

10.3 Klangsteller (Tone-Control)

Gleich vorneweg gesagt: Das Geheimnis eines gut klingenden Gitarrenverstärkers sind nicht seine Klangsteller (bzw. Klang-Regler, bzw. Klang-Filter, bzw. Tone-Control). Natürlich braucht man diese Baugruppen, um Bässe, Mitten, Höhen den subjektiven Wünschen entsprechend einzustellen, Modifikationen am Klangsteller machen aber in der Regel aus einem schlechten Verstärker noch keinen guten.

Die ersten Gitarrenverstärker hatten oft nur einen simplen Höhensteller. Bei Fenders *Champ* gab es anfangs sogar nur einen einzigen Drehknopf: *Volume*. Klangänderungen waren, falls unabdingbar, an der Gitarre vorzunehmen. Der *Deluxe* hatte zur Klangeinstellung immerhin schon einen Höhensteller, und bekam im Lauf der Jahre weitere Knöpfe hinzu. Als Standard-Ausstattung gab's in den Fünfzigerjahren Bass- und Treble-Control, und in den Sixties bei einigen Auserwählten zusätzlich Middle-Control. Marshall übernimmt Fenders Tone-Control (mit kleinen Modifikationen), und auch bei Jennings VOX-Verstärkern ist eine vergleichbare Filterstufe zu finden. Und das sind sie, die Glorreichen Drei – sehr subjektiv ausgewählt, natürlich. Aber eine auch nur annähernd repräsentative Auswahl aller entwickelten Klangsteller würde den geplanten Rahmen weit überschreiten, deshalb die Beschränkung auf einige wenige Schaltungen.

In Mittenstellung gedreht, müssen die Klangsteller eines HiFi-Verstärkers eine frequenzunabhängige Übertragung ermöglichen. Die Klangsteller eines Gitarrenverstärkers nicht, denn dieser ist (zusammen mit dem Lautsprecher) noch Teil des Schallgenerators; er gibt dem Gitarrenton den letzten Schliff. Im Klangsteller können u.U. frequenzselektive Filterungen von mehr als 20 dB eingestellt werden, trotzdem ist der Klangsteller nicht die alleinige Filterstufe eines Gitarrenverstärkers. Die Eingangskapazitäten der Röhren wirken – zusammen mit den zumeist hochohmigen Schaltungswiderständen – als Höhenabsenkung, Überbrückungs-Kondensatoren (über-) kompensieren diesen Höhenverlust durch Höhenanhebung. Bewusst klein dimensionierte Koppelkapazitäten wirken tiefenabsenkend, kleine Kathoden-Kondensatoren ebenso. Frequenzselektive Endstufen-Gegenkopplungen wirken als Brillanz-Anhebung, Ausgangs-Übertrager können Resonanzanhebung und/oder Tiefenabsenkung beisteuern, und am Ende dieser Übertragungstrecke kommt der Lautsprecher mit seinen nur schwach bedämpften Resonanzen. Nein, diese Übertragung ist alles andere als frequenzunabhängig – und gerade deshalb so heiß begehrt.

10.3.1 Bass-Middle-Treble

Als Beispiel für einen **passiven Klangsteller** wurde eine Schaltung ausgewählt, die in vielen Fender-Verstärkern anzutreffen ist, aber auch – mehr oder weniger modifiziert – bei Ampeg, Kitty Hawk, Marshall, Mesa Boogie, Music Man, Randall, Rickenbacker, Roland, Selmer, Solton, VOX, u.v.a.m. Der Begriff "passiver Klangsteller" besagt, dass die frequenzabhängige Filterung nur durch passive Bauteile, also Widerstände und Kondensatoren erfolgt. Die um den Klangsteller gruppierten Röhren verstärken frequenzunabhängig. Dass dies nicht in letzter Konsequenz zutrifft, kann näherungsweise ignoriert werden. Beim *aktiven* Klangsteller ist das RC-Netzwerk in die Rückkopplungs-Schleife einer Röhre eingebunden, diese Schaltungen haben eine deutlich andere Struktur. Ganz grundsätzlich betrachtet zählen auch Induktivitäten zu den passiven Bauelementen, sie werden aber wegen ihrer relativ großen Bauform ungern, und wenn, dann höchstens in Exoten eingesetzt.

Ein gutes Beispiel für ein einfaches passives Klangfilter ist in **Abb. 10.3.1** dargestellt. Diese Schaltung wurde in frühen Fender-Verstärkern eingesetzt (z.B. 5E4), sie findet sich aber auch in Abwandlungen bei Radioapparaten und ähnlichen Geräten. Gut überschaubare Verhältnisse ergeben sich für zugedrehtes Bass-Poti (Schleifer im Bild am rechten Anschlag). Für diesen Fall bleibt nur noch ein komplexwertiger Spannungsteiler übrig, der sich noch weiter vereinfachen lässt, wenn der Lastwiderstand zu unendlich angenommen wird. Der Strom ist dann von der Schleiferstellung unabhängig, und hängt, trotz *zweier* Speicher, nur als Funktion *erster* Ordnung von der Frequenz ab (Knickfrequenz = 653 Hz). Die Ausgangsspannung als Produkt dieses Stromes mal Querimpedanz hängt ebenfalls nur in erster Potenz von $p = j\omega$ ab, bei Abgleich ergibt sich sogar ein System nullter Ordnung mit frequenzunabhängiger Übertragungsfunktion (32.2 dB Dämpfung). Das rechte Diagramm von Abb. 10.3.1 zeigt die Übertragungsfunktion des unbelasteten Teilers, Parameter ist die Schleiferstellung.

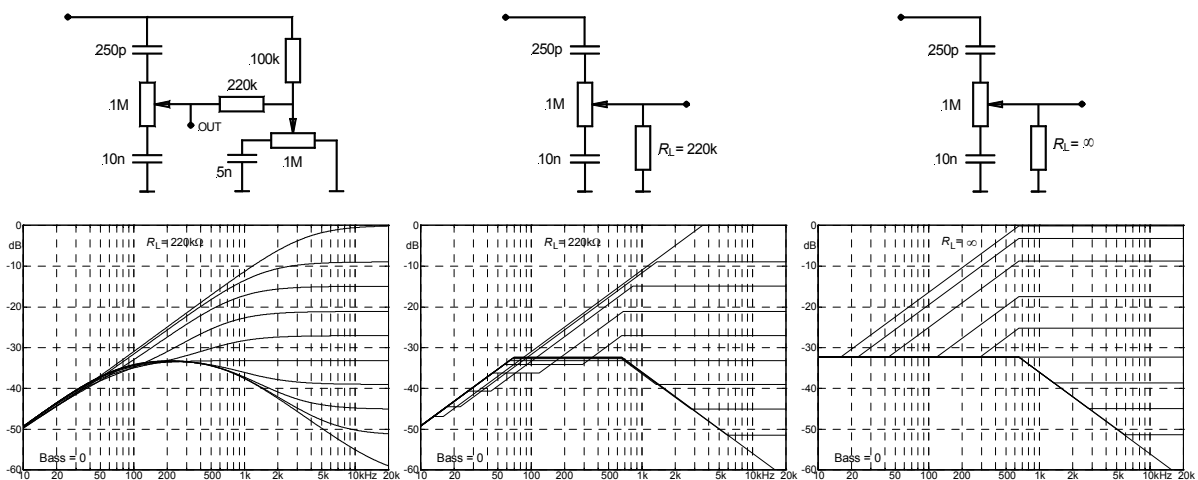


Abb. 10.3.1: Einfaches Höhenfilter. Die im linken Bild gezeichnete Schaltung wurde im Super-Amp 5E4 eingesetzt, die nebenstehenden Schaltungen sind Vereinfachungen für zugedrehtes Bass-Poti. Siehe auch Abb. 10.3.3.

Mit Lastwiderstand ergibt sich eine Übertragungsfunktion zweiter Ordnung, die näherungsweise als unbelasteter Teiler mit zusätzlichem Hochpass ($f_g = 70$ Hz) aufgefasst werden kann. Das mittlere Bild zeigt diesen Fall als Bodediagramm mit Näherungsgeraden, im linken Bild ist der vollständige Betragsfrequenzgang dargestellt. Bei der realen Schaltung wird man die Eingangskapazität der folgenden Röhre berücksichtigen müssen, die wegen des Miller-Effekts durchaus 100 pF betragen kann; die zusätzliche leichte Höhenbedämpfung macht sich aber erst ab ca. 10 kHz bemerkbar. Die Besonderheit des Fender-Klangfilters im Gegensatz zu den in der Audiotechnik sonst üblichen Klangfiltern zeigt **Abb. 10.3.2**: Während diese die Knickfrequenz konstant halten und den Kurvenfächer symmetrisch aufspannen, ändert sich beim Fender-Filter die Knickfrequenz beim Durchdrehen des Treble-Potis.

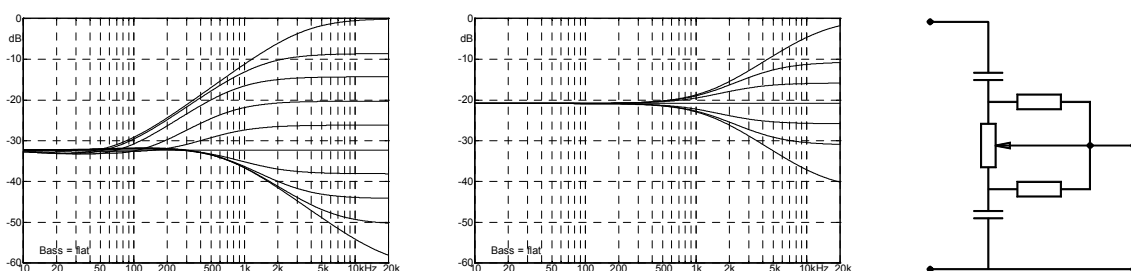


Abb. 10.3.2: Betragsfrequenzgänge im Vergleich: Gitarrenverstärker (links), Audioverstärker (Mitte und rechts).

In **Abb. 10.3.3** ist die Wirkung des Fender-Klangfilters in 6 Diagrammen dargestellt. Auch hier zeigen sich die Unterschiede zu klassischen Audio-Klangfiltern deutlich: Höhen- und Tiefendämpfung beeinflussen sich gegenseitig, bei voll aufgedrehtem Bass- und Treble-Poti entsteht sogar eine ziemlich selektive Mittenabsenkung – eine Spezialität, die fast allen späteren Fender-Verstärkern erhalten bleiben soll.

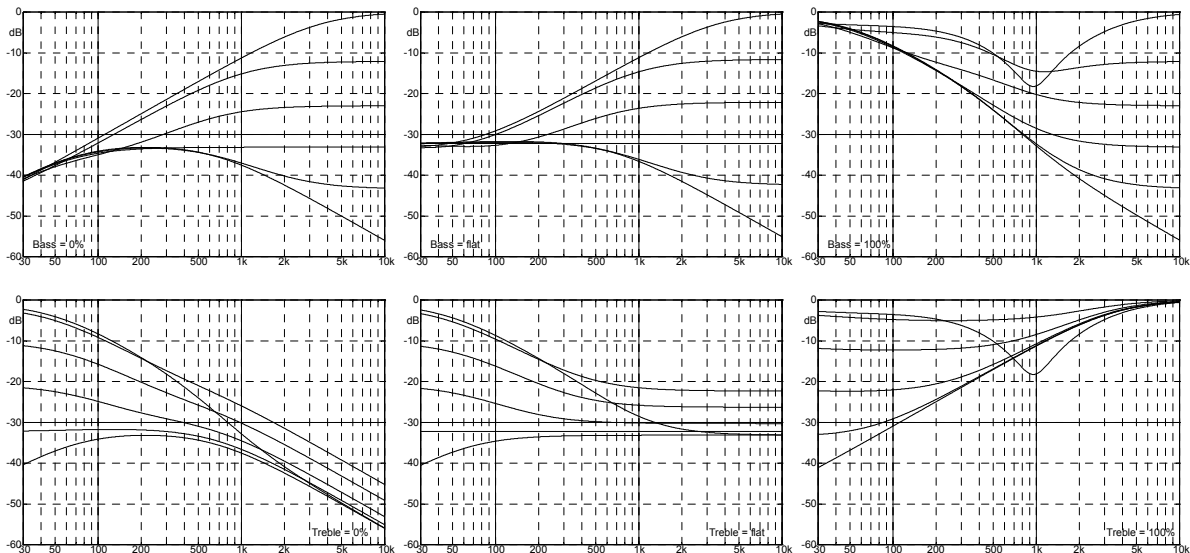


Abb. 10.3.3: Betragfrequenzgänge der Filter-Schaltung nach Abb. 10.3.1 (Fender Super-Amp 5E4, um 1955).

Die Struktur dieses Klangfilters hat Ähnlichkeit mit der in Kap. 10.2.3 erläuterten Standard-Mischstufe: Höhen und Tiefen werden auf zwei parallele Kanäle aufgeteilt, hoch- bzw. tiefpassgefiltert, und am Ausgang zusammenaddiert. Der 5-nF-Kondensator schließt hohe Frequenzen gegen Masse kurz, und hat insoweit eine ähnliche Funktion wie der 10-nF-Kondensator. Vermutlich war es diese Ähnlichkeit, die zusammen mit dem Wunsch nach Kostenersparnis zu einer Zusammenlegung der beiden Kondensatorzweige führte. Damit bei zuge-drehtem Bass-Poti die Höhenfilterung nicht auf der Strecke blieb, musste zwischen dem 10-nF-Kondensator und Masse noch ein Widerstand eingefügt werden, und fertig war ein Klangfilter, das mit **nur zwei Kondensatoren** auskam (**Abb. 10.3.4**).

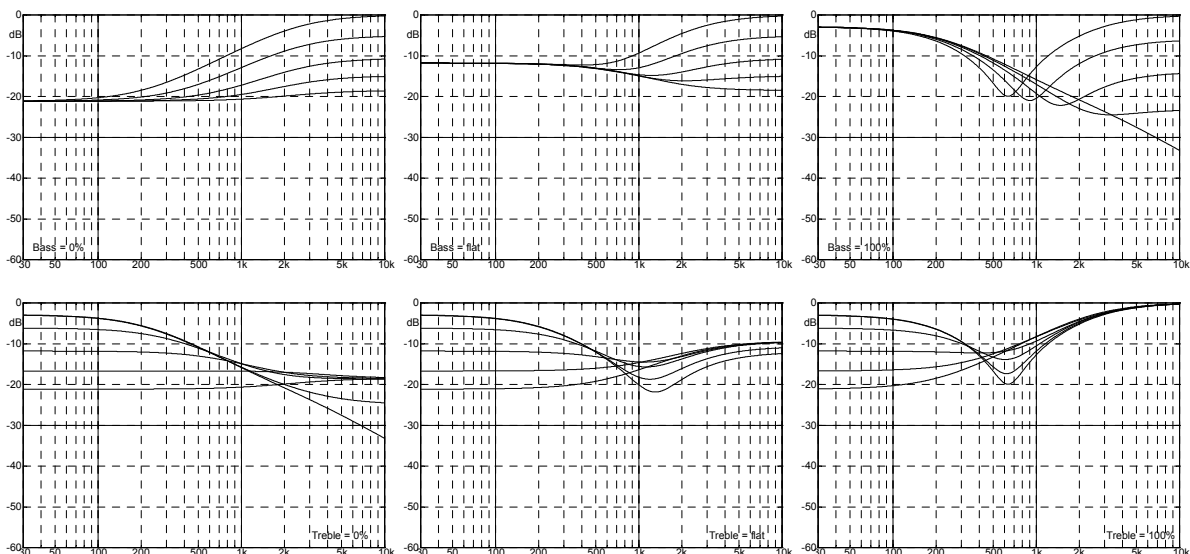


Abb. 10.3.4: Betragfrequenzgänge des Klangfilters im Super-Amp 6G4. Schaltung siehe Abb. 10.3.8.

Vermutlich wurden aber die Einstellmöglichkeiten dieses Einfach-Filters von den Musikern als zu gering beurteilt, denn schon bald gab's die Revision 6G4-A (**Abb. 10.3.5**): Eine überarbeitete Filterschaltung, jetzt sogar mit vier Kondensatoren, und mit einem speziellen Treble-Poti, das eine **Anzapfung** (engl. TAP) besitzt. Anscheinend lohnte sich der Aufwand, denn der Tremolux (6G9) erhält dieselbe Schaltung; auch im Bandmaster (6G7-A) und im Vibrolux (6G11) kommt sie zum Einsatz, dort allerdings mit kleinen Bauteile-Modifikationen.

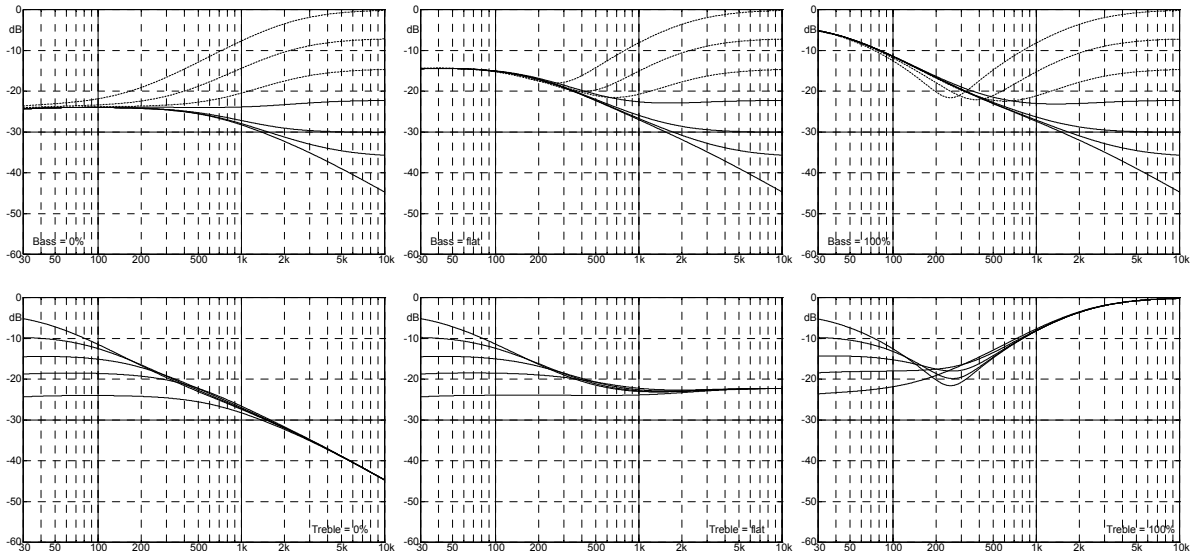


Abb. 10.3.5: Betragsfrequenzgänge des Klangfilters im Super-Amp 6G4-A. Schaltung siehe Abb. 10.3.8.

Aber bereits in der nachfolgenden Verstärkergeneration fällt das Tap-Poti wieder weg, und um 1963 entsteht die Filterschaltung, die als Mutter aller Klangfilter in die Geschichte eingehen wird, und in ähnlicher Form auch bei VOX, Marshall und vielen anderen Gitarrenverstärkern zu finden ist (**Abb. 10.3.6**). Besonders groß ist der Einstellbereich dieser Schaltung nicht, passt aber offensichtlich bestens zu der Kombination Fender-Gitarre + Fender-Verstärker. Die einzelnen Bauteilewerte erfahren sowohl bei Fender als auch bei den Epigonen kleinere Variationen, insbesondere das "Mittenloch" wird in seiner Frequenzlage hin- und hergeschoben, die grundsätzliche Schaltungstopologie steht aber damit fest.

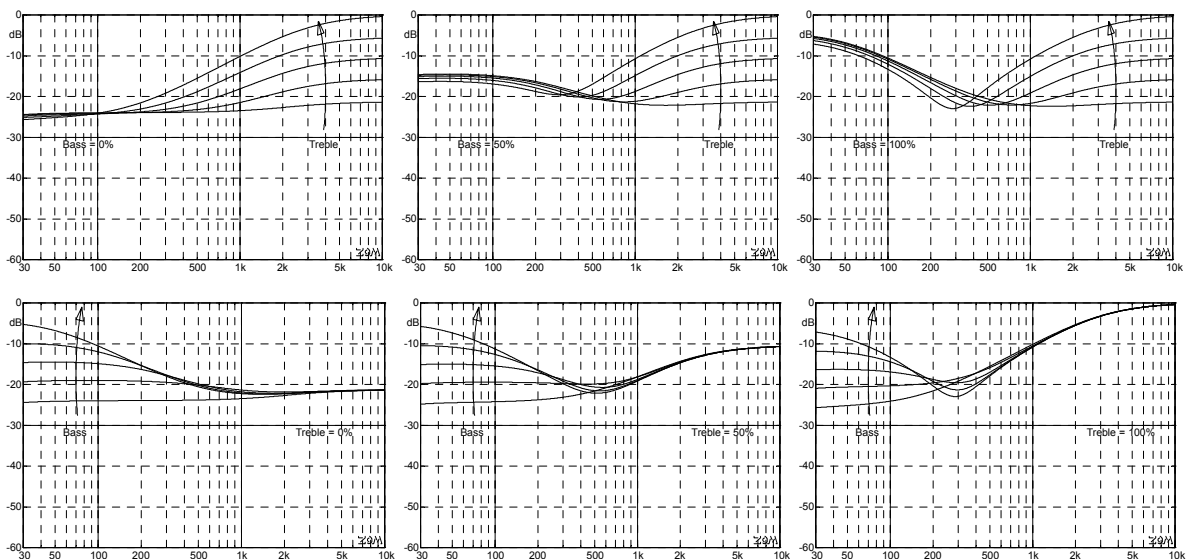


Abb. 10.3.6: Betragsfrequenzgänge des Klangfilters zu Beginn der 60er-Jahre. Schaltung siehe Abb. 10.3.8.

Die neue Filterschaltung (AA763, Abb. 10.3.8) ermöglichte auch, mit wenig Aufwand dem Bass- und Treble-Control einen **Middle-Control** hinzuzufügen: Dazu wurde lediglich der in der ersten Version als Festwiderstand realisierte $R_M = 6.8\text{k}\Omega$ durch ein Potentiometer ersetzt.

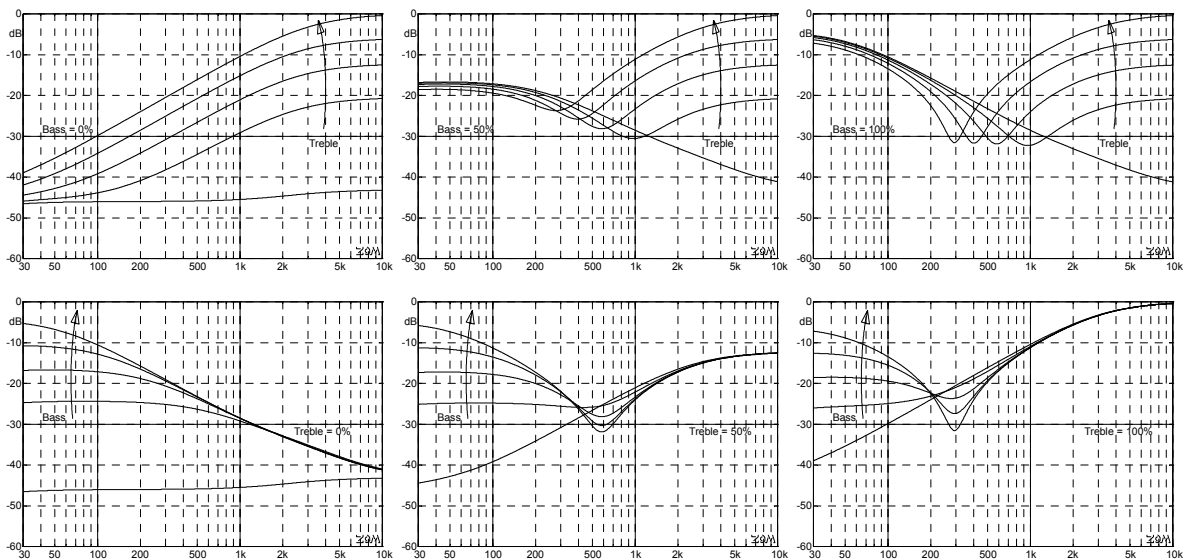


Abb. 10.3.7: Betragsfrequenzgänge des Klangfilters mit Mittensteller ($R_M = 500\Omega$). Vergl. mit Abb. 10.3.6.

In **Abb. 10.3.8** ist die Entwicklung der Fender-Klangfilterschaltung dokumentiert. Aus drei Kondensatoren wurden erst zwei, dann vier, bis schließlich eine einfache Drei-Kondensator-schaltung gefunden war, deren Topologie auch heute noch als Standard betrachtet wird.

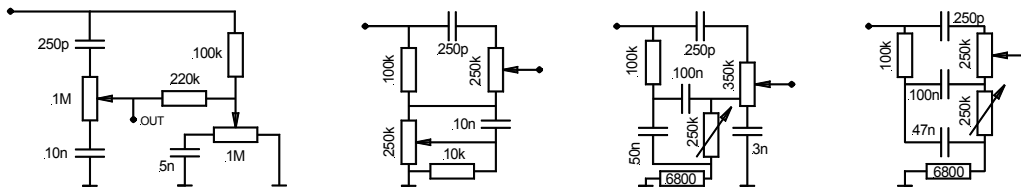


Abb. 10.3.8: Fender-Klangfilterschaltungen: 5E4, 6G4, 6G4-A, AA763 (von links nach rechts).

Bei den Bauteilwerten der AA763-Klangfilters gab es allerdings immer wieder Veränderungen: Neben der Variation des $6800\text{-}\Omega$ -Widerstandes (Mitten-Poti) unterlag vor allem der 47-nF -Kondensator mehrfachen Modifikationen und variierte von 22 nF über 33 nF bis 47 nF . Die Auswirkung dieser Kapazitätsänderung zeigt **Abb. 10.3.9**: Bei nicht zu weit zugedrehtem Bass-Poti bewirkt die Verkleinerung der Kapazität eine Anhebung der Spektralanteile unter 500 Hz ; steht das Bass-Poti dagegen auf null, ändert sich praktisch gar nichts, weil im relevanten Frequenzbereich die Parallelschaltung mit dem 100-nF -Kondensator im Vergleich zum $100\text{-k}\Omega$ -Widerstand näherungsweise als Kurzschluss wirkt. Für 122 nF , sowie für 147 nF . Es fällt schwer, bei Fender-Verstärkern ein Kriterium für die Dimensionierung dieses Kondensators zu finden. Einige Verstärker, wie z.B. **Showman** oder **Twin**, starteten 1963 mit 47 nF und behalten diesen Wert bei. Auch der **Bandmaster** erhält 1963 einen 47-nF -Kondensator, aber 5 Jahre später erfolgt der Wechsel zu 22 nF . Im **Pro-Amp** steckt hingegen zunächst ein 33-nF -Kondensator (AA763), der im gleichen Jahr auf 47 nF geändert wird (AB763), um 6 Jahre später einem 22-nF -Kondensator Platz zu machen. Anders im **Super-Amp**: Zuerst 33 nF (AA763), und noch im selben Jahr der Wechsel zu 22 nF (AB763). Wieder anders im **Deluxe**: Zuerst 33 nF (AA763), und noch im selben Jahr der Wechsel zu 47 nF . Magic, isn't it?

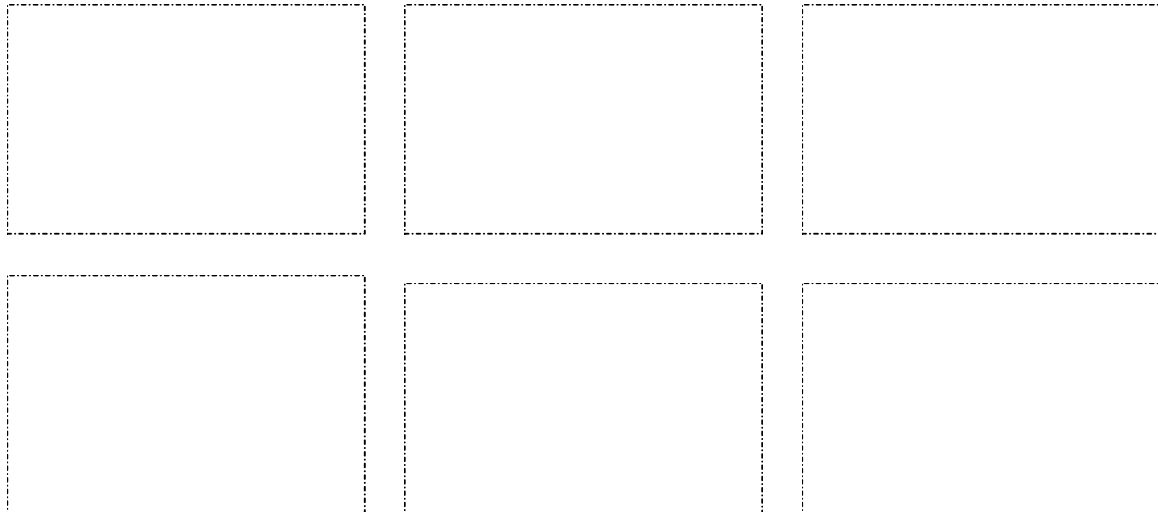


Abb. 10.3.9: Unterschied zwischen 22 nF (dünn) und 47 nF (dick) beim Fender-Klangfilter; $R_M = 6800\Omega$.
Diese Abbildungen bleiben der Druckversion vorbehalten

Die bisher dargestellten Frequenzgänge berücksichtigten noch nicht die periphere Beschaltung. Die Quellimpedanz der vorhergehenden Stufe und die Eingangsimpedanz der nachfolgenden Stufe verändern die oben dargestellten Kurven, allerdings nicht grundsätzlich, sondern eher marginal. Die Vorstufen-Quellimpedanz beträgt bei Fender-Verstärkern typischerweise 30 – 40 k Ω , das ist ausreichend niederohmig, sodass als Näherung Spannungseinprägung angenommen werden kann. Last ist entweder ein hochohmiger Röhreneingang, oder das Vol-Poti, das mit 1 M Ω (seltener 500 k Ω) ausreichend hochohmig ist; der Ausgang ist folglich näherungsweise unbelastet. Für die Übertragung des obersten Frequenzbereiches muss allerdings die **Eingangskapazität** der folgenden Röhre berücksichtigt werden. Wegen des Miller-Effekts ist hier mit 100 – 150 pF zu rechnen, das ergibt zusammen mit 250 k Ω eine Grenzfrequenz von 6.4 bzw. 4.2 kHz. Am stärksten macht sich der Brillanzverlust in Mittelstellung des Schleifers des Vol-Potis bemerkbar, weil hier dessen Innenwiderstand am größten ist ($R/4$). Um diesem Höhenverlust entgegenzuwirken, hatten schon die ersten Gitarren-Verstärker einen **Bright-Kondensator** eingebaut; er überbrückte den oberen Teil des Vol-Potis. **Abb. 10.3.10** stellt im linken Bild den kapazitätsbedingten Höhenverlust dar, rechts ist die Wirkung des Bright-Kondensators zu sehen. Dargestellt ist nur die Übertragungseigenschaft von Quellwiderstand (38 k Ω), Vol-Poti (1 M Ω), Bright-Kondensator (120 pF), und Eingangskapazität (150 pF); die hinzukommende Dämpfung des Klangfilters ist im Bild nicht dargestellt, um überschaubare Kurven zu erhalten.

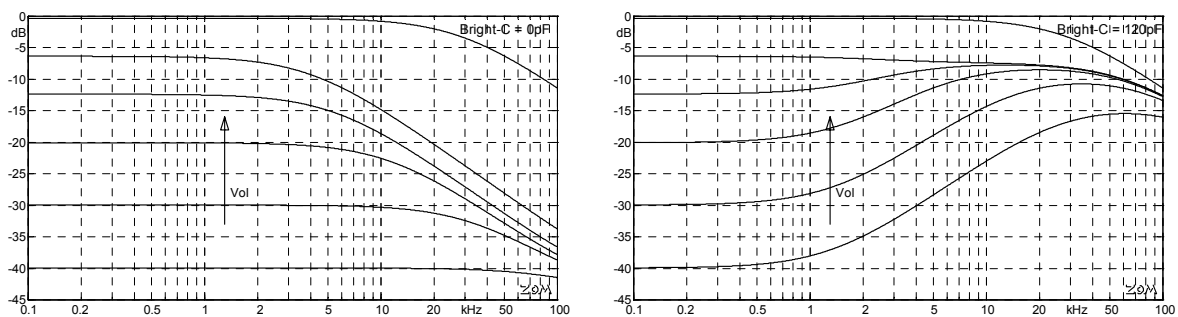


Abb. 10.3.10: Höhenverlust durch kapazitive Belastung des Vol-Potis (links), Höhenanhebung durch Bright-C. Quellwiderstand $R_Q = 38\text{k}\Omega$, 1-M Ω -Poti, Eingangskapazität der folgenden Stufe: 150 pF.

Das als AA763 bezeichnete Fender-Klangfilter ist in **Abb. 10.3.11** nochmals dargestellt, im Vergleich zu zwei um dieselbe Zeit entstandenen Konkurrenten: Dem VOX AC30-TB, und dem Marshall JTM-45. Die grundsätzliche Struktur ist gleich, im Detail finden sich aber charakteristische Abweichungen: So sperrt z.B. das Fender-Filter komplett, wenn alle drei Potis auf Minimum gedreht werden – die anderen beiden Schaltungen vermeiden diese ungünstige Eigenschaft. Die individuellen Bauteilwerte unterscheiden sich auch deutlich, sodass letztlich doch eigenständige Schaltungen entstanden sind – trotz aller Gemeinsamkeiten.

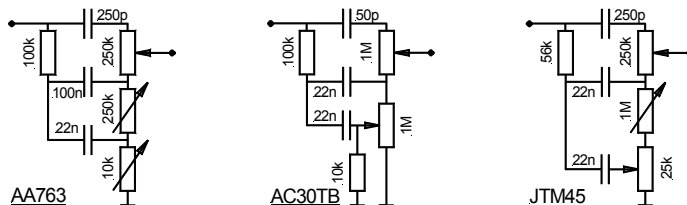


Abb. 10.3.11: Klangfilterschaltungen im Vergleich: Fender, VOX, Marshall. Die Filter werden unterschiedlich belastet: Fender und Marshall hochohmig, VOX mit 360 k Ω (jeweils zzgl. Miller-C).

In **Abb. 10.3.12** sind die Übertragungseigenschaften des **VOX**-Filters (AC30-TB) abgebildet. Besonders auffällig ist die Tiefenabsenkung, die von einem (im Bild nicht gezeichneten) RC-Hochpass bewirkt wird. Wieder anders das **Marshall**-Filter (**Abb. 10.3.13**): Hier war das Ziel der Entwicklung (bzw. Modifikation) offensichtlich eine geringe Grunddämpfung, die in der nachfolgenden Version (JTM-50) noch weiter verkleinert wurde, indem der 56-k Ω -Widerstand in 33 k Ω abgeändert wurde, und der 250-pF-Kondensator in 500 pF.

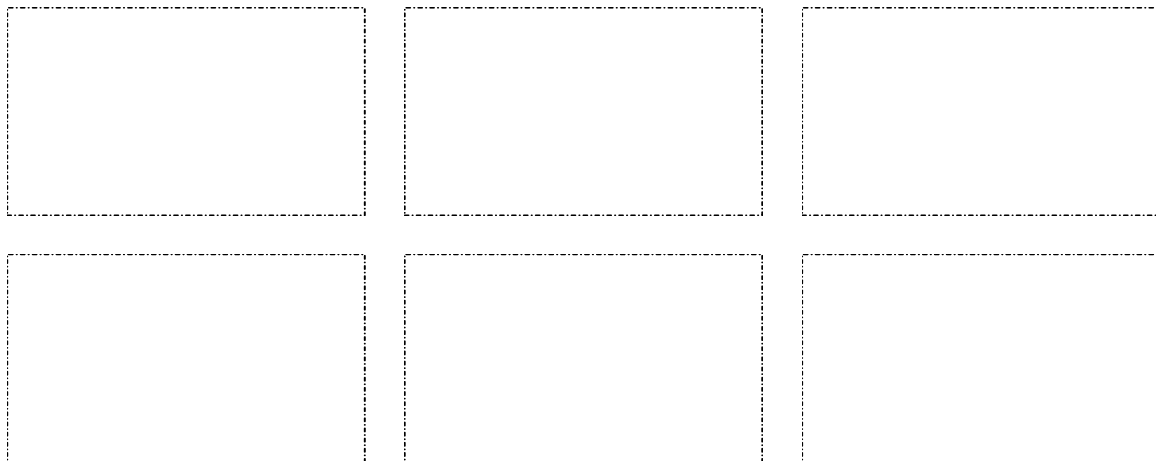


Abb. 10.3.12: Betragsfrequenzgänge des Klangfilters aus dem VOX AC30-TB (incl. 580-Hz-Hochpass).

Diese Abbildungen bleiben der Druckversion vorbehalten

Die **Klangunterschiede** der drei genannten Verstärker beruhen aber nicht in erster Linie auf den unterschiedlichen Filterschaltungen; erst das Zusammenwirken mehrerer Stufen erzeugt den individuellen Sound. Der hohe Endstufen-Innenwiderstand bewirkt beispielsweise beim AC30-TB eine starke Bassanhebung (Kap. 10.5.7) – bei Fenderverstärkern findet man die zwar auch, aber schwächer ausgeprägt. Marshall-Verstärker bieten hingegen mit dem in die Endstufen-Gegenkopplung integrierten Presence-Filter eine spezielle Höhenanhebung, die dem VOX fehlt. Weitere Unterschiede findet man im Übersteuerungsverhalten, und beim Lautsprecher: Bei Fender und VOX typischerweise ein offenes Gehäuse, bei Marshall hingegen die basskräftige geschlossene 4x12-Box. Das Klangfilter ist ein wesentlicher Teil des Gesamtsystems, seiner speziellen Realisierung sollte aber keine übertriebene Bedeutung zugeschrieben werden.



Abb. 10.3.13: Marshall JTM-45. Die Höhenanhebung vorhergehender Stufen ist nicht berücksichtigt.
Diese Abbildungen bleiben der Druckversion vorbehalten

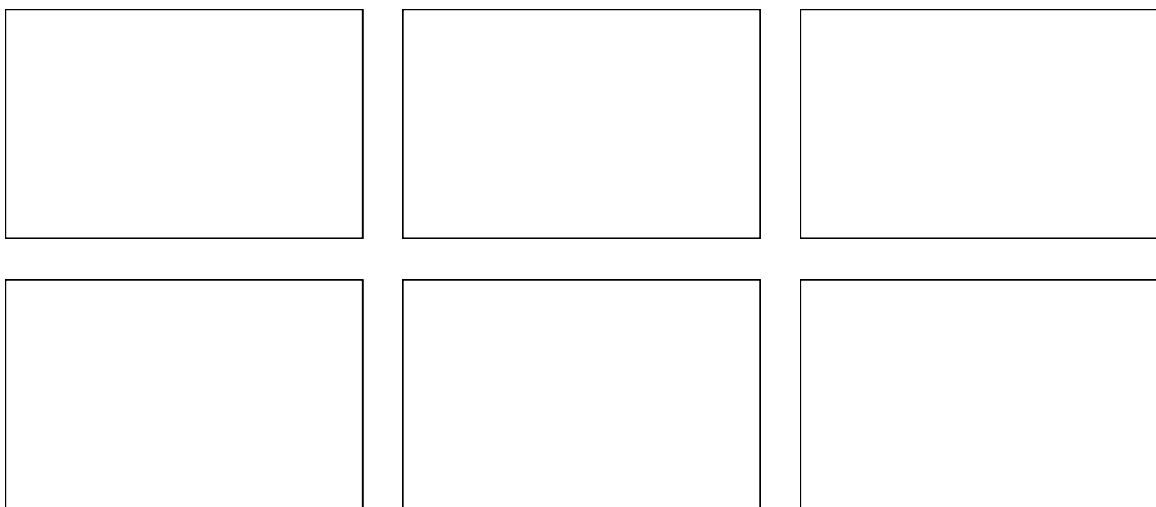


Abb. 10.3.14: Marshall JTM-50. Die Höhenanhebung vorhergehender Stufen ist nicht berücksichtigt.
Diese Abbildungen bleiben der Druckversion vorbehalten

Dass bei Klangfiltern nicht "mehr = besser" gilt, zeigen die beiden folgenden Beispiele: Im Fender-Filter arbeiten zwei bis vier Kondensatoren, das Sound-City-Filter hat deren sechs! Oder sogar 10, wie **Abb. 10.3.14** zeigt. Nicht schlecht, aber trotzdem nicht von Dauer. Wäre diese Filterstruktur den anderen überlegen, sie hätte sich auch in Konkurrenzprodukten durchgesetzt – dies war aber nicht der Fall, diese Schaltungen verschwanden wieder vom Markt.

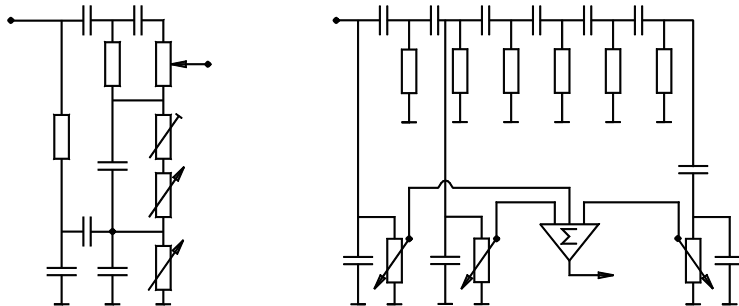


Abb. 10.3.15: Klangfilter im Sound-City-Verstärker. Links: CS100B. Rechts: L/B 120 Mark IV.

Wie man auch mit einfachen Klangfiltern überzeugende Verstärker bauen konnte, zeigt der im Folgenden untersuchte **Marshall 18-Watt-Verstärker**, der von 1965 – 1967 produziert wurde und sich trotz seines eher spartanischen Filternetzwerks eine große Fan-Gemeinde eroberte. Im Normal-Channel dieses Verstärkers arbeitet ein einziges Potentiometer als Tone-Control: Entweder Höhen oder Tiefen absenken – mehr ist nicht. Auch im Tremolo-Channel nur ein Klang-Knopf: Mehr oder weniger Höhen, interaktiv mit dem Vol-Poti verknüpft.

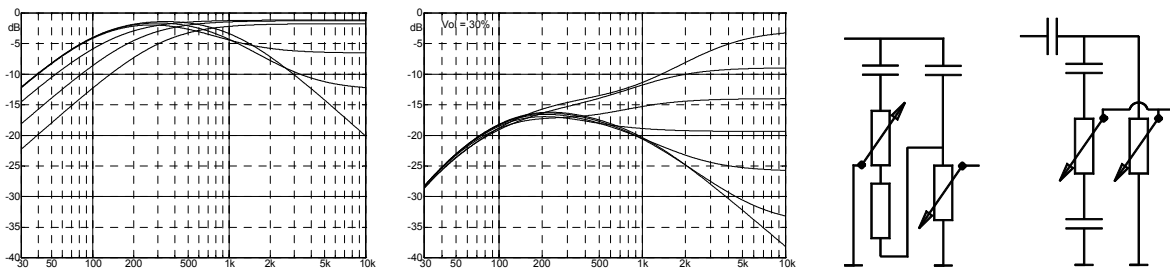


Abb.10.3.16: Betragsfrequenzgänge des Marshall-18W-Verstärkers; Normal-Channel (li.), Tremolo-Channel.

Sehr ähnliche Schaltungskonzepte findet man auch schon gute 10 Jahre früher in Fenders "Deluxe Amp" – lediglich das Vol-Poti ist "reverse" verschaltet, um die Addition eines zweiten Kanals zu ermöglichen. Und diese einfachen, "alten" Verstärker gelten heute keinesfalls als "out of time", sondern erreichen bei Veranstaltungen in kleinen Clubs und im Tonstudio Kultstatus. Ganz offensichtlich ist zur Wiedergabe einer E-Gitarre kein kompliziertes Klangfilter erforderlich. Frage an Lenny Kravits*: "Wie bekommst Du diesen Ton hin?" Antwort: "Nun, Du steckst eine Epiphone in einen Tweed Deluxe, drehst ihn auf 10, und das war's."

Am anderen Ende Komplexität stehen Verstärker, die mit mehrbandigen grafischen und/oder parametrischen Equalizern eine fast unbegrenzte Klangvielfalt ermöglichen (Kap. 10.3.2). Für Verfremdungseffekte sind sie prädestiniert, die Mehrheit der Gitarristen scheint aber darauf verzichten zu können.

* G&B 06/04