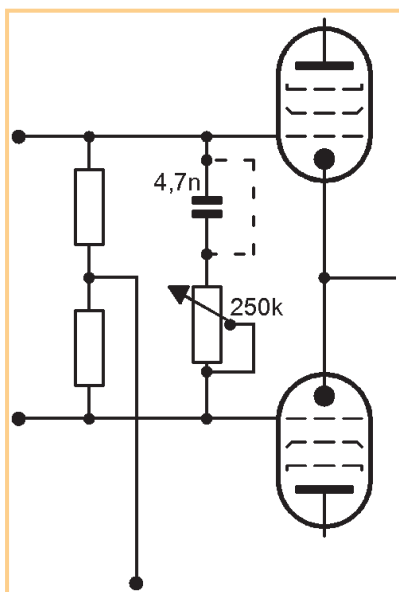


Bild 9. „Cut“-Poti im Vox AC30.

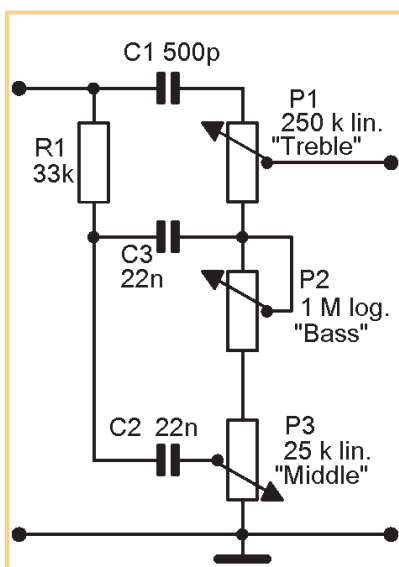


Bild 10. Klangsteller-Schaltung bei Marshall.

Mesa Boogie hat die Fender-Schaltung in anderer Weise erweitert. Zu dem Kondensator C1 (220 oder 250 pF) kann – durch Betätigung eines Zugschalters am Poti mit der Bezeichnung „Mid Shift“ – noch ein zusätzlicher von 750 pF parallel geschaltet werden. Dadurch verschiebt sich die Mittenabsenkung auf eine tiefere Frequenz, etwa 150 Hz, der Ton wird dadurch voller. Bei einigen Versionen kann man auch das gesamte Klangsteller-Netzwerk mit einem als „Boost“ bezeichneten Schalter fast ganz außer Betrieb setzen, indem einfach der Fußpunkt von der Masse abgetrennt wird. Dann wirken die drei Potis praktisch überhaupt nicht mehr; das Signal kommt ungeschwächt zur nächsten Röhre, die sich dann sehr viel stärker übersteuern lässt. Bei manchen Versionen verbleibt unten noch ein Widerstand von beispielsweise 33 k Ω , bei einigen Modellen mit einem Kondensator 4,7 nF überbrückt (Bild 11). Im Laufe der Jahre hat es hier eine ganze Reihe von Varianten gegeben.

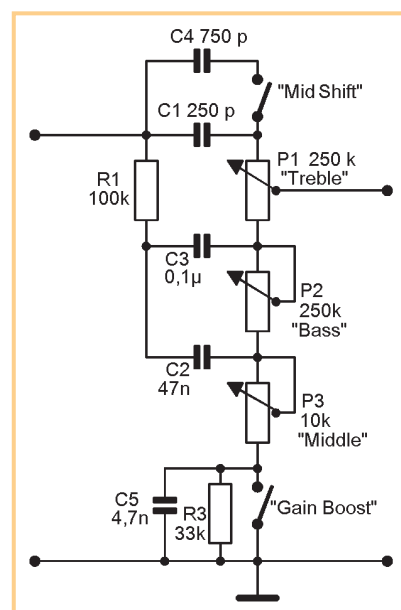


Bild 11. Erweiterungen bei Mesa Boogie.

Wird ein Röhrenverstärker übersteuert, dann ist es klanglich ungünstig, in der Eingangsstufe die Mitten abzusenken. Besser klingt es, mit annähernd geradem Frequenzgang oder sogar mit einer Höhen- und Bassabschwächung in die übersteuerte Stufe hineinzugehen und erst dahinter Höhen und Bässe wieder anzuheben bzw. die Mitten abzusenken.

Wenn man einen Verstärker mit der Schaltung von Bild 1 hat und hier auch eine solche „Boost“-Funktion vorsehen will, kann man das durch eine relativ einfache Änderung erreichen: Man braucht dafür nur das Poti P3 (meist 10 k Ω lin.) gegen ein größeres auszutauschen, z. B. 100 k Ω log.

Bei allen diesen Schaltungen beeinflussen sich die einzelnen Potis mehr oder weniger gegenseitig. Generell hat der Höhensteller die stärkste Wirkung, Bass- und Mittensteller bringen dagegen weit weniger Veränderungen. Und das auch noch sehr ungleichmäßig über den Drehwinkel der Potis. Die Musiker haben sich im Laufe der Jahrzehnte damit abgefunden, ideal ist das alles deshalb aber noch lange nicht.

Ein „Kuhschwanz“-Klangsteller wie im HiFi-Verstärker (im Fachjargon so benannt nach dem Aussehen der damit erzeugbaren Frequenzgänge) ist nur in wenigen Gitarrenverstärkern zum Einsatz gekommen. Man findet ihn beispielsweise in Orange-Verstärkern der 70er Jahre; wegen ungünstiger Dimensionierung ist der Wirkungsbereich hier allerdings sehr beschränkt.

„Presence“: variable Endstufen-Gegenkopplung

Grundsätzlich anders arbeitet der „Presence“-Steller. Er ist ebenfalls eine Erfindung von Fender, eingesetzt im „Bassman“ und von Marshall kopiert. Später verschwand er bei Fender wieder, bei Marshall blieb er (Bild 12). Viele andere Hersteller haben ihn übernommen. Er ist vom bisher beschriebenen Klangstellerteil vollkommen unabhängig, vielmehr sitzt er im Gegenkopplungsweg der Endstufe. Dieser besteht aus einem Spannungsteiler am Ausgang, über den ein Teil der am Lautsprecher liegenden Spannung auf die Treiberstufe zurückgeführt wird. Dadurch vermindert sich zwar die Verstärkung, gleichzeitig sinken aber die nichtlinearen Verzerrungen, der Frequenzgang wird gerader, und die Exemplarstreuung

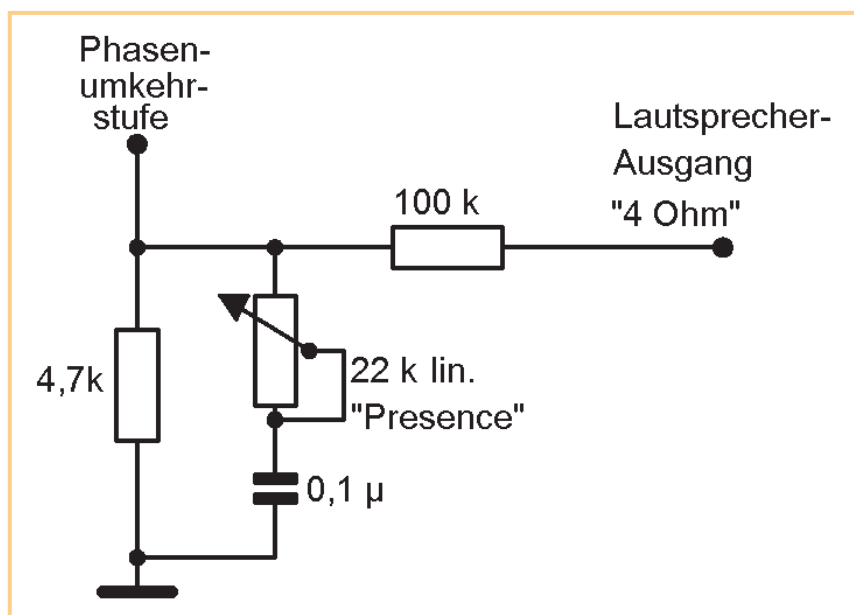


Bild 12. „Presence“-Poti in der Endstufen-Gegenkopplung (Marshall).

gen der Kennlinien der Endröhren wirken sich weit weniger aus. Der Präsenz-Steller besteht aus einer Serienschaltung eines Potis 22 k Ω und eines Kondensators 0,1 μ F parallel zum unteren Widerstand (4,7 k Ω) des besagten Spannungsteilers. Dadurch lässt sich zu den hohen Frequenzen hin die Gegenkopplung reduzieren, was sich in einer zusätzlichen Höhenanhebung äußert. Die Wirkung verteilt sich sehr ungleichmäßig über den Drehwinkel.

Es geht auch total anders

Wäre es nicht sinnvoller, wenn alle Potis erstens eine noch kräftigere Wirkung brächten, zweitens sich nicht mehr so stark gegenseitig beeinflussen würden und drittens ihre Wirkung gleichmäßiger über den Drehwinkel der Potis verteilt wäre? Eine genauere Untersuchung zeigt: Das ist durchaus machbar. Das Schaltungskonzept sieht dann allerdings grundlegend anders aus. Erfahrung im Bühneneinsatz beweist, dass es – trotz totaler Abkehr vom Fender-Prinzip – bestens klingen kann und der Verstärker dabei sogar noch wesentlich vielseitiger wird. Natürlich kann man einen vorhandenen Verstärker schwer dahingehend umbauen. Aber man kann die hier beschriebene Schaltung auch sepa-

rat aufbauen und in den Einschleifweg einfügen. So kann man sie testen, ohne dass man am Verstärker irgendetwas ändern muss. Bei einer kompletten Neuentwicklung kann man sie dann von vornherein einbauen.

Die Schaltung hat vier Potis für Bässe, Mitten, Präsenz und Höhen. Als Basis dafür haben Vorversuche mit einem grafischen Equalizer gedient. Ein derartiges Gerät hat eine Reihe von Schiebepotis, mit denen sich einzelne Frequenzbänder anheben oder abschwächen lassen. Bereits mit einer ganz ein-

fachen 5-Kanal-Version mit Mittelfrequenzen der Bänder bei etwa 100 Hz, 300 Hz, 1 kHz, 3 kHz und 10 kHz lassen sich die entscheidenden Erkenntnisse gewinnen. Stellt man alle Potis in Mittelposition und schließt an den Ausgang eine Leistungsstufe mit geradem Frequenzgang an, dann klingt die Gitarre nicht besonders aufregend, eher fade bis mulmig. So ein Sound reißt keinen Gitarristen vom Hocker. Der 100-Hz-Schieber zeigt starke Wirkung, bringt aber in kaum einer Stellung Sounds, die wirklich Spaß machen. Entscheidende Bedeutung hat der 300-Hz-Schieber. Zieht man ihn nach unten, dann verschwindet der Mulm, der Sound wird sehr viel klarer – genau der Effekt der Fender-Verstärker. Aus der Mitte nach oben schieben sollte man ihn aber nicht, sonst dröhnt es schnell unerträglich. Beim 1-kHz-Schieber ergeben sich die besten Sounds etwa in Mittelstellung. Weit nach oben geschoben klingt es komisch nasal, nach unten hin fehlt auch etwas. Man kann auf ihn also komplett verzichten. Wieder sehr wichtig ist der Schieber bei 3 kHz. Nach oben hin kriegt die Gitarre genau den richtigen Biss, den sie haben soll. Nach unten hin klingt es ausdruckslos. Bei 10 kHz schließlich zeigt sich weniger Wirkung. Es hängt stark davon ab, wie starke Höhen die Gitarre abgibt (eine Frage der Tonabnehmer) und wie viel der Lautsprecher wiedergeben kann. Mit einem zusätzlichen

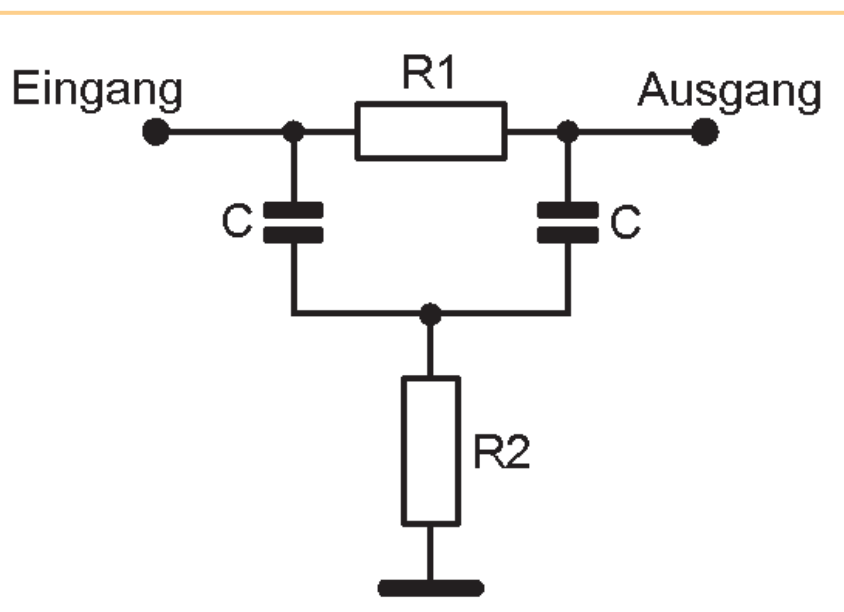


Bild 13. Überbrücktes T-Glied als Mittenabschwächer.

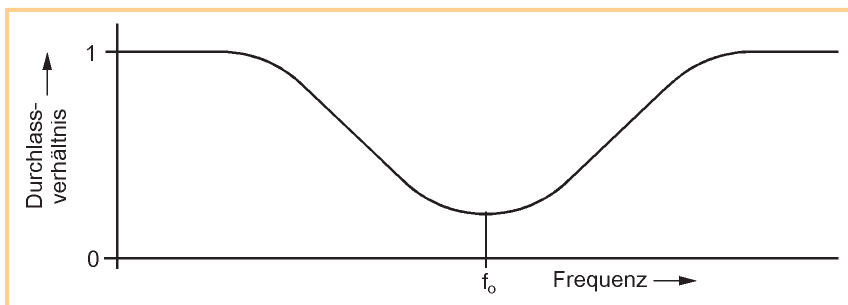


Bild 14. Frequenzgang des überbrückten T-Glieds.

Hochtöner hört man sehr viel mehr Wirkung, aber damit kann der Sound schrill und kratzend werden.

Der neu konzipierte Gitarren-Klangstellerteil entsteht jetzt dadurch, dass man einfach die guten Bereiche des Equalizers herausgreift und die weniger guten weglässt. Das heißt, man braucht einen Mittensteller, der – zunächst einmal – bei 300 Hz eine Abschwächung, aber keine Anhebung ermöglicht, und einen Präsenzsteller, der bei 3 kHz nur anhebt, aber nicht abschwächt. Für Bässe und Höhen reicht eine relativ breitbandige Wirkung, dafür eignet sich die gute alte „Kuhschwanz“-Schaltung. So hat man sich auf das beschränkt, was man tatsächlich braucht.

Ausgangsbasis für den Mittensteller ist hier ein sogenanntes „überbrücktes T-Glied“ wie in Bild 13. Diese einfache passive Schaltung wirkt umgekehrt wie ein Bandfilter: Sehr hohe und sehr tiefe Frequenzen gehen ungehindert durch, mittlere werden dagegen abgeschwächt (Bild 14). Die Wirkung ist am stärksten bei der Frequenz

$$f_0 = \frac{1}{2 \pi \sqrt{R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2}}$$

Der Betrag hängt vom Verhältnis der beiden Widerstände ab, siehe Tabelle. Will man die Abschwächung variieren können, dann führt man den Widerstand R1 als Poti aus (Bild 15). Steht der Schleifer ganz oben, kommen alle Frequenzen gleichmäßig durch, am unteren Ende ist die Mittenabsenkung maximal. Mit einem linearen Poti erhält man eine einigermaßen gleichmäßige Wirkung über den Drehwinkel.

R1/R2	1	4	10	25	100
Absenkung am Minimum (dB)	3,5	9,5	15,5	22,5	34

Tabelle.

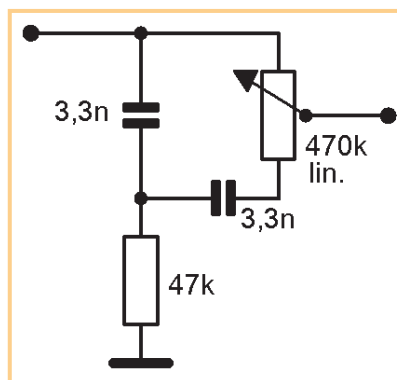


Bild 15. Einfacher, aber wirksamer Mittensteller.

Wie baut man jetzt eine Schaltung, mit der sich ein bestimmtes Frequenzband (hier um 3 kHz) von Neutralstellung aus stufenlos anheben lässt? Sie muss aktiv sein. Man fügt dazu ein überbrücktes T-Glied (mit entsprechend kleineren Kondensatoren) in den Gegenkopplungsweg eines Verstärkers ein. Bei einem Operationsverstärker sieht das dann so aus wie in Bild 16. Der zusätzliche 1-MΩ-Widerstand hat nur den Zweck, den invertierenden Eingang auf einem definierten Potenzial zu halten für den Fall, dass der Schleifer des Potis einmal keinen Kontakt macht. So etwas kommt bekanntlich vor; die Folge wäre hier ein fürchterliches Krachen aus dem Lautsprecher, weil der Operationsverstärker jetzt keine Gegenkopplung mehr hat und voll in die Sättigung fährt.

Nun soll das Ganze hier natürlich mit Röhren realisiert werden. Damit einen Operationsverstärker aufzubauen, der auch nur halbwegs die Eigenschaften eines integrierten mit Transistoren

hat, würde – samt Netzteil – einen Riesenaufwand erfordern. Aber eine Verstärkung von 1 Million (typischer OPV-Wert) ist hier gar nicht nötig, es funktioniert schon mit sehr viel weniger. Eine ECC83 verstärkt maximal etwa 50- bis 60-fach, damit kommt man schon recht gut hin. Weil der Ausgangswiderstand sehr hoch ist, ist eine Kathodenfolgerstufe nachgeschaltet. Die Schaltung bekommt dann die Form wie in Bild 17. Weil die verstärkende Stufe keinen nicht invertierenden

den Eingang hat, sondern nur einen invertierenden, wird das Eingangssignal diesem zugeführt.

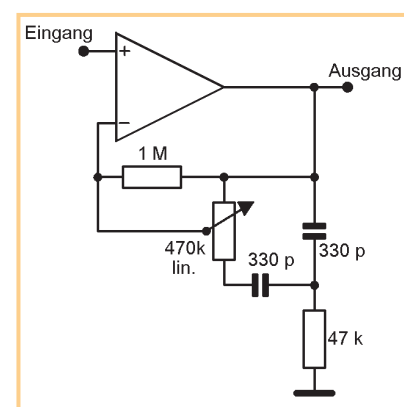


Bild 16. Prinzip des aktiven Präsenzstellers

Alles mit drei Röhren

Bild 18 gibt die Gesamtschaltung wieder. Sie beginnt mit einer Kathodenfolgerstufe, darauf folgt der „Kuhschwanz“-Klangsteller, der im Gegenkopplungsweg einer mit einem Kathodenfolger gepufferten Verstärkerstufe liegt. Von deren Ausgang geht es zum eben beschriebenen Präsenzsteller, auf diesen folgt der passive Mittensteller. Damit der Ausgang niederohmig wird, liegt hier noch einmal ein Kathodenfolger. Insgesamt braucht mal also drei Doppeltrioden.

Die Praxis: Es klingt prächtig. Die Wirkung aller Potis ist enorm stark. Eine gewisse Überlappung zwischen Bass- und Mitten- sowie zwischen Präsenz- und Höhen-Poti ist unvermeidlich, die durchaus unterschiedliche Wirkung ist aber klar zu hören. Man hat damit sehr feine Einstellmöglichkeiten, annähernd für jeden Geschmack ist gesorgt.



etwa 700 Hz verschieben. Welcher Wert am besten ist, lässt sich nicht vorhersagen, das muss man in der Praxis ausprobieren. Es hängt stark

von der jeweiligen Gitarre und auch von Lautsprecher und Gehäuse ab. In entsprechender Weise einstellbar ist der Präsenzsteller. Die eine Gitarre mag am besten klingen, wenn man ihr bei 3 kHz ordentlich Pfeffer draufgibt, eine andere eher bei 4 kHz oder noch woanders. Der Variationsbereich ist hier 2 bis 4,8 kHz; wer ihn noch weiter ausdehnen will, kann dann auch noch die Kondensatoren verändern. Jedenfalls hat man hiermit eine Experimentierplattform mit überaus reichhaltigen Möglichkeiten.

Die gesamte Schaltung hat auf einer längs halbierten Europakarte Platz, Bilder 19 und 20. Die Stromversorgung ist wie üblich: Heizung 6,3 V / 900 mA.



Anodenspannung etwa 250 V / 10 mA. Den Rest des Gitarrenverstärkers kann man aufbauen wie sonst auch: Vor diese Schaltung z. B. eine ECC83, deren erstes System das Eingangssignal anhebt und das zweite kräftig in die Übersteuerung treibt. Endstufenschaltungen hat es in dieser Heftreihe schon sehr viele gegeben, davon kann man sich eine passende aussuchen.



Dieser Artikel wurde zuerst veröffentlicht
in Elektor "Special Project Röhren 6"
(Juni 2010)