

Röhre oder Halbleiter

Bei Röhrenverstärkern wird der Einsatz von Halbleitern bei Schutzschaltungen oder Netzteilen oft toleriert, im Signalweg des Verstärkers selbst hingegen nicht gerne gesehen, was jedoch oft unbegründet ist. Es gibt Anwendungsgebiete, in denen ein reiner Aufbau in Röhrentechnik zwar möglich ist, aber einen sehr hohen Aufwand mit sich bringt und damit wirtschaftlich sehr teuer wird, wie beispielsweise bei komplexeren Filterschaltungen oder Klangreglern. Bei einer großen Anzahl von Röhren sind auch neben den Bauteilekosten der Platzbedarf sowie der hohe Strombedarf zu berücksichtigen.

Mit Halbleitern ist es ebenso möglich, hochwertige Audioschaltungen zu realisieren, wenn das Konzept durchdacht ist und nicht unnötig viele Halbleiter im Signalweg liegen. Die Kosten sind merklich geringer als in der Röhrentechnik, insbesondere bei komplexeren Schaltungen, weshalb dies auch für den Einstieg in die Audio-technik interessant ist. Im Bereich der Vorstufen können so mit geeigneten Schaltungen Filter mit High-End-Eigenschaften oder hochwertige Kopfhörerverstärker zu bezahlbaren Preisen mit vertretbarem Aufwand aufgebaut werden, die durchaus mit Röhrenendstufen kombiniert werden können.

Deshalb haben wir uns entschlossen, sowohl bestehende Projekte wie die Endstufe Black Devil, als auch neue Projekte in Halbleitertechnik wieder anzubieten. An oberster Stelle steht nach wie vor eine hohe Wiedergabequalität, deswegen setzen wir wenige, diskrete Halbleiter anstelle von Operationsverstärkern mit sehr vielen Transistoren ein, was den Eigenschaften des Verstärkers und dem Klang zugute kommt.

Projekt: Transistorendstufe Black Devil MK2

Die Urversion der Transistorendstufe Black Devil wurde in den 80er-Jahren entwickelt und seitdem in diversen Magazinen und Büchern veröffentlicht. Da dieses Endstufenkonzept hervorragende klangliche Eigenschaften aufweist, haben wir uns für eine Neuauflage entschlossen. Das Grundprinzip wurde übernommen, zusätzlich wurden einige Optimierungen vorgenommen.

Die Stromversorgung hat einen entscheidenden Einfluß auf die Qualität einer Endstufe, deswegen wird ein hochwertiger Transformator mit MD-Kern und ein speziell auf die Endstufe abgestimmtes Netzteil eingesetzt. Das neu überarbeitete Netzteil verfügt über eine Strombegrenzung zum Schutz der Endtransistoren, kann aber kurzzeitig einen höheren Impulsstrom liefern, wodurch die Endstufe ein sehr gutes Impulsverhalten erreicht, so daß auch leistungsstarke Impulsspitzen ohne Komprimierung wiedergegeben werden. In Netzteil und Endstufe werden durchwegs moderne Low-ESR-Elkos eingesetzt. Das Eingangssignal wird über einen MKP-Kondensator eingekoppelt, die Auskopplung zum Lautsprecher erfolgt über mehrere kleine Low-ESR-Elkos mit einem parallel geschalteten MKP-Kondensator. Damit wird über einen weiten Frequenzbereich ein möglichst kleiner Innenwiderstand erzielt, was der Klangqualität merklich zugute kommt.

Bei der Endstufe wurde eine zusätzliche Schutzschaltung für den Lautsprecher vorgesehen. Dieser wird über ein Relais auf der Endstufenplatine zugeschaltet, der Controller dazu befindet sich auf der Netzteilplatine. Neben einer Einschaltverzögerung ist auch ein Clippingindikator vorhanden, welcher das Ausgangssignal unter Berücksichtigung der Versorgungsspannung betrachtet und den Lautsprecher bei einsetzendem Clipping sofort abschaltet. Somit wird auch ein vorzeitiges Clipping durch Absinken der Versorgungsspannung erkannt. Die Statusanzeige erfolgt über 2 LEDs.

Durch das verwendete Schaltungsprinzip zeigt die Endstufe ein Klirrverhalten, welches dem einer Röhrenendstufe ähnlich ist. Dominant ist der Klirrfaktor k_2 , die höheren Faktoren zeigen ein abfallendes Spektrum. Neben der Strombegrenzung im Netzteil ist auch an der Endstufe eine Strombegrenzung vorgesehen, um die Abwärtskompatibilität mit früheren Versionen sicherzustellen. Für High-End-Anwendungen kann die Strombegrenzung deaktiviert werden, damit sie das Audiosignal bei höherer Ausgangsleistung nicht nachteilig beeinflussen kann. Mit deaktivierter Strombegrenzung ist die Endstufe allerdings auch nicht mehr kurzzeitig kurzschlußfest.

Projekt: Transistorendstufe Black Devil MK2 - Fortsetzung

Die Endstufe Black Devil MK2 ist als Monoblock konzipiert, pro Endstufe werden ein Netzteil und ein Netztransformator benötigt. Die Kühlkörper befinden sich auf den Platinen. Dadurch fallen diese etwas größer aus, der mechanische Aufbau wird aber maßgeblich vereinfacht. Die maximale Leistung der Endstufe beträgt > 50 W an 4 Ohm Last, der Klirrfaktor liegt unter 0,03 % bei 20 W Leistung.

Die Endstufe ist anschlusskompatibel zu allen vorhergehenden Versionen, ein bereits vorhandener Netztransformator kann weiter verwendet werden. Lediglich der Controller benötigt eine Zusatzspannung von 15 VAC, die beim aktuellen Netztransformator bereits vorgesehen ist.

Weitere Informationen finden Sie unter www.experience-electronis.de.

Klangregler und Filterschaltungen in Theorie und Praxis

Im High-End-Bereich sind Klangregler nicht gerne gesehen. **Eine hochwertige Anlage braucht keinen Klangregler.** In der Praxis sieht dies meist etwas anders aus. Der Abhörraum und die Art und Aufstellung der Lautsprecher spielen eine große Rolle und mit einem dezenten Eingriff kann oft eine wesentliche Verbesserung der Wiedergabequalität erzielt werden. Breitbandkonzepte zeigen oft an den äußeren Frequenzbereichen einen geringeren Schalldruck, was mit einem Filter korrigiert werden kann. Natürlich wäre eine Korrektur mit einer Frequenzweiche am Lautsprecher selbst ebenfalls möglich, damit handelt man sich jedoch weitere Probleme ein, da Röhrendstufen oft kritisch auf komplexe Lasten reagieren. Je komplexer die Frequenzweiche aufgebaut ist, um so größer ist die Gefahr, daß dies nachteilige Auswirkungen auf das Zusammenspiel zwischen Lautsprecher und Endstufe hat, insbesondere bei Single-Ended-Konzepten. Hier ist ein Filter vor der Endstufe oft die bessere Lösung. Auch manche alten, liebgewonnenen Aufnahmen können eine kleine Aufhübschung gut vertragen, bei deren Abmischung der damalige Zeitgeist berücksichtigt wurde.

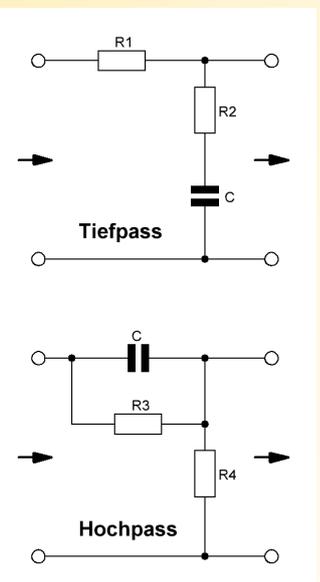
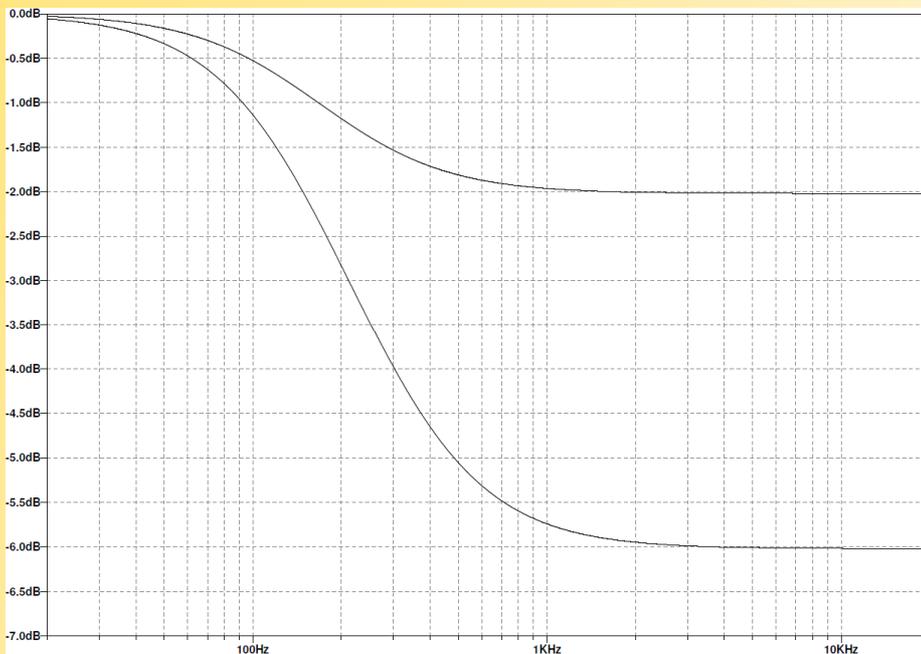
Die ideale Anforderung an einen Filter oder Klangregler wäre eine freie Einstellung der Eckfrequenz, der Anhebung bzw. Absenkung und der Güte. Dies alles kann mit Operationsverstärkern und Filtern höherer Ordnung realisiert werden. Bedingt durch den komplexen Aufbau entstehen aber Probleme an anderen Stellen wie Impulsantwort, Phasenverschiebung und Laufzeit. Eine Alternative dazu sind digitale DSP-Filter, bei denen die Filterfunktion mit sehr vielen Freiheiten programmiert werden kann. Entsprechende Geräte guter Qualität bewegen sich jedoch im 4-stelligen Preissegment. Wenn man jedoch ein paar Kompromisse eingeht, kann eine Korrektur mit einem einfachen RC-Filter erster Ordnung in sehr hoher Qualität erfolgen, da dieses im Gegensatz zu Filtern höherer Ordnung keine Welligkeit und eine saubere Sprungantwort aufweist.

Meist sind die Anforderungen an ein Filter weniger streng und beschränken sich auf eine Anhebung oder Absenkung im Baß- oder im Hochtonbereich. Die klassischen Klangregler, auch Kuhschwanzentzerrer genannt, sind hierfür nicht geeignet, da die Eckfrequenzen nicht einstellbar sind und diese Filter sehr breitbandig arbeiten. Eine sinnvolle Einstellung zur Klangverbesserung ist damit kaum möglich. Equalizer und Universalfilter mit einstellbaren Parametern bieten hier zwar mehr Eingriffsmöglichkeiten, erfordern aber auch einige aktive Komponenten, meist Operationsverstärker, was nicht erwünscht ist.

Da oft nur eine geringe Korrektur notwendig ist, kann mit dem einfachen RC-Filter erster Ordnung mit einer Steilheit von 6 dB pro Oktave ein Eingriff im Bereich einigen dB vorgenommen werden, ohne daß klangliche Nachteile entstehen. Prinzipiell kann ein RC-Filter auch zwischen zwei Geräte geschaltet werden. Hierbei muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Impedanzverhältnisse nicht ideal sind und die tatsächlichen Werte des Filters stark von der Quellimpedanz des Zuspilers abhängen. Ist eine Korrektur an beiden Frequenzbereichsenden erforderlich, werden zwei RC-Filter benötigt. Diese können aufgrund der fest vorliegenden Impedanzverhältnisse von Zuspiler und Endstufe nicht einfach hintereinander geschaltet werden, so daß hier in jedem Fall eine aktive Lösung mit Verstärkerstufen erforderlich ist.

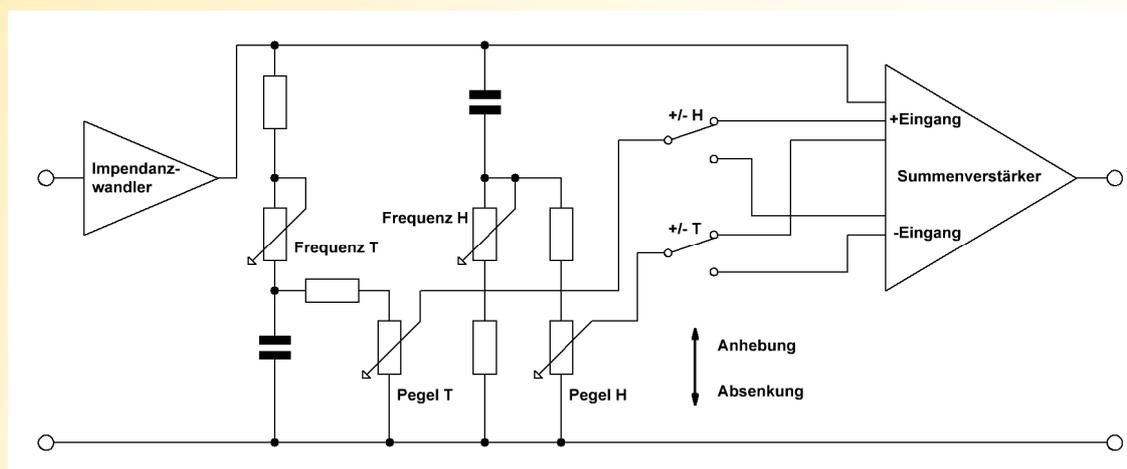
Klangregler und Filterschaltungen in Theorie und Praxis - Fortsetzung

Das folgende Diagramm zeigt den Frequenzgang eines RC-Tiefpasses mit einer Eckfrequenz von 150 Hz und einer Dämpfung von 2 dB bzw. 6 dB unter Idealbedingungen mit einer Quellimpedanz von 0 Ohm und einer unendlich hohen Lastimpedanz:



Wird nur eine Korrektur zwischen 0...6 dB an einem Ende des Frequenzbereiches benötigt, so kann diese mit einem Tief- oder Hochpass mit wenig Aufwand erfolgen. Durch geschickte Wahl der Eckfrequenzen kann in Verbindung mit einem Aufholverstärker eine Tiefenanhebung oder Höhenanhebung erfolgen. Die Dämpfung wird durch das Verhältnis der Widerstände R_1 zu R_2 bzw. R_3 zu R_4 bestimmt und sollte aufgrund der Impedanzverhältnisse nicht größer als 6 dB gewählt werden. Die Eckfrequenz wird durch R_1 und R_2 bzw. R_3 und R_4 festgelegt. Werden die Widerstände durch Potentiometer ersetzt, sind die Parameter einstellbar. Nachteilig ist jedoch die Beeinflussung der Eckfrequenz beim Verändern der Dämpfung.

Eine elegantere Lösung ist die Verwendung eines Summenverstärkers. Hier können mehrere Filter gleichzeitig zum Einsatz kommen, auch ein Bandpass wäre denkbar. Dies erhöht auch den Bedienkomfort, da Dämpfung und Eckfrequenz unabhängig voneinander ohne gegenseitige Beeinflussung eingestellt werden können. Verfügt der Summenverstärker über einen Differenzeingang, so kann wahlweise eine Anhebung oder Absenkung des gewünschten Frequenzbereiches erfolgen.



Klangregler und Filterschaltungen in Theorie und Praxis - Fortsetzung

Der Impedanzwandler am Eingang sorgt für eine niederohmige Ankopplung der passiven RC-Filter, das Ausgangssignal der einzelnen Filter wird zum Ursprungssignal addiert, was einer Anhebung entspricht. Die Absenkung wird durch eine Subtraktion erreicht, dazu wird das entsprechende Filter an den invertierenden Eingang des Summenverstärkers angeschlossen. Mit diesem Konzept kann ein sehr hochwertiges Korrekturfilter zur Lautsprecheranpassung oder auch ein hochwertiger Klangsteller realisiert werden, mit gewissen Zugeständnissen an den Differenzverstärker kann dies auch in Röhrentechnik erfolgen, um Aufwand und Kosten in vernünftigen Grenzen zu halten.

Bei der Berechnung der Eckfrequenzen der Filter muß berücksichtigt werden, daß sowohl die Ausgangsimpedanz des Impedanzwandlers, als auch die Belastung durch die Pegelpotentiometer mit in die Berechnung eingehen. Als praxistaugliche Werte empfehlen wir 10...25 kOhm für die Potentiometer zur Frequenzeinstellung, die Pegelpotentiometer sollten, zusammen mit dem Vorwiderstand, etwa um den Faktor 10 größer gewählt werden. Diese Werte stellen einen guten Kompromiß dar, damit die gesamte Anordnung nicht zu hochohmig und damit anfällig gegen Brummstörungen wird.

Die Eckfrequenz der Filter berechnet sich nach der Formel: $f \text{ [Hz]} = 6.28 * R \text{ [Ohm]} * C \text{ [Farad]}$

Die Anhebung bzw. Absenkung der Filter wird durch die Verstärkung des Summenverstärkers sowie durch den Vorwiderstand des Pegelpotentiometers bestimmt und kann an den gewünschten Wert angepaßt werden.

Aktives Frequenzkorrekturfilter für Lautsprecher

Da sich Breitbandlautsprecher in Verbindung mit Single-Ended-Endstufen nach wie vor hoher Beliebtheit erfreuen, haben wir mit obigem Konzept ein hochwertiges Korrekturfilter entwickelt, um den abfallenden Schalldruck eines Breitbandchassis am unteren und oberen Frequenzende etwas zu kompensieren. Das Filter besitzt, wie im Prinzipschaltbild im vorigen Artikel gezeigt, einen Emitterfolger am Eingang zur niederohmigen Ansteuerung der beiden Filter. Es ist nur eine Anhebung im Bereich von 0...6 dB vorgesehen, damit wird beim Summenverstärker kein invertierender Eingang benötigt und die Schaltung kann mit wenigen Halbleitern im Signalweg aufgebaut werden. Für die Baßanhebung stehen zwei Frequenzbereiche von 48...144 Hz und 106...318 Hz zur Verfügung, für die Höhenanhebung die Bereiche von 4,8...15,5 kHz und 10,6...31,8 kHz. Der jeweilige Frequenzbereich wird durch die Bestückung mit dem entsprechenden Filterkondensator festgelegt und kann beliebig variiert werden, die Eckfrequenz und Anhebung werden mit Potentiometern eingestellt.

Bei den verwendeten Halbleitern kommen diskrete, rauscharme Transistoren zum Einsatz, das Filter ist für Linepegel konzipiert und kann entweder in den Vorverstärker integriert oder zwischen Vorverstärker und Endstufe geschaltet werden. Ein geregeltes Netzteil sorgt für eine saubere Betriebsspannung von ± 24 VDC. Die Ein- und Auskopplung des Signals erfolgt über MKP-Kondensatoren, der Verstärker selbst arbeitet ohne Koppelkondensatoren.

Filter und Netzteil sind demnächst bei uns als Bausatz erhältlich.

Ausblicke

In der nächsten Ausgabe unseres Newsletters:

- Transistor-Kopfhörerverstärker
- Vorrangschalter zum Betrieb mehrerer Endstufen an einem Verstärkerausgang

Impressum

Herausgeber: Rainer Horsch EXPERIENCE electronics
Kastanienweg 12, 86169 Augsburg
www.experience-electronics.de

Der gewerbliche Gebrauch der Beiträge ist untersagt. Die gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich der elektrischen Sicherheit sind zu beachten. Eine Haftung des Herausgebers für Korrektheit und Verwendbarkeit der Schaltungen sowie der technischen Informationen ist ausgeschlossen. (c) 2019