

SUPRA

Rauschminimierter MM/MD-Vorverstärker

Von **Dr. Thomas Scherer** (D) und **Ton Giesberts** (Elektor-Labor)

Die klassische Rillen-Schallplatte, heute kurz „Vinyl“ genannt, hat eine ungeahnte Renaissance erlebt. Als Hauptargument gilt der unvergleichliche Sound, mit dem sich digitale Tonträger nicht messen können. Dieser Beitrag beschreibt einen extrem rauscharmen **High-end-MM/MD-Vorverstärker**, bei dem vier Opamps parallel geschaltet sind. Eine Schaltungstechnik, die Elektor schon 1982 anwandte, damals noch mit Transistoren!

2.0

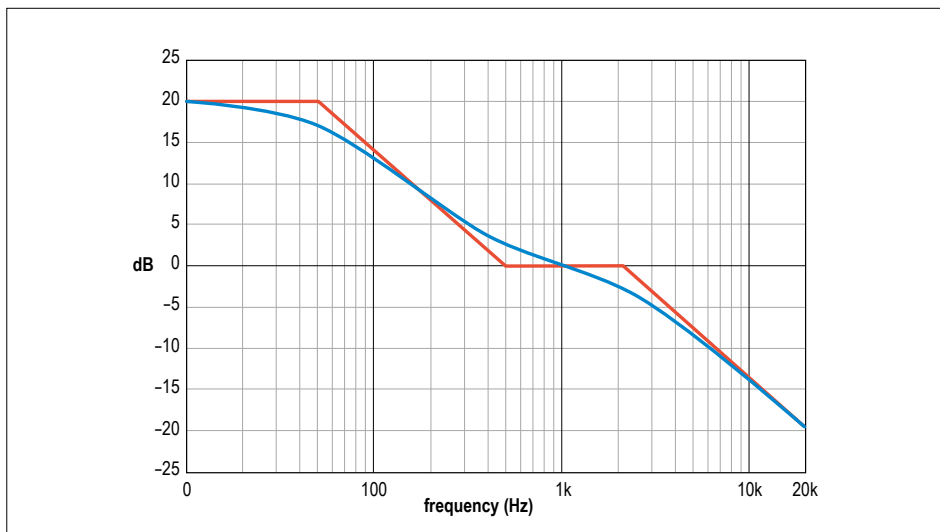


Bild 1. Theoretischer und realer Frequenzgang der Signalkorrektur nach RIAA-Standard.



Die Schallplatte: Oft tot gesagt, doch immer noch quicklebendig!

Die Audio-Technik hat in Elektor Tradition, sie war ein Schwerpunkt seit Beginn des Erscheinens. Im Lauf der Jahrzehnte wurden zahlreiche Eigenentwicklungen veröffentlicht, darunter war manches, was aus dem Rahmen fiel. Dazu zählt auch SUPRA, ein MD/MC-Vorverstärker, der im Juli/August 1982 veröffentlicht wurde. „SUPRA“ war ein Akronym, es stand für *SUPER RauschArm*. Das extrem niedrige Rauschen wurde dadurch erreicht, dass in der Eingangsstufe acht preiswerte, rauscharme Transistoren der Typen BC550 und BC560 parallel geschaltet waren. Dadurch verringerte sich das Rauschen um den Faktor $\sqrt{8} = 2,82$, ein respektable Wert, der sich insbesondere bei MC-Elementen (Moving Coil) mit ihren geringen Ausgangsspannungen bemerkbar machte. Die Platine für den SUPRA fiel damals wegen der zwanzig Transistoren pro Kanal vergleichsweise groß aus. Vinyl-Schallplatten und die dazugehörigen Abspielgeräte sind heute wieder ein aktuelles Thema. Gegenwärtig gehört auch der SUPRA von 1982 zu den Diskussionsthemen auf diversen Foren im Netz. Für uns war dies Grund genug, eine zeitgemäße Neuversion des SUPRA zu entwickeln. Die Idee war, das Grundprinzip von damals mit Opamps von heute zu realisieren.

Heute sind integrierte Schaltungen verfügbar, bei denen das Rauschen so drastisch reduziert ist, dass sie diskreten Lösungen überlegen sind. Das Rauschen eines LT1028, um ein Beispiel zu nennen, beträgt $0,9 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$. Werden vier Opamps dieses Typs parallel geschaltet, wird das Rauschen noch einmal halbiert! Damit ist ein Niveau erreicht, bei dem das Parallelschalten weiterer Opamps nicht mehr sinnvoll ist. Die Widerstände im Vorverstärker, zusammen mit dem Innenwiderstand des MC-Elements, produzieren bereits höheres Rauschen. Leider liegt der Preis eines LT1028 bei fünf bis zehn Euro, so dass auch der Vorverstärker seinen Preis hat. Wir sind jedoch davon überzeugt, dass gestandene Audio-Freaks diesen Preis für das exzellente Rauschverhalten gern zahlen.

Das Parallelschalten rauscharmer Opamps ergibt allein noch keinen brauchbaren MM/MD-Vorverstärker. Eine wichtige, ebenfalls zu realisierende Eigenschaft ist die so genannte RIAA-Korrektur, die dafür sorgt, dass niedrige Signalfrequenzen angehoben und hohe Signalfrequenzen abgeschwächt werden. Die *Recording Industry Association of America* (RIAA) hat die zugehörige Frequenzkurve bereits im Jahr 1954 definiert. Beim Schneiden von Schallplatten wird die exakte inverse

Korrektur angewendet, so dass sich beim Abspielen beide Korrekturen gegenseitig aufheben. Der Zweck dieses Verfahrens ist das Reduzieren der Rillenauslenkungen bei niedrigen Frequenzen und das Verbessern des Signal-Rausch-Verhältnisses bei hohen Frequenzen. Das Diagramm in **Bild 1** zeigt den theoretischen und den typischen realen Verlauf der RIAA-Korrekturkurve. Maßgeblich sind die drei Zeitkonstanten $3180 \mu\text{s}$, $318 \mu\text{s}$ und $75 \mu\text{s}$, was den Eckfrequenzen 50 Hz, 500 Hz und 2122 Hz entspricht.

Im Lauf der Zeit haben Schaltungsentwickler die RIAA-Korrektur in zahlreichen Varianten realisiert, von Schaltungen mit ausschließlich aktiven Bauelementen bis zum vollständig passiven Äquivalent. Es wurden unzählige Diskussionen geführt, welche Variante das Non-Plus-Ultra darstellt. Wir haben uns hier für eine Mischform entschieden, bei der aktive und passive Bauelemente in Wechselwirkung stehen, die Schaltung unseres SUPRA 2.0 macht dies schnell deutlich.

Die Schaltung

Der Umfang der Schaltung in **Bild 2** hält sich trotz vier parallel geschalteter Opamps im Rahmen. Außer den vier Eingangsverstärkern muss in jedem Kanal ein doppelter Opamp hinzugefügt werden, wir haben uns für den Typ LM833 entschieden. Die angegebene Dimensionierung ist für den Betrieb an einem MM/MD-Element mit der nominalen Ausgangsspannung 2 mV zugeschnitten. Nach Anpassen bestimmter Widerstandswerte ist auch der Anschluss von MC-Elementen möglich, die prinzipiell niedrigere Spannungen abgeben. Ein späterer Beitrag wird diese Anpassung ausführlich beschreiben.

Die Eingangsimpedanz hängt von Widerstand R_1 und den Kondensatoren C_1/C_1' ab. Bei den Bauteilebezeichnungen nennen wir nur die Komponenten eines Kanals, für den anderen Kanal gelten die Beschreibungen in identischem Sinn. Die Kondensatoren bilden zusammen mit dem Verbindungskabel die Abschlusskapazität des MM/MD-Elements. Die optimale Kapazität ist typbedingt, experimentell lässt sie sich herausfinden, indem für C_1' und C_2' versuchsweise Kondensatoren eingefügt werden. Dabei ist zu bedenken, dass die Kapazität des Verbindungskabels in der Größenordnung von $100 \dots 200 \text{ pF}$ liegt. Die vier Opamps IC1...IC4 sind nicht im wörtlichen Sinn parallel geschaltet, son-

dern mit eigenen Gegenkoppelgliedern beschaltet (R4/R5, Verstärkung 48). Ferner wird die Bandbreite durch das RC-Glied R6/C3 begrenzt. Die Bandbreite des LT1028 beträgt ohne Gegenkopplung 70 MHz, bei der Verstärkung 48 liegt sie immer noch bei fast 1,5 MHz. Da der Eingang hochempfindlich ist, muss die Bandbreite begrenzt werden, denn andernfalls können einstrahlende Rundfunksender Störungen verursachen. Kondensator C3 setzt die Bandbreite auf ungefähr 150 kHz herab. Der in Reihe geschaltete Widerstand R6 trägt zur Stabilität des Opamps bei, der Opamp ist intern für die Verstärkung 2 kompensiert. Trotz dieser Maßnahmen können die Eingangsverstärker schwingen, falls der Eingang offen ist und der Eingangskondensator fehlt. Schon aus diesem Grund muss der Eingang beim Testen der Schaltung immer mit einem Widerstand 1 k Ω oder niedriger abgeschlossen werden.

Die Ausgangssignale der vier Opamps werden über die Widerstände R16...R19 addiert. Zusammen mit C15 und C16 sind sie auch für die passive Korrektur der RIAA-Zeitkonstante 75 μ s zuständig. Gleichzeitig wird an dieser Stelle auch das Rauschen bei hohen Frequenzen gedämpft. Damit der Beitrag zum Rauschen niedrig bleibt, den diese passiven Komponenten verursachen, sind sie niederohmig dimensioniert. Der Aufwand, den die parallel geschalteten Opamps verursachen, darf durch nachfolgende Komponenten nicht ausgehebelt werden. Zu den Kondensatoren ist anzumerken, dass keramische Kondensatoren in Audio-Schaltungen die schlechteste Wahl sind. Da es hier um einen High-end-MM/MD-Vorverstärker geht, werden an allen wichtigen Schaltungspunkten Polystyrol-Kondensatoren mit der Toleranz 1 % eingesetzt. Auch wenn dieser Typ vergleichsweise teuer ist, gibt es keine wirkliche Alternative. Die Platine ist bei vielen Kondensatoren für die Montage unterschiedlicher Typen ausgelegt, so dass probeweise auch MKT- oder MKP-Kondensatoren montierbar sind.

Die nachfolgende Stufe mit IC5A verstärkt nicht nur das Signal um den Faktor 40, sondern korrigiert auch den Frequenz-

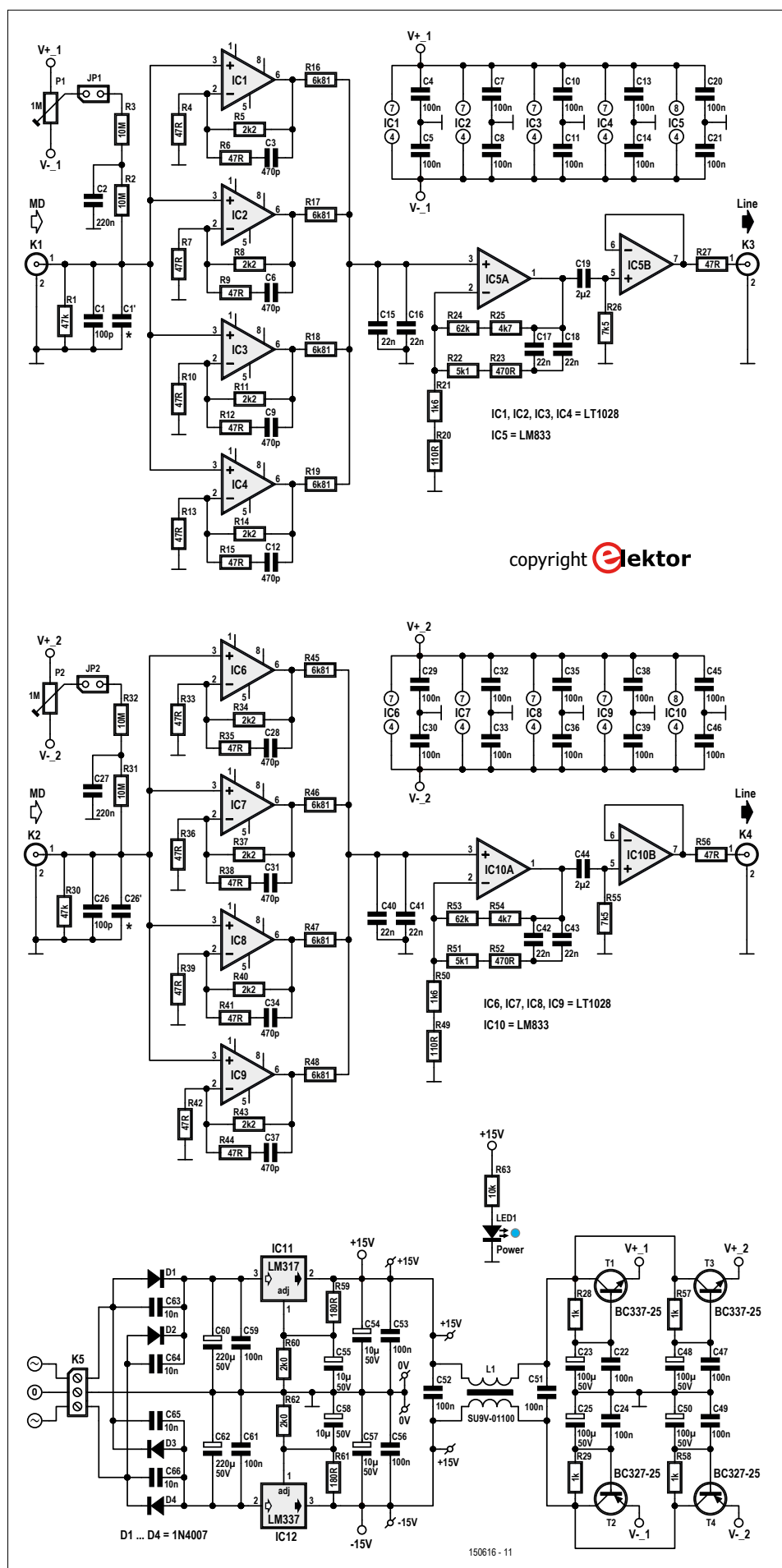


Bild 2. In beiden Kanälen des Vorverstärkers sind vier rauscharme Opamps parallel geschaltet.

gang gemäß RIAA-Kurve bei den Zeitkonstanten 3180 μ s und 318 μ s. Bewirkt wird dies durch die Gegenkopplung mit R20...R25 und C17...C18. Die Zeitkonstanten unterscheiden sich durch den Faktor 10, so dass die Verstärkung von 40 auf 4 abfällt. Das Berechnen der exakten Werte für die Korrekturglieder wird auf der Projektplattform elektormagazine.de/labs [1] erklärt.

Vor dem Ausgang liegt Puffer IC5B, ihm ist der passive Hochpass mit C19 und R26 vorgeschaltet. Die Eckfrequenz beträgt ungefähr 10 Hz, so dass eventuelles Rumpeln des Abspiellaufwerks gedämpft wird. Auf der Platine wurde für C19 reichlich Platz gelassen, damit ein Polypropylen-Kondensator montiert werden kann.

Dieser Typ ist hier besser geeignet als ein Polyester-Kondensator.

Zum Schluss der Schaltungsbeschreibung noch einmal zurück zum Eingang: Aus dem Datenblatt des LT1028 geht hervor, dass dieser Opamp mit einer internen Ruhestrom-Kompensation arbeitet. Trotzdem kann der Ruhestrom bis ± 180 nA betragen (A-Version bis ± 90 nA). Bei vier parallel geschalteten Opamps fließt folglich ein Gleichstrom bis ± 720 nA durch das angeschlossene MM/MD-Element. In der Praxis dürfte dieser Wert kaum erreicht werden, denn die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass sich die Eingangsströme teilweise gegenseitig kompensieren. Wir haben trotzdem die Schaltung mit R2/R3, C2 und P1 hinzugefügt, mit

der sich der Eingangsstrom kompensieren lässt. Die Kompensation ist mit Jumper JP1 aktivierbar. Wenn die Kompensation genutzt werden soll, muss der Jumper gesteckt sein. Anschließend wird mit einem hochohmigen Multimeter die Spannung am offenen Eingang gemessen. P1 wird so eingestellt, dass die Spannung minimal ist. Der andere Kanal mit JP2 und P2 muss der gleichen Prozedur unterzogen werden. Die Trimpotentiometer P1 und P2 haben nicht den Zweck, die Offsetspannung am Ausgang zu korrigieren!

Betriebsspannungen

Im positiven Zweig wird die Betriebsspannung ± 15 V von einem LM317 stabilisiert, im negativen Zweig übernimmt

Stückliste

Widerstände:

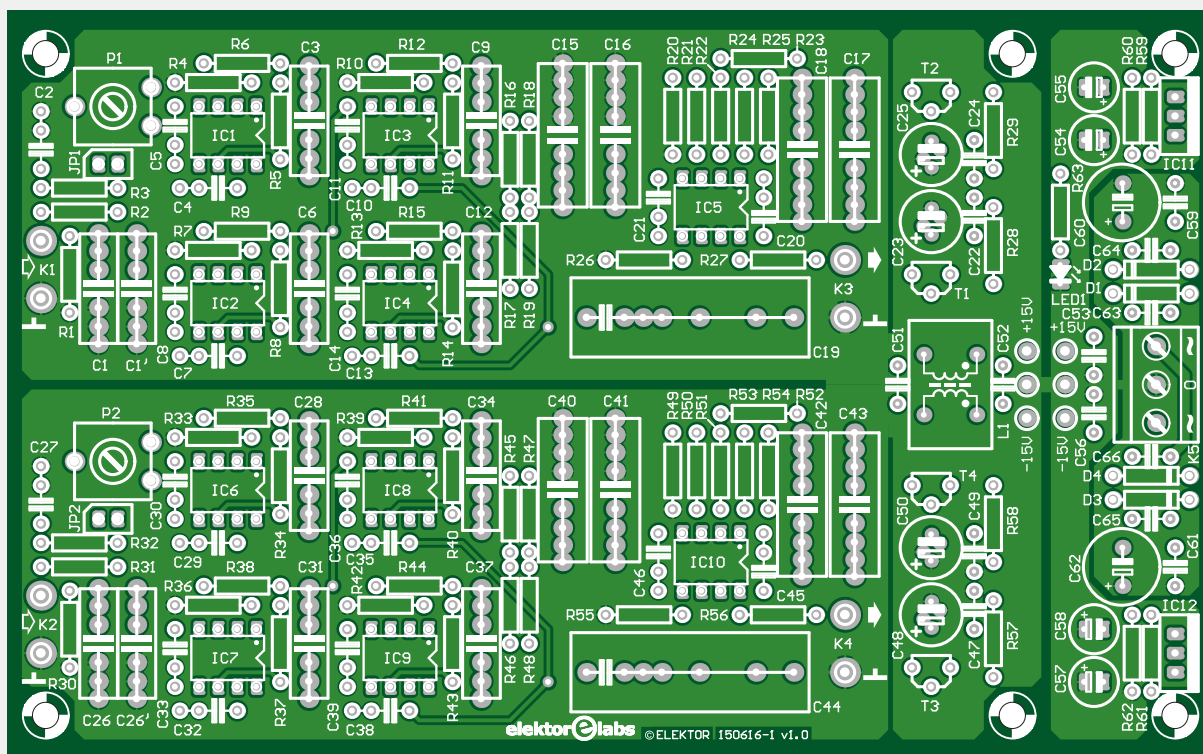
R1, R30 = 47 k, 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R2, R3, R31, R32 = 10 M, 5 %/0,25 W, Kohleschicht
 R4, R6, R7, R9, R10, R12, R13, R15, R27, R33, R35, R36, R38, R39, R41, R42, R44, R56 = 47 Ω , 1 %/0,5 W, Metallfilm
 R5, R8, R11, R14, R34, R37, R40, R43 = 2 k Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R16...R19, R45...R48 = 6 k Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R20, R49 = 110 Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R21, R50 = 1 k Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R22, R51 = 5 k Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R23, R52 = 470 Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R24, R53 = 62 k Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm

R25, R54 = 4 k Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R26, R55 = 7 k Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R28, R29, R57, R58 = 1 k Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R59, R61 = 180 Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R60, R62 = 2 k Ω , 1 %/0,6 W, Metallfilm
 R63 = 10 k Ω , 5 %/0,25 W, Kohleschicht
 P1, P2 = Trimpoti 1 M Ω , 20 %/0,15 W, stehend

Kondensatoren:

C1', C26' = nicht vorhanden, siehe Text
 C1, C26 = 100 p/160 V, 2,5 %, axial, Polystyrol, max. 12,9 $\cdot$ 5 mm
 (Werte C1 und C26 anpassen an MM-Element-Typ)
 C2, C27 = 220 n/100 V, 10 %, RM 5/7,5 mm
 C3, C6, C9, C12, C28, C31, C34, C37 =

470 p/160 V, 2,5 %, axial, Polystyrol, max. 12,9 $\cdot$ 5 mm, RM 5/7,5/10/14,6 mm
 C4, C5, C7, C8, C10, C11, C13, C14, C20, C21, C29, C30, C32, C33, C35, C36, C38, C39, C45, C46 = 100 n/50 V, 10 %, X7R, RM 5,08/7,62 mm
 C15...C18, C40...C43 = 22 n/63 V, 1 %, axial, Polystyrol, max. 17 $\cdot$ 6,5 mm, RM 5/7,5/10/14,6/19 mm
 C19, C44 = 2 μ 2/420 V, 10 %, Polypropylen, RM 5/7,5/10/15/22,5/27,5 mm
 C22, C24, C47, C49, C51, C52, C53, C56, C59, C61 = 100 n/50 V, 10 %, X7R, RM 5,08 mm
 C23, C25, C48, C50 = 100 μ /50 V, 20 %, $\varnothing$ max. 8 mm, RM 2,5/3,5 mm
 C54, C55, C57, C58 = 10 μ /50 V, 20 %, $\varnothing$ max. 6,3 mm, RM 2,54 mm



ein LM337 die gleiche Aufgabe. Mit der Entkopplung der Adjust-Spannung durch einen Elko beträgt die Unterdrückung der Welligkeit etwa 80 dB. Der Doppelweg-Gleichrichter D1...D4 am Eingang erlaubt unterschiedliche Konfigurationen der Stromversorgung. Ein Netztrafo mit nur einer Sekundärwicklung (18 V/6 VA) wird mit dem Anschluss „0“ und einem Anschluss „~“ von K5 verbunden. Die Einweg-Gleichrichtung ist jedoch wegen der hohen Welligkeit der Ausgangsspannung die schlechtere Lösung. Eine bessere Wahl ist der Einsatz eines Netztrafos mit zwei Sekundärwicklungen, zum Beispiel des Typs FL6/18 von Block. Bei diesem Trafo ist auch die Primärwicklung geteilt, so dass der Vorverstärker in Regi-

onen mit der Netzspannung 115 V sofort betriebsfähig ist. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, eine separate symmetrische Gleichspannungsquelle oder ein kleines Schaltnetzteil zu nutzen, wie es nachfolgend beschrieben wird. Die Zuleitungen werden unabhängig von der Polarität an die beiden Eingänge „~“ von K5 angeschlossen. Die Dioden sorgen für die korrekte Polung, solange der Eingang „0“ frei bleibt.

Die von den Spannungsreglern kommenden Spannungen durchlaufen Gleichtaktdrossel L1, Gleichaktstörungen werden von ihr effizient gedämpft. Danach folgen vier Tiefpässe in Gestalt von T1...T4, die Zeitkonstante beträgt ungefähr 0,1 s. Der positive und der negative Zweig beider

Verstärkerkanäle werden über diese Filter getrennt mit Betriebsspannung versorgt. Dank der genannten Maßnahmen sind die Betriebsspannungen praktisch frei von Störungen.

Wahl der Stromversorgung

Wie schon erwähnt, kann der SUPRA 2.0 wahlweise an einer analogen oder schaltenden Stromversorgung betrieben werden.

Analog

Für Leser, die einen DC/DC-Wandler nur ungern mit einem hochempfindlichen Audio-Vorverstärker kombinieren, wurde eine analoge Stromversorgung entworfen. Die Schaltung ist aus **Bild 4** ersicht-

C60, C62 = 220 μ /50 V, 20 %, $\varnothing$ max. 10 mm, RM 5,08 mm
C63...C66 = 10 n/50 V, 20 %, Y5V, RM 5,08 mm

Induktivität:

L1 = SU9V-01100 Gleichtaktdrossel, 2 $\cdot$ 10 mH/100 mA

Halbleiter:

D1, D2, D3, D4 = 1N4007, DO-41
LED1 = LED 3 mm, blau, T-1, High-intensity
T1, T3 = BC337-25, TO-92
T2, T4 = BC327-25, TO-92
IC1...IC4, IC6...IC9 = LT1028CN8, DIP-8
IC5, IC10 = LM833NG, DIP-8

IC11 = LM317, TO-220

IC12 = LM337, TO-220

Außerdem:

K1...K4 = Lötstift, $\varnothing$ 1,3 mm

K5 = Kabelschraubklemme, 3-polig, RM 5,08 mm

JP1, JP2 = Stiftleiste 2-polig, RM 2,54 mm

JP1, JP2 = Jumper für Stiftleiste

Gehäuse Hammond 1455N1602

2 $\cdot$ Neutrik NYS367-0 Cinch-Buchse für Frontplattenmontage, schwarz

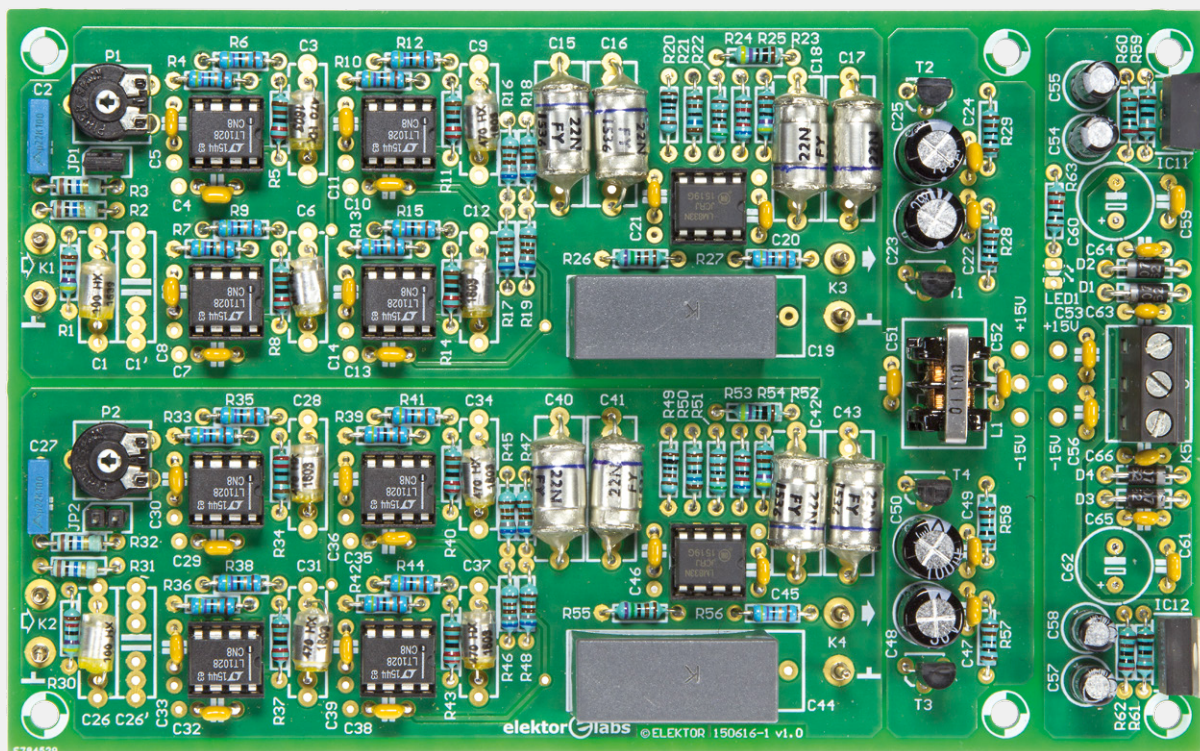
2 $\cdot$ Neutrik NYS367-2 Cinch-Buchse für Frontplattenmontage, rot

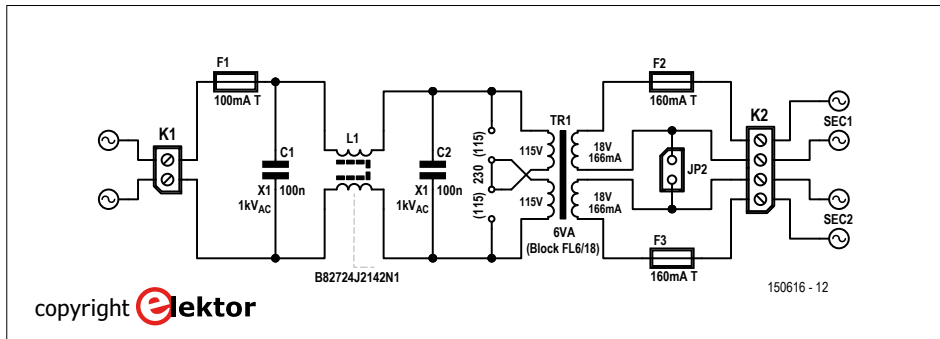
Platine 150616-1

Oder:

Bauteilsatz 150616-71 (Platine und sämtliche Bauteile, jedoch ohne Gehäuse und Cinch-Buchsen)

Bild 3. Die Platine ist übersichtlich gestaltet, sämtliche Bauelemente sind bedrahtet.





gen weiße Schreibfelder, dort können die Sicherungswerte von Hand vermerkt werden. Auf der Netzspannungsseite sorgt ein Filter für die Dämpfung von Störungen, mit denen das Stromnetz belastet sein kann. Das Filter besteht aus Gleichtakt-drossel L1 und den Kondensatoren C1 und C2 der Klasse X1. Wenn der Trafo zwei primäre und zwei sekundäre Wicklungen besitzt, muss bei der Netzspannung 230 V nur ein Jumper bei JP1 gesteckt sein, bei 115 V werden zwei Jumper benötigt. Die Sekundärwicklungen sind mit Kabelanschlussklemme K2 verbunden. Über einen Jumper auf JP2 können die Sekundärwicklungen in Reihe geschaltet werden, so dass Konfigurationen für unterschiedliche Einsatzzwecke möglich sind. Wenn die analoge Stromversorgung in einem separaten Gehäuse untergebracht wird, ist der Abstand des Trafos zum empfindlichen Vorverstärker genügend groß.

Bild 4. Für die Freunde der analogen Schaltungstechnik ist diese Stromversorgung mit konventionellem Netztrafo gedacht.

lich, die zugehörige Platine zeigt **Bild 5**. Auf der Platine haben ein Netztrafo aus der FL-Reihe von Block, die Sicherungen und die Kabel-Anschlussklemmen ihren Platz. Ferner sind wahlweise Trafos in zwei Bauformen montierbar, so dass unter-

schiedliche Leistungen installiert werden können. Für den SUPRA 2.0 reicht der in der Stückliste angegebene Typ vollkommen aus.

Wegen des universellen Entwurfs der Platine befinden sich neben den Sicherun-

Stückliste analoges Netzteil

Kondensatoren:

C1,C2 = 100 nF/1 kV, X1, Polypropylen, RM 10/12,5/15 mm

Induktivität:

L1 = B82724J2142N1 Gleichtakt-drossel, 2 · 27 mH, 1,4 A

Außerdem:

F1,F2,F3 = Sicherungshalter für Platinenmon-

tage, 20 · 5 mm, 500 V/10 A

F1,F2,F3 = Schutzkappe für Sicherungshalter, 20 · 5 mm

F1 = Sicherung 100 mA/T, 20 · 5 mm

F2,F3 = Sicherung 160 mA/T, 20 · 5 mm

K1 = Kabelschraubklemme 2-polig, RM 7,62 mm, 500 V

K2 = Kabelschraubklemme 4-polig (2 · 2), RM 5,08 mm

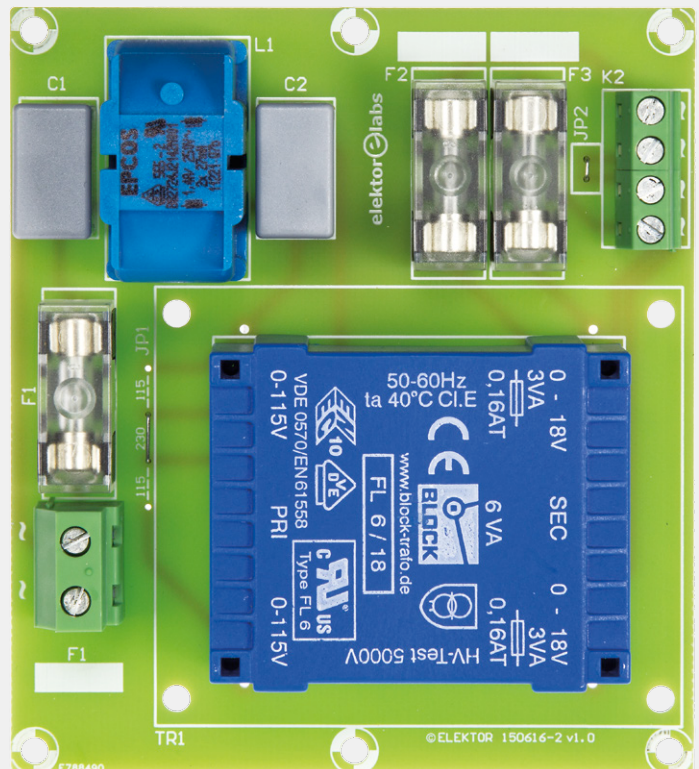
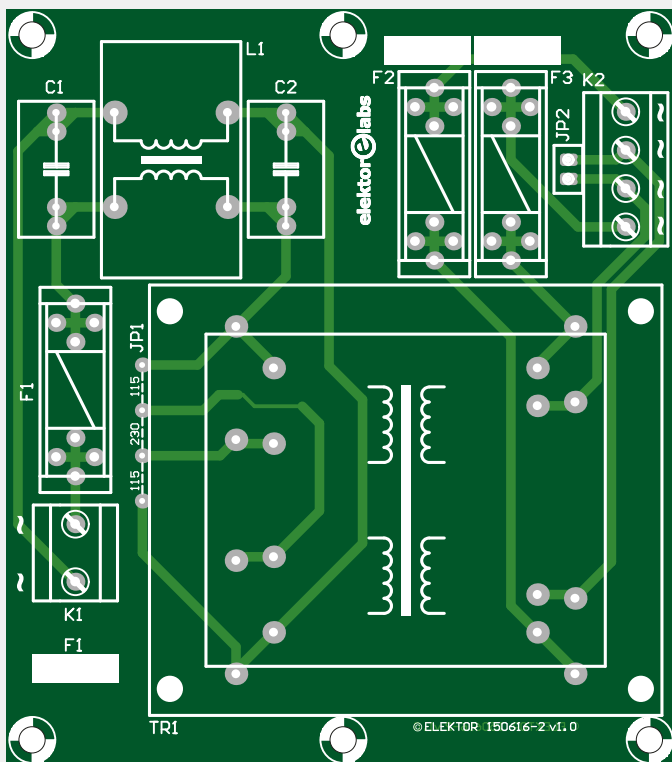
TR1 = Netztrafo 6 VA, prim. 2 · 115 V,

sek. 2 · 18 V/166 mA (z. B. Block FL6/18)

JP1,JP2 = Drahtbrücke, siehe Text

Platine 150616-2

Bild 5. Die Platine der analogen Stromversorgung ist so ausgelegt, dass sie auch für andere Zwecke genutzt werden kann.



Mit identischen Gehäusen für beide Bau-
gruppen wird auch der visuelle Eindruck
optimiert. Die Verbindung der Teilsysteme
kann über Buchsen und Stecker oder über
ein fest angeschlossenes Kabel vorge-
nommen werden.

Schaltend

Die zweite und gleichzeitig kompaktere
Lösung ist ein kleines Schaltnetzteil, das
zusammen mit dem MM/MD-Vorverstär-
ker in ein gemeinsames Gehäuse passt.
Wir haben auf das „Modulare Netzteil“ in
dieser Ausgabe zurückgegriffen (**Bild 6**),
das für unterschiedliche DC/DC-Wandler
ausgelegt ist. Für den MM/MD-Vorver-
stärker ist der Wandler-Typ CE0612D24
von XP Power eine gute Wahl, er liefert
 ± 24 V bei 6 W, die Eingangsspannung
kann 9...18 V betragen. Die Ausgangs-
spannung ist zwar höher als nötig, doch
wir haben auf dem Markt keinen besser
geeigneten Typ gefunden, der eine sym-
metrische Ausgangsspannung zwischen
 ± 15 V und ± 24 V abgibt.

Nach dem Einbau des Vorverstärkers
und der schaltenden Stromversorgung in ein
gemeinsames Gehäuse muss nur noch
eine passende Buchse auf der Gehäus-
erückseite montiert werden, so dass
ein Steckernetzteil angeschlossen wer-
den kann. Das Steckernetzteil muss 12 V
Gleichspannung liefern und mit mindes-

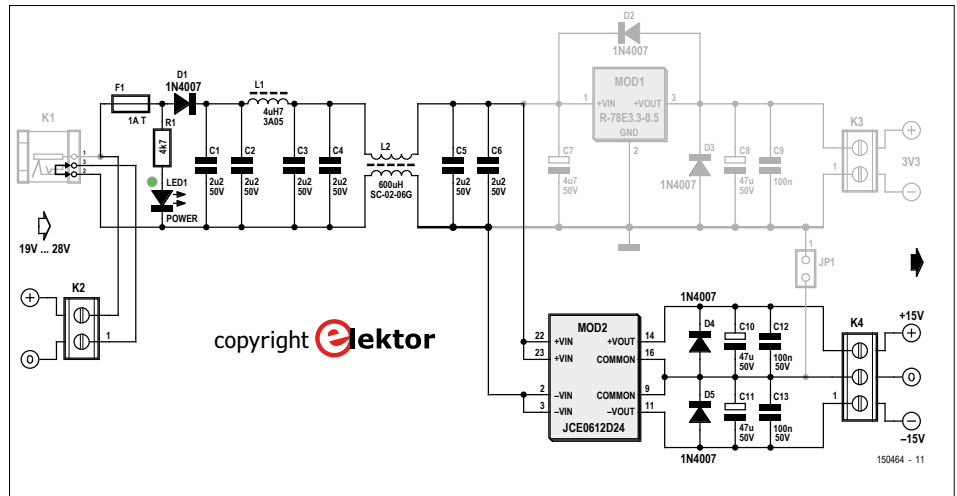


Bild 6. Die Alternative ist eine schaltende Stromversorgung, aufgebaut mit einem DC/DC-Wandler-Modul. Sie passt zusammen mit der Vorverstärkerplatine in ein gemeinsames Gehäuse.

tens 0,5 A belastbar sein.

**Beim Einsatz des „Modularen Netz-
teils“ müssen die Kondensatoren C60
und C62 der Vorverstärker-Platine
weggelassen oder entfernt werden,**
denn die kapazitiven Lasten an den Aus-
gängen des DC/DC-Wandlers dürfen 47 μ F
nicht übersteigen. Zu beachten ist auch,
dass bestimmte Komponenten der Netz-
teilplatine nicht montiert werden müssen,
da die dritte Ausgangsspannung entfällt.
Dies betrifft K1 (durch eine Drahtbrücke

ersetzen, siehe Foto in **Bild 7**) und außer-
dem C7, C8, C9, D2, D3, MOD1 und K3.

Auf- und Einbau

Bevor Sie mit dem Bau des SUPRA 2.0
beginnen, müssen Sie sich für die Gerä-
tekonfiguration entscheiden. Bei unse-
rem Prototypen haben wir die Vorver-
stärker-Platine mit dem „Modularen Netz-
teil“ kombiniert. Beide passen gemeinsam
exakt in das Gehäuse des Herstellers
Hammond, das in der Stückliste genannt

Stückliste schaltendes Netzteil

Widerstand:

R1 = 4k7, 5 %/0,25 W

Kondensatoren:

C1...C6 = 2 μ 2/50 V, 20 %, keramisch Y5V, RM 5,08 mm

C10, C11 = 47 μ /50 V, 20 %, RM 2,5 mm, □ max. 6,3 mm

C12, C13 = 100 n/50 V, 10 %, keramisch X7R, RM 5,08 mm

Induktivitäten:

L1 = 4 μ 7, 3,05 A, 80 m Ω , 10 %, radial, RM 5 mm (z. B. Epcos B82144B2472K000)

L2 = 600 μ H, 2 A, 2 $\cdot$ 50 m Ω , Gleichakt-
drossel, 17,5 $\cdot$ 14 mm (z. B. Kemet SC-02-06G)

Halbleiter:

D1, D4, D5 = 1N4007

LED1 = LED 3 mm, grün

MOD2 = JCE0612D24, DC/DC-Wandler ± 24
V/6 W (XP Power)

Außerdem:

K2 = Kabelschraubklemme 2-polig,
RM 5,08 mm

K4 = Kabelschraubklemme 3-polig,
RM 5,08 mm

F1 = Sicherungshalter für Platinenmontage,
20 $\cdot$ 5 mm, 500 V/10 A

F1 = Schutzkappe für Sicherungshalter, 20 $\cdot$
5 mm

F1 = Sicherung 1 AT, 20 x 5 mm
und 2 Drahtbrücken!

Platine 150464-1

Bild 7. Auf der Platine der schaltenden
Stromversorgung entfallen einige
Komponenten, da die dritte
Ausgangsspannung nicht benötigt wird.

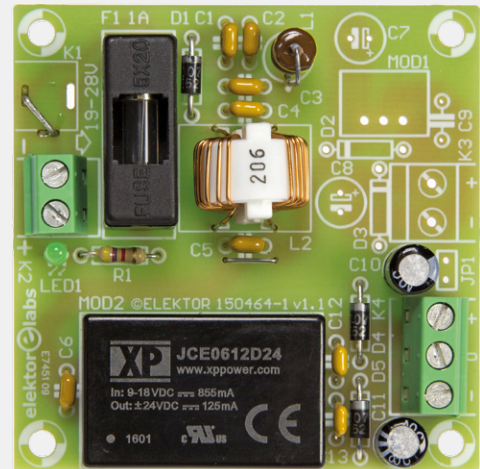
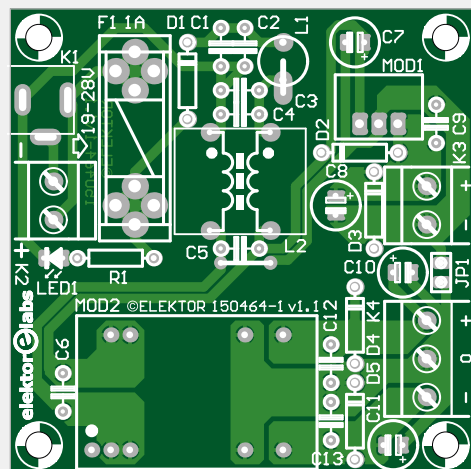




Bild 8. Das Foto zeigt die Anschlussbuchsen und den Schalter auf der Gehäuserückseite.

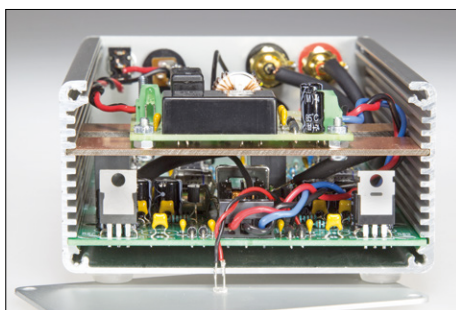


Bild 9. Die Platine der Stromversorgung und die Vorverstärkerplatine sind in das Gehäuse eingeschoben.

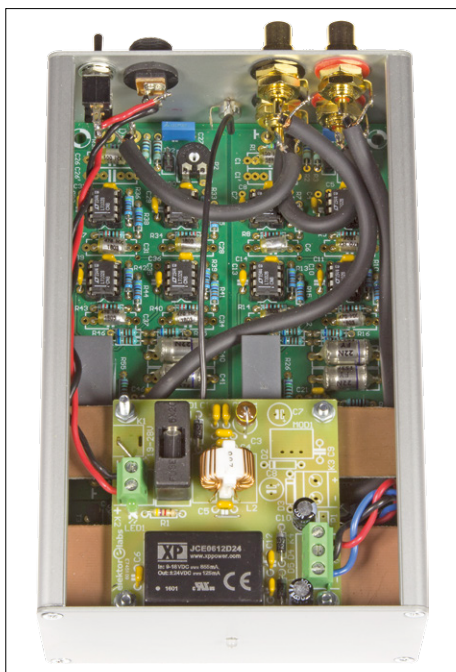


Bild 10. Die interne Verdrahtung erfordert ein wenig Geduld und Fingerfertigkeit.

ist.

Der Aufbau der Platinen dürfte auch weniger löterfahrenen Lesern keine Schwierigkeiten bereiten, doch es kann nicht schaden, vorher diesen Beitrag gründlich von Anfang an zu lesen. Die Kondensatoren an den Eingängen können an das anzuschließende MM- oder MD-Element angepasst werden, meistens gibt der Hersteller eine Empfehlung. Für die Opamps ist die Montage in Präzisionsfassungen sinnvoll, so dass die Opamps später probeweise gegen andere Typen mit identischer Anschlussbelegung getauscht werden können. Wie schon erwähnt, entfallen auf der Platine des „Modularen Netzteils“ bestimmte Komponenten. In der Stückliste sind nur die Bauelemente angegeben, die montiert werden müssen (siehe auch Foto).

Die Vorverstärker-Platine passt exakt in die unteren Nuten des Hammond-Gehäuses. Auf einer Gehäusewand werden, wie **Bild 8** zeigt, die Cinch-Buchsen und der Masse-Anschluss montiert. Wir haben die isolierten Cinch-Buchsen von Neutrik verwendet, die in der Stückliste aufgeführt sind. Montieren Sie die Cinch-Buchsen so, dass die Masseanschlüsse keinen Kontakt mit der Gehäusewand haben, dadurch werden Masseschleifen vermieden. Stellen Sie sicher, dass die Buchsen nicht die Bauelemente auf der Platine berühren, der verfügbare Raum ist eng. Den Anschluss für die Masse des Abspielgeräts haben wir mit einer 4-mm-Schraube und zugehöriger Mutter realisiert. Auf die Mutter wurde eine kurze, metallene Abstandsrolle gedreht, während der Massendraht dazwischen eingeklemmt war. Im Gehäuse wird die Masseschraube mit einer Lötfahne versehen, sie wird über ein kurzes Drahtstück mit „0“ auf der Vorverstärkerplatine verbunden. An der rechten oberen Seite der Platte ist noch Platz für die Stromversorgungsbuchse und den Betriebsschalter. Auf der Abschlussplatte der gegenüberliegenden Seite hat ausschließlich eine LED ihren Platz, sie leuchtet auf, wenn der Vorverstärker eingeschaltet ist.

Jetzt können die Eingänge und Ausgänge über hochwertige abgeschirmte Kabel mit der Platine verbunden werden. Wir empfehlen, für beide Kanäle Kabel mit übereinstimmender Länge zu verwenden.

Die Platine des „Modularen Netzteils“ haben wir auf ein Stück Platinenmaterial montiert, das die gleiche Breite wie die Vorverstärker-Platine hat, die Abmessungen betragen 100 · 62 mm. Diese Konstruktion kann über der Vorverstärker-Platine in das Gehäuse geschoben werden. Das Foto in **Bild 9** zeigt anschaulich, wie die Platinen im Gehäuse eingebaut sind. Dann müssen noch die Eingänge und Ausgänge der Stromversorgung mit dem Betriebsschalter und den Platinen verbunden werden (K2 auf der Stromversorgungsplatine und K5 auf der Vorverstärker-Platine). Bleibt noch die LED, sie wird über isolierte flexible Leitungen mit den zugehörigen Lötstellen auf der Vorverstärker-Platine verbunden. Wenn alles geschafft ist, steht dem ersten Test nichts im Weg. Schließen Sie das 12-V-Steckernetzteil an und messen Sie mit einem Multimeter die Spannungen an folgenden Punkten:

An K4 des „Modularen Netzteils“ müssen ± 24 V liegen. Leuchtet die grüne LED? Liegen ± 15 V an der Vorverstärker-Platine (neben C53/C56)?

Messen Sie die Betriebsspannungen sämtlicher Opamps, sie müssen ungefähr ± 14 V betragen.

Schließen Sie die Eingänge mit Widerständen 560 Ω ab und messen Sie die Eingangsoffsetspannungen an R1 und R30, hier müssen 0,0 mV messbar sein. Abhängig vom Ergebnis können Sie entscheiden, ob die Kompensierung mit P1 und P2 nötig ist.

Messen Sie die Ausgangsoffsetspannungen von IC1...IC4 und IC6...IC9, sie können einige 10 mV betragen.

Kontrollieren Sie die Ausgangsoffsetspannungen von IC5 und IC10, sie dürfen einige Millivolt hoch sein.

Wenn alles stimmt, schließen Sie das Gehäuse. Fügen Sie den SUPRA 2.0 zwischen Ihr Abspielgerät und Ihre Verstärkeranlage ein. Nach dem Einschalten warten Sie eine kurze Anwärmphase ab. Anschließend können Sie Ihre Lieblingsschallplatten in vollendeter Hörqualität genießen. ◀

(150616)gd

Weblink

www.elektormagazine.com/labs/supra-20-high-end-preamp-for-record-player-150616-i

Eigenschaften und Messdaten

Die Messungen wurden mit einem Eingangssignal 2,5 mV vorgenommen, die Quellimpedanz betrug 560 Ω . Die ersten beiden Werte beziehen sich auf den Betrieb mit analoger (1) und schaltender Stromversorgung (2).

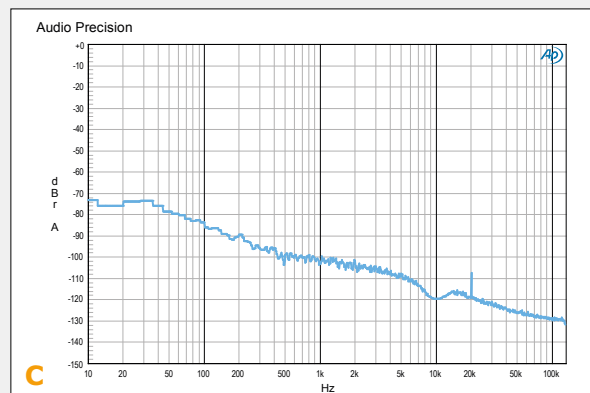
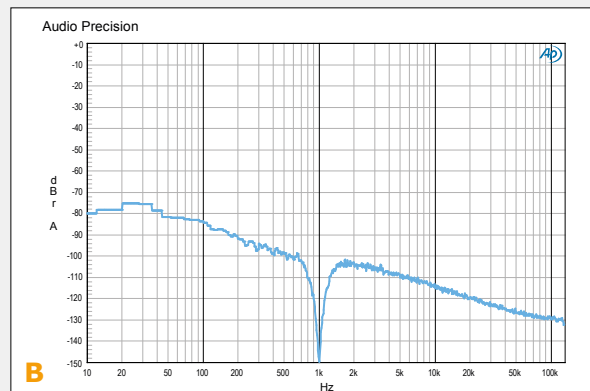
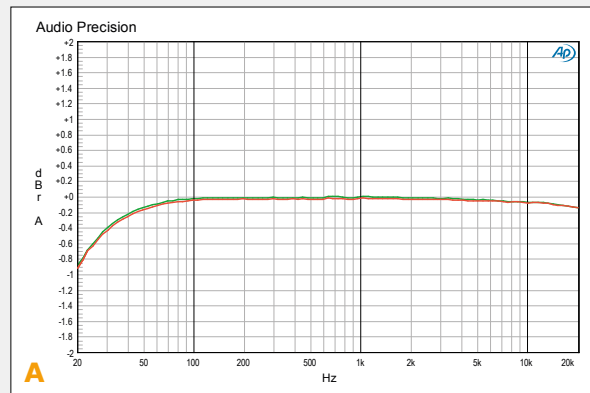
Signal-Rausch-Verhältnis

- linear:
 - > 68 dB (1)
 - > 70 dB (2)
 - Eingang kurzgeschlossen: > 88 dB
- A-bewertet:
 - > 78 dB_A
 - Eingang kurzgeschlossen: > 95 dB_A
- Ausgangsspannung bei $V_{in} = 2,5 \text{ mV}$: 468 mV
- THD-Verzerrungen: < 0,001 % (B = 20 kHz)
- Abweichung von der RIAA-Norm:
 - < 0,1 dB (100 Hz...10 kHz)
 - < 1 dB (20 Hz)
 - < 0,15 dB (20 kHz)

Aus **Messkurve A** geht hervor, wie sich die Amplitude des Ausgangssignals verhält, wenn dem Eingang ein nach RIAA-Norm korrigiertes sinusförmiges Signal zugeführt wird. Bei 20 Hz beträgt die Abweichung ungefähr $\pm 0,9 \text{ dB}$, bei 20 kHz ist sie auf $\pm 0,1 \text{ dB}$ gesunken. Um einen Eindruck von den harmonischen Verzerrungen zu erhalten, haben wir eine FFT-Analyse bei der Frequenz 1 kHz durchgeführt.

Messkurve B gibt das Spektrum zwischen 10 Hz und 130 kHz wieder, die Grundfrequenz 1 kHz ist unterdrückt. In der aus 16 Messungen gemittelten Messkurve sind keine Harmonischen sichtbar. Daraus ist zu schließen, dass die totalen harmonischen Verzerrungen unter 0,001 % liegen. Eine weitere FFT-Analyse wurde bei 10 kHz durchgeführt, um Aufschluss zu erhalten, wie sich der Verstärker bei hohen Frequenzen verhält.

In der **Messkurve C** ist nur die zweite Harmonische bei -107 dB sichtbar, was 0,00045 % entspricht.



Opamp-Alternativen

Im SUPRA 2.0 sind acht Exemplare des Opamp-Typs LT1028 verbaut, sie sind der größte Posten unter den finanziellen Aufwendungen. Wer weniger Geld investieren möchte und Abstriche bei der Qualität hinnimmt, kann alternativ auf den bewährten Typ NE5534 zurückgreifen, der nur etwa ein Zehntel kostet. Der Ruhestrom dieses Typs ist mit 800 nA wesentlich höher, er beträgt bis 1500 nA über den gesamten Temperaturbereich. Für den NE5534 müssen in der Schaltung die Werte von R2, R3 und R31, R32 auf 2,2 M Ω herabgesetzt werden. Der NE5534 ist intern für die Verstärkung 3 kompensiert, so dass die Werte von R6, R9, R12, R15, R35, R38, R41 und R44 auf 100 Ω erhöht werden müssen. Außer dem NE5534 existieren viele weitere pinkompatible Opamp-Typen, die im SUPRA 2.0 getestet werden können.

Wir hatten uns nach Alternativen für den LT1028 umgesehen, denn dieser Opamp ist schon seit langer Zeit auf dem Markt, und vermutlich sind inzwischen weiterentwickelte Typen erschienen. Ein aussichtsreicher Kandidat ist der LME49990, leider wird er nur in der Bauform SO8 angeboten. Um diesen Opamp an eine DIP-Fassung anzupassen, haben wir eine 10 · 10 mm große Adapterplatine entworfen, sie ist für Single- und Dual-Opamps geeignet. Auf der Platine ist noch für einen Kondensator Platz, der die Betriebsspannung entkoppelt. Der Adapter wird Gegenstand eines Beitrags sein, der demnächst in Elektor erscheint.

