

RIAA-Vorverstärker

Mit der Röhre ECL 86

Von Gerhard Haas

Trotz CD und digitaler Audio-Signalverarbeitung gibt es sie noch, die treuen Anhänger der Vinylscheibe. Und sie genießen ihre analogen Schätze am liebsten in zeitgenössischer Röhrentechnik.



Die Vinylplatte hat fast ein Jahrhundert lang eine wichtige Rolle als Speichermedium für Sprache und Musik gespielt. Obwohl die CD inzwischen die führende Rolle spielt, sind analoge Schallplatten immer noch sehr weit verbreitet. Hunderte von Millionen der Schallplatten sind in Archiven und privaten Plattenschränken eingelagert. Darunter befinden sich unwiederbringliche Tondokumente, Sammlerstücke, viele banale Aufnahmen, die den Zeitgeist und die damals verfügbare Technik widerspiegeln, aber auch tontechnisch und künstlerisch hervorragende Aufnahmen. Für Analogfreunde gibt es aber auch heute noch einen Schallplattenmarkt, wo nachgepresste oder auch neugepresste Exemplare zu bekommen sind. Die Preise sind aufgrund der kleinen Stückzahlen, aber auch wegen der hohen Qualität ziemlich hoch. Im direkten Vergleich auf einer guten Stereoanlage kann eine gute Vinylschallplatte die Qualität einer CD ohne weiteres erreichen oder auch übertreffen. Als einziger Nachteil bleiben die mechanischen Abtastgeräusche und das Knistern durch Staub und elektrostatische Aufladung. Aufgrund dieser Tatsa-

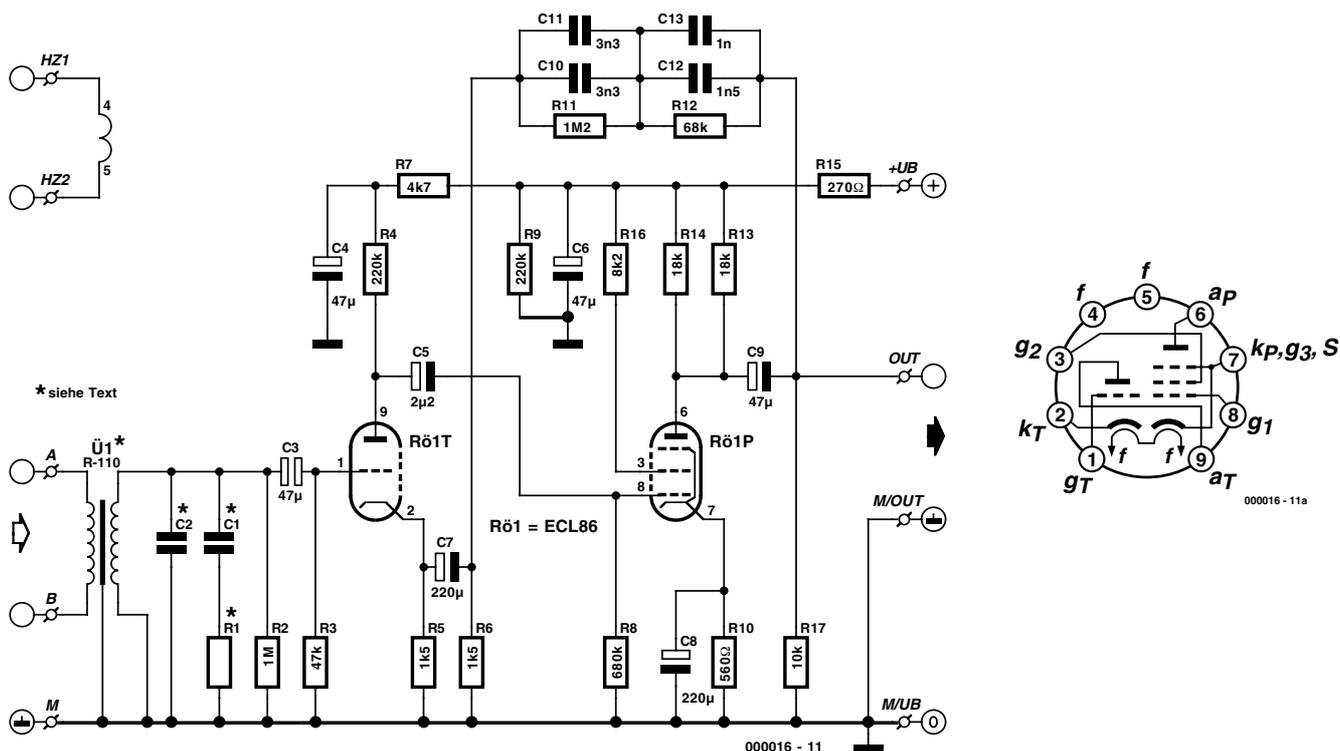


Bild 1. Der Schaltplan des RIAA-Vorverstärkers mit optionalem Eingangsübertrager.

chen ist immer eine Nachfrage nach guten Entzerrervorverstärkern auch in Röhrentechnik vorhanden. Hier schließt sich der Kreis. Vor dem Aufkommen der Halbleitertechnik wurde alles mit Röhrentechnik getätigt. Diese prägte auch die Aufnahmetechnik und den Klang. Wenn nun wieder mit Röhren die Schallplattensignale verstärkt werden, kommt dies dem damaligen Klangempfinden näher. Und so hat auch dieser Bauvorschlag seine Daseinsberechtigung.

Röhren-Opamp

Ein Entzerrervorverstärker mit Röhren ist nicht vergleichbar mit einer mit Halbleitern bestückten Version. Moderne Opamps haben eine sehr hohe Leerlaufverstärkung, so dass genügend Reserven für die Gegenkopplung zur Verfügung stehen. Wenn man diese hohen Leerlaufverstärkungsreserven mit Röhren machen wollte, müsste sehr hoher Aufwand getrieben werden. Meistens werden in diesen Konzepten Doppeltrioden oder auch NF-Vorstufen-Pentoden eingesetzt. Hier gehen wir wieder einen etwas ungewöhnlichen Weg und verwenden,

wie man an der Schaltung des Entzerrervorverstärkers in **Bild 1** zu sehen, die ECL86. Eine hochverstärkende NF-Triode gekoppelt mit einer stromstarken NF-Endpentode kann als Röhren-Opamp angesehen werden (hohe Verstärkung, hoher Eingangswiderstand, niedriger Ausgangswiderstand). Zum besseren Verständnis der Wirkungsweise der Schaltung betrachten wir die Funktionen zunächst im Detail. Wenn das Gegenkopplungsnetzwerk R11/R12/C10...C13 nicht angeklemt ist, wird die Leerlaufverstärkung von den Röhrensystemen mit deren Beschaltung bestimmt. Der Kathodenwiderstand der Pentode ist durch einen großen Elko überbrückt. Deshalb wird die Verstärkung der Pentode $v = Ra \cdot S$ sein (siehe Kasten Verstärkungsberechnung). Bei der Triode bestimmt R5 den Gleichstromarbeitspunkt. C7 stellt für Wechselspannungen einen Kurzschluss dar, so dass die Widerstände R5 und R6 parallel geschaltet sind. Die Triode wird aufgrund der Gegenkopplung durch den Kathodenwiderstand nicht die theoretisch mögliche Verstärkung erreichen. Ohne jegliche Gegenkopplungen hätte die Triode mit dieser Beschaltung eine Verstär-

kung von 77, die Pentode käme auf 90. Zusammen wäre der Verstärkungsfaktor 6930, was etwa 76,5 dB sind. Tatsächlich liegt die Verstärkung der Triode aufgrund der Gegenkopplung deutlich unter dem Wert von 77. Weiterhin müssen die Exemplarstreuungen der Röhren berücksichtigt werden. Deshalb wurde die Grundverstärkung bei 1 kHz auf rund 35 dB festgelegt. Dies ist zwar nicht berauschend hoch, hat jedoch den großen Vorteil, dass beliebige Röhren eingesetzt werden können, ohne dass sie vorher selektiert werden müssen.

Auf weitere Schaltungsdetails muss nicht weiter eingegangen werden, da die Funktion der einzelnen Bauteile klar ist. Wie die ECL86 mit Beschaltung im Prinzip funktioniert, ist beim Röhren-Preamp ausführlich nachzulesen. Das dort beschriebene Netzteil eignet sich ohne Änderung zum Betrieb dieser Schaltung. Die Bauteile müssen genau der Qualität entsprechen, wie sie die Stückliste angibt. Dann erreicht man die in den technischen Daten angegebenen Messwerte ohne Weiteres. Auch mit dieser Schaltung wird wieder die Diskussion über die Elkos im Signalweg aufblühen. Elkos haben den unschlagbaren Vorteil, dass mit ihnen sehr hohe Kapazitäten auf kleinstem Raum verfügbar sind. Damit sind Signalkopplungen mit niedriger Impedanz selbst bei tiefen Frequenzen möglich. Weiterhin hat sich in den letzten Jahren technologisch bei der Elkoentwicklung sehr viel

Technische Daten

| | | | |
|--------------------------------|------------|-----|----|
| Stabilisierte Betriebsspannung | | 330 | V |
| Nominelle Ausgangsspannung | an 100 kΩ | 200 | mV |
| Ausgangsimpedanz | bei 20 Hz | 2 | kΩ |
| | bei 1 kHz | 150 | Ω |
| | bei 20 kHz | 25 | Ω |
| Stromaufnahme | circa | 20 | mA |

MD (Quellimpedanz 750 Ω)

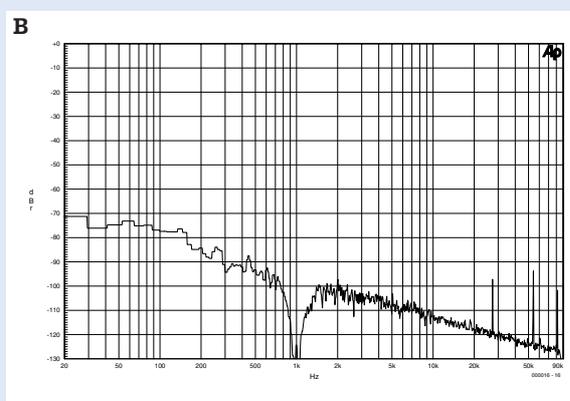
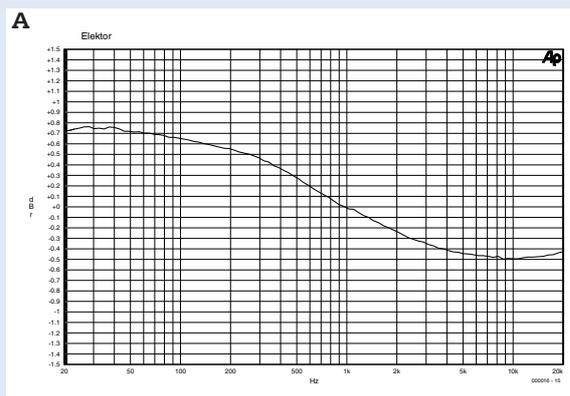
| | | | |
|-------------|---------------------------|--------|----|
| THD+N | B = 80 kHz, 1 kHz | <0,06 | % |
| THD+N | A-gewichtet | <0,014 | % |
| S/N | 22 Hz ... 22 kHz | >65 | dB |
| S/N | A-gewichtet | >76 | dB |
| Verstärkung | 1 kHz, $U_{EIN} = 3,5$ mV | 35 | dB |

MC (Quellimpedanz 25 Ω plus Übertrager R-110)

| | | | |
|-------------|----------------------------|--------|----|
| THD+N | B = 80 kHz, 1 kHz | <0,07 | % |
| THD+N | A-gewichtet | <0,018 | % |
| S/N | 22 Hz ... 22 kHz | >63 | dB |
| S/N | A-gewichtet | >74 | dB |
| Verstärkung | 1 kHz, $U_{EIN} = 0,37$ mV | 55 | dB |

Bild A zeigt die Abweichung von der RIAA-Kurve. Die relative Abweichung bleibt bei einer Belastung von 47 kΩ innerhalb +0,8 dB und -0,5 dB. Durch die hohe Ausgangsimpedanz kann bei anderen Belastungen vor allem bei niedrigen Frequenzen eine Abweichung auftreten.

Bild B gibt das Frequenzspektrum bei 200 mV/1 kHz an 100 kΩ Belastung wieder. Es ist zu sehen, dass der THD+N-Wert fast ausschließlich aus dem Rauschanteil besteht. Die Spitzen bei 25 kHz und höher werden vom Schaltnetzteil (demnächst in Elektor!) verursacht und liegen mit weniger als -90 dB nicht nur so niedrig, dass sie keinen Einfluss auf die Messung haben, sondern auch weit außerhalb des menschlichen Hörbereichs.



getan, mehr als bei anderen passiven Bauteilen. Am besten baut man die Schaltung auf und hört sich das Ergebnis an. Es bleibt jedem freigestellt, dann mit anderen Kondensatoren zu experimentieren.

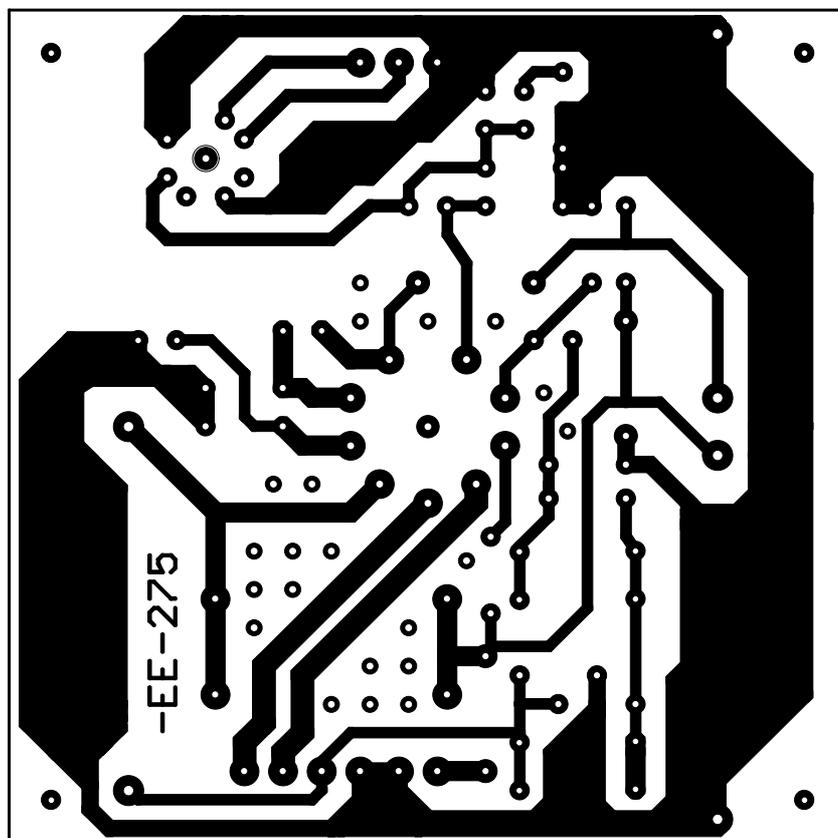
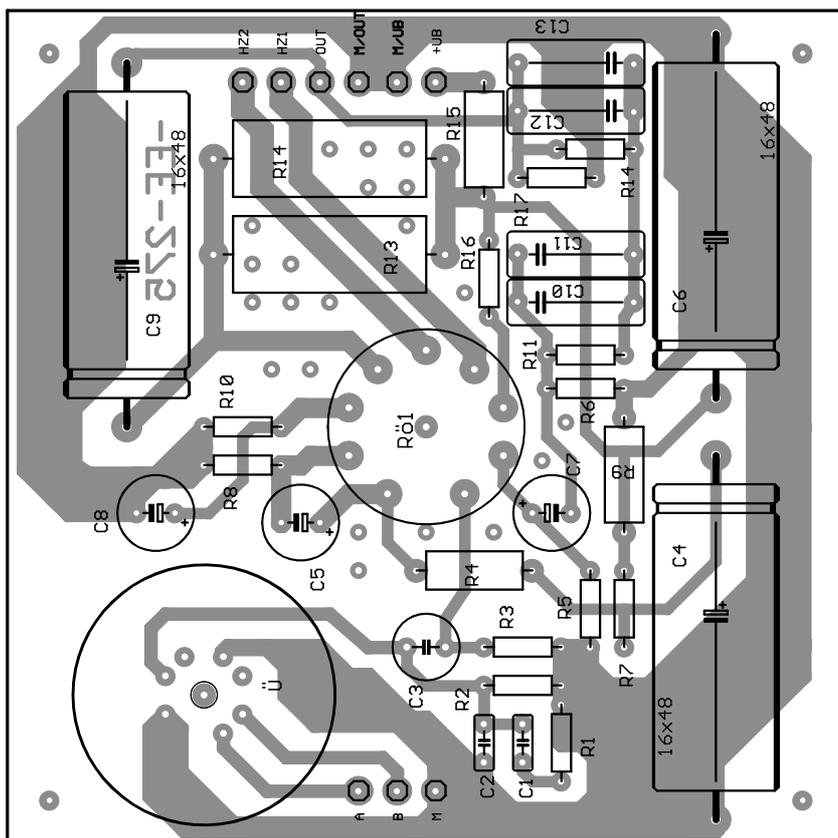
MM oder MC?

Nun kommen wir noch zu einem sehr interessanten Schaltungsdetail am Eingang. Wenn ein übliches MM-System (Moving Magnet oder Magnetsystem) eingesetzt wird, schließt man dieses direkt an C3 an. Über R3 hat es dann den standardmäßigen Abschlusswiderstand von 47 kΩ. R2 dient nur als Ableitwiderstand für statische Gleichspannungen. C2 kann nach Bedarf eingesetzt werden. Für jedes Magnetsystem ist eine bestimmte kapazitive Last vorgeschrieben, damit der Frequenzgang linear wird. Meist sind die Anschlusskabel des Plattenspielers so bemessen, dass diese zusammen mit den Schaltkapazitäten den richtigen Abschluss bilden. Wenn dies nicht ausreicht, muss mit C2 kompensiert werden. Hier verwendet man in der Regel keramische Kondensatoren, wobei Werte zwischen 10 pF und einigen hundert

Picofarad üblich sind. Sollen Moving-Coil-Systeme eingesetzt werden, ist ein Anpassübertrager sinnvoll und hilfreich. Moving-Coil-Systeme haben prinzipbedingt ein deutlich besseres Wiedergabeverhalten als Magnetsysteme. Der Nachteil ist, dass sie eine etwa um den Faktor 10 niedrigere Ausgangsspannung liefern. Dies kann durch den Übertrager R-110 ausgeglichen werden, ein in Mu-Metall gekapselter Ringkernübertrager, der die geringe Signalspannung praktisch rauschfrei und mit geringstem Klirrateil um den Faktor 10 (= 20 dB) anhebt. Übertrager können nur ungeradzahlige Klirrateile produzieren. Der Klirrfaktor hängt vom Primärpegel und von der Frequenz ab. Je niedriger die Frequenz und je höher der Pegel, desto höher wird der Klirrfaktor sein. Der Übertrager R-110 wurde bei 1 mV gemessen, was ein guter Standardwert für MC-Systeme ist. Die Mu-Metall-Kapselung des Über-

tragers ist relativ teuer, aber zwingend notwendig. Denn alle magnetisch eingestreuten Störungen würden entsprechend mit verstärkt und trügen zur Verschlechterung des Störabstand bei. Mit dem Übertrager umgeht man Klimmzüge in der Verstärkertechnik mit allen damit verbundenen Nachteilen. Damit die Übertrageranpassung auch perfekt funktioniert, müssen einige grundlegende Dinge beachtet werden. Der verwendete Übertrager übersetzt die Spannung um den Faktor $\ddot{u} = 10$. Die Spannung wird um den Faktor \ddot{u} hochtransformiert, die Impedanz jedoch mit \ddot{u}^2 übersetzt. Wenn der Übertrager beispielsweise mit 47 kΩ abgeschlossen ist, sieht das Moving-Coil-System eine Abschlussimpedanz von

$R = R3/\ddot{u}^2 = 47 \text{ k}\Omega/10^2 = 470 \Omega$.
Damit diese niedrige Impedanz sich auf den Verstärkereingang auswirken kann, muss C3 eine hohe Kapazität haben. Die 3-dB-Grenzfrequenz liegt in diesem Fall bei rund 0,07 Hz.



Damit sieht der Verstärkereingang die niedrige Quellimpedanz, was sich günstig auf das Rauschverhalten auswirkt. Zwischen Primär- und Sekundärwicklung hat der Übertrager einen Schirm, der Störungen nach Masse ableitet.

Damit ein Moving-Coil-System richtig angepasst wird, müssen dessen Datenblattangaben beachtet werden. Wenn beispielsweise ein Abschlusswiderstand von 1 kΩ verlangt wird, muss R3 auf 100 kΩ erhöht werden. Damit sieht das System den geforderten Abschlusswiderstand, der Verstärker als Quellimpedanz den Innenwiderstand des Moving-Coil-Systems. R2 kann beim Anschluss des Übertragers weggelassen werden, da der Gleichstromweg über die Übertragerwicklung geschlossen ist. Der Frequenzgang lässt sich mit C2, C1 und R1 korrigieren. C2 stellt die kapazitive Last dar, die abhängig vom System und den Schaltkapazitäten eingesetzt werden

Stückliste

Widerstände:

- (Metallschicht 0,7 W, 1 % Toleranz
- MO = 5 %, Toleranz)
- R1 = siehe Text
- R2 = 1 M (siehe Text)
- R3 = 47 k
- R4 = 220 k, MO 2 W
- R5,R6 = 1k5
- R7 = 4k7
- R8 = 680 k
- R9 = 220 k, MO 2 W
- R10 = 560 Ω
- R11 = 1M2
- R12 = 68 k
- R13,R14 = 18 k, MO 4,5 W
- R15 = 270 Ω, MO 2 W
- R16 = 8k2
- R17 = 10 k

Kondensatoren:

- C1,C2 = siehe Text
- C3 = 47 μ/35 V bipolar
- C4 = 47 μ/450 V axial
- C5 = 2μ2/400 V, RM5
- C6 = 47 μ/450 V axial
- C7,C8 = 220 μ/25 V, RM5
- C9 = 47 μ/450 V axial
- C10,C11 = 3n3, 2,5 % Polypropylen min. 100 V
- C12 = 1n5, 2,5 %, Polypropylen min. 100 V
- C13 = 1 n, 2,5 %, Polypropylen min. 100 V

Außerdem:

- Rö1 = ECL 86
- 1 Novalsockel Keramik für Platinenmontage
- 1 Leiterplatte Epoxydharz glasfaserverstärkt, 70 μm Kupferauflage
- 1 Moving-Coil-Übertrager R-110, siehe Text
- Lötnägel

Bild 2. Die Mono-Platine ist beim Autor erhältlich.

muss. Je nach Konstellation kann sich eine Resonanzspitze im Hörbereich ergeben. Diese lässt sich durch R1 und C1 unterdrücken, so dass der Frequenzgang linear wird. Falls C1 und R1 benötigt werden, liegen die Werte im Bereich von 22 pF bis 1 nF und 5 kΩ bis 20 kΩ.

Tipps zum Aufbau

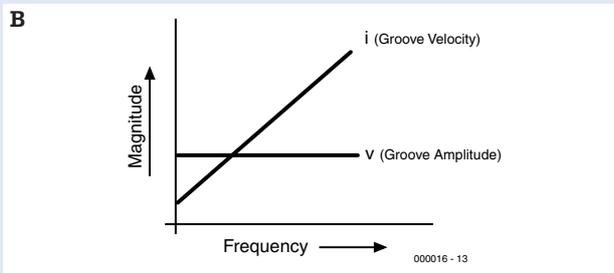
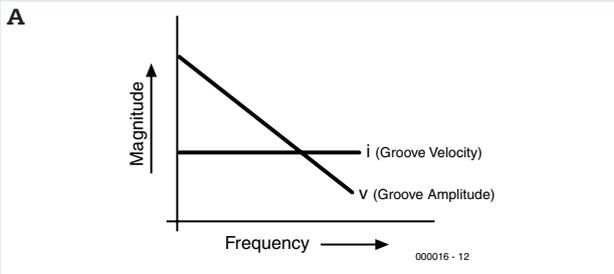
Der Anschluss des MC-Systems sollte möglichst symmetrisch über XLR-Verbinder erfolgen. Nur so wird das sehr kleine Tonabneh-

mersignal störungsfrei bis zum Verstärkereingang transportiert. Das Schirmgeflecht wird im XLR-Stecker mit Pin 1 verbunden. Die folgende kleine Tabelle zeigt, wie's geht:

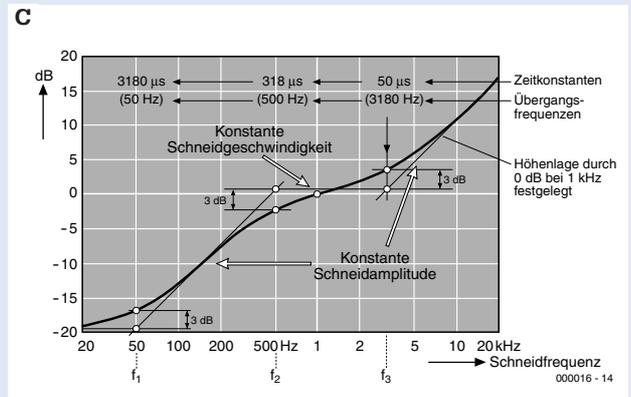
Schneiden nach RIAA

RIAA ist die Abkürzung für Record Industry Association of America. Diese Organisation hat festgelegt, wie eine Schallplatte geschnitten und wiedergegeben wird, damit weltweit auf jedem Plattenspieler jede Schallplatte abgespielt werden kann. Wozu ist diese allseits bekannte RIAA-Kurve gut?

Beim Aufzeichnen einer Schallplatte muss zunächst der Rillenabstand festgelegt werden. Je enger die Abstände sind, desto mehr Programm passt auf eine Plattenseite. Dies geht auf Kosten der Maximalaussteuerung, also der Dynamik. Bei gegebener Rillenbreite muss die Maximalaussteuerung begrenzt werden, da es sonst zu Rillenüberschneidungen kommt. Dies ist vor allem im unteren Frequenzbereich unter etwa 500 Hz der Fall, wo die größten Amplituden auftreten.



Eine Schallplatte wird nach dem elektrodynamischen Prinzip geschnitten. Der Signalstrom wird durch je eine Spule pro Kanal geschickt, die den Schneidstichel antreibt, ähnlich einem dynamischen Lautsprecher. Ein Feder-Masse-System wird mit einem Spule-Magnet-System angetrieben. Die Impedanz der Spulen ist frequenzabhängig. Beim Antrieb des Schneidstichels gibt es nur zwei Freiheitsgrade. Wird mit konstanter Amplitude angesteuert, steigt die Schneidgeschwindigkeit mit zunehmender Frequenz (Bild A). Bei Aussteuerung mit konstanter Schneidgeschwindigkeit fällt mit steigender Frequenz die Amplitude (Bild B). Da ein Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz verarbeitet werden muss, ergibt sich bei Aussteuerung mit konstanter Schneidgeschwindigkeit ein Amplitudenverhältnis von 1:1000 = 60 dB. Durch dieses extreme Dynamikverhältnis wäre bei hohen Frequenzen kein brauchbarer Signal-Rausch-Abstand mehr vorhanden. Für die optimale Ausnutzung der Schallplattenoberfläche wäre die Aufzeichnung mit konstanter Amplitude ideal, damit steigt jedoch mit zunehmender Frequenz die Schneidgeschwindigkeit. Beim Abspielen einer Schallplatte mit einem Spule-Magnet-



System steigt nach dem Induktionsgesetz die Ausgangsspannung mit zunehmender Frequenz an.

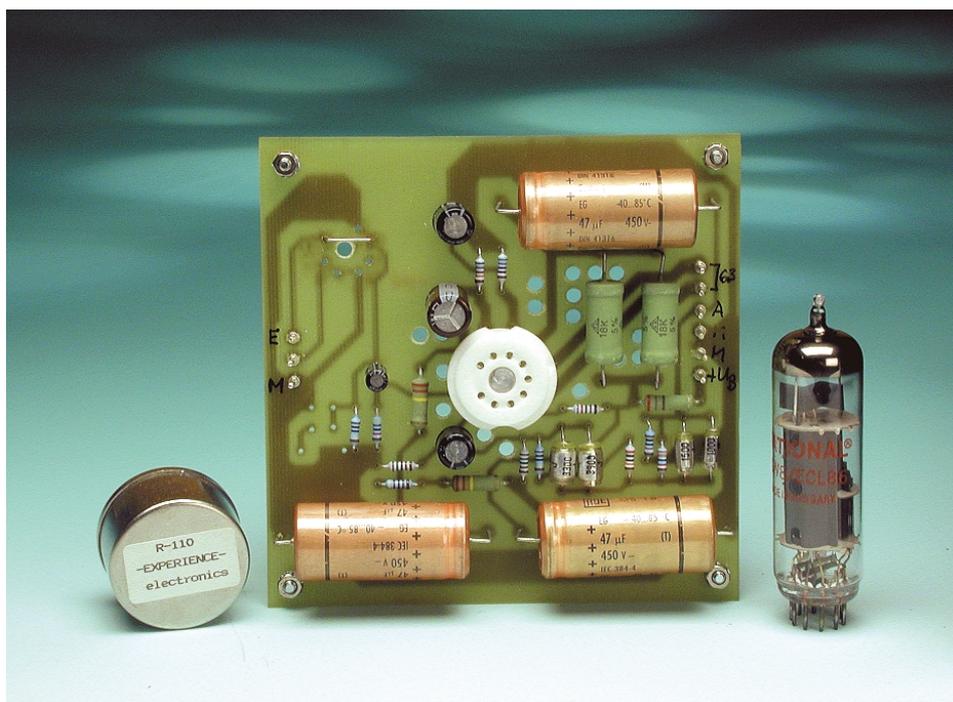
In Bild C ist die RIAA-Aufnahmekurve mit den Eckfrequenzen beziehungsweise deren dazugehörigen Zeitkonstanten dargestellt. Im Frequenzbereich f1 bis f2 wird mit konstanter Amplitude gearbeitet, was für eine Begrenzung der Maximalauslenkung und somit der Rillenüberschneidung sorgt. Dies kann auch mit einer Bassabsenkung gleichgesetzt werden. Im Bereich f2 bis f3 wird dem Verhalten der Spule-Magnet-Systeme Rechnung getragen und mit konstanter Geschwindigkeit geschnitten. Oberhalb von f3 bis zum Bereichsende wird wieder mit konstanter Amplitude gearbeitet. Damit erreicht man, dass die Bässe so weit abgesenkt werden, dass es zu keiner Rillenüberschneidung kommt und die Schallplattenoberfläche gut ausgenutzt wird. Die Mitten werden so gesehen neutral verarbeitet. Die Höhen werden angehoben, was zu einer deutlichen Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes führt. Im Frequenzbereich ab etwa f3 aufwärts hat das Ohr eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Rauschteilen. Beim Abtasten werden die Höhen also zu laut wiedergegeben und müssen abgesenkt werden. Genau durch diesen Effekt verbessert sich das Signal-Rausch-Verhältnis. Die Bässe müssen im Gegenzug angehoben werden, was zu einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Einstrahlungen durch die Netzfrequenz und deren Harmonische führt. Wenn die spiegelbildliche Wiedergabekurve durch einen Entzerrervorverstärker genauer als ±1 dB eingehalten wird, gilt er als High-End-Gerät. In der Tabelle ist die RIAA-Kurve in Zahlenwerten bezogen auf 1 kHz = 0 dB wiedergegeben, was eine gute Hilfestellung bei Messungen ist.

| Hz | dB | Hz | dB |
|-----|-------|------|-------|
| 20 | +19,3 | 800 | +0,7 |
| 30 | +18,6 | 1k | 0,0 |
| 40 | +17,8 | 1.5k | -1,4 |
| 50 | +17,0 | 2k | -2,6 |
| 60 | +16,1 | 3k | -4,8 |
| 80 | +14,5 | 4k | -6,6 |
| 100 | +13,1 | 5k | -8,2 |
| 150 | +10,3 | 6k | -9,6 |
| 200 | +8,2 | 8k | -11,9 |
| 300 | +5,5 | 10k | -13,7 |
| 400 | +3,8 | 15k | -17,2 |
| 500 | +2,6 | 20k | -19,6 |

| Ader-Normfarbe | XLR | RIAA-VV |
|----------------|-----|----------|
| Weiß | 2 | a links |
| Blau | 3 | b links |
| Schirm | 1 | m links |
| Rot | 2 | a rechts |
| Grün | 3 | b rechts |
| Schirm | 1 | m rechts |

Wenn kein Moving-Coil-Übertrager verwendet wird, sollte statt der normalen asymmetrischen eine quasymmetrische Leitungsführung über Cinch-Verbinder gewählt werden. Schirm und blaue respektive grüne Ader werden im Cinch-Stecker miteinander verbunden. So ist auch hier der Schirm signalfrei.

Die Verstärkerschaltung ist relativ einfach, hat aber sehr gute Grundeigenschaften. Um diese voll zur Geltung zu bringen, ist ein sehr guter Aufbau zwingend notwendig. Die Verstärkerschaltung ist mono aufgebaut, für jeden Kanal wird eine eigene Platine (Bild 2) verwendet. Die Platine ist nicht im Elektor-Service erhältlich, kann aber vom Autor geliefert werden. Beide Platinen werden in ein großzügig bemessenes abschirmendes Gehäuse mit räumlichen Abstand zu Störquellen eingebaut werden. Weiter Abstand oder - falls es zu eng zugeht - ein Abschirmblech zwischen den Platinen hält die Kanaltrennung hoch. Dies bringt klanglich extrem viel. Die Norm verlangt >26 dB bei 1 kHz, was im Bereich des Machbaren liegt. Das Netzteil hat nichts im Gehäuse des Verstärkers zu suchen. Nur die Verstärkerplatinen werden in das nichtmagnetische Metallgehäuse eingebaut, das Netzteil ausgelagert und mit genügend Abstand vom Entzerrer-Vorverstärker aufgestellt. Hoch- und Heizspannung werden gut gesiebt erdfrei und über getrennte Kabel zum Verstärkerteil geführt. Damit vermeidet man Überlagerungen der Ströme von Heizung und Hochspannung, was das Grundrauschen erhöhen könnte. Ein- wie Ausgangsbuchsen des Verstärkers werden erdfrei montiert. An einer einzigen Stelle im Verstärker werden die Minuspole von Hochspannung, Heizung sowie das Gehäuse mit der Signalmasse verbunden. Damit hat man eine erdfreie Stromversorgung und vermeidet Brummschleifen. Wenn im Plattenspieler Signalleitun-



gen und Chassis getrennt geführt sind, muss das Plattenspielerchassis über die dazugehörige Leitung (schwarz) mit dem Verstärkergehäuse verbunden werden. Die ECL86 hat eine Heizspannung von 6,3 V bei 0,66 A Heizstrom. Die Heizfäden müssen in Serie geschaltet werden, damit man auf die DC-Heizspannung von 12,6 V kommt. Nach sorgfältigem Aufbau steht einem ungetrübten Hörgenuss nichts mehr im Wege. Auch alte Monoplaten hören sich damit deutlich besser an, da ein Stereotonabnehmer ein wesentlich besseres Abtastverhalten aufweist als ein Monosystem. Durch einen rausch- und klirrarmen Verstärker mit vorwiegend k2-Anteil und exzellenter Kanaltrennung wird die Schallplattensammlung deutlich aufgewertet.

(000016)hg

Weitere Informationen bei:

Experience electronics
 Gerhard Haas
 Weststraße 1
 89542 Herbrechingen
 Tel.: 07325/5318
 FAX: 07324/2553
 E-Mail:
EXPERIENCE.electronics@t-online.de

Verstärkungs-berechnung

Die Verstärkung einer Triode wird durch ihre Steilheit, ihren Innenwiderstand und den verwendeten Anodenwiderstand Ra bestimmt. Die Formel dazu lautet $v = Ra \cdot S_d$, wobei Sd die dynamische Steilheit ist. Den Wert der statischen Steilheit und den Innenwiderstand entnimmt man dem Röhrendatenbuch. Die dynamische Steilheit, die letztendlich den Verstärkungsfaktor des Trioden-systems bestimmt, muss anhand

$$S_d = S \cdot \frac{R_i}{R_i + R_a}$$

mit:

- S_d Dynamische Steilheit
- S Statische Steilheit
- R_i Innenwiderstand
- R_a Anodenwiderstand

errechnet werden. Bei Pentoden gilt $v = Ra \cdot S$. Beim Anodenwiderstand gilt eine Toleranz von 5 % schon als sehr genau, da viele Parameter aktiver Bauteile in der Regel hohen Streuungen unterliegen. Wenn zum Beispiel für eine ECC83 im Datenbuch eine Steilheit von 1,6 mA/V angegeben wird, kann diese durchaus um ±30 % oder mehr schwanken. Der Innenwiderstand beträgt 62,5 kΩ. Jeder kann sich leicht ausrechnen, wie bei vorgegebenem Anodenwiderstand die tatsächliche Verstärkung schwanken kann. Die ECL86 besteht aus einer halben ECC83 und einer NF-Endpentode, die eine Steilheit von 10 mA/V hat.