

Neue Bauanleitung

Ein Stereo-Verstärker mit katodengekoppelten Endstufen

Bei hochwertigen Stereo-Wiedergabe-Anlagen ist mit Rücksicht auf kleinen Klirrfaktor eine gewisse Leistungsreserve der Endstufen wünschenswert. Wenn man bedenkt, daß bei Aufnahmen klassischer Sinfonien auf Schallplatten eine Dynamik von 40 dB und mehr erreicht wird und der Musikfreund eine etwas maßstäbliche Lautstärke bevorzugt – die Pianostellen sollen ja noch gut hörbar sein –, so dürfte verständlich sein, daß man das Forte eines großen Orchesters durch Endstufen mit beispielsweise je einer Endröhre ECL 82 pro Kanal mit nur 2 W Nf-Leistung nicht mehr durchbringt.

Für eine als ausgezeichnet anzusprechende Wiedergabe in normalen Wohnräumen ist eine Endstufenleistung von 10 W pro Kanal bei einem Klirrfaktor unter 2 % nicht zu hoch bemessen. Deshalb wurde ein Wiedergabeverstärker entworfen und praktisch ausgeführt, der bei geringstmöglichem Aufwand hohen Qualitätsansprüchen genügt und zum Nachbau geeignet ist.

Die Endstufe

Im Gegensatz zur sonst üblichen Beschreibungsart soll die Endstufe hier zuerst behandelt werden, denn sie ist das Kernstück und bedarf keiner besonderen Phasenumkehrstufe zur Steuerung.

Das Prinzip der Schaltung nach *Bild 1* besteht darin, daß der Katodenwiderstand R_k gleichzeitig als Gegenkopplungs- und Kopplungswiderstand erscheint.

Röhre 1 stellt eine Verstärkerstufe mit Anoden- und Katodenwiderstand dar, an die eine zweite Stufe RÖ 2 in Gitterbasisschaltung gekoppelt ist. Es handelt sich hierbei um gleiche Röhrentypen.

Die Steuerung der Röhre RÖ 1 erfolgt mit der Spannung $U_{gk} = U_e - U_k$.

Der Strom durch RÖ 1 ist: $I_1 = (R_i + R_a) + (I_1 - I_2) R_k = \mu U_{gk} = \mu(U_e - U_k)$

Der Strom durch RÖ 2 ist: $I_2 = (R_i + R_{a2}) + (I_1 - I_2) R_k = \mu U_{gk}$

Daraus ist ersichtlich, daß die Steuerung der Röhre RÖ 2 durch den Spannungsabfall erfolgt, den die Stromdifferenz an R_k erzeugt. Für gleiche Verstärkung bei gleichen Anodenwiderständen gilt:

$$V_1 = SR_a \frac{R_i + R_a + (1+S)R_k}{(R_i + R_a)^2 + 2(1+S)(R_i + R_a)R_k}$$

$$V_2 = SR_a \frac{(1+S)R_k}{(R_i + R_a)^2 + 2(1+S)(R_i + R_a)R_k}$$

Daraus geht hervor, daß bei Vergrößerung von SR_k die Verstärkung beider Zweige bzw. beider Röhren gleichgemacht werden kann. Das Verhältnis beider Verstärkungsziffern drückt sich aus in:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_{a1}}{R_{a2}} \left(1 + \frac{1}{SR_k} \right) \quad \text{bei } SR_k > 10 \text{ wird } \frac{V_1}{V_2} = 1 \text{ bzw. } V_1 = V_2 = \frac{SR_a}{2}$$

Wollte man danach nun eine Endstufe mit zwei Röhren EL 84 dimensionieren, so müßte man eine große Steuerspannung U_e aufbringen und die Anodenbetriebsspannung um den Gleichspannungsabfall an R_k erhöhen. R_k wäre nach der angegebenen Dimensionierung mindestens 1 k Ω und der Spannungsabfall würde etwa 100 V betragen. Damit wird die Stromversorgung unwirtschaftlich.

Bei weiterer Verfolgung des Prinzips zeigt sich jedoch, daß man die Forderung nach Verstärkungssymmetrie bei gleichzeitiger Verringerung von R_k und U_e durch Einführung einer Rückkopplung von der Sekundärwicklung des Ausgangsübertragers realisieren kann. Wird R_k um den

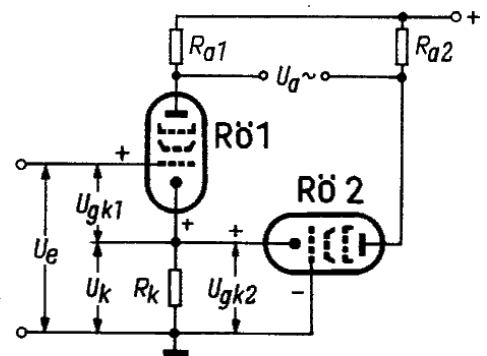


Bild 1. Das Prinzip des Verstärkers

Faktor 10 verringert, also auf 100Ω , was einem brauchbaren Wert entspricht, so muß der damit verbundene Differenzspannungsverlust durch eine Teilspannung aus dem Ausgangsübertrager gedeckt werden. Dies entspricht einer Rückkopplung und verringert gleichzeitig den Innenwiderstand der Endstufe (kleiner als 500Ω). Dadurch wird auch der Lautsprecherklirrfaktor infolge Dämpfung erheblich verringert. Der besondere Vorteil einer so dimensionierten Gegentaktschaltung liegt in der absoluten Gleichheit der Nichtlinearitäten beider Zweige. Dies bedeutet praktisch, bei entsprechender Wahl des Arbeitspunktes auf der Belastungskennlinie der Röhren, ein echtes Minimum der Klirrfaktoren k_2 und k_3 . Der Steuerspannungsbedarf einer solchen Gegentaktschaltung ist mit etwa $6 V_{eff}$ niedriger als bei solchen mit Phasenumkehrstufe. Die Vorstufe wird dadurch besonders klirrmäßig.

Die Vorstufe

Auf Grund ihrer günstigen Eigenschaften bezüglich Verstärkung, Ausgangsspannung und Klirrfaktor wurde die Triode der EABC 80 als Vorverstärkerstufe gewählt.

$$\begin{aligned}
 U_b &= 300 \text{ V} & V &= 54 \\
 R_a &= 220 \text{ k}\Omega, & U_{a\sim} &= 6 V_{eff} \\
 R_g &= 10 \text{ M}\Omega & k_{ges} &= 0,25 \% \\
 R_g' &= 680 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

Für Kristalltonabnehmer, Rundfunk oder Tonband genügt eine Eingangsempfindlichkeit von 400 mV für Vollaussteuerung der Endstufe nach *Bild 2* völlig. Hierbei kann man bei Verwendung der EABC 80 noch eine Gegenkopplung von 32 dB bei 1000 Hz zulassen. Für hohe und tiefe Frequenzen wurde die Gegenkopplung von 32 bis 45 dB variabel gemacht, um diese Frequenzbereiche in der Verstärkung entsprechend den angebotenen Eingangsfrequenzgängen anheben zu können. Eine Absenkung ist für die vorgesehenen Verwendungszwecke des Verstärkers nicht erforderlich. Damit entfallen weitere Röhrenstufen, wodurch der Aufbau einfach und betriebssicher bleibt.

Die Gesamtschaltung (Bild 3, auf Seite 452)

Mit Hilfe von Drucktasten (es kann auch ein Drehschalter mit 2×4 Kontakten verwendet werden) sind vier Eingänge wählbar:

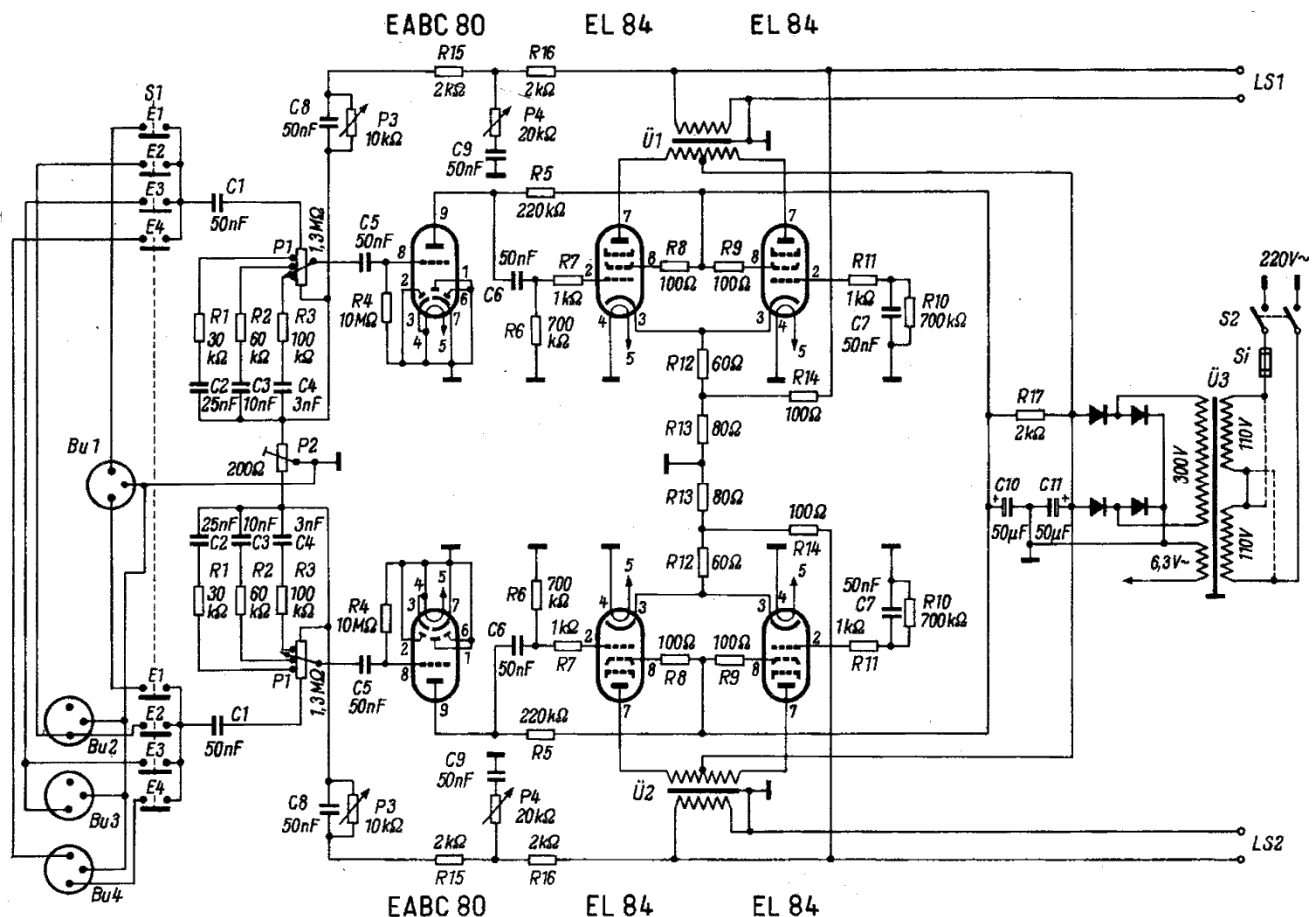


Bild 3. Die Gesamtschaltung

Eingang 1: für Stereo-Kristalltonabnehmer

Eingang 2: für Rundfunkwiedergabe vom Diodenausgang des Empfängers

Eingang 3: für Einkanal-Tonbandwiedergabe vom Wiedergabeentzerrer des Tonbandgerätes

Eingang 4: für Stereotonbandwiedergabe vom Wiedergabeentzerrer des Tonbandgerätes.

Eingang 3 kann auch für Mono-Kristalltonabnehmer benutzt werden. Bei den Eingängen 2 und 3 sind die Eingänge beider Verstärkerzweige parallel geschaltet, der Verstärker arbeitet dann einkanalig mit 20 W Nf-Leistung.

Die Eingangssignale gelangen über zwei 50-nF-Koppelkondensatoren (C 1) an das Tandempotentiometer P 1. Dessen beide lineare Bahnen besitzen je drei Anzapfungen, die mit den RC-Gliedern R 1, C 2, R 2, C 3 und R 3 C 4 beschaltet sind, um eine logarithmische Regelkurve zu erhalten. Von den Schleifern des Tandempotentiometers gelangen die Signalspannungen über je 50 nF (C 5) an die Steuergitter der Trioden EABC 80. Die erforderliche Gittervorspannung von -3 V wird über je 10 M Ω durch den Gitteranlaufstrom erzeugt. Sämtliche Diodenanoden und beide Katoden liegen an Masse. An den Anodenwiderständen 220 k Ω (R 5) werden die verstärkten Signale abgenommen und über je 50 nF (C 6) und 1 k Ω (R 7) den Steuergittern der beiden ersten Röhren EL 84 zugeführt. Vom Verbindungspunkt C 6/R 7 liegen die beiden Gitterableiter mit je 700 k Ω an Masse. Die Katoden beider Paare EL 84 sind miteinander verbunden und liegen über eine Reihenschaltung 60 + 80 Ω an Masse.

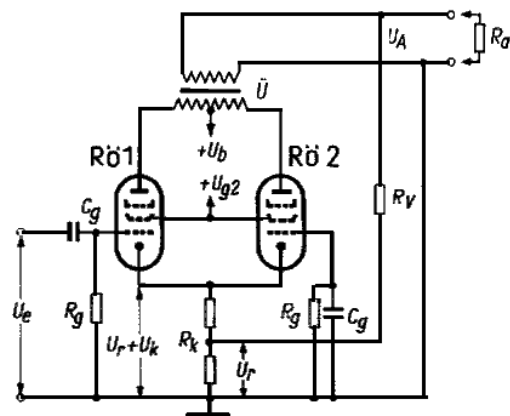


Bild 2. Die Endstufe

Von den Sekundärwicklungen der Ausgangsübertrager $\ddot{U} 1/\ddot{U} 2$ wird die Ausgangsspannung über 100 Ω (R 14) dem Verbindungspunkt R 12/R 13 (60 + 80 Ω) zugeführt. R 14 bildet in Verbindung mit R 13 einen Spannungsteiler für die Rückkopplungsspannung. Die Steuergitter der zweiten beiden Röhren EL 84 liegen über 1 k Ω (R 11) und die Parallelschaltung 700 k Ω , 50 nF (R 10, C 7) an Masse. Die Steuerung erfolgt in der vorher dargestellten Weise.

Die Schirmgitterspannungen werden den Endröhren über je 100 S2 (R 8/R 9) zugeführt. Die Anodenspannung wird über die beiden Primärwicklungshälften der Ausgangsübertrager direkt vom Ladekondensator des Netzteiles bezogen.

Die Gegenkopplung

Von den Sekundärwicklungen der Ausgangsübertrager wird auch die Gegenkopplungsspannung abgenommen und über je zwei 2-k Ω -Widerstände sowie je einem 50-nF-Kondensator den kalten Enden des Tandempotentiometers P 1 zugeführt. Diese Punkte sind über ein Trimpotentiometer P 2 von 200 Ω miteinander verbunden. Der Schleifer von P 2 liegt an Masse. Mit diesem Trimpotentiometer läßt sich eine exakte Verstärkungssymmetrie der beiden Kanäle einstellen, weil hiermit die Gegenkopplung und damit die Verstärkungsziffer der beiden Kanäle wechselseitig verändert werden. Das Symmetrierpotentiometer kann auch von außen stetig bedienbar gemacht werden, um es als Stereowaage zu gebrauchen. Hiermit kann der Mitteneindruck auf den Hörplatz ausgerichtet werden.

Parallel zu den 50-nF-Kondensatoren C 8 liegt ein Tandempotentiometer P 3 mit 2 x 10 k Ω als Tiefenentzerrer. Es wird so angeschlossen, daß bei Rechtsstellung der volle Widerstand eingeschaltet ist. Vom Verbindungspunkt R 15/R 16 nach Masse ist eine Reihenschaltung, bestehend aus dem Tandemregler P 4 mit 2 x 20 k Ω und 50 nF (C 9) als Höhenentzerrer geschaltet. P 4 ist so anzuschließen, daß bei Rechtsstellung der Widerstand kurzgeschlossen ist. Bei Linksstellung von Höhen- und Tiefenregler ist der Frequenzgang von 30 bis 18 000 Hz linear (2 dB), bei Rechtsstellung sind Höhen und Tiefen um 13 dB in der Verstärkung angehoben.

Die Ausgangsübertrager

Da die Qualität eines Nf-Verstärkers auch im wesentlichen von der Güte des Ausgangstransformators beeinflusst wird, sollen nachstehend genaue Angaben und die Wickelvorschrift gebracht werden.

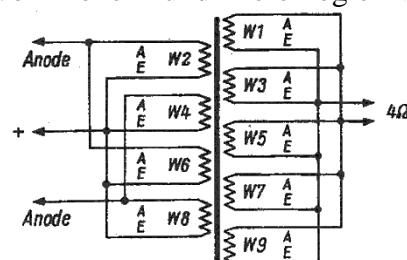


Bild 4. Die Zusammenschaltung des fertig gewickelten Ausgangsübertragers

Wickelvorschrift für Ü 1 und Ü 2

Kern EI 78 b, Dynamoblech IV, 0,35 DIN 41301, Wickelkörper Hp 4

Grundisolation: 2 x 0,1 mm Lackpapier

Wicklung 1: 71 Windungen 0,45 CuL (1 Lage)

Deckisolation: 2 x 0,1 mm Lackpapier

Wicklung 2: 1600 Wdg. 0,12 CuL, ca. 6½ Lagen, Lagenisolation 1 x 0,04 mm Lackpapier

Deckisolation: 2 x 0,1 mm Lackpapier

Wicklung 3, 5, 7 und 9 wie Wicklung 1

Wicklung 4, 6, 8 wie Wicklung 2

Deck- und Lagenisolation wie vorher

Die Wicklungen werden nach Bild 4 zusammengesaltet

Daten der fertigen Übertrager

Feld dichtescheitelwert im Eisen bei 50 Hz: 4 kG

Primärinduktivität 45 Henry (gemessen mit 20 V bei 50 Hz)

Ohmscher Widerstand der gesamten Primär-Wicklungen: $350 \Omega \pm 10 \%$

Ohmscher Widerstand der gesamten Sekundär-Wicklung: ca. $0,3 \Omega$

Übersetzungsverhältnis: 45 : 1

Abschlußwiderstand: 4Ω

Der Netzteil

Der Netzteil ist ebenfalls einfach gehalten. Er besteht aus dem Netztransformator: Primär 110/220 V 1,2/0,6 A; sekundär: 300 V/ 0,25 A, 6,3 V/5 A. Für die Gleichrichtung wurde ein Brückengleichrichter B 300 C 200 verwendet. Als Siebmittel genügen 2 x 50 μ F, 450/500 V, und ein Widerstand R 17 = 2 k Ω /3W.

Wickeldaten des Netztransformators

Kern und Wickelkörper M 102 b, Dynamoblech IV, 0,35 oxydiert.

Grundisolation: 2 x 0,1 Lackpapier

Wicklung 1: 241 Wdg. 0,55 CuL, Lagenisolation 1 x 0,05 Lackpapier

Deckisolation: 2 x 0,1 Lackpapier

Wicklung 2: 241 Wdg. 0,55 CuL, Lagenisolation 1 x 0,05 Lackpapier

Deckisolation: 3 x 0,1 Lackpapier

Wicklung 3: 681 Wdg. 0,36 CuL, Lagenisolation 1 x 0,06 Lackpapier

Deckisolation: 3 x 0,1 Lackpapier

Wicklung 4: 14,5 Wdg. 1,5 CuL

Deckisolation: 3 x 0,1 Lackpapier

Der Aufbau

Für den Aufbau sind folgende Hinweise zu beachten:

Die beiden Verstärkerzüge sind so anzuordnen, daß keine Nf-führenden Leitungen des einen Verstärkers durch die Verdrahtung des anderen geführt werden müssen, Ausnahmen hiervon bilden die Leitungen vom Tastenaggregat bzw. vom Wahlschalter zu den Eingangsbuchsen und zum Lautstärkereger, desgleichen die Leitungen zu den Höhen- und Tiefenreglern. Diese Leitungen sind abgeschirmt zu verlegen. Die Aufbauskitze *Bild 5* soll als Richtlinie dienen. Besonders zu beachten ist, daß die Minusleitung vom Gleichrichterelement nicht sofort an Masse gelegt, sondern erst an den Minusanschluß des Ladekondensators geführt wird. Im übrigen ist der Aufbau unkritisch.

Inbetriebnahme, Prüfung und Symmetrierung

Vor dem Bestücken mit Röhren ist der fertig geschaltete Verstärker an das Lichtnetz anzuschließen, die Lautsprecherausgänge sind mit je 4 Ω /10 W zu belasten und die Leerlaufspannungen sind zu messen.

Bei Messung mit einem Instrument mit 1000 Ω /V müssen folgende Spannungen anliegen:

an C11 ca. 420V \pm 5%

an C 10 desgl.

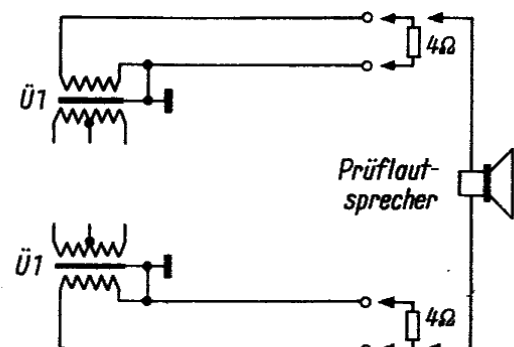


Bild 6. Anschluß des Prüflautsprechers beim Symmetrieren

An den Fassungen der Röhren EL 84:

Stift 5: $6,5 \text{ V} + 5 - 3 \%$

Stift 7: wie am Lade-Kondensator

Stift 8: desgl.

An den Fassungen der Röhren EABC 80:

Stift 5: $6,5 \text{ V} + 5 - 3 \%$

Stift 9: $405 \text{ V} \pm 5 \%$

Wenn diese Werte in Ordnung sind, können die Röhren aufgesteckt werden. An beide Lautsprecherausgänge ist nacheinander parallel zu den Lastwiderständen ein Prüflautsprecher anzuschließen. Wenn einer der beiden bzw. wenn beide Kanäle pfeifen, so ist die Sekundärseite des betreffenden Ausgangsübertragers umzupolen. Wenn dieser Fehler beseitigt ist bzw. nicht vorhanden war, so ist eine weitere Spannungskontrolle durchzuführen. Hierfür gelten folgende Meßwerte:

an C 11 ca. $320 \text{ V} \pm 5 \%$

an C 10 ca. $280 \text{ V} \pm 5 \%$

An den EL-84-Fassungen,

Stift 2: 0 V

Stift 3: $8 \text{ V} \pm 10 \%$

Stift 5: $6,3 \text{ V} + 5 - 3 \%$

Stift 7: $295 \text{ V} \pm 5 \%$

Stift 9: $280 \text{ V} \pm 5 \%$

An den EABC-80-Fassungen,

Stift 5: wie 5, EL 84

Stift 8: 0 V

Stift 9: $85 \text{ V} \pm 10 \%$

Sind diese Werte ebenfalls in Ordnung, so kann der Verstärker mit einem Eingangssignal angesteuert werden. Zu diesem Zweck wird auf den Eingang 2 bei entsprechender Tasten- oder Schalterstellung ein Meßton gegeben. Wenn kein Tongenerator verfügbar ist, eignet sich auch ein Meßton aus einem Rundfunkgerät während der Sendepause des Ortssenders.

Der Prüflautsprecher ist nun nach Bild 6 zwischen die heißen Anschlüsse beider Lautsprecherausgänge zu schalten, und der nun hörbare Meßton ist bei halb aufgedrehtem Lautstärkeregelung mittels des Trimpotentiometers P 2 auf Minimum zu bringen. Bei von außen bedienbaren Symmetriepotentiometer ist eine Markierung hierfür anzubringen, um die Mittenlage nach jeder Veränderung wieder einstellen zu können.

Nach dieser Einstellung ist der Verstärker betriebsfertig.

Zum Schluß seien noch die technischen Daten des Verstärkers angegeben:

Ausgangsleistung: 10 W

k_{ges} bei 1000 Hz 0,9 %

bei 50 Hz 1,3 %

bei 10 kHz 0,7 %

Intermodulation: 0,8 % für 50/10 000 Hz

Frequenzgang: 30 bis 18 000 Hz - 2 dB bei Höhen- und Tiefenregler in Linksstellung.

50 Hz + 13 dB, 12 000 Hz + 10 dB bei Höhen- und Tiefenregler in Rechtsstellung.

Hans Neubauer

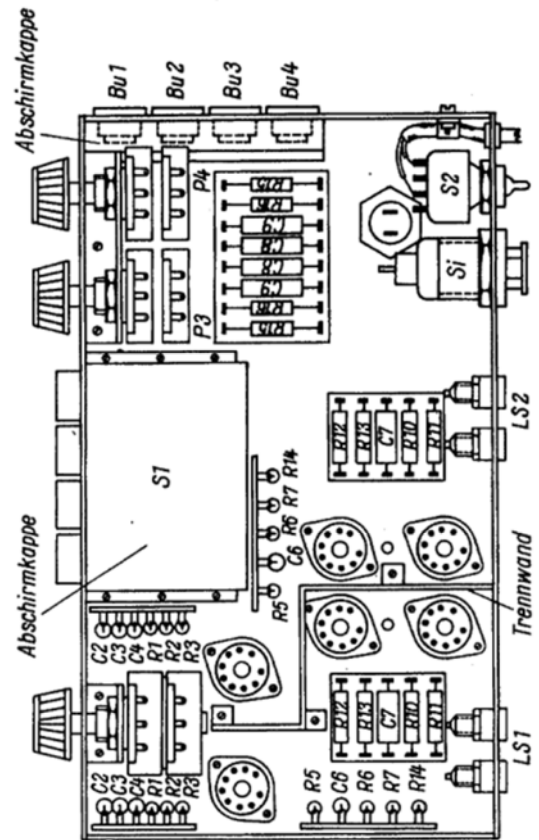
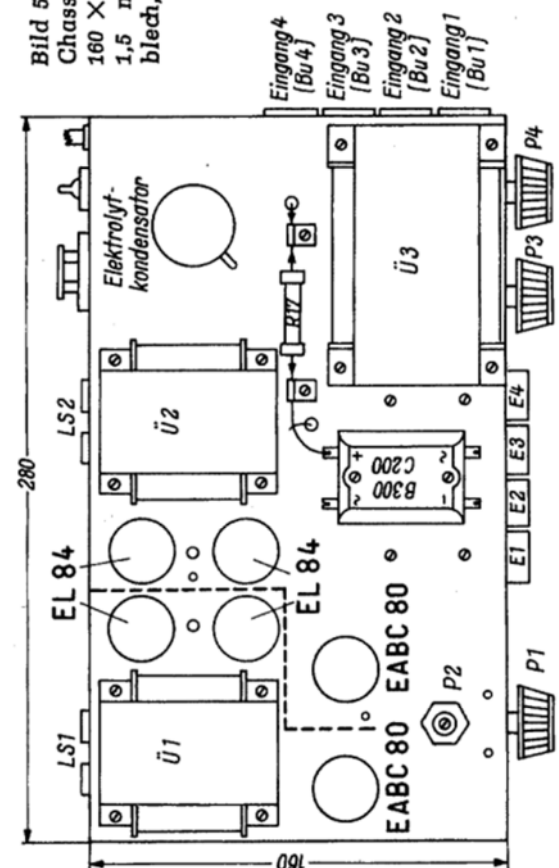


Bild 5. Montage-Skizze.
Chassisgröße 280 X
160 X 70 mm; Material:
1,5 mm Aluminium-
blech, vierseitig abge-
bogen



Im Modell verwendete Einzelteile

Röhren:

2 x EABC 80, 4 x EL 84

S 1 Drucktastensatz, 4 Tasten mit je 2 Umschaltkontakten (Fa. Mayr)

S 2 doppelpoliger Kippschalter (Fa. Finsterhölzel)

Ü 1, Ü 2 Ausgangsübertrager laut Wickelvorschrift (Wickelauftrag übernimmt die Fa. Engel, Wiesbaden)

Ü 3 Netztransformator laut Wickelvorschrift (siehe oben)

Si Sicherung mit Halter, 1,2 bzw. 0,6 A, mittelträge

Bu 1...Bu 4 4 Tonbandgerätebuchsen mit Stecker (Preh)
4 Novalröhrenfassungen (Keramik) (Stemag)
2 Novalröhrenfassungen (Preßstoff mit Abschirmkappe) (Fa. Preh)
1 Gleichrichterelement B 300 C 200 Siemens

Kondensatoren:

C 1, C 5...C 9 50 nF \pm 5 % 500 V = Styroflex (Siemens)

C 2 25 nF \pm 5 % 125 V = Styroflex (Siemens)

C 3 10 nF \pm 5 % 125 V = Styroflex (Siemens)

C 4 3 nF \pm 5 % 125 V = Styroflex (Siemens)

C 10, C 11 2 x 50 μ F 450/500 V = (NSF)

Festwiderstände:

R 1 30 k Ω 2 % 0,25 W

R 2 60 k Ω 2 % 0,25 W

R 3 100 k Ω 2 % 0,25 W

R 4 10 M Ω 10 % 0,25 W

R 5 220 k Ω 5 % 0,5 W

R 6, R 10 700 k Ω 5 % 0,25 W

R 7, R 11 1 k Ω 10% 0,25 W

R 8, R 9 100 Ω 10 % 0,25 W

R 12 60 Ω 2 % 1 W

R 13 80 Ω 2 % 1 W

R 14 100 Ω 2 % 1 W

R 15, R 16 2 k Ω 2 % 0,25 W

R 17 2 k Ω 10 % 3 W

Potentiometer:

P 1 Tandem, 2 x 1,3 M Ω , linear (Preh)

P 2 200 Ω , 0,25 W, linear

P 3 Tandem, 2 x 10 k Ω , 5 %, linear

P 4 Tandem, 2 x 20 k Ω , 5%, linear

Ingenieur Otto Diciol:

NIEDERFREQUENZ- VERSTÄRKER-PRAKTIKUM

396 Seiten mit 183 Bildern und 10 teils mehrfarbigen Tafeln. In Ganzln. mit Schutzumschlag 29.80 DM.

Die Verstärkertechnik

erfährt in ihrer Anwendung von Jahr zu Jahr eine Ausweitung. Damit steigt auch die Zahl der Ingenieure, Techniker, Werkstattleiter und Mechaniker - und nicht zuletzt der Studierenden -, die sich mit Verstärkerfragen befassen müssen.

Solide Verstärker-Kenntnisse

versucht das Buch von Diciol zu vermitteln. Es bringt Theorie in dem Umfang, wie sie zum Verständnis der Verstärker-Wirkungsweise erforderlich ist, und in einer Darstellung, die auch der mit der Mathematik weniger Vertraute verstehen kann.

Die Verstärker-Praxis

steht dabei im Vordergrund. Berechnung, Planung, Konstruktion, Einzeiteilenauswahl und Meßtechnik werden in großer Ausführlichkeit und stets aus eigener labormäßiger Erfahrung heraus behandelt. So entstand ein **Verstärker-Praktikum**, das für jeden praktisch tätigen oder werdenden Fachmann eine große Hilfe ist.

FRANZIS VERLAG MÜNCHEN