



High-End-HiFi-Stereo- Röhrenverstärker ELV-RV 100

Technischer Kundendienst

Für Fragen und Auskünfte stehen Ihnen unsere qualifizierten technischen Mitarbeiter gerne zur Verfügung. Wir bitten Sie um Verständnis, dass wir technische Auskünfte nicht telefonisch, sondern schriftlich erteilen. Bitte richten Sie Ihr Schreiben an:

ELV • Herr Overlander • Postfach 1000 • D - 26787 Leer

Reparaturservice

Für Geräte, die aus ELV-Bausätzen hergestellt wurden, bieten wir unseren Kunden einen Reparaturservice an. Selbstverständlich wird Ihr Gerät so kostengünstig wie möglich instand gesetzt. Im Sinne einer schnellen Abwicklung führen wir die Reparatur sofort durch, wenn die Reparaturkosten den halben Komplettbausatzpreis nicht überschreiten. Sollte der Defekt größer sein, erhalten Sie zunächst einen unverbindlichen Kostenvoranschlag. Bitte senden Sie Ihr Gerät an:

ELV • Reparaturservice • Postfach 1000 • D - 26787 Leer



High-End-HiFi-Stereo-Röhrenverstärker ELV-RV-100

Auf die kurze Einführung in die prinzipielle Schaltungstechnik von Röhrenendstufen folgt die konkrete Schaltungsbeschreibung zum High-End-HiFi-Stereo-Röhrenverstärker ELV-RV-100. Nach der anschließenden detaillierten Beschreibung des Nachbaus schließen dann die Inbetriebnahme und die Vorstellung der technischen Daten den Artikel ab.

Die Röhrenendstufe - A, AB, B oder D?

Bei der Konzeption einer NF-Endstufe sind zahlreiche Fragen zu beantworten, um die günstigste Variante für den vorgesehenen Einsatzfall zu finden:

Triode oder Pentode, Eintakt- oder Gegentaktschaltung, welche Lautsprecher sollen betrieben werden (wodurch die erforderliche Ausgangsleistung entscheidend mitbestimmt wird), wie hoch sind die Anforderungen an die verwendeten Bauteile wie Röhren, Kondensatoren und Übertrager zu schrauben, um einen guten Kompromiss zwischen Preis und erreichbaren Parametern zu schließen, und, und, und...

Wir wollen kurz die angesprochenen Probleme anhand der praktischen Anforderungen diskutieren, ohne dabei nochmals allzusehr die Mathematik und die Theorie zu bemühen.

Betrachten wir zunächst die Grundschtaltung für den Eintakt- und Gegentaktbetrieb von Endstufen. Beide Varianten sind in Abbildung 1 dargestellt.

Bei der Eintaktschaltung liegt der Arbeitspunkt im geraden Teil der I_a - U_g -Kennlinie und ist so eingestellt, dass er unterhalb der Verlustleistungshyperbel liegt. Die Aussteuerung erfolgt symmetrisch um die-

sen Punkt mit der positiven und negativen Halbwelle der Steuerspannung. Diese Betriebsart heißt „A-Betrieb“ und ist für Audioanwendungen der einzig sinnvolle (bei der Eintaktschaltung).

Bei der Gegentaktschaltung übernimmt jede Röhre eine Halbwelle bei der Aussteuerung. Aus diesem Grunde kann man den Arbeitspunkt aus dem „A-Betrieb“ in

Tabelle 1: Schaltungsvarianten der EL 34 in Audioendstufen (nach Unterlagen von Siemens)

	Triode		Pentode		
	Eintakt A	Gegentakt AB	Eintakt A	Gegentakt AB	Gegentakt B
U_a (V)	375	400	265	375	800
I_a (mA)	70	2x65	100	2x75	2x25
U_{g1} (V)	-27	-23,4	-13,5	-22	-39
R_a, R_{aa} (k Ω)	3	5	2	3,4	11
U_{g1-} (V)	18,9	22	8,7	21	23,4
K (%)	8	3	10	5	5
P_a - (W)	6	16,5	11	35	100

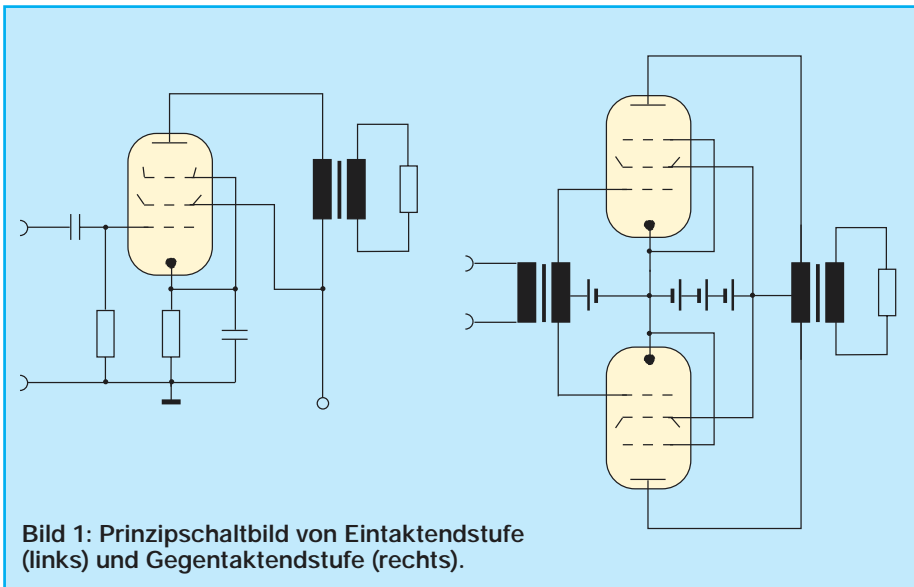


Bild 1: Prinzipschaltbild von Eintaktendstufe (links) und Gegentaktendstufe (rechts).

den sogenannten AB-, B- oder D-Betrieb verlagern, d. h., die Gleichspannung U_{g1} soweit vergrößern, dass der Arbeitspunkt aus dem geraden Teil der I_a - U_{g1} -Kennlinie zu immer kleineren I_a -Werten hinwandert. Die entnehmbare Ausgangsleistung wächst dabei an. Je weiter man sich jedoch mit dem Arbeitspunkt zu kleineren I_a -Werten hinbewegt, desto größer werden auch die Verzerrungen, da die resultierende Kennlinie immer weiter von einer Geraden abweicht.

Somit hat man bei der Gegentaktendstufe einen recht großen Spielraum hinsichtlich der Abwägung zwischen entnehmbarer Ausgangsleistung und zulässigem Klirrfaktor.

Für hohe Anforderungen an die Übertragungsgüte wird man mindestens den AB-Betrieb wählen, bei gewissem Verzicht auf Ausgangsleistung sogar den A-Betrieb vorziehen.

Die Tabelle 1 zeigt die mit der EL 34 in verschiedenen Schaltungen erzielbare Ausgangsleistung. Man erkennt, dass die kleinste Ausgangsleistung mit der Trioden-

schaltung im Eintakt-A-Betrieb und die größte mit Pentodenschaltung im Gegentakt-B-Betrieb erreicht wird. Die Werte der Tabelle sind nicht auf den gleichen Klirrfaktor bezogen, zeigen aber deutlich die Tendenz, außerdem sind bei diesen Werten keine klirrfaktorreduzierenden Maßnahmen wie Gegenkopplungen usw. berücksichtigt.

Wir erinnern uns an die typischen, sehr unterschiedlichen Kennlinienverläufe von Trioden und Pentoden („ELVjournal“ 2/97, S. 24). Daraus resultiert, dass diese Röhrentypen beim Einsatz im Leistungsverstärker auch hinsichtlich Klangeigenschaften und Klirrfaktor sehr unterschiedliches Verhalten zeigen.

Die Abbildungen 2 und 3 dokumentieren das typische Verhalten von Trioden und Pentoden in Leistungsverstärkern.

Die Triode (Abbildung 2) erzeugt nur geradzahlige Harmonische K 2, K 4 usw., die den Gesamtklirrfaktor ergeben. Er nimmt mit wachsendem Außenwiderstand ebenso ab wie die erzielbare Ausgangslei-

stung. Der optimale Außenwiderstand R_a' wird so gewählt, dass ein Kompromiss aus beiden Größen erreicht wird. Er liegt etwa bei $R_a' \approx 3R_i$.

Bei Gegentaktbetrieb zeigt sich, dass sich wegen der auftretenden Phasenlage die geradzahligen Harmonischen zum großen Teil auslöschen, sodass insgesamt ein geringerer Klirrfaktor erreicht wird.

Wegen des geringen Innenwiderstands der Trioden werden die Wirkungen der komplexen Last (Lautsprecher mit Ausgangsübertrager) gut bedämpft.

Anders verhält sich dagegen die Pentode (Abbildung 3). Es ist ein deutliches Minimum des Gesamtklirrfaktors bei einem bestimmten Außenwiderstand R_a erkennbar. Dies resultiert aus einem Minimum der Harmonischen K 2. Daneben tritt jedoch mit wachsendem R_a steigend die Harmonische K3 auf.

Diese Harmonische ist für den charakteristischen, etwas unangenehm wirkenden Pentodenklang verantwortlich. Da sich bei der Gegentaktsschaltung im Gegensatz zur (ohnehin geringen K2-Harmonischen) die Harmonische K3 nicht auslöscht, sondern addiert, wird der „Pentodeneffekt“ sogar noch etwas verstärkt. Durch den sehr großen Innenwiderstand der Pentode wird die Bedämpfung der komplexen Last geringer als bei Trioden.

Der Wert für R_a' beträgt größenordnungsmäßig

$$R_a' = \frac{U_a}{I_a}$$

Also muss die Triode her...oder?...

Leider ist es doch nicht so einfach, denn es gibt noch mehr zu bedenken, wenn wir Tabelle 1 näher betrachten.

Wir wissen, dass durch das Schirmgitter der Pentode die Wirkung der Anode auf die

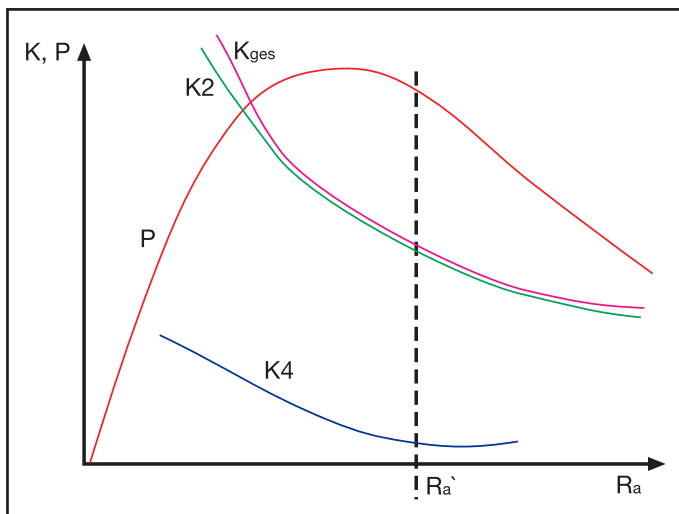


Bild 2: Typischer Verlauf von Klirrfaktor K und Ausgangsleistung P einer Triodenendstufe als Funktion vom Außenwiderstand R_a .

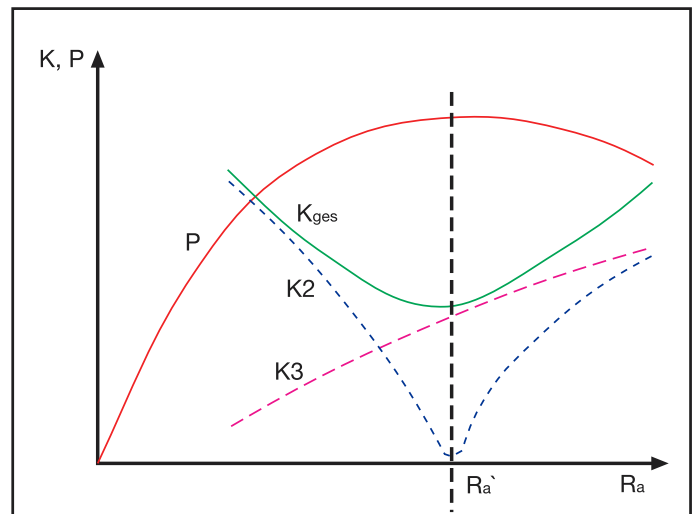


Bild 3: Typischer Verlauf von Klirrfaktor K und Ausgangsleistung P einer Pentodenendstufe als Funktion des Außenwiderstandes R_a .

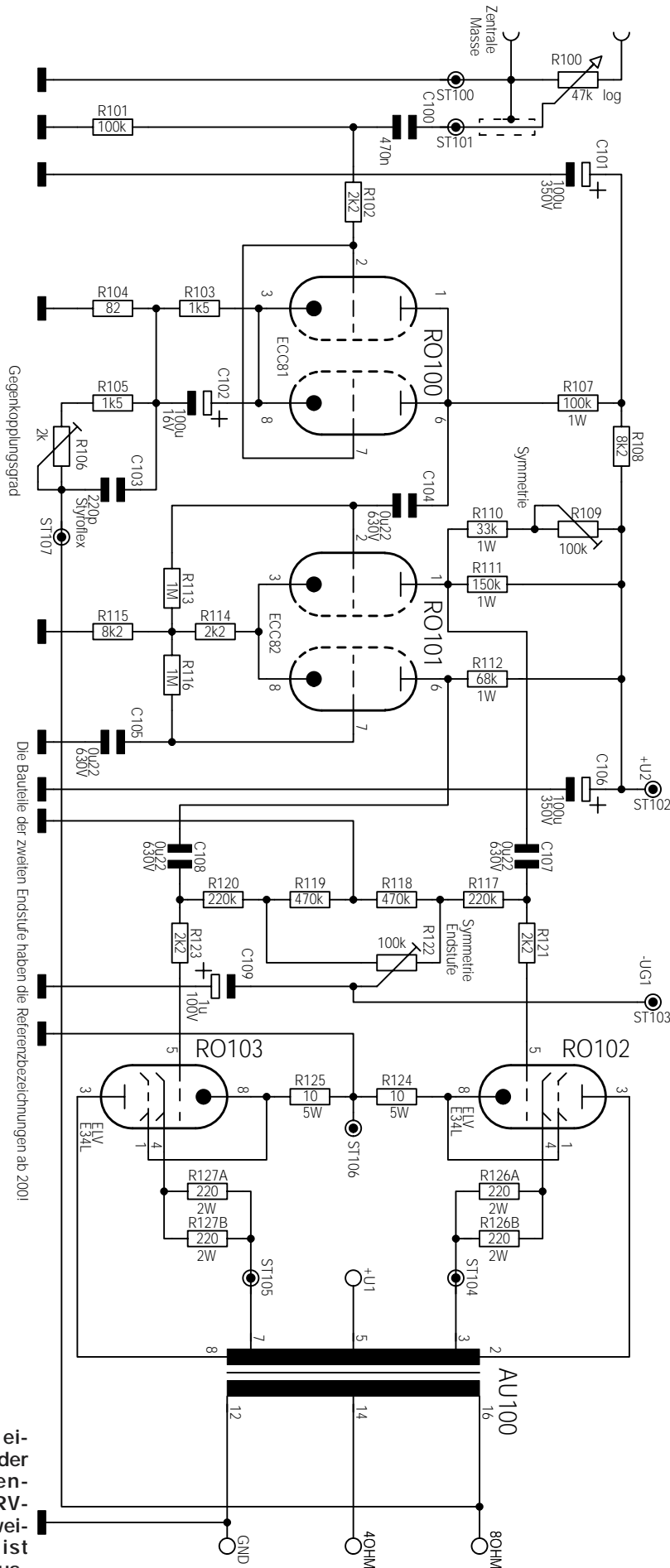


Bild 4:
Schaltbild eines Kanals der ELV-Röhrendstufe RV-100. Der zweite Kanal ist identisch ausgeführt.

Steuerspannung (G 1) stark vermindert wird. Das heißt, wir brauchen bei der Pentode eine wesentlich geringere Ansteuerungsspannung. Das spart Vorstufen bzw. diese lassen sich für eine geringere Aussteuerung auslegen.

Weiterhin ist der Wirkungsgrad von Pentoden wesentlich besser. Für eine gleich große Wechselspannungs-Ausgangsleistung ist die aufzubringende Gleichstromruheleistung einer Pentodenstufe wesentlich geringer als bei der entsprechenden Triodenstufe.

Was ist nun zu tun?

Wir denken nochmals zurück: Verbindet man G 2 der Pentode mit der Anode, so entsteht eine Triode. Legt man nun das G 2 einer Pentodenendstufe an eine Anzapfung der Primärwicklung des Ausgangstrafos, erhält man eine Arbeitsweise, die in allen bisher diskutierten Punkten einen Kompromiss darstellt. Sie verbindet teilweise die jeweils günstigen Eigenschaften von Trioden- und Pentodenstufen.

Diese Schaltung bezeichnet man als Ultralinear-schaltung. Sie wurde viele Jahre in hochwertigen Audioanlagen eingesetzt und stellt für viele Anwendungsfälle trotz des Kompromisses ein Optimum dar.

Die reine Triodenendstufe im A-Betrieb bleibt sicher Liebhabern vorbehalten, da wegen des schlechten Wirkungsgrades aufwendige Leistungsnetzteile, eine hohe Ansteuerspannung und der Einsatz sehr teurer, spezieller Trioden erforderlich sind. Oder aber es sind bei Beschränkung auf kleine Ausgangsleistungen (<20 W) spezielle Lautsprechersysteme mit hohem Wirkungsgrad Bedingung.

Damit entscheiden wir uns für die Ausführung unserer Endstufe als Gegentakt-Ultralinear-schaltung und wollen uns nun einem wichtigen Punkt widmen: Der Auswahl geeigneter Bauteile.

Wer die nachfolgend beschriebene Schaltung nachbauen möchte, muss unbedingt Wert auf die Auswahl geeigneter Bauteile legen, um zum einen sowohl die Sicherheitsvorschriften beim Umgang mit den auftretenden lebensgefährlichen Spannungen einhalten zu können als auch zum anderen die angestrebten Daten der Endstufe zu erreichen. Dass nur Pro s Aufbau und Inbetriebnahme durchführen dürfen, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind, versteht sich bei einem derart anspruchsvollen Projekt von selbst und sei nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

Aufgrund der Komplexität und der zahlreichen Besonderheiten des ELV-RV-100 wollen wir nachfolgend noch einige grundsätzliche Hinweise für den Selbstbauer geben, die insbesondere auch in bezug auf die Qualität der verwendeten Komponenten in den ELV-Bausätzen und Fertig-

geräten selbstverständlich berücksichtigt sind.

Herzstück Ausgangsübertrager

Der Ausgangsübertrager hat den Lastwiderstand (den komplexen Widerstand der Lautsprecherkombination) verzerrungsfrei in den optimalen Außenwiderstand der Endstufe zu transformieren, und zwar über einen weiten Frequenzbereich von mindestens 20 Hz bis 20 kHz in einem Leistungsbereich bis mindestens 50 W (auf den ELV-RV-100 bezogen).

Diesen Anforderungen kann man nur mit hohem Aufwand nachkommen. Sowohl die Materialien (insbesondere das verwendete Eisen) als auch die Ausführung (verschachtelte Wicklungen und die Wickeltechnik) sowie die Fertigungstechnik selbst müssen neben der Berechnung der Daten sorgfältig aufeinander abgestimmt sein. Berechnet man einen Ausgangsübertrager nach den in der Literatur in unterschiedlichen Varianten angegebenen Methoden und lässt in einer Trafowickelerei danach den Ausgangsrafo wickeln, wird man vom Ergebnis fast immer enttäuscht, wenn nicht gar niedergeschmettert sein.

Darum sollte man am Ausgangsübertrager nicht sparen, sondern ein Fabrikat einer renommierten Firma verwenden. Diese Firmen haben ihre High-End-Produkte in jahrelanger Arbeit optimiert und garantieren damit Freude an den Messwerten und vor allem Hörgenuss.

Welche Röhren?

Bei der Röhrenauswahl braucht in der vorgestellten Schaltungsvariante kein „Kult“ betrieben zu werden, jedoch sollte man ausschließlich auf Markenfabrikate zurückgreifen und mindestens für die Endstufen die Röhren paarweise ausmessen. Das heißt in der Praxis: Röhren mit möglichst gleichem Anodenstrom bei gleicher U_{g1} -Spannung im Arbeitspunkt auswählen. Aus Teil 2 unserer Serie („ELVjournal“ 2/97) wissen wir ja, wie man Röhrenkennlinien aufnimmt, und die Praktiker unter Ihnen haben vielleicht das damals verwendete Equipment noch in Reichweite gelassen.

Röhren mit unstabilem Systemaufbau oder Röhren mit Neigung zu verstärktem G_1 -Strom sind grundsätzlich nicht zu verwenden.

Kondensatoren

Auch wenn absolute Hörspezialisten aus dem Klang eines Röhrenverstärkers auf den Typ der eingesetzten Kondensatoren schließen können, werden wir in unserer Schaltung zwar gute Kondensatoren, aber keine (superteuren) Exoten einsetzen. Die

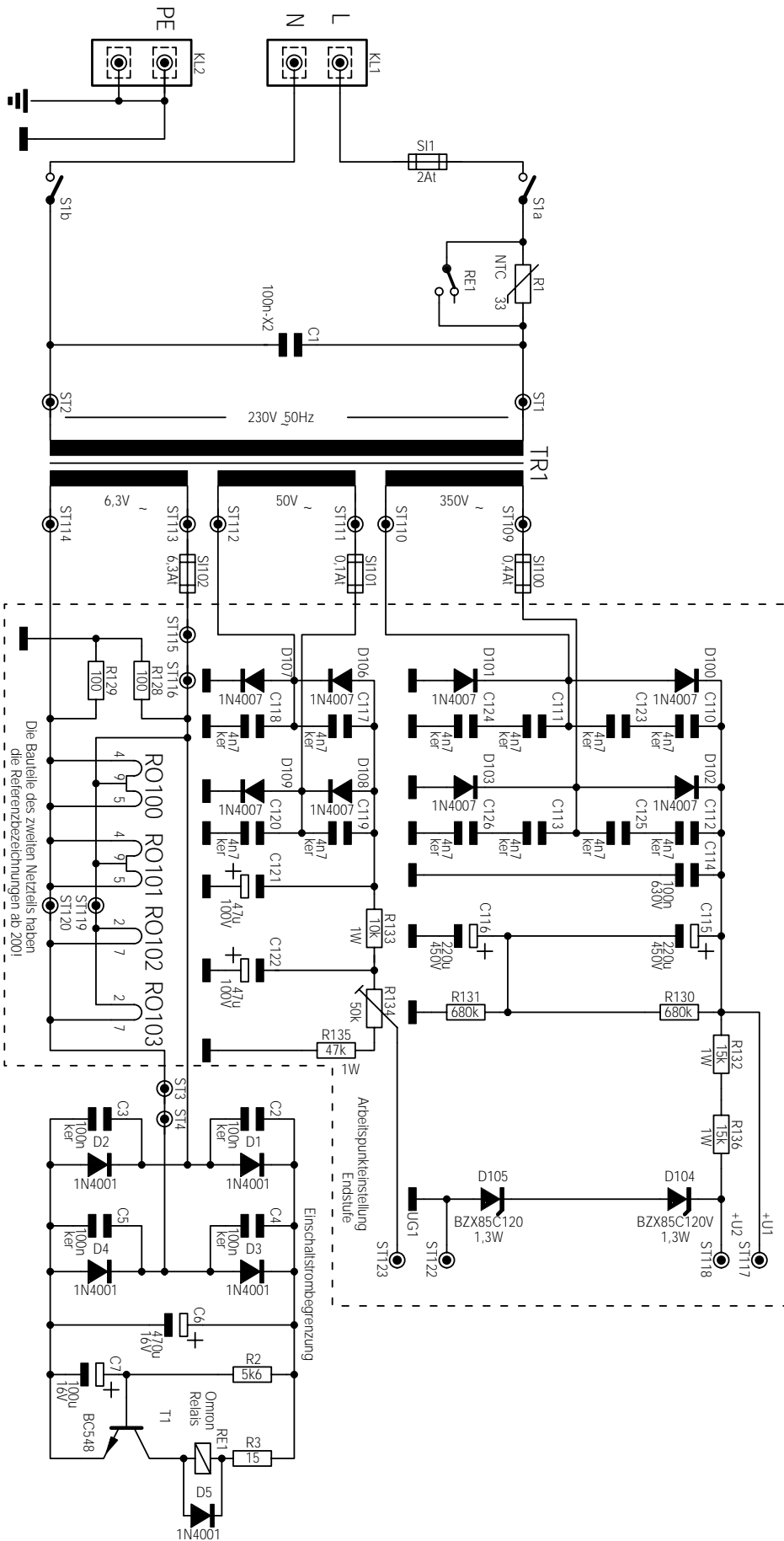


Bild 5: Schaltbild des Netzteils für einen Kanal der RV-100.

Koppelkondensatoren sollten verlust- und induktionsarm sein und eine hohe Isolationsfestigkeit aufweisen. MKT- und MKD-Kondensatoren erfüllen diese Aufgabe. Für die Elektrolytkondensatoren sollte man sogenannte Audio-Typen einsetzen, die geeignet sind, die Tonfrequenz-Ströme zu verarbeiten.

Die ELV-Röhrenendstufe

Wie bereits gesagt, haben wir uns für eine Gegentaktdstufe in Ultralinear-schaltung entschieden, deren Schaltung in Abbildung 4 zu sehen ist.

Die Schirmgitter der Endpentoden des Typs EL 34 liegen an einer Anzapfung des Ausgangsübertragers AU 100. Zur Arbeitspunkteinstellung der Endröhren dient eine im Netzteil erzeugte, mit R 134 einstellbare negative Gleichspannung. Es werden Ruhestrome von ca. 60 mA empfohlen, je nachdem, ob man persönlich mehr in Richtung AB- oder A-Betrieb tendiert. In jedem Falle gewährleistet der höhere Ruhestromwert einen geringeren Klirrfaktor.

Indem man die Katodenspannungen an R 124 und R 125 mittels R 122 auf gleiche Werte gegen Masse (ohne Aussteuerung) einstellt, wird die Symmetrie der Endröhren hergestellt.

Die gegenphasige Ansteuerung der Endröhren erfolgt durch die Röhre RÖ 101 (ECC 82). Das Gitter des Systems II liegt über C 105 wechselstrommäßig auf Masse, sodass die Steuerung dieses Systems über den gemeinsamen Katodenwiderstand R 114/115 beider Systeme erfolgt.

Die Gittervorspannung zur Arbeitspunkteinstellung der Stufe wird als Spannungsabfall über R114 gewonnen. Mit R 109 wird die Stufe auf Symmetrie abgeglichen. Es lässt sich dabei ein eindeutiges Klirrfaktorminimum erreichen.

Als Vorstufe dient RÖ 100, eine ECC 81, deren Systeme parallel geschaltet sind. Die Gittervorspannung wird als Spannungsabfall über dem Katodenwiderstand R 103/ R 104 gewonnen.

Vom Ausgangsübertrager erfolgt eine Gegenkopplung über R 105. Der Gegenkopplungsgrad wird mit R 106 eingestellt, womit auch der Feinabgleich der Empfindlichkeit beider Kanäle vorgenommen werden kann, sodass für beide Kanäle bei exakt 0 dB Eingangsspannung Vollaussteuerung erreicht wird.

Das Potentiometer R 100 dient als Pegelanpassregler an verschiedene Quellen (z. B. Vorverstärker).

Auf eine Klangbeeinflussung wurde be-

wusst verzichtet, die Schaltung gewährleistet so einen absolut „geraden“ Frequenzgang von weniger als 20 Hz bis über 20 kHz bei voller Sinusausgangsdauerleistung von 50 W je Kanal.

Das Netzteil

Die Schaltung des Netzteils ist in Abbildung 5 dargestellt. Es ist mit einem beträchtlichen Aufwand realisiert, um den Anforderungen zu genügen, die die hochwertige Endstufe an ihre Stromversorgung stellt. Allerdings, dies mögen Puristen verzeihen, wurde auf Gleichrichtung mittels Röhrendioden und stabilisierte Gleichstromheizung verzichtet, da diese Faktoren in Endstufen nicht so entscheidend sind wie z. B. in Röhrenvorverstärkern und Phono-Entzerrerverstärkern.

Für jeden Endstufenkanal ist konsequenterweise ein separates Netzteil vorgesehen, um die hohe Kanaltrennung von mehr

Hervorragende Kanaltrennung durch getrennten Endstufen- und Netzteilbau für beide Endstufen des HiFi-Stereo-Röhrenverstärkers ELV-RV-100.

als 100 dB zu erreichen. Lediglich der Netztransformator, bei dem es sich um einen besonders „steifen“ Ringkerntransformator handelt, ist zur Versorgung beider Endstufen ausgelegt.

Dieser Ringkerntransformator liefert alle benötigten Wechselspannungen: Die Heizspannung (6,3 V), die Spannung zur Gittervorspannungserzeugung (50 V) sowie die Spannung zur Erzeugung der Anodenspannung (350 V).

Die Gleichrichtung erfolgt in Brückenschaltung mit Si-Gleichrichterdioden.

Zwei in Reihe geschaltete Elkos von je 220 µF/450 V sorgen für die Siebung der Anodenspannung. Die Reihenschaltung von zwei Elkos ist notwendig, da bis zur Erreichung der Betriebstemperatur der Endröhren Gleichspannungen über 500 V am Siebelko auftreten können. Die Spannungsverteilung über den Elkos wird durch R 130 und R 131 ausgeglichen.

Die Anodenspannung der Phasenumkehrstufe und der Vorstufe wird durch zwei Z-Dioden auf 260 V stabilisiert.

Die Gittervorspannung für die Endröhren gewinnt man ebenfalls durch Brückengleichrichtung (D 106 bis D109). Die Rohspannung wird durch C 121/C 122 sowie R 133 sauber geglättet und steht einstellbar an R 134 zur Verfügung.

Die Heizung aller Röhren je Kanal erfolgt parallel. Dabei ist die Heizspannung, wie in der Röhrentechnik üblich, über R 128/R 129 symmetriert.

Aus der Heizspannung wird über einen Brückengleichrichter (D 1 bis D 4) und den Elko C 6 eine Hilfsspannung gewonnen, die mit zeitlicher Verzögerung, hervorgerufen durch die RC-Kombination R 2/C 7, über T 1 ein Leistungsrelais schaltet. Der Arbeitskontakt dieses Relais schließt nach Ablauf der erwähnten Zeitverzögerung einen mit der Primärwicklung des Netzrafos in Reihe liegenden Heißeiter kurz.

Diese Schaltungsmaßnahme begrenzt den hohen Einschaltstromstoß, der durch die Verwendung eines Ringkernnetztrafos und wegen des sehr geringen Widerstands der Heizfäden im Einschaltmoment auftritt. So ist ein röhrenschonender Softstart möglich.

Diese Einschaltverzögerung ist nur einmal vorhanden und wirkt gleichzeitig auf beide Netzteile.

Demgegenüber sind die Netzteile, wie bereits erwähnt, zur Erzielung einer optimalen Kanaltrennung für jede Endstufe getrennt, wenn auch auf einer gemeinsamen Platine, aufgebaut.

Völlig getrennt sind aus gleichem Grunde auch die Endstufen für je-

den Kanal ausgeführt.

Soweit die Schaltungsbeschreibung der ELV-Röhrenendstufe RV 100. Im folgenden werden wir uns dem Aufbau der Endstufe widmen.

Nachbau-Allgemeines

Ein vom Design gelungener Röhrenverstärker übt schon seit jeher eine unbeschreibliche Faszination auf den Betrachter aus. Die Ästhetik einer glühenden Röhre und die von außen sichtbaren Ausgangsübertrager hinterlassen bei jedem Technikbegeisterten einen sehr viel intensiveren Eindruck als das Erscheinungsbild der meisten „gewöhnlichen“ Halbleiterendstufen.

Diese „konventionellen“ Verstärker lassen sich im allgemeinen in zwei Kategorien einteilen: Zum einen die High-End-Geräte mit einem meist recht einfach gehaltenen Design und auf das Nötigste beschränkten Bedienelementen. So ergibt sich dann im Extremfall ein schwarzer Kasten mit einem Pegelsteller und einem Netzschalter. Ein enttäuschender und kein sehr schöner Anblick für jemanden, der sich an der sichtbaren Technik begeistern will.

Die andere Variante von Verstärkern lässt jedem HiFi-Puristen einen kalten Schauer über den Rücken laufen: die Verstärker mit unzähligen Knöpfen und Tasten und vielen bunten Anzeigen. Wobei die Tasten meist so klein sind, dass sie nur

von Babyhänden einwandfrei bedient werden können und die vielen bunten LEDs und Anzeigen verwirren mehr, als dass sie informieren.

Niederschmetternde Aussichten für einen Musikliebhaber, der neben exzellenten technischen Daten und gutem Klang auch auf ein schönes und ansprechendes Design eines Verstärkers besonderen Wert legt. Um diesen Wünschen nachzukommen, haben wir bei der Entwicklung und Konstruktion der High-End-ELV-Röhrenendstufe neben den technischen Daten auch dem Design besondere Aufmerksamkeit gewidmet. So ist mit dem ELV-RV-100 ein Röhrenverstärker entstanden, der sich durch einen exzellenten „Röhrenklang“, die sehr guten technischen Daten und das ansprechende Design von der breiten Masse der HiFi-Verstärker deutlich abhebt.

Über den Sinn einer Röhrenendstufe im High-Tech-Zeitalter mit immer aufwendigeren Herstellungsverfahren für Halbleiterbauteile lässt sich streiten. Ein Verstärker auf Halbleiterbasis, die gleiche Preiskategorie vorausgesetzt, wird, von den reinen technischen Daten her betrachtet, der Röhrenvariante überlegen sein.

Die Übertragungseigenschaften eines Verstärkers können zwar messtechnisch genauestens erfasst werden, beim subjektiven Klangeindruck eines Verstärkers spielen jedoch viele nicht messbare Einflüsse eine wichtige Rolle. So hat der unverwechselbare Röhrenklang in der HiFi-Szene viele Anhänger und viele, die noch nicht zu den überzeugten „Röhrenlauschern“ gehören, werden durch den sanften und weichen Klang, den man exzellenten Röhrenverstärkern nachsagt, positiv überrascht sein.

Lässt sich über den Klang eines Verstärkers noch in gewissen Grenzen streiten, so ist jedoch unbestreitbar, dass eine Röhrenendstufe, wie z. B. die ELV-RV-100, an Schönheit kaum zu überbieten ist. Und gewöhnlich „isst“ das Auge mit. Ein entsprechend designer und gut aufgebaute Röhrenverstärker mit seinen vielen sichtbaren „Innereien“ vermittelt einen sehr viel innigeren Kontakt zwischen Musik und Technik. Der der Röhrenendstufe nachgesagte wärmere Klang gegenüber einer Halbleiterendstufe wird durch das „warme“ Erscheinungsbild einer dezent leuchtenden Röhre und durch die tatsächliche Wärmeentwicklung der glühenden Endstufenröhren weiter verstärkt. Das Design und der Aufbau einer Röhrenendstufe sind somit wie bei kaum einem anderen Gerät von sehr großer Bedeutung.

Der Verstärker ist, neben den Lautsprechern, die wichtigste Komponente einer High-End-HiFi-Anlage. Ein Röhrenverstärker im speziellen entwickelt sich dabei allein schon durch sein auffälliges Erschei-

nungsbild zum Mittelpunkt einer jeden HiFi-Anlage. Und als Krönung des Besitzerstolzes gilt es dann, wenn man behaupten kann, seinen Röhrenverstärker eigenhändig zusammengebaut zu haben und somit die technischen Innereien nicht nur aus dem Hochglanzprospekt zu kennen.

Wir wenden uns mit dieser Bauanleitung nicht nur an den erfahrenen Elektroniker, sondern werden den Nachbau so beschreiben, dass auch der interessierte Leser, der sich in der praktischen Elektronik nicht so gut auskennt, den Nachbau erfolgreich und sicher durchführen kann. So werden wir auch dem bisher in bezug auf den Aufbau von Röhrenschaltungen unerfahrenen Techniker durch unsere detaillierte und leicht nachvollziehbare Bauanleitung zu einem selbstgebaute High-End-Verstärker verhelfen.

Vor allem der sichere Weg beim Nachbau ist hier besonders hervorzuheben, da die Röhrenendstufe mit Spannungen von bis zu 500 V arbeitet und von daher beim Aufbau und vor allem bei der Inbetriebnahme und beim Abgleich besonders vorsichtig vorgegangen werden muss. Wir weisen an den betreffenden Stellen nochmals gesondert auf diese Gefahren hin, um jegliche Gefährdung auszuschließen.

Die Gesamterstellung bis zum betriebsfertigen Gerät bleibt allerdings Profis vorbehalten, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind. Die einschlägigen Sicherheits- und VDE-Stimmungen sind dabei zu beachten. Der Aufbau selbst hingegen, ohne Inbetriebnahme und Anlegen der Versorgungsspannung, kann von jedermann durchgeführt werden, der zumindest etwas Erfahrung im Aufbau elektronischer Geräte besitzt. Die Überprüfung, Inbetriebnahme, Einstellung und Endfertigung kann durch Einschicken der so weit aufgebauten ELV-RV-100 an ELV erfolgen, wobei die ELV-Serviceabteilung die entsprechenden Arbeiten gegen Berechnung vornimmt. Natürlich kann man auch einen entsprechend erfahrenen und sachkundigen Elektronikfreund um die notwendigen unterstützenden Arbeiten bitten.

Der Aufbau einer Röhrenendstufe gestaltet sich etwas anders als der „gewöhnlicher“ Konsumelektronik. Die Entwicklung und Konstruktion von elektronischen Geräten wird heutzutage dahingehend optimiert, dass ein größtmöglicher Automatisierungsgrad bei der Produktion erreicht wird. So sind die Geräte meist so aufgebaut, dass nur wenig unkomplizierte Mechanik die Elektronik umgibt. Die Elektronik an sich ist so ausgelegt, dass sich alle Bauelemente, wenn möglich noch in SMD-Bauform, auf einer einzigen Platine befinden und sich maschinell bestücken lassen. Viele dieser kostenoptimierten Herstellungsschritte lassen sich bei dem

Aufbau einer High-End-Röhrenendstufe nicht realisieren.

So verbietet es z. B. die angestrebte Kanaltrennung, die Endstufen des linken und rechten Kanals auf einer kleinen Leiterplatte zu vereinigen. Auch der Anschluss der Leistungsendstufenröhren und der Ausgangsübertrager kann nur über eine arbeits- und zeitintensive Verdrahtung erfolgen, da sich beim ausschließlichen Aufbau auf einer Leiterplatte weder eine ausreichende mechanische Festigkeit noch die optimierte Zuführung der elektrischen Signale erreichen lässt. So könnte sich letztlich bei einem solchen Aufbau nur ein schlechter Kompromiss auf Kosten der technischen Daten ergeben. Daher haben wir bei der Konstruktion des ELV-RV-100 dort, wo es notwendig war, auf die altbewährte „fliegende“ Verdrahtung zurückgegriffen und an den Stellen, an denen es möglich war, eine moderne kostenoptimierte Konstruktion gewählt. Nach diesen allgemeinen Anmerkungen und Hinweisen wenden wir uns nun dem eigentlichen Aufbau zu.

Nachbauanleitung

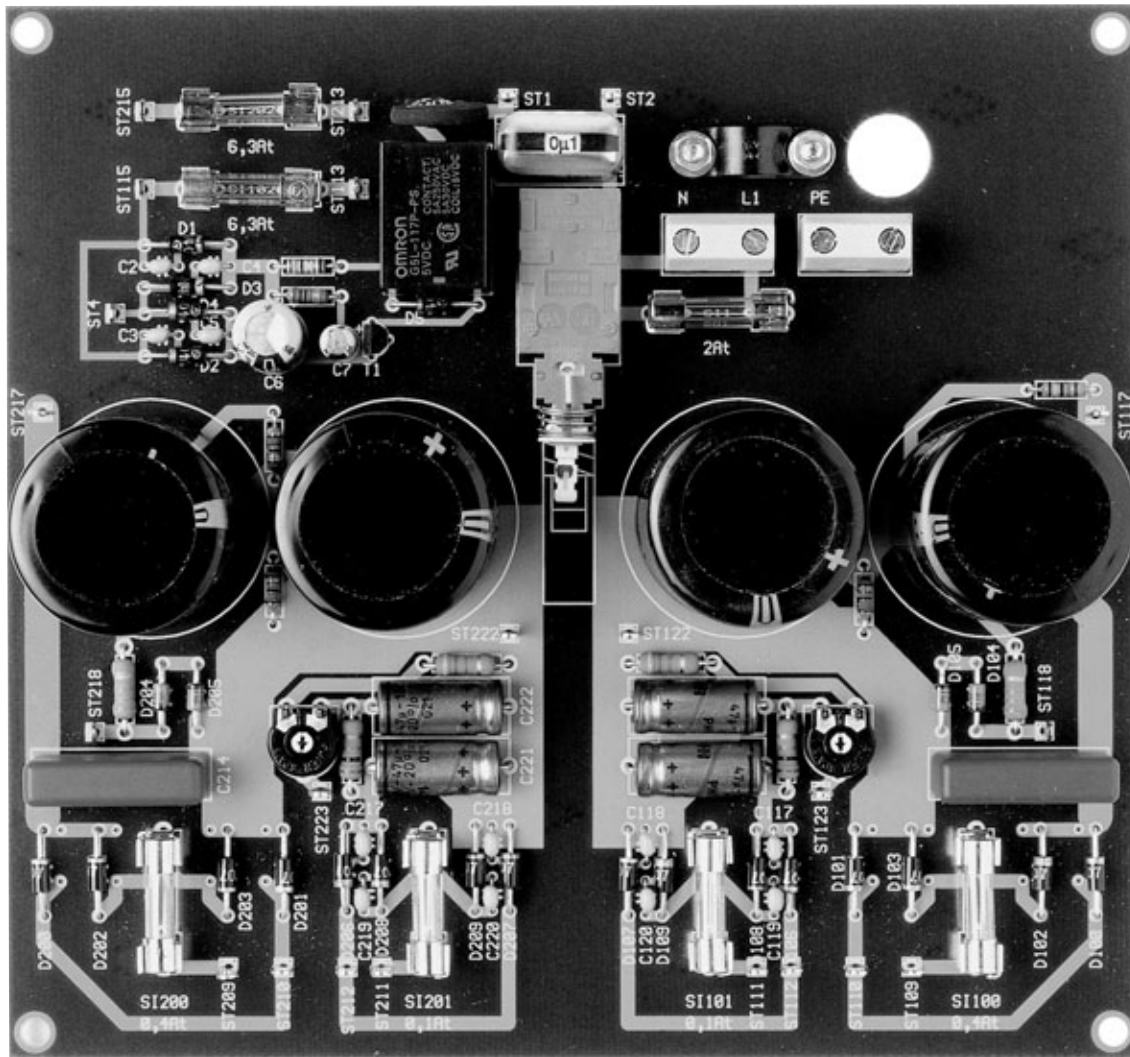
Die gesamte, recht umfangreiche Nachbauanleitung kann in folgende Punkte unterteilt werden: Bestückung der Netzteilplatine und der Endstufenplatine, Einbau der Platinen, der Ausgangsübertrager und des Netztrafos ins Grundchassis, Verdrahtung der einzelnen Komponenten, Abgleich der Endstufen und Gehäuseendmontage.

Wie hieraus zu erkennen ist, gestaltet sich der Aufbau der High-End-Röhrenendstufe recht umfangreich, lässt sich jedoch durch die auf das Notwendigste beschränkte Verdrahtung in wenigen Stunden durchführen. Aufgrund der Minimierung des unumgänglichen Verdrahtungsaufwandes reduziert sich weiterhin die Wahrscheinlichkeit von Aufbaufehlern, und die Nachbausicherheit wird erhöht.

In diesem ersten Teil der Nachbauanleitung werden wir die Bestückung der Platinen und die dazugehörige teilweise Verdrahtung der Röhrensockel beschreiben.

Die Schaltung des ELV-Röhrenverstärkers RV-100 ist auf zwei einzelne Platinen aufgeteilt. Die 168 mm x 157 mm messende Netzteilplatine umfasst die Spannungsversorgung für beide NF-Endstufen. Die Platine mit den Abmessungen 320 mm x 132 mm trägt die jeweilige NF-Endstufe des linken und rechten Kanals.

Diese Aufteilung der Schaltung gewährleistet eine gute Trennung der empfindlichen Signalwege untereinander und zum Netzteil und verhindert so eine gegenseitige Beeinflussung der Schaltungsteile. Nur so lassen sich die guten technischen Daten der Kanaltrennung und des Geräuschspannungsabstandes, die neben der eigentli-



Ansicht der fertig bestückten Netzteilplatine

(Ansicht auf 90% der Originalgröße verkleinert)

setzen. So ist z. B. mit der Bezeichnung Rx10 sowohl R 110 als auch R 210 gemeint.

Alle Bauteile mit einer einstelligen Nummer in ihrer Bezeichnung (z. B. R 3) sind in der Schaltung nur einfach vorhanden.

Aufbau der Netzteilplatine

Die Bestückungsarbeiten an den Platinen beginnen wir mit dem Aufbau der Netzteilplatine, die die Bauteile zur Versorgung beider NF-Endstufen beherbergt. Die Netzteile sind jedoch komplett getrennt ausgelegt und auch entsprechend positioniert. Die Bestückung erfolgt in gewohnter Weise anhand der Stückliste und des Bestückungsplanes,

chen Schaltungsauslegung auch wesentlich durch den mechanischen Aufbau mitbestimmt werden, gewährleisten.

Für einen guten Geräuschspannungsabstand ist z. B. ein hinreichend großer Abstand zwischen Netzteil und Eingangsstufe eine Grundvoraussetzung, da sich sonst sehr leicht Einkopplungen der Netzspannung in den Signalweg ergeben. Dies wirkt sich dann direkt auf die resultierende Brummspannung am Verstärkerausgang aus, der Geräuschspannungsabstand verschlechtert sich entsprechend. Weiterhin beeinflusst der Aufbau auch die erreichbare Kanaltrennung zwischen dem linken und rechten Kanal der Stereoendstufe. Die Separation auf zwei getrennte Platinen unterstützt auch hier die guten technischen Daten.

Bei der Bestückung der Leiterplatten sollte besonders sorgfältig vorgegangen werden, denn es ist bedeutend angenehmer, 2 Stunden länger zu bestücken, als womöglich im nachhinein mehrere Stunden vermeidbare Fehler zu suchen. Dies ist beim Aufbau von Röhrenschaltungen besonders wichtig, da sich hier aufgrund der

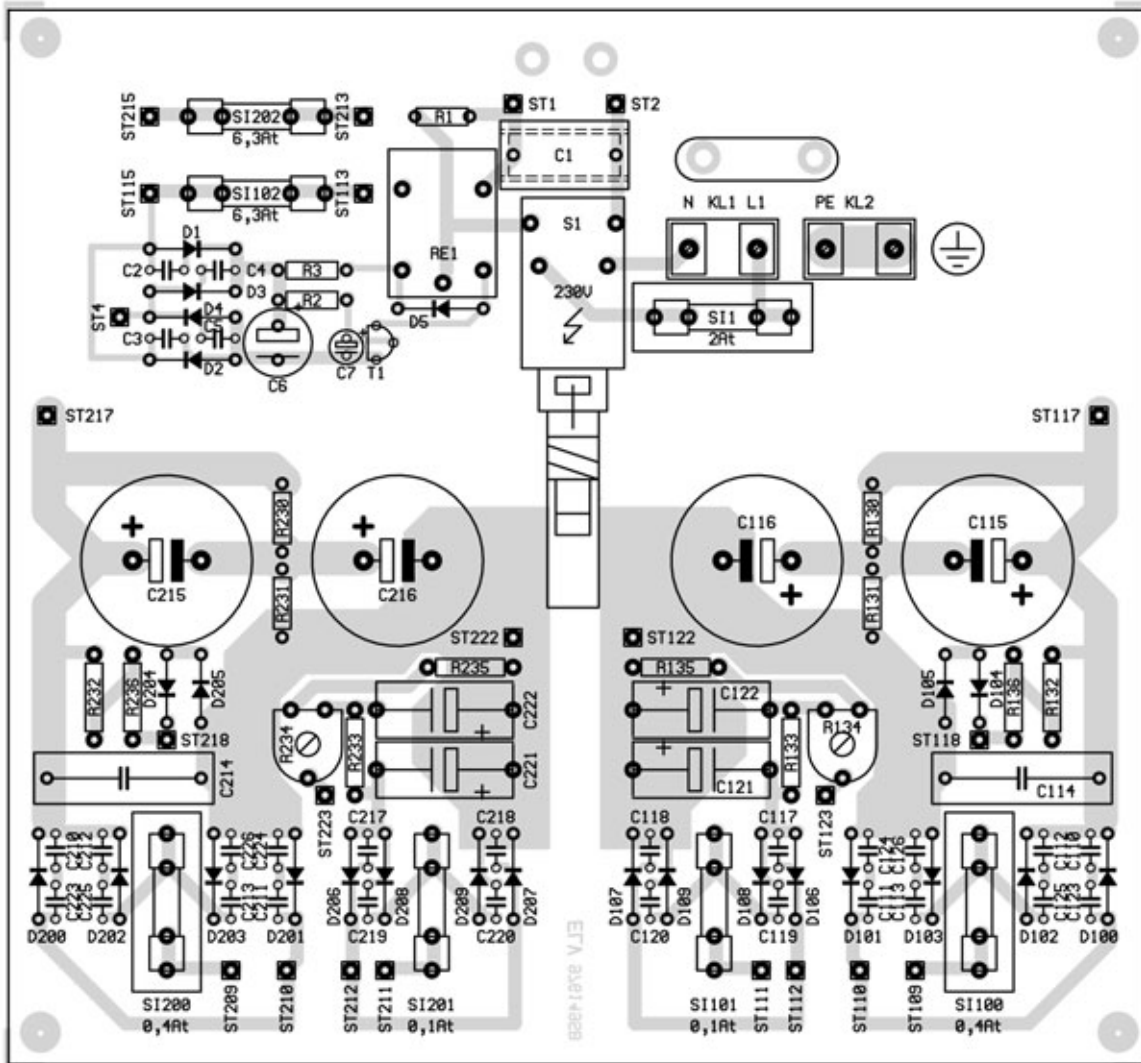
zum Teil sehr hohen Betriebsspannungen bei Bestückungsfehlern sicherheitstechnische Gefahren ergeben können. In diesem Zusammenhang empfiehlt es sich, die vorliegende Bauanleitung komplett durchzulesen, bevor mit dem Aufbau begonnen wird.

Die in Abbildung 4 und 5 dargestellten Schaltungen sind im ELV-Röhrenverstärker RV-100 zweimal weitgehend identisch vorhanden (für den linken und rechten Kanal). Um eine eindeutige Zuordnung der einzelnen Bauelemente in der Stückliste und im Bestückungsplan zum jeweiligen Stereokanal zu ermöglichen, unterscheiden sich die Bauteilbezeichnungen des rechten und linken NF-Kanales nur in der ersten Ziffer der Numerierung. Die Bauteile des linken Kanals beginnen mit einer „1“ in der Referenzbezeichnung (z. B. R 104), die Bauelemente des rechten Kanals entsprechend mit einer „2“ (zugehörig R 204). Bezieht sich eine Beschreibung in dieser Bauanleitung auf ein Bauteil sowohl im linken als auch im rechten Kanal, so werden wir die erste Ziffer der Referenzbezeichnung durch ein „x“ er-

wobei auch das dargestellte Platinenfoto hilfreiche Zusatzinformationen liefert. Beim Aufbau des Netzteiles sollte besonders sorgfältig vorgegangen werden, da hier neben der lebensgefährlichen Netzspannung auch mit den hohen Anodenspannungen gearbeitet wird.

Bei der Bestückung empfiehlt es sich, zuerst die niedrigen Bauteile einzusetzen. Im ersten Arbeitsschritt werden daher die Widerstände und Trimmer eingelötet. Die Widerstände R x32 und R x36 sind in einem Abstand von 10 mm (Platine zu Widerstandskörper) zu montieren. Anschließend können die Kondensatoren eingebaut werden, wobei die 4 Hochvolt-Elektrolyt-Kondensatoren (C x15 und C x16) zunächst noch nicht zu bestücken sind. Beim Einbau aller anderen Elkos ist unbedingt die richtige Polung sicherzustellen, besonders die korrekte Polarität der Elkos C x21 und C x22 ist zu beachten, da deren Pluspol an Masse liegt(!), um die negative Gittervorspannung zu glätten.

Auch beim nun folgenden Einbau der Dioden und Z-Dioden ist die Polarität zu beachten. Auch hier gibt der Bestückungs-



Bestückungsplan der Netzteilplatine des RV 100

(Ansicht auf 90% der Originalgröße verkleinert)

Bestückungsplan vor. Das dargestellte Leiterplattenfoto liefert dabei zusätzliche Informationen zur Montage der Bauelemente.

Von der Bestückung zunächst ausgeschlossen sind die Elektrolyt-Kondensatoren C x01 und C x06 sowie alle Lötstifte mit Öse.

Auch hier werden zuerst die niedrigen Bauteile eingelötet, beginnend mit den anzufertigenden Drahtbrücken. Als dann sind die Widerstände und Trimmer einzusetzen, wobei zu beachten ist, dass die Widerstände R x24 und R x25 als 5W-Hochlasttypen

druck eine Hilfestellung: der Katodenring auf dem Bauelement muss mit der Markierung im Bestückungsdruck übereinstimmen.

Als dann wird der Heißeiter R 1 (Widerstand mit negativem Temperaturkoeffizienten, NTC), der für die Begrenzung der Stromaufnahme im Einschaltmoment sorgt, eingesetzt. Nach dem Einlöten des einzigen Transistors T 1 (der Röhrenfan möge uns dieses Bauteil verzeihen), beginnen wir mit der Bestückung der mechanischen Bauteile.

Hier werden zuerst alle Lötstifte mit Öse eingelötet. In die anschließend zu bestückenden Sicherungshalter sind gleich die entsprechenden 5 x 20 mm Schmelzsicherungen einzusetzen. Die Netzsicherung SI 1 ist dabei mit der zugehörigen Schutzkappe berührungssicher zu machen. Im nächsten Arbeitsschritt werden die Netzklemmleiste KL 1, die PE-Klemmleiste KL 2, das Relais RE 1 und der Netzschalter eingelötet.

Danach ist die Zugentlastung auf der Platine für die Aufnahme der beim Zusammenbau des Verstärkers anzuschließenden Netzzuleitung vorzubereiten. Dazu werden zwei Schrauben M3 x 12 mm von der

Lötseite durch die entsprechenden Bohrungen gesteckt. Auf der Bestückungsseite ist dann die Zugentlastungsschelle mit Hilfe zweier zugehöriger M3-Muttern und unterlegten Fächerscheiben zu sichern.

Den Abschluss der Bestückungsarbeiten an der Netzteilplatine bildet der Einbau der vier Hochvolt-Elektrolyt-Kondensatoren C x15 und C x16. Hierbei ist die richtige Polung unbedingt sicherzustellen, da diese für die Glättung der 500V-Betriebsspannung verantwortlich sind. Ein Verpolen der Elkos würde bei der Inbetriebnahme eine große Gefahr darstellen und u. a. zur Explosion der Kondensatoren führen.

Nachdem die Netzteilplatine nun fertig aufgebaut ist, sollten die Lötstellen und die Bestückung nochmals kontrolliert werden. Anschließend wenden wir uns dann dem Aufbau der beiden Signalplatinen zu.

Aufbau der Signalplatinen

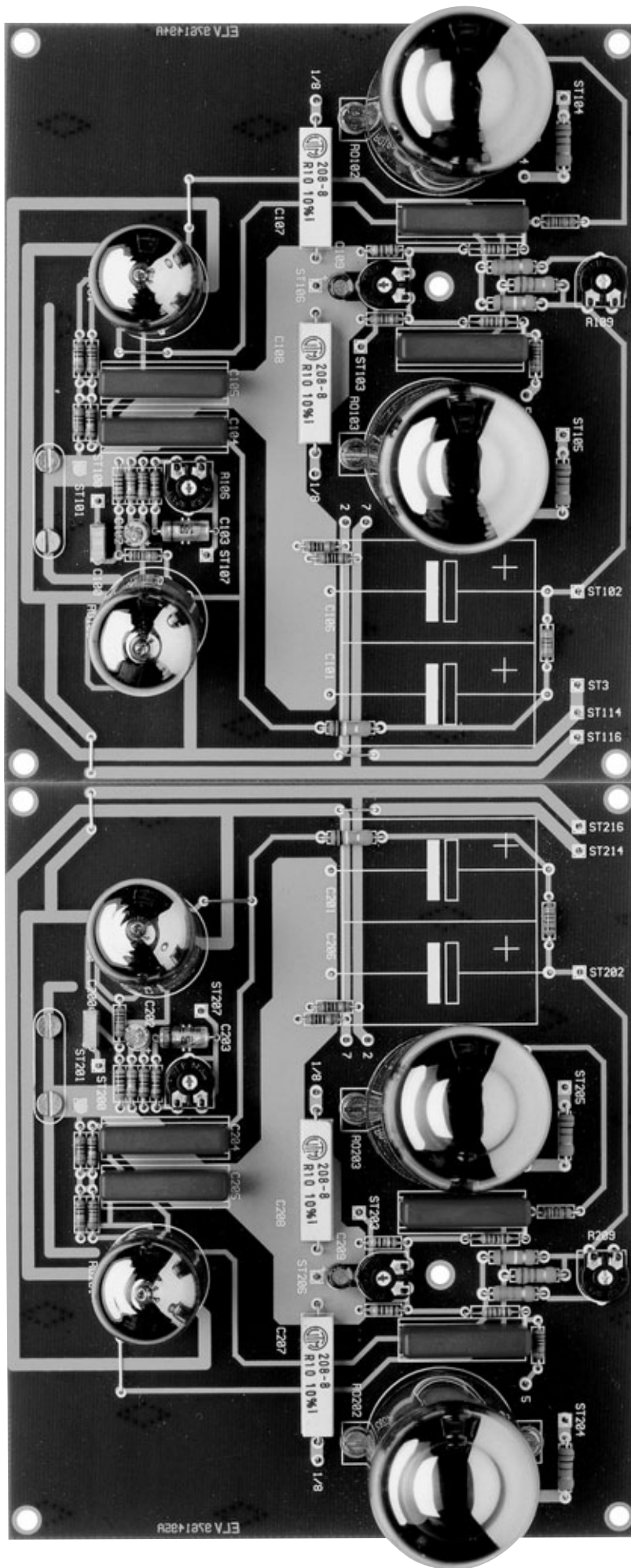
Analog zum Aufbau der Netzteilplatine gehen wir auch bei der Bestückung der Endstufenplatine der Röhrenendstufe ELV-RV-100 nach der Stückliste und dem

ausgeführt sind.

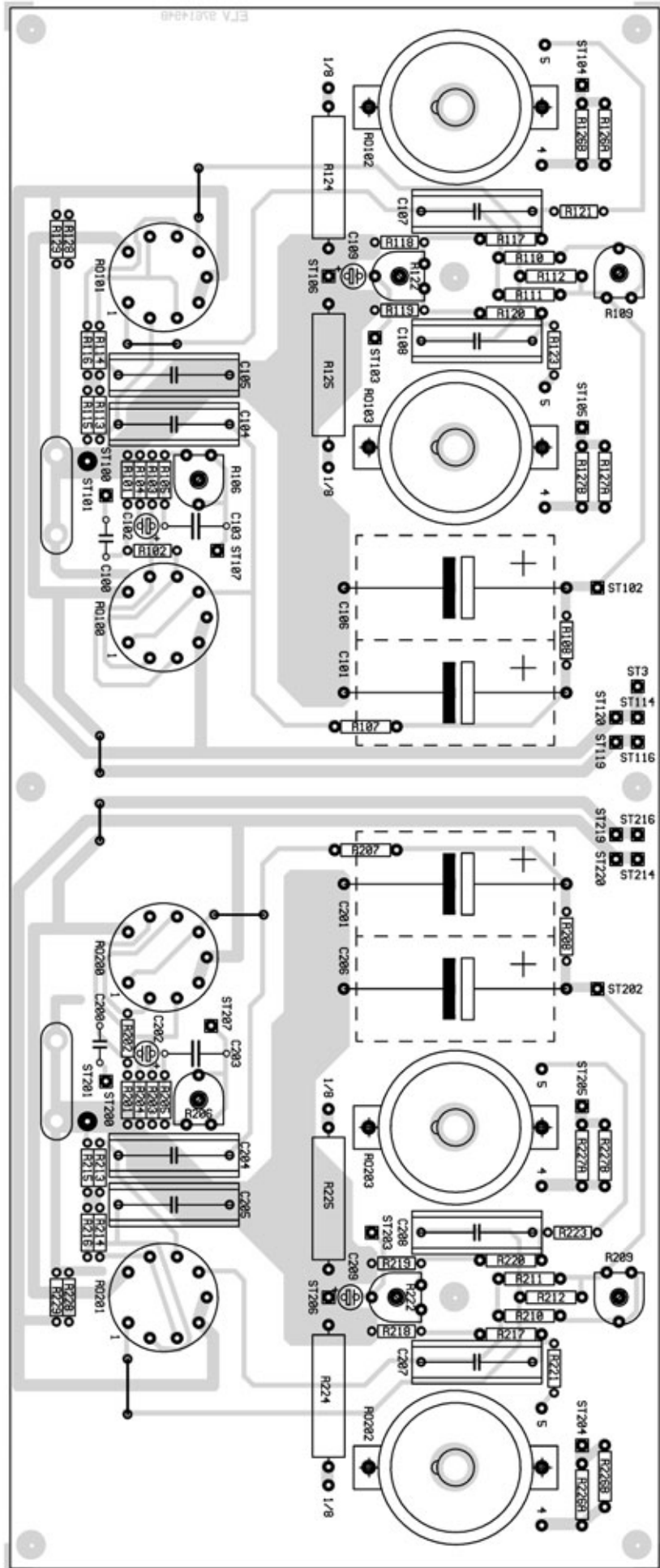
Zum Einbau müssen die Anschlussbeine entsprechend dem Rastermaß abgewinkelt werden, bevor diese Widerstände so einzusetzen sind, dass der Widerstandskörper direkt auf der Platine aufliegt. Nach der nun folgenden Bestückung der Kondensatoren (Polung der Elkos beachten!), kann mit dem Einbau der Röhrensockel begonnen werden.

Die Röhrensockel der Vorstufe RO x00 und der Treiberstufe RO x01 sind als Print-Version für Leiterplattenmontage ausgeführt. Diese Sockel können hier ohne weiteres eingesetzt werden, da die relativ kleinen Heizströme und die geringe Wärmeentwicklung dieser Röhren keine besonderen Anforderungen an die Kontaktierung der Sockel und den Röhrensockel selbst stellen. Die Einbauposition dieser Novalsockel (9polig) ist durch die Pinanordnung vorgegeben.

Die im nächsten Arbeitsschritt einzubauenden Röhrensockel für die Endstufenröhren RO x02 und RO x03 sind als Keramiksockel mit Lötanschluss für Chassismontage ausgelegt. Dies ist hier unbedingt



Ansicht der fertig bestückten NF-Endstufenplatine des RV 100 (Ansicht auf 80 % der Originalgröße verkleinert)



Ansicht des Bestückungsplans der NF-Endstufenplatte des RV 100 mit zugehörigem Bestückungsplan (Ansicht auf 80 % der Originalgröße verkleinert)

Stückliste: Röhrenverstärker RV 100

Widerstände:

10Ω/5W R124, R125, R224, R225
 15Ω R3
 82Ω R104, R204
 100Ω R128, R129, R228, R229
 220Ω/2W R126A, R126B, R127A,
 R127B, R226A, R226B,
 R227A, R227B
 1,5kΩ R103, R105, R203, R205
 2,2kΩ R102, R114, R121, R123,
 R202, R214, R221, R223
 5,6kΩ R2
 8,2kΩ R108, R115, R208, R215
 10kΩ/1W R133, R233
 15kΩ/1W R132, R136, R232, R236
 33kΩ/1W R110, R210
 47kΩ/1W R135, R235
 68kΩ/1W R112, R212
 100kΩ R101, R201
 100kΩ/1W R107, R207
 150kΩ/1W R111, R211
 220kΩ R117, R120, R217, R220
 470kΩ R118, R119, R218, R219
 680kΩ R130, R131, R230, R231
 1MΩ R113, R116, R213, R216
 PT10, liegend, 2,5kΩ R106, R206
 PT10, liegend, 50kΩ R134, R234
 PT10, liegend, 100kΩ R109, R122,
 R209, R222
 Poti, 6mm, 47kΩ, log R100, R200
 NTC33 R1

Kondensatoren:

220pF/Styreflex/axial C103, C203
 4,7nF/ker C110-C113, C117-C120,
 C123-C126, C210-C213,
 C217-C220, C223-C226
 100nF/ker C2-C5
 100nF/250V~/X2 C1
 100nF/630V C114, C214
 220nF/630V C104, C105, C107, C108,
 C204, C205, C207, C208
 470nF C100, C200
 1μF/100V C109, C209
 47μF/100V/axial C121, C122,
 C221, C222
 100μF/16V C7, C102, C202
 100μF/350V/axial C101, C106,
 C201, C206
 220μF/450V C115, C116, C215, C216

470μF/16V C6

Halbleiter:

BC548 T1
 1N4001 D1-D5
 1N4007 D100-D103, D106-D109,
 D200-D203, D206-D209
 ZPD120V/1,3W D104, D105,
 D204, D205

Röhren:

ECC81 RO100, RO200
 ECC82 RO101, RO201
 ELV E34L RO102, RO103,
 RO202, RO203

Sonstiges:

Relais, 5V, 1 x um RE1
 Ringkerntrafo, 2 x 350V/0,4A
 2 x 50V/0,1A
 2 x 6,3V/4A TR1
 Ausgangsübertrager für
 2 EL34-Röhren AU100, AU200
 Netzschraubklemme, 2polig KL1, KL2
 Lötstifte mit Lötöse ST1-ST4,
 ST101-ST107, ST109-ST120, ST122,
 ST123, ST201-ST207, ST209-ST220,
 ST222, ST223
 Sicherung, 2A, träge S11
 Sicherung, 400mA,träge .. S1100,S1200
 Sicherung, 100mA,träge .. S1101,S1201
 Sicherung, 6,3A,träge S1102, S1202
 Shadow-Netzschalter S1
 1 Adapterstück
 1 Verlängerungsachse
 1 ELV-Tasterkappe, schwarz
 7 Platinensicherungshalter, (2 Hälften)
 1 Sicherungsabdeckhaube
 1 Netzkabel, 3adrig, schwarz
 1 Netzkabel-Durchführungsstülle,
 schwarz
 3 Zugentlastungsbügel
 4 Aderendhülsen, 0,75mm
 2 Alu-Drehknöpfe, silber
 10 Zylinderkopfschrauben, M3 x 8mm
 6 Zylinderkopfschrauben, M3 x 12mm
 8 Zylinderkopfschrauben, M5 x 45mm
 2 Zylinderkopfschrauben, M3 x 10mm
 4 Gummiklebefüße
 4 Hutmuttern, M3

12 Hutmuttern, M4
 1 Lötöse, 3-fach, M4
 2 Schutzleitersymbole
 20 Senkkopf-Schrauben, M3 x 10mm
 1 Zylinderkopfschraube, M6 x 70mm
 14 Muttern, M3
 13 Muttern, M4
 1 Mutter M10 x 2,3mm
 1 Hutmutter, M6
 8 Hutmuttern, verchromt, M5
 14 Fächerscheiben, M3
 26 Fächerscheiben, M4
 14 Fächerscheiben, M5
 1 Fächerscheibe, M6
 8 Unterlegscheiben, M3
 8 Unterlegscheiben, M5, Kunststoff
 7 Lötösen, 6,2mm
 12 Abstandsbolzen, mit Außenge-
 winde M4
 1 Cinch-Einbaubuchsen, vergoldet, rot
 1 Cinch-Einbaubuchsen, vergoldet,
 schwarz
 4 Lautsprecheranschlussklemmen,
 vergoldet, rot
 2 Lautsprecheranschlussklemmen,
 vergoldet, schwarz
 4 Röhrensockel für ECC-Röhren
 4 Röhrensockel für EL34-Röhren
 13 Kabelbinder, 90mm
 2 Kabelbinderschellen für M3
 2 Metall-Abdeckhauben für Ausgangs-
 übertrager
 1 Masseanschlussblech
 2 Isolierplatten, 60 x 20mm
 1 RV 100-Gehäuse, komplett
 132cm flexible Leitung, ST1 x 0,75mm²,
 schwarz
 106cm flexible Leitung, ST1 x 0,75mm²,
 blau
 114cm flexible Leitung, ST1 x 0,75mm²,
 rot
 44cm flexible Leitung, ST1 x 0,75mm²,
 grün/gelb
 68cm flexible Leitung, ST1 x 1,5mm²,
 rot
 294cm flexible Leitung, ST1 x 1,5mm²,
 schwarz
 174cm HF-Leitung, 50Ω, RG 58C/U
 25cm Isolierschlauch
 12cm Schaltdraht, blank, versilbert

notwendig, da sich die hohen Heizströme nur über entsprechend dimensionierte Leitungen verlustarm zuführen lassen. Weiterhin stellt hier die hohe Verlustleistung und die damit verbundene große Hitzeentwicklung an den Röhren besondere Anforderungen an den Sockel und die Kontaktierungen. Mit einem Sockel in Print-Ausführung würde es hier nach längerer Betriebs-

zeit unweigerlich zu hitzeausdehnungsbedingten Platinenfehlern kommen. Zum Einbau der verwendeten Oktalsokkel (8polig) werden die Sockelkörper von der Platinenunterseite durch die entsprechenden Öffnungen in der Platine gesteckt und anschließend so ausgerichtet, dass die Führungsnut im Sockel, die nachher das korrekte Einsetzen der Röhren sicherstellt,

wie im Bestückungsdruck eingezeichnet nach vorne zeigt. Anschließend sind dann die Klemmbügel auf der Lötseite über die Sockel zu schieben. Von der Bestückungsseite her werden die jeweils mit einer Unterlegscheibe versehenen M3x8mm-Schrauben durch die entsprechenden Bohrungen in Platine und Klemmbügel gesteckt. Mit dem Festziehen der auf der

Unterseite aufzuschraubenden und mit Fächerscheiben gesicherten M3-Muttern werden die Röhrensockel fixiert.

Als dann sind die zunächst von der Bestückung ausgeschlossenen Bauteile einzusetzen. Die Elektrolyt-Kondensatoren C x01 und C x06 werden dazu auf der Lötseite (!) bestückt, wobei wiederum die richtige Polung unbedingt sicherzustellen ist. Abschließend werden die Lötstifte mit Öse in die entsprechend mit ST bezeichneten Bohrungen auf der Lötseite (!) eingelötet.

Im letzten Arbeitsschritt der Bestückung ist die Zugentlastung für den späteren Anschluss der NF-Signalleitung vorzubereiten. Der auf der Lötseite aufzusetzende Zugentlastungsbügel wird dazu mit zwei von der Oberseite einzusteckenden M3x12mm-Schrauben und entsprechenden Muttern mit Fächerscheibe befestigt.

Damit ist die Bestückung der Platine abgeschlossen, und wir beginnen mit der teilweisen Verdrahtung der Röhrensockel.

Dazu sind 12 Leitungsstücke (0,75 mm², schwarz) von je 4 cm Länge anzufertigen, die auf beiden Seiten ca. 5 mm abisoliert werden. Diese Leitungen sind dann in die mit „1/8“, „4“ und „5“ gekennzeichneten Bohrungen von der Lötseite einzulöten. Dabei ist darauf zu achten, dass alle Adern der flexiblen Leitungen in die Bohrungen eingeführt sind. Danach werden diese Leitungsstücke an die zugehörigen Pins der Röhrensockel von RO x02 und RO x03 angelötet.

Die abisolierten Leitungsenden sind dazu durch die zugehörigen Lötösen der Sockel zu stecken und durch Umbiegen zu sichern, bevor sie unter Zugabe von ausreichend Lötzinn festzusetzen sind. Die Nummerierung der Pins am Röhrensockel beginnt dabei mit Pin 1 links unterhalb der Nut (von der Lötseite gesehen) und wird im Uhrzeigersinn fortgesetzt, sodass schließlich Pin 8 rechts unterhalb der Nut befindet. Die Leitung „1/8“ für die Kontaktierung der Katode und des Bremsgitters ist vor dem Anlöten durch beide Lötösen zu führen. Sind diese Verbindungen ordnungsgemäß hergestellt, so kann mit dem Anschluss der Heizung der beiden Endstufenröhren begonnen werden.

Die vom Trafo gelieferte 6,3V-Heizspannung muss den Endstufenröhren in voller Höhe zur Verfügung stehen, um ein Unterheizen zu verhindern. Da in den Heizkreisen der Endstufenröhren ein Strom von ca. 1,5 A pro Röhre fließt, besitzen die Leitungen der Heizspannungszuführung von den Lötstützpunkten ST x19 und ST x20 zu den EL34-Endstufenröhren einen Querschnitt von 1,5 mm². Dies gewährleistet eine ausreichende Heizspannung an den Röhren.

Zur Zuführung der Heizspannung sind für jeden Stereokanal je zwei 12 cm und

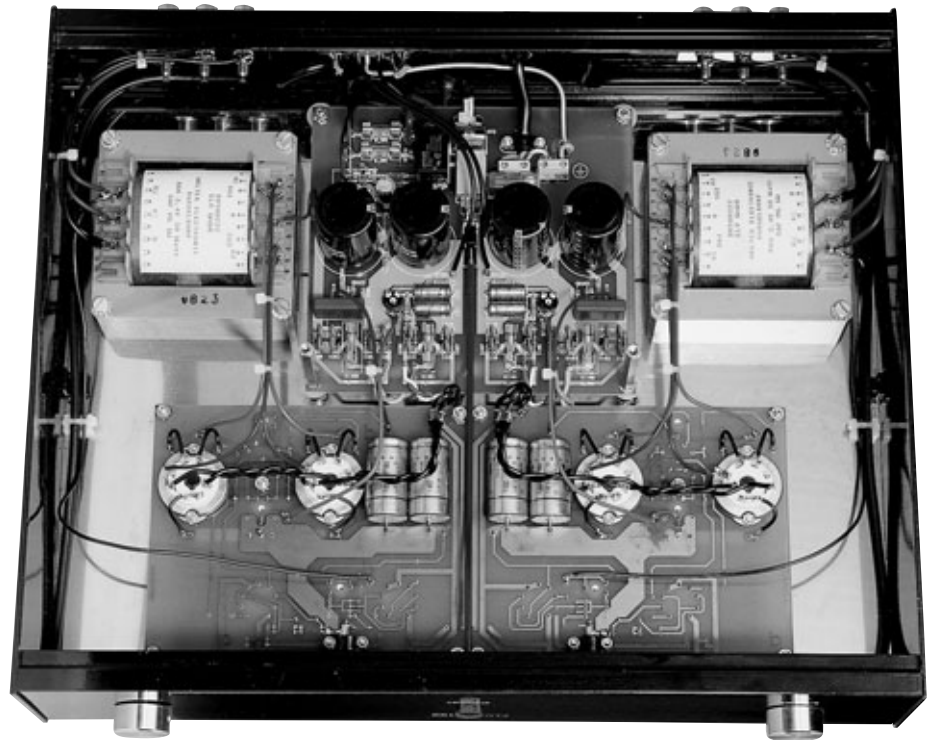


Bild 6: Innenansicht des ELV-RV-100

zwei 9 cm lange, auf beiden Seiten ca. 5 mm abisolierte Leitungsstücke (1,5 mm², schwarz) anzufertigen. Die 9cm-Leitungsenden werden zuerst an Pin 2 und Pin 7 des Sockels von RO x02 angelötet. Anschließend sind diese Leitungen miteinander zu verdrehen und in die zugehörigen Lötösen für die Endstufenröhren RO x03 einzuführen. Durch diese Ösen werden dann noch die abisolierten Enden der 12 cm langen Zuleitungen gesteckt, bevor sie unter Zugabe von reichlich Lötzinn festzusetzen sind. Auch das Verdrehen der anschließend an die Lötösen ST x19 und ST x20 anzulötenden 12cm-Leitungsenden ist notwendig, um die aufgrund der hohen fließenden Ströme emittierenden magnetischen Felder so klein wie möglich zu halten und so eine Einkopplung in den Signalweg zu verhindern.

Somit sind die Arbeiten an der Signalplatine vorerst abgeschlossen, die weitere Verdrahtung erfolgt nach dem nun folgenden Einbau der Platinen und sonstigen Komponenten ins Grundchassis.

Da die Beschreibung des mechanischen Aufbaus und der notwendigen Verdrahtungsarbeiten teilweise recht aufwendig gehalten ist, liefern die dargestellte Innenansicht des Röhrenverstärkers (Abbildung 6) und die Übersichtszeichnung (Abbildung 7) im besonderen bei diesen Nachbauschritten hilfreiche Zusatzinformationen.

Gehäusemontage

Bei der Montage des Gehäuses muss mit der notwendigen Sorgfalt vorgegangen werden, um eine Beschädigung der lak-

kierten bzw. polierten Gehäuseteile zu vermeiden. Eine verkratzte Frontplatte oder die beschädigte Oberfläche des polierten Gehäuseoberteiles beeinträchtigen das Erscheinungsbild des Röhrenverstärkers. Als zentrales Element einer HiFi-Anlage dient ein solch hochwertiges Produkt wie der ELV-RV-100 auch als Blickfang. Bei einem selbstgebauten Verstärker, im besonderen bei einem Röhrenverstärker, wird neben dem exzellenten Klang, den wir mit unserem Schaltungskonzept sicherstellen, vor allem auf die Ausführung des Aufbaus geachtet. Auch hier haben wir mit der Vorfertigung der Gehäuseteile und dem durchdachten mechanischen Aufbau entsprechende Voraussetzungen geschaffen. Damit ihr eigenständig aufgebauter High-End-Röhrenverstärker allen kritischen Blicken der Bewunderer standhält, müssen die nun folgenden Nachbauschritte sorgfältig durchgeführt werden. Daher empfehlen wir, die Gehäuseteile auf einer entsprechend sauberen und weichen Unterlage zu montieren.

Im ersten Arbeitsschritt wird die Gehäuserückwand für die spätere Verdrahtung und Montage vorbereitet. Wir beginnen hier mit dem Einbau der hochwertigen vergoldeten Lautsprecher-Ausgangsklemmen, die für die Aufnahme von Lautsprecherleitungen bis zu 4 mm² ausgelegt sind.

Die Lautsprecherklemmen sind jeweils in die drei äußeren 7mm-Bohrungen der Rückwand einzusetzen, wobei die schwarz gekennzeichneten Masseklemmen jeweils innen montiert werden (in die mit „-“ beschrifteten Bohrungen). Für die 4Ω- bzw. 8Ω-Ausgänge sind die rot markierten Ver-

sionen zu verwenden, die in die mit „+“ bezeichneten Löcher einzusetzen sind. Zum Einbau werden die Klemmen jeweils von außen durch die entsprechenden Bohrungen gesteckt.

Die beiliegenden Kunststoff-Isolierringe werden zur Montage nicht benötigt, da sie unseren hohen Qualitätsansprüchen nicht standhalten. Statt dessen verwenden wir zur Isolierung gegenüber dem Gehäuse die 60 mm x 20 mm messenden und mit entsprechenden Bohrungen versehenen Isolierplatten. Diese werden auf der Innenseite der Rückwand über die Gewindebolzen der Lautsprecherterminals geschoben. Anschließend sind die Lautsprecherklemmen mit der ersten Mutter und unterlegter M5-Zahnscheibe zu fixieren, wobei darauf zu achten ist, dass die Öffnungen zum Anschluss der Lautsprecherkabel nach oben weisen. Danach werden die Lötösen, an denen später die NF-Ausgangsleitungen des Ausgangsübertragers angeschlossen

werden, mit der zweiten Mutter befestigt. Die Lötflähen der Lötösen sollten dabei nach unten zeigen, um den späteren Anschluss der Leitungen zu vereinfachen.

Die vergoldeten Lautsprecherklemmen sowie die im nächsten Arbeitsschritt einzubauenden vergoldeten Cinch-Buchsen als Audio-Signaleingang gewährleisten neben den minimierten Übergangswiderständen vor allem eine sehr gute und dauerhafte Kontaktsicherheit. Weiterhin sorgen die hochwertigen vergoldeten Buchsen in Verbindung mit der stabilen, hochglänzend lackierten Rückwand dafür, dass auch die Rückseite des Röhrenverstärkers ELV-RV-100 einen edlen Anblick bietet.

Beim nun folgenden Einbau der beiden NF-Eingangsbuchsen sind die mit einer Isolierscheibe versehenen Cinch-Buchsen von außen durch die entsprechenden 10mm-Bohrungen in der Gehäuserückwand zu stecken. Die rote Cinch-Buchse, die die Signale des rechten Kanals aufnimmt, wird

in die von hinten gesehen linke Gehäusebohrung eingesetzt, die schwarze, für den linken Kanal zuständige Buchse entsprechend in die rechte Bohrung. Auf der Innenseite folgen dann die zweite Isolierscheibe, das für den linken und rechten Kanal gemeinsame Masseanschlussblech und die zugehörigen Muttern in angegebener Reihenfolge. Das Masseanschlussblech ist dabei so zu positionieren, dass die Seite mit den Bohrungen, die später alle Masseleitungen aufnimmt, zum Gehäuseboden weist.

Mit dem nun folgenden Einsetzen der Kabeldurchführung für die Netzleitung schließen wir die Arbeiten an der Rückwand vorerst ab. Die Zugentlastung ist dazu von außen durch die 13mm-Gehäusebohrung zu führen und von innen mit der zugehörigen Mutter zu befestigen.

Die danach aufzuschraubende Knick-schutztülle wird nicht festgezogen, um das spätere Einführen des Netzkabels nicht zu erschweren. Die anschließend auszufüh-

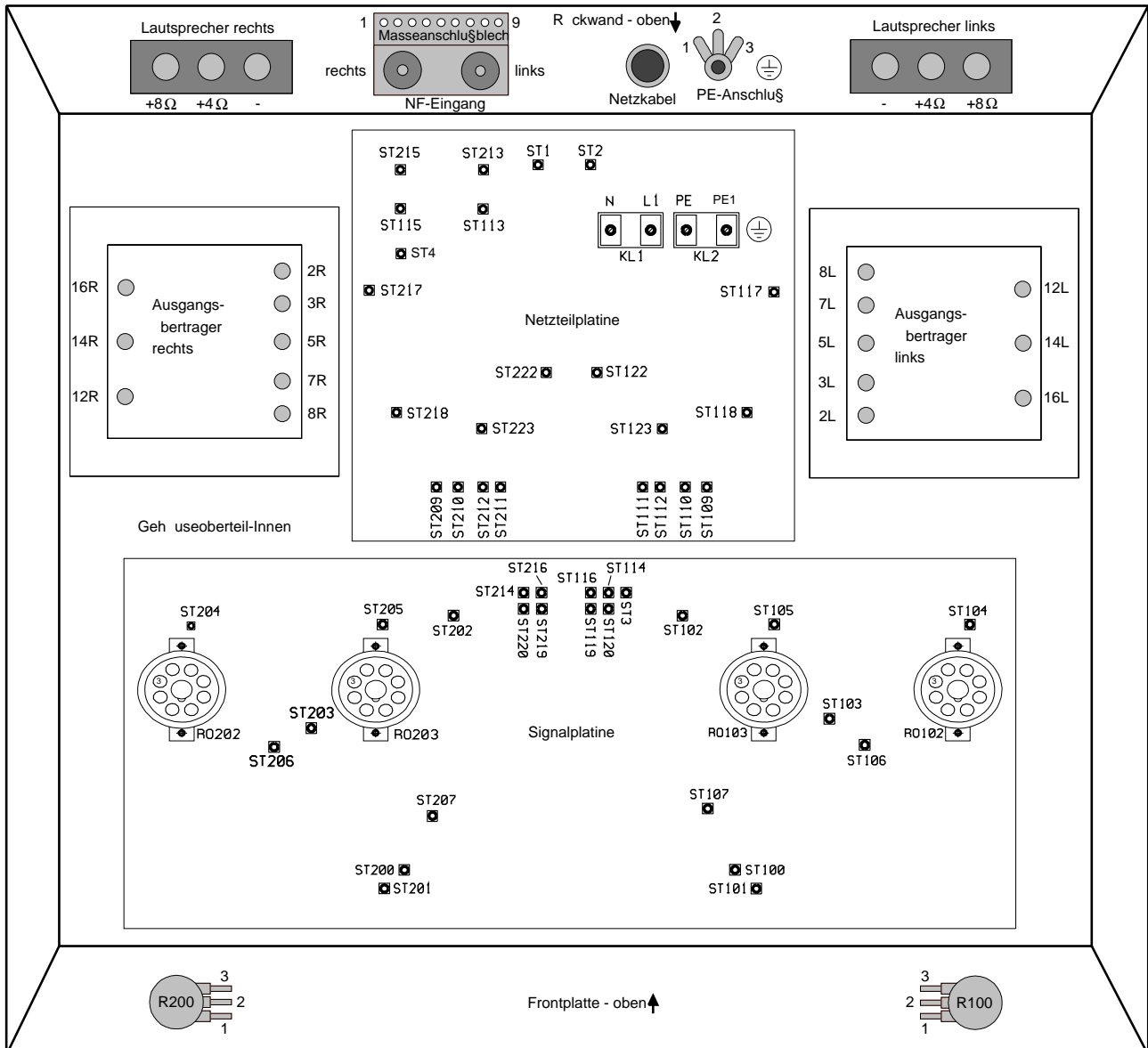


Bild 7: Übersichtszeichnung für die Verdrahtung

renden Arbeiten zur Vorbereitung der Frontplatte beschränken sich auf den Einbau der beiden Potentiometer R x00, die der Pegeleinstellung des NF-Signales dienen. Dazu wird die erste Mutter so weit auf das Potentiometer aufgeschraubt, dass das Gewinde bei eingesetztem Potentiometer auf der Vorderseite noch etwa 3 mm hervorsteht. Die jeweils zweite Mutter fixiert anschließend die Potentiometer in der Frontplatte, wobei diese so auszurichten sind, dass ihre Anschlussfahnen zur Mitte zeigen, um das spätere Anlöten der NF-Signalleitungen zu erleichtern.

Für die spätere Befestigung der Platinen müssen die Abstandsbolzen an das polierte Gehäuseoberteil angeschraubt werden. Dazu sind die mit je einer Fächerscheibe versehenen Gewindestifte der Bolzen von unten durch die zugehörigen Bohrungen im Oberteil zu stecken und mit einer auf der Oberseite aufzuschraubenden M4-Hutmutter zu fixieren.

Im folgenden werden wir die Gehäusekomponenten, bis auf die Bodenplatte, zusammenbauen. Dazu ist ein Seitenteil mit den zugehörigen Senkkopfschrauben M3 x 10 mm an die vorbereitete Rückwand anzuschrauben. Dabei ist zu beachten, dass zwar der zuvor mittels M3x10mm-Senkkopfschrauben angeschraubte Metallwinkel nach oben weist. Alsdann wird das polierte Gehäuseoberteil so in die Führungsnut der Rückwand eingeschoben, dass die angeschraubten Bolzen nach unten zeigen und sich die Aussparungen für die Röhren vorne befinden. Hier ist besonders vorsichtig vorzugehen, um die polierte Fläche nicht zu beschädigen.

Nachdem auch das zweite Seitenteil mit angeschraubtem Metallwinkel angeschraubt wurde, kann die Frontplatte montiert werden. Für die spätere Montage der Röhrenabdeckhaube sind noch 4 Zylinderkopfschrauben von innen in die mit einem Gewinde versehenen Bohrungen des Gehäuseoberteiles einzuschrauben. Die vorderen Bohrungen nehmen die beiden Schrauben M3 x 8 mm auf, mit den jeweils hinteren Schrauben (M3 x 10 mm) werden dabei zusätzlich die beiden Kabelbinderschellen befestigt.

Ist das Gehäusechassis nun soweit zusammengesetzt, steht dem Einbau der Elektronik nichts mehr im Wege. Dazu ist es zweckmäßig, das vorbereitete Gehäuse auf das linke Seitenteil zu stellen und gegen Umfallen zu sichern, da sich die weitere Montage so am einfachsten durchführen lässt.

Verdrahtung

Um einen rationellen Aufbau zu erreichen, sind zuvor alle benötigten Leitungstücke vorzubereiten. Die Leitungen müs-

Tabelle 2: Vorzubereitende Kabelabschnitte

Leitungstyp	Anzahl	Länge	Bezeichnung / Kabel Nr.
0,75 mm ² , grün-gelb	1	16 cm	Nr. 36
0,75 mm ² , grün-gelb	1	14 cm	Nr. 1
0,75 mm ² , grün-gelb	1	8 cm	Nr. 2
1,5 mm ² , schwarz	2	34 cm	Nr. 3, Nr. 4
1,5 mm ² , schwarz	2	16 cm	Nr. 26, Nr. 27
1,5 mm ² , schwarz	2	20 cm	Nr. 16, Nr. 19
1,5 mm ² , schwarz	1	40 cm	Nr. 28
1,5 mm ² , schwarz	1	30 cm	Nr. 29
0,75 mm ² , schwarz	1	36 cm	Nr. 5
0,75 mm ² , schwarz	2	37 cm	Nr. 20, Nr. 21
0,75 mm ² , blau	1	15 cm	Nr. 10
0,75 mm ² , blau	4	18 cm	Nr. 12, Nr. 30, Nr. 31
0,75 mm ² , blau	1	16 cm	Nr. 13, Nr. 11
1,5 mm ² , rot	2	16 cm	Nr. 14, Nr. 17
1,5 mm ² , rot	2	18 cm	Nr. 15, Nr. 18
0,75 mm ² , rot	2	15 cm	Nr. 6, Nr. 9
0,75 mm ² , rot	1	20 cm	Nr. 7
0,75 mm ² , rot	2	13 cm	Nr. 32, Nr. 33
0,75 mm ² , rot	2	7 cm	Nr. 34, Nr. 35
0,75 mm ² , rot	1	20 cm	Nr. 8
RG 58U	1	70 cm	Nr. 22
RG 58U	1	60 cm	Nr. 24
RG 58U	2	22 cm	Nr. 23, Nr. 25

sen entsprechend den Angaben in Tabelle 2 zugeschnitten und an beiden Enden auf 8 mm abisoliert werden. Zur einfacheren Identifikation sind alle Leitungen wie angegeben zu nummerieren. Für die Montage der Leitungen sei noch angemerkt, dass diese, sofern sie angelötet werden, vor dem Verlöten durch die entsprechende Lötöse gesteckt und umgebogen werden müssen, bevor die Leitungen dann unter Zugabe von ausreichend Lötzinn ordnungsgemäß zu verlöten sind. Diese Vorgabe ist sicherheitsrelevant und daher unbedingt zu beachten.

Ist die Vorbereitung der Leitungsstücke abgeschlossen, kann die Montage fortgeschritten. Im ersten Arbeitsschritt ist der Schutzleiteranschluss des Gehäuses sicherzustellen, der mit Hilfe des angeschweißten Gewindebolzens, der sich direkt neben der Netzleistungsdurchführung in der Rückwand befindet, hergestellt wird. Die vorbereiteten grün-gelben Schutzleiterkabel (Nr. 1 und Nr. 2) werden dazu durch je eine Öse der M4-3fach-Lötöse gesteckt, umgebogen und sorgfältig verlötet. Diese Lötöse mit den beiden Schutzleitern ist dann mit einer M4-Mutter und unterlegter Fächerscheibe an den PE-Bolzen anzuschrauben. Das anschließend in unmittelbarer Nähe dieses Schutzleiteranschlusses anzuklebende Schutzleitersymbol kennzeichnet diesen als Schutzleiterpunkt.

Danach folgt der Einbau des Netztransformators TR 1. Der im schwarzen Kunststoffbecher vergossene Ringkerntrafo wird oben auf dem polierten Gehäuseoberteil zwischen den beiden Aussparungen für die

Ausgangsübertrager positioniert, wobei die Kabel nach unten durch die zugehörige Aussparung zu führen sind. Mit Hilfe der M6-Schraube und unterlegter Lötöse und Fächerscheibe, die von der Gehäuseinnenseite durch die entsprechenden Bohrungen in Gehäuse und Trafo zu stecken ist, und mit der von oben aufzusetzenden M6-Hutmutter wird der Ringkern-Netztransformator befestigt.

Der Transformator ist so auszurichten, dass er sich mittig zwischen den Übertragern befindet und die Kabeldurchführung abgedeckt ist.

Das verbleibende Schutzleiterkabel (Nr. 36) wird dann einseitig an die Lötöse unter der Trafoschraube angelötet und auf der anderen Seite in eine der mittleren Bohrungen des Masseanschlussbleches eingelötet. Das direkt neben der Trafoschraube aufzuklebende Schutzleitersymbol kennzeichnet auch diesen Punkt entsprechend.

Vor dem nun folgenden Einbau der Netzteilplatine müssen die Anschlussleitungen des Transformators entsprechend verlegt werden, um die spätere Verdrahtung zu erleichtern. Die Zuordnung der Leitungen zu den einzelnen Anschlusspunkten ist in Tabelle 3 angegeben. Die Anschlussleitungen der Wicklungen sind in angegebener Reihenfolge (von links nach rechts) aus dem Trafo herausgeführt. Die in dieser Tabelle mit „(1)“ bezeichneten Wicklungen sind dem linken Kanal zugeordnet, die mit „(2)“ bezeichneten entsprechend dem rechten. Um ein Vertauschen der Kabelpaare zu verhindern, sollten auch diese

Leitungen gekennzeichnet werden.

Für einen einfachen und problemlosen Anschluss der Trafoleitungen sind die beiden gelben 230V-Primärleitungen zunächst an der Gehäuserückwand hochzubiegen, während die übrigen Leitungen direkt an der Durchführung im Gehäuseoberteil um 90° nach vorne abzuwinkeln sind. Die roten Kabel der 6,3V-Röhrenheizungswicklung werden anschließend direkt am Ende des das Leitungspaar umgebenden Isolierschlauches wieder um 180° zur Rückwand zurückgebogen.

Um den Abstand zwischen den Anschlussleitungen der einzelnen Wicklungen möglichst klein zu halten, sind die entsprechenden Leitungspaare miteinander zu verdrehen. Diese Maßnahme sorgt für eine Minimierung der die Leiter umgebenden magnetischen Felder.

Aufgrund der hohen Heizströme ist diese Präventivmaßnahme bei den Anschlussleitungen der Röhrenheizung besonders wichtig. Die Zuführung der Heizspannung zur Signalplatine erfolgt über je eine schwarze Trafoanschlussleitung ((1) bzw. (2)) und den angefertigten Verbindungsleitungen (Nr. 3 und Nr. 4), die später zwischen den Punkten ST x15 auf der Netzteilplatine und ST x16 auf der Signalplatine anzulöten sind. Um die aus den Heizströmen resultierenden Felder zu minimieren, sind hier die schwarzen 6,3V-Trafoleitungen und die zugehörigen Verbindungsleitungen Nr. 3 bzw. Nr. 4 zu verdrehen. Die Rückführung des zweiten Wicklungsendes von der Signalplatine des linken Kanals zur Netzteilplatine über die Lötstützpunkte ST 3 und ST 4 führt zwar keine großen Ströme, sollte aber trotzdem mit den Heizspannungsleitungen verdreht werden. Zum Verdrehen dieser Leitungen werden die zusammengehörigen Kabel (Trafo schwarz (1), Kabel Nr. 3 und Nr. 5, bzw. Trafo schwarz (2) und Kabel Nr. 4) jeweils am Ende der Trafoleitung zusammengehalten und bis zum Trafo hin miteinander verdreht. Die freien Enden der konfektionierten Leitungen (Nr. 3, Nr. 4 und Nr. 5) sind anschließend auch an der Rückwand des Gehäuses hochzubiegen.

Sind die Leitungen soweit positioniert, beginnen wir mit der Montage der Netzteilplatine. Bevor die Platine montiert wird, muss der Kabelbinder, der später die beiden Primär-Trafoleitungen in ihrer Lage fixiert, so durch die zugehörigen Bohrungen vor ST 1 und ST 2 gesteckt werden, dass die Enden des Kabelbinders auf der Bestückungsseite herausragen. Die Netzteilplatine, ist so zu positionieren, dass sich die Netzanschlussklemmen hinten befinden. Anschließend wird die Platine mit je einer M4-Mutter und unterlegter Fächerscheibe festgeschraubt.

Bei der nun folgenden Verdrahtung der

Netzteilplatine ist besonders sorgfältig vorzugehen, da die im Netzteil einer Röhrenschaltung erzeugten Spannungen einige hundert Volt betragen. Ein Verdrahtungsfehler kann hier großen Schaden anrichten. Vor allem ist es wichtig, dass die Leitungsenden vor dem Verlöten durch Umbiegen in der Lötöse zusätzlichen mechanischen Halt bekommen. Im ersten Schritt werden wir die Verdrahtung der Zuleitung für die Röhrenheizung beschreiben. Hierzu sind die roten Leitungen ((1) und (2) vom Trafo kommend) an die entsprechenden Lötösen ST x13 anzulöten. Nachdem dann die schwarze 0,75mm²-Leitung (Nr. 5) an ST 4 befestigt wurde, sind die beiden Kabel Nr. 3 und Nr. 4, die die abgesicherten Heizspannungen zu den Signalplatinen führen, an die Lötstützpunkte ST x15 anzulöten.

Danach können die übrigen Wicklungsanschlüsse an die in Tabelle 3 bezeichneten Lötösen angelötet werden. Die beiden gelben Leitungen der Primärwicklung sind nach dem Anlöten durch den bereits in die Platinenbohrungen eingesetzten Kabelbinder zu fixieren.

Im Anschluss daran ist die Schutzleiterverbindung herzustellen. Dazu wird auf dem kurzen grün-gelben Schutzleiter (Nr. 2) eine Aderendhülse aufgequetscht und diese Leitung anschließend in die rechte Klemme von KL 2 eingeschraubt. Weiterhin muss die lange Schutzleiterleitung (Nr. 1) in die mittlere Bohrung des Masseanschlussbleches eingelötet werden.

Nachdem die Netzteilplatine montiert ist, folgt der Einbau der Signalplatine. Vorher sind auch hier noch einige Vorbereitungen notwendig:

Um bei der späteren ersten Inbetriebnahme schon eine gewisse grobe Voreinstellung zu haben, sollten sich alle Trimmer in Mittelstellung befinden. Diese sind für den späteren Abgleich zwar bei eingebauter Platine zugänglich, die Stellung der Trimmer ist dann aber nur schwer erkennbar. Weiterhin sind die Heizspannungszuleitungen direkt an der Netzteilplatine um 90° nach unten abzuwinkeln.

Sind diese Vorbereitungen getroffen, so kann mit der endgültigen Montage begonnen werden. Die Signalplatine muss dabei so positioniert werden, dass sich die Röhren-

sockel mittig unter den Aussparungen für die Röhren im Gehäuseoberteil befinden. Die Befestigung erfolgt dann mit je einer M4-Mutter und unterlegter Zahnscheibe.

Im nächsten Arbeitsschritt ist die Verdrahtung der Signalplatinen fertigzustellen. Dazu wird zuerst die Heizspannungsversorgung durch das Anlöten der entsprechenden Anschlussleitungen an die Lötstützpunkte ST x16 und ST x14 und die Rückführung an ST 3 hergestellt.

Um die weitere Verdrahtung vornehmen zu können, müssen zuvor die beiden Ausgangsübertrager eingebaut werden. Diese sensiblen Komponenten haben einen wesentlichen Einfluss auf die erreichbaren technischen Daten einer Röhrenendstufe. Durch den Einsatz minderwertiger Ausgangsübertrager lassen sich die technischen Daten eines Röhrenverstärkers beliebig verschlechtern. Daher sind wir bei der Auswahl dieser zentralen Komponente keine Kompromisse eingegangen und setzen im ELV-RV-100 einen besonders hochwertigen Übertragertyp aus deutscher Fertigung ein.

Die Übertrager sind so zu positionieren, dass die Lautsprecheranschlüsse, die auf dem Übertrager mit den Klemmen 12, 14 und 16, bzw. mit „0“, „4 Ω“ und „8 Ω“ bezeichnet sind, jeweils nach außen, d. h. zu den Seitenteilen weisen. Die Befestigung der Übertrager erfolgt dann mit je 4 Schrauben M5 x 45 mm und unterlegter Zahnscheibe, die von der Gehäuseinnenseite durch die entsprechenden Bohrungen im Übertrager und im Gehäuseoberteil zu stecken sind. Als Abstandshalter zwischen Gehäuseoberteil und Übertragerkern dienen die M5-Kunststoff-Unterlegscheiben, von denen jeweils eine über jede M5-Befestigungsschraube zu setzen ist. Auf der Gehäuseoberseite werden dann die lackierten Abdeckhauben über den Aussparungen positioniert. Mit dem Aufschrauben der M5-Hutmutter auf die durchgesteckten Schraubenköpfe sind die Übertrager anschließend endgültig zu befestigen.

Damit ist der Einbau der Komponenten abgeschlossen, und wir wenden uns nun den verbleibenden Verdrahtungsarbeiten zu. Hier beginnen wir mit dem Anschluss der primärseitigen Wicklungen, d. h. den Verbindungen vom Übertrager zu den Endstufenröhren.

Tabelle 3: Zuordnung der Trafo-Anschlussleitungen zu den Lötstützpunkten

Wicklung	Leitungsfarbe	Lötstützpunkt
230V primär	gelb/gelb	ST 1/ST 2
6,3V sekundär (2)	schwarz/rot	ST 214/ST 213
6,3V sekundär (1)	schwarz/rot	ST 114/ST 113
350V sekundär (2)	blau/grün	ST 210/ST 209
350V sekundär (1)	blau/grün	ST 110/ST 109
50V sekundär (1)	weiß/violett	ST 112/ST 111
50V sekundär (2)	weiß/violett	ST 212/ST 211

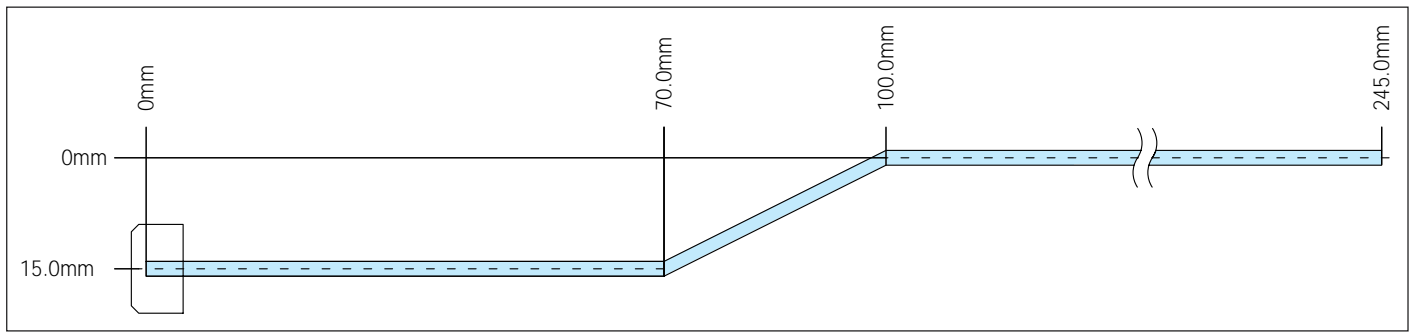


Bild 8: Schubstange des Netzschalters

Im ersten Schritt werden die Anoden der Endstufenröhren verdrahtet. Für die linke Endstufenseite sind dazu das rote $0,75\text{mm}^2$ -Kabel Nr. 6 für die Verbindung der Anode RO 102 vom Röhrensockel Pin 3 zum Übertrager AU 100 Pin 2 (mit „A1“ bezeichnet) und das Kabel Nr. 7 für den Anschluss der Anode RO 103 Pin 3 an AU 100 Pin 8 („A2“) zu verwenden. Anschließend werden die Anoden des rechten Stereokanals entsprechend mit den Leitungen Nr. 8 (RO 202 Pin 3 an AU 200 Pin 2 „A1“) und Nr. 9 (RO 203 Pin 3 an AU 200 Pin 8 „A2“) verdrahtet. Beim Anlöten der Anodenleitungen an die Röhrensockel ist unbedingt auf einen ausreichenden Abstand zu benachbarten Pins zu achten.

Da die Schirmgitter der Endstufenröhren über die Widerstände R x26 und R x27 an die Übertrager angeschlossen sind, erfolgt die Verbindung dieser Röhrenanschlüsse mit den Anzapfungen der Übertragerwicklungen über die Lötstifte ST x04 bzw. ST x05. Hierfür sind die blauen Leitungen Nr. 10 (ST 104 an AU 100 Pin 3 „SG1“), Nr. 11 (ST 105 an AU 100 Pin 7 „SG2“), Nr. 12 (ST 204 an AU 200 Pin 3 „SG1“) und Nr. 13 (ST 205 an AU 200 Pin 7 „SG2“) zu verwenden.

Da nun die primären Wicklungen verdrahtet sind, kann mit dem Anschluss der Lautsprecherbuchsen an die Sekundärwicklungen der Ausgangsübertrager begonnen werden. Einigen HiFi-Puristen wird der hier verwendete Leitungsquerschnitt von $1,5\text{mm}^2$ zu klein erscheinen, dieser Querschnitt bringt jedoch keine Nachteile durch Einbußen in der Klangqualität und durch Leistungsverluste mit sich, da diese Phänomene bei den verwendeten Kabellängen noch keine Relevanz besitzen. Zur Verdrahtung sind die zu verwendenden Leitungen Nr. 14 bis Nr. 19 zuerst an die Lötösen der in der Rückwand eingeschraubten Lautsprecherterminals anzulöten, bevor sie an die zugehörigen Ausgangspins der Übertrager angeschlossen werden.

Die Verbindung der 8Ω -Ausgänge erfolgt mit den Kabeln Nr. 14 und Nr. 17, wobei die jeweils äußere Lautsprecherklemme („ 8Ω “) mit dem zugehörigen Übertrageranschluss AU x00 Pin 16 („ 8Ω “) verbunden wird. Der Anschluss der mittlere

ren 4Ω -Ausgänge erfolgt in gleicher Weise an die entsprechenden Übertragerpins (Pin 14, „ 4Ω “) über die Leitungen Nr. 15 und Nr. 18. Der für den 4Ω - und 8Ω -Ausgang gemeinsame Massekontakt wird mit dem Verbinden der inneren schwarzen Lautsprecherterminals und dem jeweiligen Übertragerpin 12 („0“) mit Hilfe der Leitungen Nr. 16 und Nr. 19 hergestellt.

Im nächsten Arbeitsschritt ist die Gegenkopplung, die das Ausgangssignal vom jeweiligen 8Ω -Ausgang auf den Eingangverstärker RO x00 zurückkoppelt, herzustellen. Da die Ausgangsseite des Übertragers relativ niederohmig ist, kann hier auf die Verwendung von abgeschirmten Leitungen zur Signallückkopplung verzichtet werden. Die Leitungen Nr. 20 und Nr. 21, die den jeweiligen 8Ω -Ausgang (Pin 16) der Ausgangsübertrager an den zugehörigen Rückkoppelungseingang ST x07 anbinden, sind hierzu zu verwenden.

Für die Zuführung der empfindlichen NF-Eingangssignale von den hochwertigen vergoldeten Cinch-Eingangsbuchsen zu den Signalplatinen ist es zwingend erforderlich, eine gute Abschirmung, vor allem gegenüber den 50Hz -Wechselfeldern des Netzteiles, sicherzustellen. Um sehr gute Schirmungswerte zu erzielen, kommt hier die aus der Hochfrequenztechnik bekannte Koaxialleitung vom Typ RG 58 zur Anwendung. Die Verwendung dieses Leitungstyps trägt wesentlich zum Erreichen des guten Geräuschspannungsabstandes des ELV-RV-100 bei.

Um unnötige Signalwege zu vermeiden, wird das NF-Signal, von der Cinch-Eingangsbuchse kommend, auf den Level-Einsteller gegeben und von dort wiederum zur Signalplatine weitergeführt.

Für die nun folgende Verdrahtung sind die RG58-Leitungsstücke entsprechend den in Tabelle 2 angegebenen Werten abzulängen. Die beiden langen Kabel Nr. 22 und Nr. 24 werden auf der an der Buchse anzulötenden Seite auf 20 mm vom äußeren Mantel befreit. Die kurzen Leitungsstücke Nr. 23 und Nr. 25 sind jeweils einseitig auf 10 mm abzuisolieren. Dieses Ende wird später an der Signalplatine angelötet. Die übrigen Enden der Koax-Leitung, die den Anschluss an die Potentiometer herstellen,

werden auf einer Länge von 13 mm abisoliert und die Innenader ist bei allen Leitungen jeweils auf 5 mm abzuisolieren. Um Kurzschlüsse an den Kabelenden zu verhindern, ist die Abschirmung aller Leitungsenden jeweils zu einem Bündel zu verdrehen.

Im ersten Schritt werden die Signalleitungen an den Cinch-Eingangsbuchsen befestigt. Dazu wird zuerst die Innenader der Koaxialleitung an den Mittenkontakt der Buchse angelötet. Alsdann ist die jeweilige Abschirmung durch die äußeren Bohrungen des den Cinch-Buchsen unterlegten Masseanschlussbleches zu führen und sorgfältig zu verlöten. Die Signalleitung wird dann jeweils zu den Seitenteilen hin weggeführt und an diesen entlang zur Frontplatte und zu den Potentiometern verlegt, wo sie anschließend angelötet werden.

Unter der Voraussetzung, dass die Anschlusspins der Potentiometer wie beschrieben zur Mitte zeigen, ist die Innenader der Koaxialleitung des linken Kanals an das obere, d. h. an das zum Gehäuseoberteil gewandte Anschlussbein des Potentiometers anzulöten, während im rechten Stereokanal das untere Anschlussbein zu kontaktieren ist. Die kurzen Kabelstücke sind dann an den mittleren Potentiometeranschlüssen zu befestigen. Alsdann werden die beiden Abschirmungen der Koaxialleitungen an die freien Pins der Potentiometer angelötet. Diese Verdrahtung ist unbedingt so sicherzustellen, da sich sonst der Drehsinn der Level-Einsteller vertauscht.

Mit dem nun folgenden Anschluss der NF-Signalleitungen an die Signalplatine schließen wir die Verdrahtungsarbeiten an den Signalwegen ab. Die Koaxialleitung wird dazu zuerst unter die schon bei den Bestückungsarbeiten an der Signalplatine montierten Zugentlastungsbügel geschoben. Anschließend ist die Abschirmung in die Bohrung ST x00 einzuführen und sorgfältig zu verlöten, die Innenader ist dabei in die Lötöse ST x01 einzuführen und auch zu verlöten. Das Festziehen der Zugentlastung stellt dann den notwendigen mechanische Halt dieser Verbindung sicher.

Im nächsten Arbeitsschritt werden die übrigen Masseverbindungen hergestellt. Der Masseführung kommt bei der Kon-

struktion eines NF-Verstärkers eine zentrale Bedeutung zu. Schon kleinste parasitäre Masseströme auf den Masseverbindungen sorgen für eine gravierende Verschlechterung des Geräuschspannungsabstandes. Alle nun anzuschließenden Masseleitungen im ELV-Röhrenverstärker werden daher am Masseanschlussblech an den Signaleingangsbuchsen zentral zusammengeführt. Hierfür sind die Leitungen Nr. 26 bis Nr. 29 zu verwenden. Die Verbindung von der Netzteilmasse ST x22 zum Masseanschlussblech ist mit den Leitungen Nr. 26 und Nr. 27 herzustellen. Zur Verbindung der Lautsprecher-Massen von den Übertragerpins 12 („0“) zum zentralen Massepunkt dienen die Kabel Nr. 28 und Nr. 29.

Sind auch diese Verbindungen hergestellt, so kann als letzte Verdrahtungsarbeit der Anschluss der Netzteilaustrittsspannungen an die zugehörigen Lötstützpunkte erfolgen. Die Kabel Nr. 30 und Nr. 31, die die Verbindung zwischen den Lötösen ST x23 auf der Netzteilplatine und ST x03 auf der Signalplatine herstellen, sorgen für die Zuführung der negativen Gittervorspannung „-UG1“ der Endstufenröhren.

Die mit den Z-Dioden stabilisierte Anodenspannung der Vor- und Treiberstufe „+U2“ ist durch das Herstellen der Verbindung von ST x18 nach ST x02 mit den Kabeln Nr. 32 und Nr. 33 zuzuführen. Im letzten Verdrahtungsschritt ist für die Zuführung der Anodenspannung der Endstufe zu sorgen. Die mit „+“ gekennzeichneten Anschlüsse (Pin 5) der Übertrager sind dazu über die Leitungen Nr. 34 und Nr. 35 mit den Lötösen ST x17 zu verbinden.

Zum nun folgenden Anschluss der 3adrigen 230V-Netzzuleitung ist diese zuerst auf einer Länge von 35 mm von der äußeren Ummantelung zu befreien. Der braune und blaue Innenleiter sind dann auf 20 mm zu kürzen, bevor alle Leiterenden auf 5 mm abisoliert und jeweils mit einer Aderendhülse versehen werden. Alsdann ist das so vorbereitete Kabelende von außen durch die bereits in der Rückwand eingesetzte Kabeldurchführung mit Knickschutztülle und unter den auf der Platine befindlichen Zugentlastungsbügel zu führen. Dabei werden die einzelnen Adern der Leitung in die zugehörigen Klemmen der Schraubklemmleisten KL 1 und KL 2 eingeführt (schwarz in „L1“, blau in „N“, grün-gelb in „PE“) und festgeschraubt. Das Netzkabel ist dann soweit unter den Bügel der Zugentlastung zuschieben, dass der äußere Kabelmantel auf der Klemmenseite ca. 2 mm herausragt. Durch das Festziehen des Zugentlastungsbügels auf der Platine und der Knickschutztülle in der Rückwand wird die Netzzuleitung in ihrer Position fixiert.

Im nächsten Arbeitsschritt wird die Schubstange des Netzschalters angefertigt. Dazu ist die Verlängerungsachse auf

250 mm zu kürzen, entsprechend der Abbildung 8 zu biegen und dann durch das Überziehen des 235 mm langen Gewebeschlauches zu isolieren. Nach dem Aufsetzen der Tastkappe auf der einen und des Adapterstückes auf der anderen Seite der Schubstange, die beide mit einem Tropfen Sekundenkleber befestigt werden, wird diese vorgefertigte Einheit dann mit dem Adapterstück auf dem Netzschalter eingearastet, wobei die Tastkappe durch die mit „Power“ bezeichnete Öffnung in der Frontplatte zu schieben ist. Auch hier ist das Adapterstück mit Sekundenkleber auf dem Netzschalter zu befestigen.

Mit Hilfe der Kabelbinder ist im folgenden die Verdrahtung zu bündeln. Mit je 2 Kabelbindern sind dazu die Lautsprecherleitungen der einzelnen Stereokanäle zu verschnüren. Weiterhin werden je 2 Kabelbinder für die Bündelung der Anoden- und Gitterleitungen zwischen Übertrager und Endstufenröhren benötigt, während für die Fixierung der Spannungszuführungen zwischen Netzteil und Signalplatine ein Kabelbinder ausreicht. Nach der Befestigung der Koaxialleitung und der Rückkopplung an der am Gehäuseoberteil angeschraubten Kabelbinderschellen, gibt auch die Innenansicht der High-End-Röhrenendstufe RV-100 einen professionellen Eindruck ab.

Somit ist der Aufbau abgeschlossen, und wir wenden uns im folgenden der Inbetriebnahme und dem Abgleich zu, wobei die korrekte Verdrahtung vorher unbedingt nochmals kontrolliert werden sollte. An dieser Stelle kann jetzt der weniger erfahrene Elektroniker oder derjenige, der nicht die erforderlichen Messmöglichkeiten besitzt, sein Gerät für einen optimierten Abgleich an die ELV-Serviceabteilung einschicken und die aufwendige Abgleichprozedur von erfahrenen Technikern durchführen lassen, oder er bittet einen entsprechend ausgebildeten Bekannten, der auch die entsprechenden Messgeräte zur Verfügung haben muss, die Inbetriebnahme und den Abgleich durchzuführen.

Abgleich-Allgemeines

Der erfahrene Elektroniker, der den Abgleich seiner Röhrenendstufe selbst durchführen möchte und über die entsprechenden Messmöglichkeiten verfügt, findet im folgenden eine detaillierte Abgleichanweisung. Wer Inbetriebnahme und Abgleich seines fertig aufgebauten und geprüften Verstärkers den Technikern der ELV-Serviceabteilung überlässt, kann diesen Artikel als informellen Anhang zum Nachbau betrachten und die einzelnen Abgleichschritte zumindest theoretisch verfolgen.

Wir werden Inbetriebnahme und Abgleich

sowie die spätere Betrachtung der technischen Daten nur am 8Ω-Ausgang durchführen, da nahezu alle Lautsprecher für den Heimbereich diese Impedanz aufweisen.

Die technischen Daten am 4Ω-Ausgang sind weitgehend identisch und weisen nur in einigen wenigen Parametern Unterschiede auf, hervorgerufen durch den höheren Stromfluss in den Ausgangswicklungen. Diese eher theoretische Betrachtung sei für die Spezialisten von High-End-Röhrenverstärkern angemerkt.

Bevor wir uns im folgenden der ersten Inbetriebnahme zuwenden, sollte die korrekte Verdrahtung nochmals geprüft werden. Vor allem bei den Verbindungen zwischen Ausgangsübertrager und Endstufenröhren sollte die Zuordnung Übertragerpin – Endstufenröhre genau geprüft werden.

Achtung! Aufgrund der im Gerät geführten Netzspannung dürfen Aufbau und Inbetriebnahme ausschließlich von Fachkräften durchgeführt werden, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind. Die einschlägigen Sicherheits- und VDE-Bestimmungen sind unbedingt zu beachten. Insbesondere ist es bei der Inbetriebnahme zwingend erforderlich, zur sicheren galvanischen Trennung einen entsprechenden Netz-Trenntransformator vorzuschalten.

An dieser Stelle weisen wir nochmals nachdrücklich auf die Gefahr hin, die beim geöffneten Gerät durch berührbare lebensgefährliche Netz- und Versorgungsspannung besteht.

Inbetriebnahme und Abgleich

Die erste Inbetriebnahme der High-End-Röhrenendstufe ELV-RV-100 erfolgt zunächst ohne eingesetzte Röhren. Das Gerät wird dabei wie beim Einbau der Komponenten ins Grundchassis auf die linke Gehäuseseite gestellt und gegen Umkippen gesichert. Nach dem Einschalten des Röhrenverstärkers werden zunächst alle Betriebsspannungen kontrolliert. Hierbei ist besondere Vorsicht geboten, da in der Röhrenendstufe mit Spannungen bis zu 500 V gearbeitet wird.

Als wichtige Referenzpunkte sind folgende Spannungen im Netzteil zu prüfen: die Anodenspannungen „+U1“ (≈ 505 V) an den Punkten ST x17, die Anodenspannungen „+U2“ (≈ 260 V) an ST x18 sowie die negative Gittervorspannung „-UG1“ an ST x23. Letztere wird mit Hilfe der Trimmer R x34 auf ca. -44 V voreingestellt. Alsdann sind die Spannungen an den Röhrensockeln zu überprüfen. An den Anodenanschlüssen Pin 3 der Endstufenröhren RO x02 und RO x03 muss in diesem Leerlauf die volle Anodenspannung anstehen, genauso wie an den Schirmgitteranschlüssen Pin 4 der gleiche Wert zu messen sein muss. An den Steuergitter-

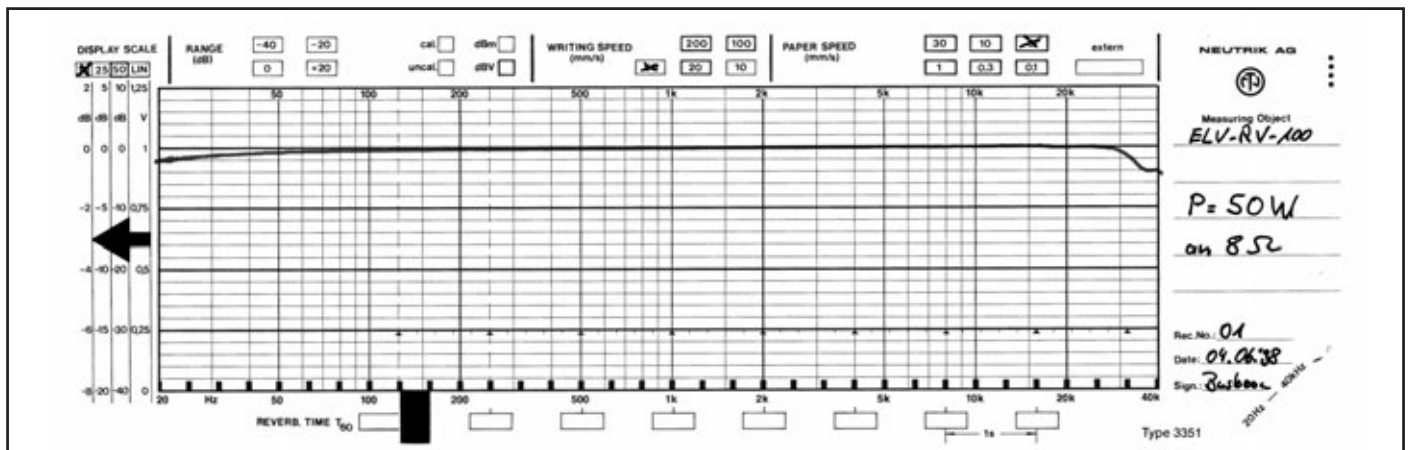


Bild 9: Typischer Frequenzgang eines ELV-RV-100 bei 50 W Ausgangsleistung.

kontakten Pin 5 stellt sich aufgrund des Spannungsteilers aus R x22 und R x18 eine Spannung von etwa -40 V ein.

Nach der Kontrolle der Anodenspannungen der Vor- und Treiberstufe RO x00 bzw. RO x01, die an Pin 1 und Pin 6 der jeweiligen Röhre eine Spannung von ca. 260 V ergeben soll, wird zuletzt die Heizspannung an den Röhren geprüft. Da es sich hier um eine Wechselstromheizung in Parallelschaltung handelt, muss die Spannung an allen Röhrensockeln geprüft werden, wobei zu beachten ist, dass das verwendete Messgerät auf den AC-Messbereich umzuschalten ist. Stehen alle Spannungen ordnungsgemäß an, so kann mit der eigentlichen Inbetriebnahme begonnen werden.

Dazu wird die Röhrenendstufe ausgeschaltet und vom Netz getrennt. Um Sicherheitsrisiken zu vermeiden, muss mit dem Einsetzen der Röhren solange gewartet werden, bis die Anodenspannungen an den Punkten ST x17 kleiner 34 V sind (mit einem Spannungsmessgerät kontrollieren!). Da wir nicht beide Stereokanäle gleichzeitig in Betrieb nehmen werden, sind zunächst nur die Röhren der linken Endstufenseite zu bestücken. Beim Einsetzen der beiden Leistungsröhren RO 102 und RO 103 (Typ ELV E34L) gibt die Führungsnut im Sockel die richtige Einbauposition vor. Die Novalsockel der Vor- und Treiberstufe sind unsymmetrisch und verhindern so eine falsche Einbaulage dieser Röhren. Die Treiberstufenröhre RO 101 vom Typ ECC 82 wird in den äußeren Sockel eingesetzt, folglich ist die Vorstufenröhre RO 100 vom Typ ECC 81 in den mittleren Sockel einzustecken.

Um auch bei der Inbetriebnahme einen ausreichenden Berührungsschutz gegenüber den heißen Röhren sicherzustellen, ist die Röhrenabdeckhaube unbedingt zu montieren.

Zum Abgleich ist es weiterhin unbedingt erforderlich, die Ein- und Ausgänge einer Endstufe mit entsprechenden normgerechten Impedanzen abzuschließen. Der einfach herzustellende Abschlussstecker

für den NF-Eingang, bestehend aus einem Cinchstecker mit 680Ω-Widerstand, bietet die Möglichkeit, den Abschluss später schnell und ohne weitere Lötarbeiten wechseln zu können.

Die korrekte Beschaltung des Ausganges ist etwas aufwendiger, da hier zwei 8Ω-Widerstände mit einer Belastbarkeit von mindestens 50 W (!) benötigt werden. Von der Verwendung eines Lautsprechers als Last muss abgeraten werden, da es hier zum Mikrofonie-Effekt kommt, d. h. der Lautsprecher wirkt als Mikrofon und die Schallereignisse im Raum sind an den Lautsprecherausgängen messbar. Eine ausreichend gute 8Ω-Last lässt sich durch die Vorschaltung mehrerer handelsüblicher Hochlastwiderstände erreichen.

Eine Röhrenendstufe darf nie ohne Lastwiderstand betrieben werden, da durch die fehlende Entmagnetisierung Spannungen am Übertrager entstehen können, die zu Überschlägen im Übertrager und in den Endstufenröhren führen. Daher ist vor dem Einschalten der Röhrenendstufe stets die ordnungsgemäße Anschaltung der Lautsprecherlast zu prüfen. Sind Ein- und Ausgänge der Röhrenendstufe entsprechend beschaltet und die Pegelregler R x00 auf Linksanschlag, so kann mit der Inbetriebnahme fortgefahren werden.

Zur groben Voreinstellung wird zunächst das Ausgangssignal am Lautsprecherausgang mit dem Oszilloskop überwacht und der Anodenstrom als Spannungsabfall über den beiden Katodenwiderständen R 124 und R 125 gemessen. Die High-End-Röhrenendstufe kann dann zum ersten Mal mit Röhrenbestückung eingeschaltet werden.

Nach einer kurzen Aufwärmzeit von ca. einer Minute stabilisiert sich der Anodenstrom, wobei am Lautsprecherausgang zunächst nur ein Rauschsignal (evtl. mit einem überlagerten 100Hz-Brummen) sichtbar ist. Ist auf dem Oszilloskop ein Ausgangssignal mit beachtlicher Amplitude zu erkennen, so deutet dies auf das Schwingen der Endstufe hin aufgrund eines Fehlers in der Gegenkopplung. Der Verstärker

ist sofort auszuschalten, vom Netz zu trennen, und etwaige Verdrahtungsfehler sind zu beheben.

Ist am Lautsprecherausgang kein Schwingen mehr messbar, wird der Vorabgleich mit der groben Einstellung des Ruhestromes fortgesetzt. Durch die wechselseitige Einstellung von R 134 und R 122 ist dazu der Spannungsabfall über R 124 und R 125 auf 600 mV einzustellen. Zum Abgleich darf aus sicherheitstechnischen Gründen nur ein nichtleitender Abgleichschraubendreher verwendet werden.

Um die nun folgende Einstellung der Gesamtverstärkung vornehmen zu können, wird am NF-Eingang der Abschlussstecker entfernt und ein 1kHz-Bezugssignal mit einem Pegel von 775 mV, entsprechend 0dBm at 600Ω, eingespeist. Über die Veränderung der Gegenkopplung mit Hilfe des Trimmers R 106 wird die Verstärkung und damit der maximale Ausgangssignalpegel bei gegebenem Eingangsbezugssignal eingestellt. Zum Abgleich ist der Pegelregler auf Maximum zu bringen und der Ausgangspegel mit R 106 auf 57 VSS einzustellen, dies entspricht einer abgegebenen Leistung von 50 W. Über die Formel

$$P = \frac{U_{ss}^2}{8 \cdot R_L}$$

lässt sich die an die Last abgegebene Leistung einfach berechnen.

Da neue Röhren eine gewisse Einlaufzeit benötigen, bis sich ihre Daten stabilisiert haben, ist es ratsam, die Endstufe jetzt ca. 30 Minuten bei halber Vollaussteuerung „einlaufen“ zu lassen.

Nach den groben Voreinstellungen und dem kleinen „burn in“ werden wir jetzt den exakten Abgleich der Röhrenendstufe durchführen. Dazu ist der Röhrenverstärker auszuschalten, vom Netz zu trennen, und die NF-Eingänge werden wieder mit den Abschlusssteckern versehen.

Für die exakte Einstellung des Arbeitspunktes der Endstufe ist es notwendig, den Anodenstrom der jeweiligen Röhre zu

messen. Dazu sind pro Kanal zwei identische Strommessgeräte mit einem 400mA-Messbereich notwendig, die in die Anodenleitung vom Übertrager zur Röhre eingeschleift werden. Auch hier ist solange zu warten, bis die Anodenspannungen an den Punkten ST x17 kleiner 34 V sind (mit einem Spannungsmessgerät kontrollieren!) bevor mit den Arbeiten begonnen wird.

Am einfachsten geschieht dies durch das Ablöten der Anschlussleitungen „A1“ und „A2“ am Übertrager. Die Messleitungen sind dabei am Einschleifpunkt direkt wieder anzulöten und entsprechend mit Isolierschlauch zu isolieren. Hierbei ist besondere Vorsicht geboten, da die Anodenspannung der Endstufenröhren direkt an den Messleitungen und -buchsen des Messgerätes anliegt. Daher dürfen hier nur entsprechend isolierte Messleitungen Anwendung finden.

Nach dem Einschalten des Verstärkers sollte wiederum eine kurze Aufwärmphase abgewartet werden. Dann ist mit den Trimmern R 134 und R 122, mit denen sich die Steuergitterspannungen der Endstufenröhren beeinflussen lassen, der Anodenstrom auf 52 mA pro Röhre einzustellen. Die Strommessgeräte werden anschließend wieder unter Beachtung obiger Sicherheitshinweise (ausschalten, vom Netz trennen, Anodenspannung <34 V) aus den Anodenkreisen entfernt.

Nachdem der Ruhestrom der Endstufe soweit eingestellt ist, werden wir im folgenden die Störsignale am Lautsprecher Ausgang minimieren. Hierzu wird der Pegelinsteller auf Maximum gebracht und das Ausgangssignal am Oszilloskop so weit wie möglich aufgelöst (Einstellung auf größte Empfindlichkeit). Es lassen sich dann Störsignale, meist in Form von 100Hz-Brummsignalen, mit einer Amplitude von einigen Millivolt erkennen. Durch leichtes Verändern der Endstufensymmetrie mit Hilfe von R 122 lassen sich diese Störspannungen minimieren.

Im nächsten Abgleichschritt werden wir die symmetrische Ansteuerung der End-

stufenröhren sicherstellen. Mit dem Trimmer R 109 in der Phasenumkehrstufe lassen sich die gegenphasigen Ansteuerersignale für die jeweilige Endstufenröhre exakt aufeinander abstimmen. Für diesen Abgleich verwenden wir eine Klirrfaktormessbrücke, da eine unsymmetrische Aussteuerung eine nichtlineare Verzerrung darstellt und somit einen mehr oder weniger großen Klirrfaktor zur Folge hat.

Mit Hilfe des Trimmers R 109 ist der Klirrfaktor unter Vollastbedingungen auf Minimum abzugleichen. Mit dieser letzten Einstellung ist der Abgleich des linken Stereokanals abgeschlossen, und wir wenden uns dem rechten Kanal zu. Hier sind alle Abgleichschritte unter gleicher Vorgehensweise wie oben beschrieben durchzuführen, mit der einzigen Änderung, dass die Abgleich- und Messpunkte mit einer 2 in der Referenzbezeichnung beginnen (z. B. R 209 zur Klirrfaktoreinstellung). Ist auch die rechte Endstufenseite auf gleiche Weise exakt abgeglichen, kann mit der Gehäuseendmontage fortgefahren werden.

Wer großen Wert auf einen ganz exakten Abgleich der Röhrenendstufe legt, sollte nach etwa 20 Betriebsstunden die Abgleichprozedur mit der Einstellung der Ruhestrome, der Endstufensymmetrierung und der Minimierung des Klirrfaktors wiederholen. Nach dieser Betriebszeit kann davon ausgegangen werden, dass die Röhren ihre endgültigen technischen Daten erreicht haben und sich die grundlegenden Röhrenparameter nicht mehr gravierend ändern.

Gehäuseendmontage

Vor der nun folgenden Gehäuseendmontage mit dem Anbringen der Bodenplatte und der Röhrenabdeckhaube muss die Röhrenendstufe ausgeschaltet und vom Netz getrennt werden. Bevor im ersten Arbeitsschritt das Gehäuse mit dem Anschrauben der Bodenplatte geschlossen wird, sollten alle Schrauben nochmals auf ihren festen Sitz hin überprüft werden. Weiterhin müssen die Gehäusefüße befestigt werden.

Diese sind in den Ecken des Bodenblechs in einem Abstand von 1,5 cm von den Seiten aufzukleben. Alsdann wird das Bodenblech aufgesetzt und mit den acht Senkkopfschrauben M3 x 10 mm festgeschraubt.

Zum Abschluss der Aufbauarbeiten muss nun noch die Röhrenabdeckhaube angebracht werden. Diese wird so aufgesetzt, dass die vier aus dem polierten Gehäuseoberteil herausragenden Schrauben in die Bohrungen der Befestigungsglaschen an der Abdeckhaube einpassen. Anschließend wird an jeder Seite eine Abdeckleiste aufgelegt, die dann mit vier M3-Hutmuttern festgeschraubt wird und so die Röhrenabdeckhaube in ihrer Lage fixiert. Damit ist der Nachbau der Röhrenendstufe abgeschlossen, und wir beschäftigen uns im folgenden mit den technischen Daten des ELV-RV-100.

Technische Daten

Für die genaue Beschreibung einer Leistungsendstufe gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen technischen Daten, die alle dem Zweck dienen, den Klang des Verstärkers mit Hilfe von angegebenen Zahlenwerten so gut wie möglich zu charakterisieren. Die Beschreibung eines Klangeindrucks ist aber ein rein subjektives Empfinden des Hörers. Die meisten Angaben in den technischen Daten lassen sich bei einer Hörprobe höchstens im direkten Vergleich zweier unterschiedlicher Verstärker heraushören. So gibt es nur wenige technische Daten, die direkt hörbar und sofort als gut oder schlecht bewertbar sind. Zu diesen Werten gehört sicherlich der Frequenzgang, der auch mit relativ einfachen Mitteln ermittelt werden kann.

Frequenzgang

Bei einem Röhrenverstärker beeinflusst der Ausgangsübertrager maßgeblich den Frequenzgang, und nur durch den Einsatz eines hochwertigen Übertragers lässt sich ein möglichst geradliniger Verlauf erreichen. In den Abbildungen 9 bis 12 sind die

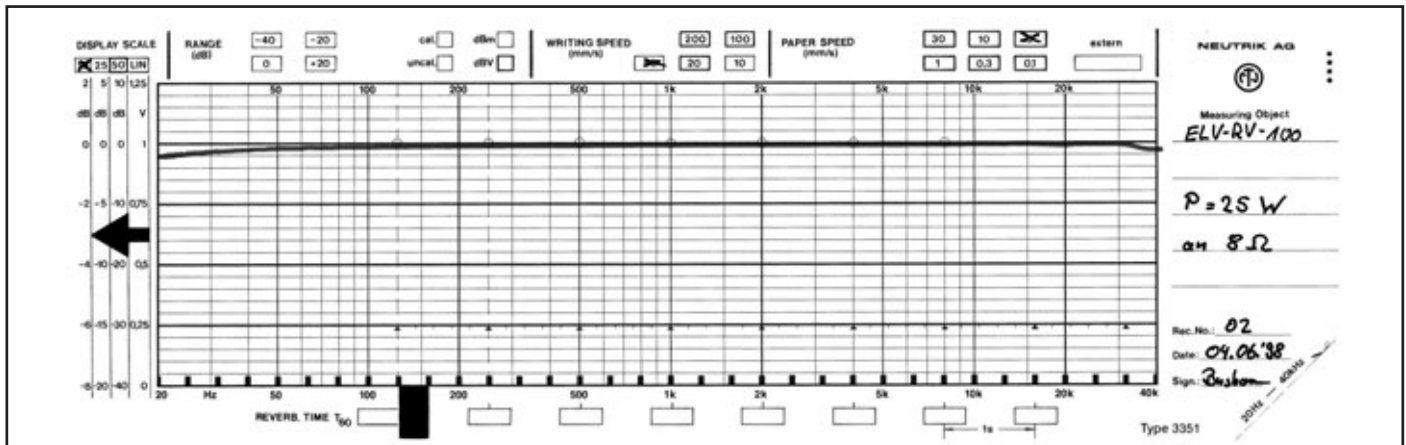


Bild 10: Typischer Frequenzgang eines ELV-RV-100 bei 25 W Ausgangsleistung.

Tabelle 4: Typischer Klirrfaktor unter verschiedenen Lastbedingungen

Meßfrequenz:	Klirrfaktor in %	
	400 Hz	1 kHz
50 W Ausgangsleistung	0,19	0,21
25 W Ausgangsleistung	0,12	0,13
10 W Ausgangsleistung	0,10	0,10

typischen Frequenzgänge der ELV-Röhrenendstufe RV-100 bei unterschiedlichen Ausgangsleistungen dargestellt. Für die Y-Achse-Teilung gilt dabei der 10dB-Messbereich, d. h. 0,4 dB pro Teilung. Es ist zu erkennen, dass sich selbst unter Vollastbedingungen erst ab etwa 35 kHz eine Absenkung von nur -0,9 dB im Frequenzgang ergibt. Bei kleineren Ausgangsleistungen zeigt sich nur ein Abfall von 0,1 dB bis 0,2 dB im Bereich ab 35 kHz.

Auch im unteren NF-Signalebereich von 20 Hz bis 50 Hz besitzt der Röhrenverstärker nur eine geringe Abweichung von max. -0,4 dB vom Idealverlauf. Bei diesen Betrachtungen muss man sich vor Augen halten, dass sich übliche Angaben zum Übertragungsbereich eines Systems auf die 3dB-Frequenzen beziehen, d. h. es wird der Frequenzbereich angegeben, bei dem das Ausgangssignal um 3 dB abgesunken ist. Beim ELV-RV-100 liegt die obere Grenzfrequenz bei $f > 100$ kHz (typ.), während als untere Übertragungsgrenze $f = 20$ Hz einzuhalten ist, da es unterhalb dieser „Grenzfrequenz“ zu üblichen Sättigungseffekten in den Übertragern kommt.

Die ausgesprochen gute Linearität des ELV-RV-100 über den gesamten Hörbereich ist eine entscheidende Voraussetzung für einen guten Klangeindruck. Neben diesen linearen Verzerrungen wirken sich vor allem die nichtlinearen Verzerrungen eines Verstärkers auf das Klangbild aus.

Klirrfaktor

Diese nichtlinearen Verzerrungen, besser unter dem Ausdruck „Klirrfaktor“ bekannt, treten immer dann auf, wenn in einem Übertragungsweg Bauteile mit gekrümmten Kennlinien, wie z. B. Transisto-

ren, Röhren, Übertrager usw., vorhanden sind. Steuert man eine solche Kennlinie mit einer reinen Sinusschwingung an, so ist das Ausgangssignal nicht mehr sinusförmig, sondern es treten Verzerrungen der Idealform auf. Dieses verzerrte Signal lässt sich

dann theoretisch in eine Fourierreihe zerlegen, die die spektrale Verteilung beschreibt. Es zeigt sich, dass an der gekrümmten Kennlinie zusätzliche Frequenzen entstehen. Hierbei handelt es sich um harmonische Oberschwingungen zur Grundschwingung. Diese Oberschwingungen rufen dann das störende „Klirren“ des Tones hervor. Der für die Beschreibung dieses Phänomens eingeführte Begriff „Klirrfaktor“ ist das Verhältnis vom Effektivwert aller Oberschwingungen zum Effektivwert des Gesamtsignals in Prozent ausgedrückt. Die mathematische Definition gibt folgende Formel wieder:

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{(n \cdot f_0)}^2}}{\sqrt{\sum_{m=1}^{\infty} U_{(m \cdot f_0)}^2}} \cdot 100\%$$

Über die Hörbarkeit des Klirrfaktors lässt sich auch hier streiten. Im allgemeinen geht man davon aus, dass ein Klirrfaktor von $k \geq 0,8$ % hörbar ist, wobei diese Wahrnehmungsgrenze von der Signalfrequenz abhängt. Ein Klirrfaktor unterhalb dieses Wertes lässt sich meist nur noch im direkten Vergleich zum unverzerrten Original erkennen. Sicherlich gibt es auch hier Profis, die selbst kleinste Verzerrungen noch wahrnehmen, für den „normalsterblichen“ Hörer ist diese Grenze zum Hörbaren wohl realistisch. Die Klirrfaktormessungen an unserem Röhrenverstärker haben die in Tabelle 4 dargestellten Werte ergeben, die für einen Röhrenverstärker exzellent sind.

Störspannungsabstand

Weitere wichtige technische Daten be-

ziehen sich auf verschiedene Störsignale. Hierbei ist der Störspannungsabstand sicherlich die wichtigste Größe. Jeder Verstärker fügt dem Nutzsignal mehr oder weniger Brumm- und Rauschteile hinzu. Bei großen Nutzpegeln, d. h. bei großen Lautstärken wirken sich die Störungen in Form von Brummen und Rauschen kaum aus, da sie vom Nutzsignal maskiert werden. Dieser Verdeckungseffekt wird jedoch bei kleinen Lautstärken unwirksam, so dass vor allem in leisen Passagen eines Musikstückes der Hörgenuss stark beeinträchtigt wird. Hier gibt der Signal-Rauschabstand bzw. Fremdspannungsabstand in den technischen Daten eine Aussage über die Qualität eines Verstärkers.

Zur Bestimmung des Fremdspannungsabstandes wird der NF-Eingang normgerecht abgeschlossen und so die vom Verstärker selbst erzeugte Rausch- und Brummspannung gemessen. Die ermittelte Störspannung im logarithmischen Verhältnis zur maximalen Ausgangsspannung ergibt dann den Wert für den Fremdspannungsabstand. Mit der Formel

$$FA = 20\text{dB} \cdot \lg\left(\frac{U_{A \text{ max}}}{U_{\text{Stör}}}\right)$$

lässt sich der Fremdspannungsabstand bestimmen. Bei unseren Messungen ergaben sich Störspannungswerte von ca. 1,4 mVSS, die bei einem maximalen Ausgangssignal von 57 VSS zu einem Fremdspannungsabstand von 92 dB führen.

Übersprechdämpfung

Als letztes technisches Datum wollen wir uns mit der erreichten Kanaltrennung beschäftigen. Zur Ermittlung dieses Parameters wird ein Stereokanal mit Vollaussteuerung betrieben, während der andere normgerecht abgeschlossen ist. Durch parasitäre interne Verkopplungen zwischen den Stereokanälen werden am nicht angesteuerten Ausgang Signalanteile des Kanals im Vollastbetrieb auftreten. Das logarithmische Verhältnis zwischen den Si-

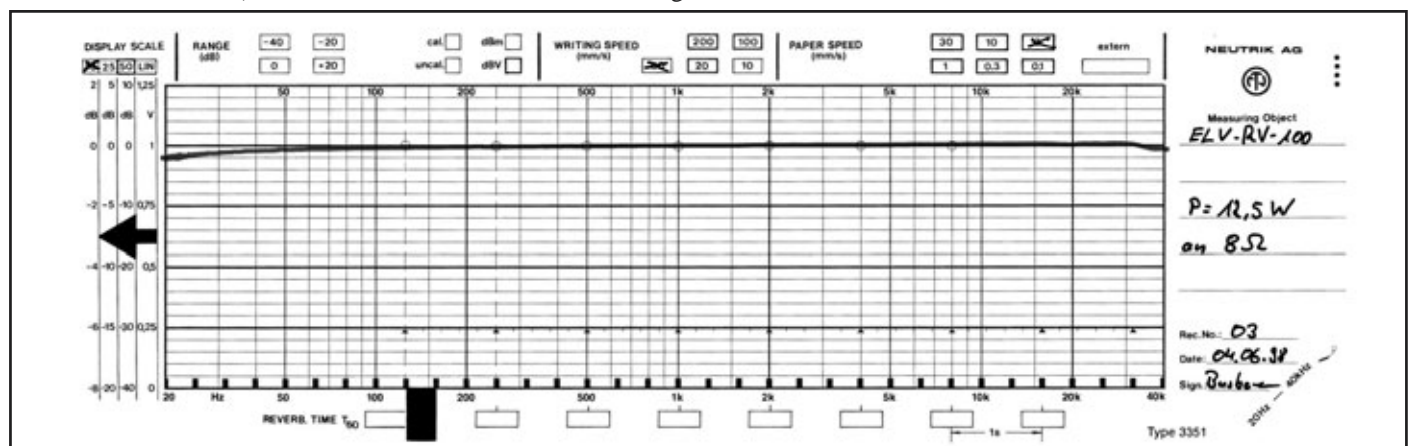


Bild 11: Typischer Frequenzgang eines ELV-RV-100 bei 12,5 W Ausgangsleistung.

gnalpegeln am Ausgang der beiden Kanäle gibt die Übersprechdämpfung an. Mit

$$\dot{U}D = 20\text{dB} \cdot \lg\left(\frac{U_{rechts}}{U_{links}}\right)$$

lässt sich der Wert für die Kanaltrennung bestimmen.

Bei sehr großen Übersprechdämpfungen tritt dann das Problem auf, dass das Signal am nicht ausgesteuerten Ausgang so klein ist, dass es im Rauschen untergeht. Um Werte für die Übersprechdämpfung messen zu können, muss dann am nicht ausgesteuerten Ausgang mit einem selektiven Spannungsmesser gemessen werden. Beim ELV-Röhrenverstärker ergeben sich aufgrund des speziellen Aufbaus sehr gute Werte. Das gemessene Übersprechen auf den nicht angesteuerten Kanal beträgt nur $160\ \mu\text{V}$ (bei 1kHz Messsignal). Dies ergibt dann eine Übersprechdämpfung von 102 dB. Dieser Messwert ist für die Praxis von untergeordneter Bedeutung, da kaum ein Musikstück diese hohe Kanaltrennung fordert.

Die Ermittlung der technischen Daten und deren Beschreibung könnten wir hier noch endlos fortsetzen. Jeder Hersteller von HiFi-Verstärkern misst neben den bisher von uns vorgestellten Daten weitere unzählige sinnvolle und weniger sinnvolle Parameter aus. Die weitere Beschreibung würde zum einen den Rahmen dieses Artikels sprengen, zum anderen sagen technische Daten nur bedingt etwas über den Klang aus. Ob ein Verstärker nun einen Klirrfaktor von 0,1 % oder 0,2 % besitzt, wird in der Praxis kaum von Bedeutung sein. Viel wichtiger ist der Klangeindruck des Verstärkers bei einer Hörprobe, und dieser lässt sich messtechnisch nicht festmachen.

Weiterhin hat das Zusammenspiel des Verstärkers mit den übrigen Komponenten der HiFi-Anlage einen großen Einfluss auf den Klangeindruck. Die Weisheit: „Eine Kette ist nur so stark wie ihr schwächstes Glied“ trifft auch bei einer HiFi-Anlage genau den Kern. Ein hervorragender Röh-

renverstärker verlangt auch nach einer entsprechend guten Signalquelle und benötigt natürlich auch entsprechende Lautsprecher, um sein ganzes Können ausspielen zu können.

Anschluss und Bedienung

Da nun die Röhrenendstufe fertig aufgebaut ist und alle wesentlichen technischen Daten beschrieben sind, kann der ELV-Leistungsverstärker in die HiFi-Anlage integriert werden. Der Röhrenverstärker als zentrale Komponente einer High-End HiFi-Anlage sollte möglichst freistehend aufgestellt werden, da so neben dem sehr guten Klang auch die ansprechende Optik des Verstärkers voll zur Geltung kommt. Dies gewährleistet dann auch die unbedingt notwendige Luftzirkulation, die auf keinen Fall behindert werden darf (z. B. durch das Abdecken der Röhrenabdeckhaube), um eine ausreichende Kühlung der Röhren sicherzustellen. Für den verdeckten Einbau in einem Schrank ist der Röhrenverstärker somit nicht geeignet. Dann bliebe dem Musikliebhaber auch der wunderschöne Anblick des ELV-RV-100 verborgen.

Zum Anschluss des Röhrenverstärkers werden zuerst die NF-Eingangsbuchsen „Line In“ mit einem Vorverstärker bzw. einer Signalquelle mit entsprechendem Hochpegelausgang verbunden. Anschließend sind die Lautsprecher an die zugehörigen Lautsprecherterminals anzuschließen. Üblicherweise besitzen alle Lautsprecher für den Heimbereich eine Impedanz von $8\ \Omega$, sodass zur Kontaktierung die Lautsprecherleitungen an die jeweils äußeren Schraubklemmen eines jeden Stereokanals angeschlossen werden. Die richtige Polung der Lautsprecher ist unbedingt sicherzustellen, wobei nicht die absolute Polarität wichtig ist, sondern nur gewährleistet sein muss, dass beide Lautsprecher mit gleicher Polarität angeschlossen sind. Ein Verpolen der Lautsprecher führt durch die entgegengesetzte Phasenlage zu Überlagerungen im Schallfeld, die Auslöschun-

gen vor allem im Tiefbassbereich zur Folge haben.

Wie bei jeder Röhrenendstufe ist auch beim ELV-RV-100 unbedingt darauf zu achten, dass beide Endstufenseiten mit einem Lautsprecher beschaltet sind. Röhrenendstufen sind im allgemeinen nicht leerlaufest, sodass auch bei einem kurzzeitigen Leerlauf aufgrund der fehlenden Last Überschläge in Übertrager und Röhren auftreten können, die dann eine Zerstörung des Gerätes zur Folge haben. Alle Arbeiten an den Lautsprechern dürfen daher nur bei ausgeschaltetem Verstärker durchgeführt werden.

Sind die Signalleitungen soweit angeschlossen, wird die Verbindung zum 230V-Netz hergestellt. Bevor die Röhrenendstufe dann einschaltet wird, müssen beide Pegeleinsteller auf Minimum gebracht werden. Etwa eine Minute nach dem Einschalten ist die Endstufe dann voll betriebsbereit, und die Pegeleinsteller werden langsam aufgedreht. Der Röhrenverstärker kann jetzt in einer ersten Hörprobe sein ganzes Potential zeigen und den Hörer durch seinen exzellenten Klang überzeugen und faszinieren zugleich. Neben dem optischen Anblick entlohnt nun auch das akustische Ergebnis für die „Mühen“ beim Nachbau des ELV-Röhrenverstärkers.

In diesem Zusammenhang müssen wir noch auf die Abdeck-Sicherheitshaube des Röhrenverstärkers eingehen. Es wird wohl kaum einen Röhrenenthusiasten geben, der leichten Herzens seine Röhren „hinter Gittern“ einsperrt, möchte man doch allzuerst den erlesenen Sound mit einer hervorstechenden Optik paaren. Aus Sicherheitsgründen muss dies unbedingt unterbleiben, d. h. der Röhrenverstärker muss grundsätzlich in endmontiertem Zustand mit Röhrenkäfig betrieben werden. Zum einen sind die Röhren extrem heiß (Verbrennungsgefahr) und zum anderen kann eine berstende Glasummantelung den Zugriff auf die Röhre und damit die lebensgefährlichen Betriebsspannungen freigeben.

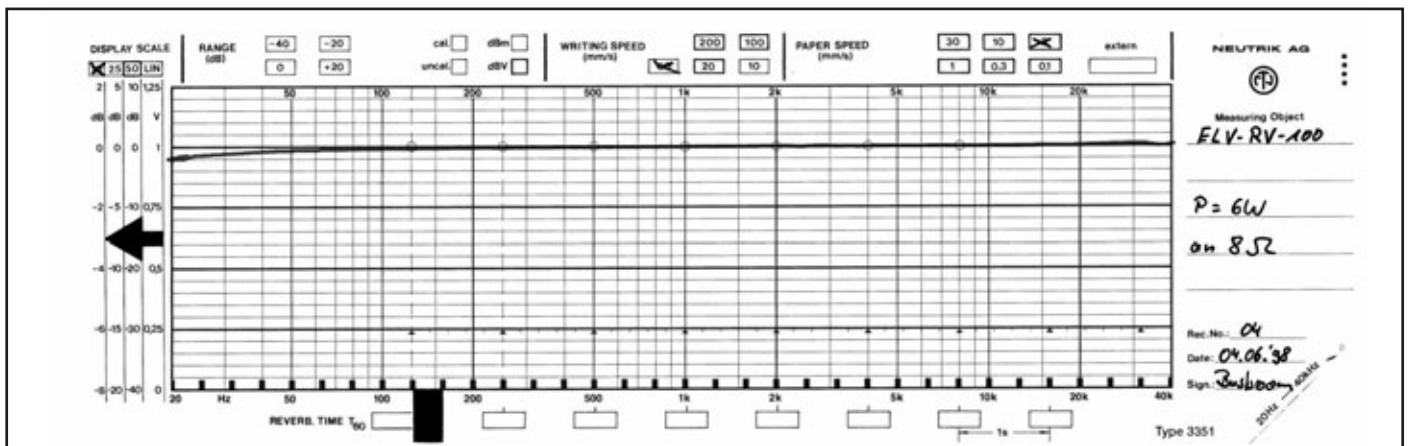


Bild 12: Typischer Frequenzgang eines ELV-RV-100 bei 6 W Ausgangsleistung.

ELV Elektronik AG • Postfach 1000 • D-26787 Leer
• Telefon 04 91/600 888 • Telefax 04 91/6008-244