

Moderne Verstärkerkonzeption für Musikgruppen

P. SALOMON

(rescript funkamateur 1976, H6, S276-279,
H7, S326-327,
H8, S380-382

Im Folgenden wird eine moderne Verstärkerkonzeption für Musikgruppen beschrieben. Der Begriff „modern“ sollte dabei jedoch im Zusammenhang mit der Zeitdifferenz zwischen Niederschrift des Manuskripts und Erscheinen des Beitrags gesehen werden.

Als Grundlage für die aus den nachfolgenden Überlegungen hervorgegangene Systemlösung wurde eine Geräteanalyse einiger industriell hergestellter Verstärker erarbeitet. Es handelte sich dabei im wesentlichen um Geräte aus dem kapitalistischen Ausland. Weiterhin wurde versucht, den Wünschen und Anregungen vieler Musiker Rechnung zu tragen. Da sich deren Ansichten jedoch oft diametral gegenüberstehen, war es mitunter nicht einfach, einen geeigneten Mittelweg zu finden. Deshalb wird die hier vorgeschlagene Systemlösung vielleicht auch in diesem oder jenem Punkt nicht den Wünschen des Lesers entsprechen. Es muß daher noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß es sich hier um den ersten Versuch einer Systemlösung handelt. Dieser Beitrag ist nicht als Bauanleitung gedacht, sondern soll dem interessierten Leser einen Einblick in umfangreiche Problematik geben. Er soll Grundlage für eigene, schöpferische Arbeit auf diesem Gebiet sein.

1. Allgemeine Forderungen

1.1. Elektrischer Teil

Der Trend geht dahin, daß für jedes Instrument bzw. jede Instrumentengruppe eine separate Verstärkeranlage eingesetzt wird. Die Ursachen dafür sind sowohl technischer Natur als auch in Hinblick auf die Zuverlässigkeit der Geräte zu suchen. Wenn .z. B. während einer Veranstaltung ein Verstärker „stirbt“, so ist es meistens ohne nennenswerte Schwierigkeiten möglich, eine der anderen Verstärkeranlagen vorläufig mitzubedenutzen. Es ist jedoch dabei darauf zu achten, daß sich nicht alle Instrumente "miteinander vertragen". So sollte z. B. für die Baßgitarre immer eine eigene Anlage verwendet werden.

An Gesangsverstärker werden auch ganz andere Anforderungen gestellt als an Instrumentenverstärker.

Als erster und wichtigster Parameter wird die maximal erreichbare Ausgangsleistung angegeben. Während früher 25-W-Geräte bereits als „Kraftverstärker“ bezeichnet wurden, sind heute 100W für Gesangsanlagen fast die Norm. Es gibt sogar Spitzengeräte, die in dieser Beziehung noch mehr können [1]. Wegen der geringen Empfindlichkeit des menschlichen Ohres bei tiefen Frequenzen werden für Baßverstärker auch relativ hohe Leistungen benötigt, auch hier sind 100 W keine Seltenheit. Für die anderen Instrumente (Gitarre, Orgel usw.) genügen im allgemeinen Leistungen um 60 W. Anspruchsvolle Musiker möchten aber auch hier mindestens 100 W „im Kasten“ haben.

Nun könnte jemand auf die Idee kommen, die Ausgangsleistungen der einzelnen Verstärker zu addieren und zu fragen, ob denn die 300 bis 500 W „ausgefahren“ werden sollen. Dazu muß erstens gesagt werden, daß die einzelnen Verstärker nur sehr selten mit voller Leistung arbeiten und um Übersteuerungen zu vermeiden, immer ausreichende Reserven angestrebt werden sollen.

Zweitens darf man nicht in den Trugschluss verfallen, die abgegebene Ausgangsleistung mit der erzeugten Lautstärke gleichzusetzen. Zwar werden heutzutage sehr hohe Lautstärken gefordert (100 Phon sind keine Seltenheit!), aber hauptsächlich durch den schlechten Wirkungsgrad der Lautsprecherboxen bedingt, werden derart hohe Leistungen benötigt.

Damit wäre das Problem der Ausgangsleistung umrissen.

Als nächstes gilt es die Anforderungen hinsichtlich des Frequenzgangs zu untersuchen.

Bei HiFi-Verstärkern wird ein extrem linearer Frequenzgang verlangt, es sind dort Abweichungen von höchstens 1 bis 2 dB im Frequenzbereich von 40... 16 000 Hz zulässig. Verstärker der Musikelektronik brauchen derart harte Forderungen nicht zu erfüllen; im Gegenteil - durch die weiter oben bereits erläuterte Aufteilung der Verstärker auf die einzelnen Instrumente werden mitunter nur relativ schmale Frequenzbänder übertragen. Einige Instrumente (z. B. Elektronenorgel), aber auch die Gesangsanlage erfordern jedoch Verstärker, die einen sehr breiten Frequenzbereich übertragen müssen.

Ein linearer Frequenzgang im Sinne der HiFi-Technik ist aber auch hier nicht erforderlich. Mitunter sind sogar absichtlich „Buckel“ in der Frequenzgangkurve, die einen besonders charakteristischen Klang - in Fachkreisen auch „Sound“ genannt - zur Folge haben. Diese Nichtlinearitäten des Frequenzgangs können auch dazu dienen, eventuelle Resonanzen bzw. Dämpfungen des Veranstaltungsraumes auszugleichen. Auf dieses Problem wird später noch

eingegangen. Bild 1 zeigt einige typische Frequenzgänge der gebräuchlichsten Verstärkerarten.

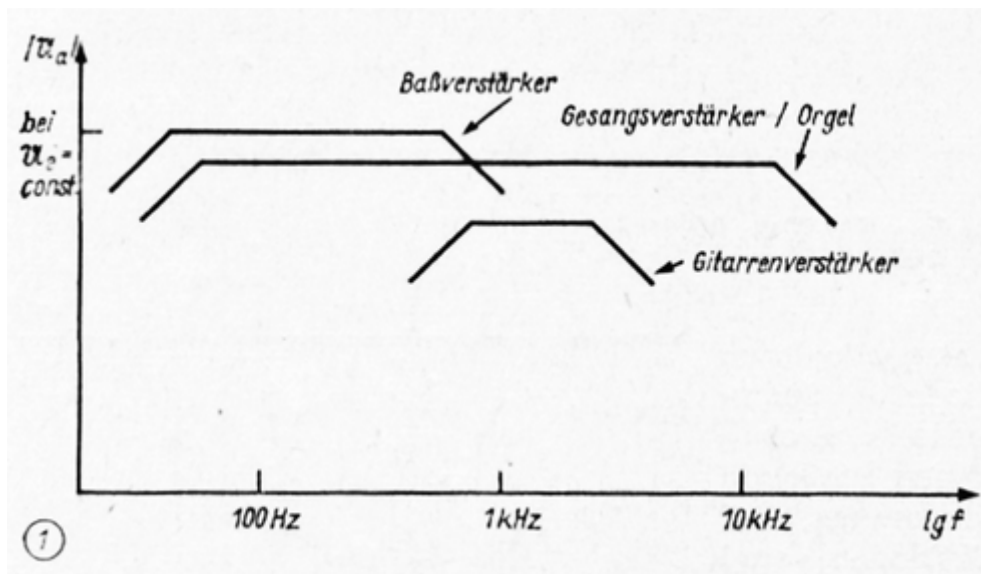


Bild 1: Typische Frequenzgänge von Verstärkern der Musikelektronik (schematisch)

Ein wichtiger Parameter bei Verstärkern für die Musikelektronik sind Zahl und Art der Ein- und Ausgänge. Es sollten wenigstens zwei Ausgänge zum Anschluss von Lautsprecherboxen vorhanden sein. Lautsprecherboxen mit einer Belastbarkeit von mehr als 60 W sind sehr groß und beim Transport unhandlich. Man sieht deshalb besser zwei kleinere vor und stellt diese übereinander.

Außerdem erweist es sich bei Röhrenverstärkern mitunter als günstig, wenn durch Umschaltung am Ausgangstrafo verschiedene Lastwiderstände angepaßt werden können. Einen Ausgang für den Anschluss eines Magnetbandgerätes, Lichtmusikanlage oder andere Zusatzgeräte ist ebenfalls sehr zu empfehlen.

Bei den Eingängen ist deren Zahl und Beschaffenheit abhängig vom Verwendungszweck des Verstärkers. Reine Instrumentenverstärker, z. B. für Gitarre oder Orgel, benötigen im allgemeinen zwei, höchstens drei Eingänge. Gesangsverstärker haben in der Regel umfangreiche Mischeinrichtungen mit vier bis acht Eingängen.

Nun zum Bedienungskomfort.

Das Problem beginnt hier schon beim Netzanschluss. Der Arbeitsschutz verlangt, daß der Netzanschluß über eine Schukoverbindung vorgenommen wird. Ein fester Anschluss der Netzleitung im Gerät ist beim Transport aber sehr hinderlich. Es ist deshalb am günstigsten, eine Kaltgerätesteckverbindung am Verstärker vorzusehen. Diese muß oft aus Platzmangel

von der Frontplatte an die Rückseite des Gerätes verlegt werden. Dort wird sie zusammen mit den notwendigen Sicherungen und anderen nicht ständig benutzten Buchsen oder Bedienelementen montiert.

Als Netzschalter empfiehlt es sich nicht, einen einfachen Kippschalter zu verwenden, da deren Schalterknebel erfahrungsgemäß sehr leicht abbrechen. Eine sehr elegante Variante bietet sich hier durch den Einbau eines Leuchtdrucktastenschalters an. Damit ist gleichzeitig das Problem der Betriebsanzeige gelöst.

Um Röhrenverstärker in längeren Pausen nicht unnötig thermisch zu belasten, sieht man einen Bereitschaftsschalter vor, der die Schirmgitterspannung der Endröhren unterbricht. Auch hier ist ein Leuchtdrucktastenschalter sehr vorteilhaft.

Bei Gesangsverstärkern mit mehreren mischbaren Eingängen ist es zweckmäßig, einen Summenlautstärkeregelvorzusehen. Getrennte Höhen- und Tiefenregelung ist dann in der Summenleitung nicht unbedingt erforderlich, wenn jeder Eingang mit Höhen- und Tiefenregelung versehen ist.

Für besonders universelle Klangbeeinflussung empfiehlt es sich aber, an dieser Stelle einen Präsenzregler einzusetzen. Außer den Eingangspegelreglern kommen dann je nach Verwendungszweck des Verstärkers noch diverse Bedienelemente für Zusatzeinrichtungen (z.B. Vibrato, Verzerrer, Hall usw.) hinzu. Bei Verstärkern mit mehreren Eingängen (Gesangsverstärker) ist als besonderes Problem der Einstellung zur Nachhallintensität Beachtung zu schenken.

Die Struktur moderner Musikgruppen sieht heute meistens einen Solisten und eine Anzahl „Background“-Sänger vor. Um die Verständlichkeit nicht zu beeinflussen, darf das Solistenmikrofon nicht all zu sehr verhallt werden. Andererseits ist beim Background ein starker Hallanteil wünschenswert. Werden Instrumente mit über die Gesangsanlage gespielt (z. B. Blasinstrumente), so ist deren optimale Verhallung sehr abhängig vom jeweils gespielten Stück. Es muß deshalb am Mischteil des Verstärkers für jeden Eingang eine Einstellmöglichkeit des Hallanteils gegeben sein. Die technische Realisierung in Verbindung mit einem normalen Echo-Hall-Gerät wird weiter unten erläutert.

Als Funktionskontrolle und Hilfsmittel beim Einstellen der gesamten Verstärkeranlage ist unbedingt eine Aussteuerungskontrolle vorzusehen. Zeigerinstrumente scheiden aus Platzmangel auf der Frontplatte aus. Hier bietet sich der „magische Balken“ EM 84 an. Trotz der relativ kleinen Abmessungen läßt sich sogar noch ohne Schwierigkeiten abschätzen, wie viel "Power“ gefahren wird. Außerdem wirkt das grüne Flackern beim normalen Betrieb sehr attraktiv auf die Zuschauer.

Damit wären die wichtigsten, die elektrische Seite betreffenden Parameter erläutert.

1.2. Mechanischer Aufbau

Vom mechanischen Aufbau gibt es auch bestimmte Grundprinzipien. Die äußere Form des Verstärkers soll vor allem modern sein. Das bedeutet in erster Linie, daß das Gerät so flach als möglich gehalten werden muß. Dabei ist aber keinesfalls die mechanische Stabilität zu vernachlässigen. Gerade beim portablen Einsatz in der Musikgruppe ist die gesamte Anlage einer relativ rauen Behandlung ausgesetzt. Andererseits darf das einzelne Gerät auch nicht so schwer werden, daß man es kaum noch transportieren kann.

Am günstigsten ist deshalb eine Rahmenkonstruktion, in der die einzelnen Baugruppen montiert werden können. Bild 2 zeigt das Konstruktionsprinzip.

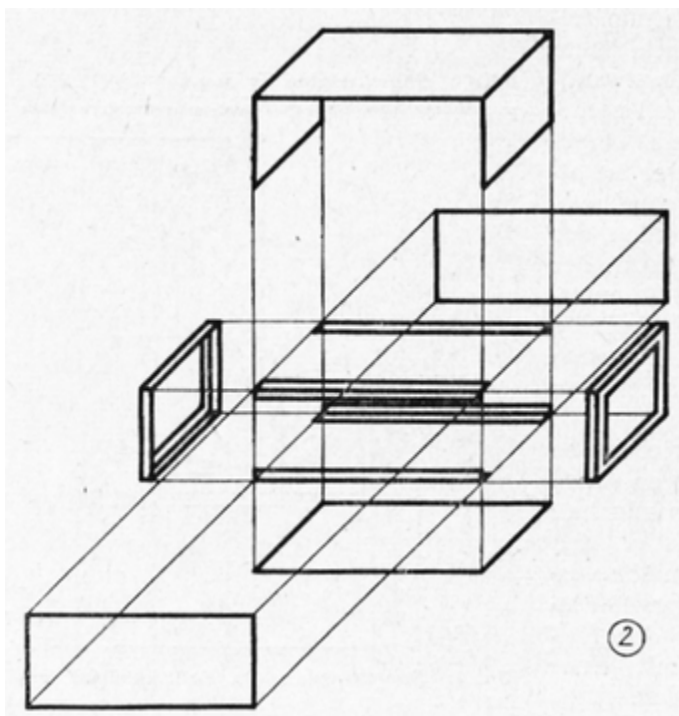


Bild 2: Prinzip der Rahmenkonstruktion

Zwei Seitenrahmen, die aus 1,5 mm dickem Winkelstahlprofil und entsprechend geformten Eckblechen zusammengepunktet wurden, werden mit vier gleichartigen Winkelschienen verbunden. Die notwendige Seiten- und Querfestigkeit wird dann durch die Frontplatte und Montageplatte bzw. Rückwand und die in den Rahmen eingefügten Abschirm- bzw. Befestigungsbleche hergestellt. Die Gehäusehaube und das Bodenblech tun dann noch das Übrige. Damit ist gleichzeitig das fertigungstechnisch mitunter so schwierige Gehäuseproblem auf einfache und moderne Art und Weise gelöst.

Für Baugruppen, die durch Bedienungselemente unmittelbar an die Frontplatte angrenzen, bietet sich die Einschubbauweise an, wobei als Kontaktelemente z. B. Zeibina-Steckkontaktleisten verwendet werden können. Schwere Bauelemente wie z. B. große Transformatoren werden direkt am Rahmen oder an Versteifungskonstruktionen innerhalb des Rahmens befestigt.

Stark Wärme-abgebende Bauelemente müssen so angeordnet werden, daß eine gute Luftzirkulation möglich ist. Es ist deshalb günstig, z. B. Endröhren waagrecht einzubauen, wenn oben und unten im Gehäuse Entlüftungslöcher bzw. -schlitze vorhanden sind. Die niedrige Gehäusehöhe läßt auch meistens keine andere Einbauweise zu. Mitunter ist infolge des oft sehr gedrängten Aufbaus eine forcierte Luftkühlung durch einen kleinen Ventilator unumgänglich.

Besondere Beachtung ist dem Einbau von Halbleiterbauelementen in gemischt bestückte Geräte zu schenken. Da Halbleiterbauelemente sehr wärmeempfindlich sind, ist es vorteilhaft, wenn man die direkte Einstrahlung der stark Wärme-abgebenden Bauelemente (z. B. Endröhren) auf die Halbleiterbauelemente durch geeignete Abschirmungen verhindert. In diesem Fall ist eine besonders gute Luftzirkulation durch das Gerät notwendig. Gehäuse- deckel und Bodenblech aus Streckmetall sind hier sehr vorteilhaft.

Wie bereits weiter oben angedeutet, werden die Geräte der Musikelektronik häufig transportiert. Um den Transport zu erleichtern, sind entsprechende Griffe vorzusehen. Auf die von der Industrie oft verwandten einklappbaren Gehäusegriffe verzichtet man der Einfachheit halber. Bleiben die beiden Frontplattengriffe, die außer der Transportfunktion noch einen gewissen Schutz für die Frontplatte darstellen. Kommerzielle Einschubgriffe aus verchromtem Rundstahl sind nicht mehr modern, man sollte sie auch wegen ihrer relativ schwierigen Herstellung nicht vorsehen. Sehr modern wirken Griffe aus schwarz eloxiertem Aluminium bzw. brünierten Stahlklötzchen, die mit einem Rund- oder auch Vierkanteisen verbunden sind (Bild 3).

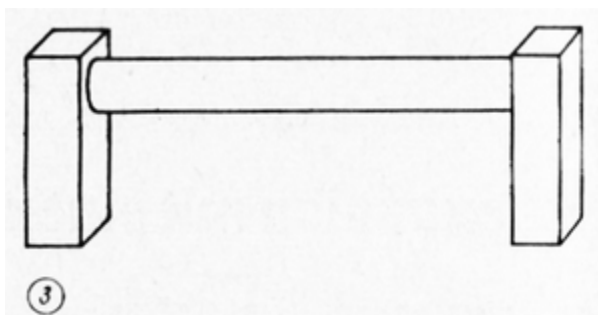


Bild 3: Beispiel eines modernen Frontplattengriffs

Die Rund- bzw. Vierkanteisen können verchromt oder auch mit farbigem PVC-Schlauch überzogen werden. Die Verbindung geschieht am zweckmäßigsten durch Kleben mit Epoxidharz.

Zum Abschluss der Betrachtungen über den mechanischen Aufbau von Verstärkern der Musikelektronik noch einige Worte zur Gestaltung und Technologie der Frontplatte.

Die Frontplatte ist das „Gesicht“ des Verstärkers - hier ist besondere Sorgfalt sowohl bei der Konstruktion als auch bei der Herstellung nötig. Die Frontplatte muß übersichtlich und klar gegliedert sein. Die Anordnung der Bedienelemente auf der Frontplatte soll möglichst so geschehen, daß durch eine Art grafisches Schema auf der Frontplatte die Funktionsweise der einzelnen Bedienelemente deutlich gemacht wird. Um die Frontplatte nicht durch Schrauben und andere Befestigungselemente zu „verunzieren“, wird in geringem Abstand hinter der eigentlichen Frontplatte eine so genannte Montageplatte angeordnet. Hier werden dann sämtliche Bedien- und Kontaktelemente der Frontplatte befestigt. Auf eine Beschriftung der Frontplatte sollte soweit als möglich verzichtet werden. Meistens ist auch aus Platzgründen nur eine symbolische Darstellung möglich.

Um optimale Einstellungen am Verstärker reproduzierbar zu machen, empfiehlt es sich, kontinuierlich regelbare Bedienelemente mit einer einfachen Strichskala auf der Frontplatte zu versehen. Bei Doppelpotentiometern gilt diese dann gleichzeitig für beide Bedienelemente.

Tanzveranstaltungen werden des Öfteren in abgedunkelten Räumen durchgeführt.

Um dann die Arbeit des Musikers auf der Bühne zu erleichtern, ist es günstig die Gerätefrontplatte zu beleuchten. Es gibt nun mehrere Möglichkeiten, dieses sehr attraktiv wirkende Gestaltungsmittel zu realisieren. Am einfachsten ist die Beleuchtung von außen. Hierbei wird eine helle, am besten metallblanke Frontplatte benötigt. Schrift, Symbole usw. werden dann in dunkler Farbe ausgeführt. Bei einer dunklen Frontplatte ist es besser, wenn die Beleuchtung vom Innern des Gerätes durchgeführt wird, da eine dunkle Farbe das Licht kaum reflektiert. Der mechanische Aufbau ist dann ähnlich wie bei der Skalenbeleuchtung von Rundfunkempfängern. Die Frontplatte besteht aus durchsichtigem Kunststoff (z. B. Plexiglas). Nach dem Herstellen der für Bedien- und Kontaktelemente notwendigen Durchbrüche werden die nicht leuchtenden Flächen auf der Rückseite mit Farbe abgedeckt. Durch die dann übrig bleibenden Flächen (Symbole, Schrift usw.) scheint das Licht der zwischen Front- und Montageplatte angeordneten Skalenlämpchen. Sollen bestimmte Symbole farblich erscheinen, kann man diese mit lichtdurchlässigem Lack (sog. Lampentauchlack) auslegen.

Letztgenannte Beleuchtungsvariante der Frontplatte hat jedoch den Nachteil, daß man mehr oder weniger in das Innere des Gerätes schauen kann. Außerdem kann eine gleichmäßige Ausleuchtung der Frontplatte auch nicht immer gewährleistet sein.

Dann muß auf die dritte, aber komplizierteste und damit teuerste Möglichkeit der Frontplattenbeleuchtung zurückgegriffen werden. Hier wird das Prinzip der inneren Lichtleitung in lichtdurchlässigen Körpern angewandt. Die Frontplatte besteht wieder aus Piacryl. Nach Herstellung der Durchbrüche und Gesamtlackierung der Rückseite werden diesmal jedoch die Kanten nach innen mit etwa 45° abgeschrägt und poliert. Das von den am Rand zwischen Front- und Montageplatte (Bild 4) angeordneten Soffitten ausgehende Licht wird z. T. ins Innere der Frontplatte gebrochen.

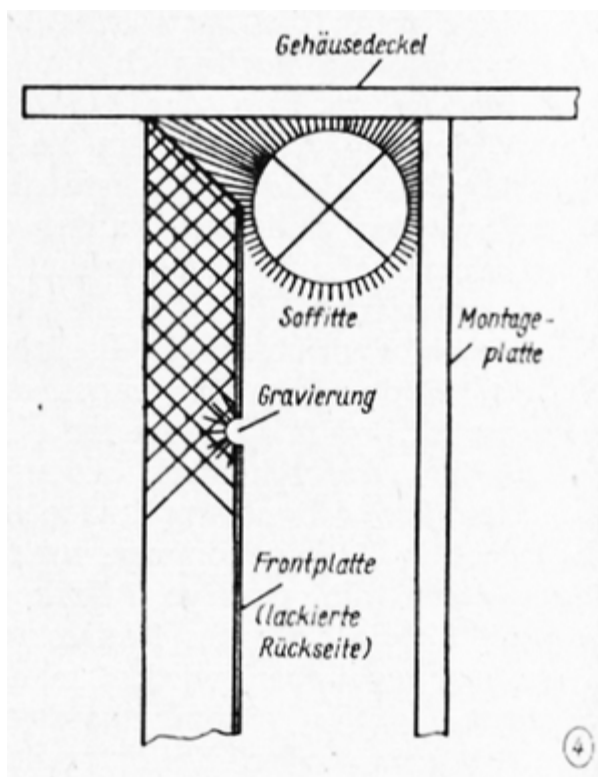


Bild 4: Prinzip der inneren Frontplattenbeleuchtung

Werden jetzt in die lackierte Rückseite Symbole, Schrift usw. eingraviert (spiegelbildlich!), so leuchten diese von vorn betrachtet sehr kräftig.

Da Gravierungen mit Amateur-mäßigen Mitteln immer relativ schwierig herzustellen sind, sei hier ein Verfahren angegeben, das nach einiger Übung mit recht gutem Erfolg angewendet werden kann. Benötigt werden dazu eine Bohrmaschine mit biegsamer Welle, diverse Zahnarztbohrer und eine ruhige Hand. Nachdem man auf einem Probestück (das braucht nicht unbedingt Piacryl zu sein) einige erfolgreiche Gravierungen vorgenommen hat, kann man sich

an die Frontplatte wagen. Dazu werden Symbole, Schrift usw. sauber seitenverkehrt auf die lackierte Rückseite der Frontplatte gezeichnet. Alle geraden Linien werden mit Hilfe einer Führungsschiene ausgefräst. Gekrümmte Linien müssen freihändig herausgearbeitet werden. Man geht dabei stückweise vor und kontrolliert öfters das Aussehen der Frontplatte von vorn.

2. Schaltungstechnische Varianten

2.1. Endverstärker

Bei der schaltungstechnischen Realisierung des Endverstärkers bzw. der Leistungsstufe spielt die geforderte Ausgangsleistung eine entscheidende Rolle. Während man mit Transistor-Leistungsverstärkern z. Z. mit den im RGW vorhandenen Bauelementen maximal etwa 60 W erreichen kann [2], muß man für größere Leistungen noch Röhrendstufen verwenden. Eine Ausnahme könnte es evtl. bei speziell für Bass vorgesehenen Leistungsverstärkern geben. Bild 5 zeigt die Endstufe einer 100-W-Baßanlage.

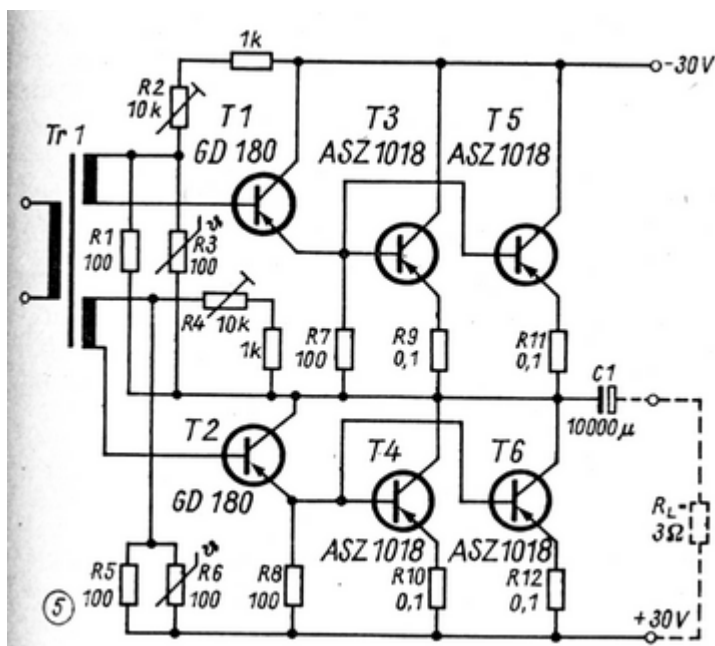


Bild 5: Endstufe einer 100-W-Anlage (Bass)

An einer Gruppenschaltung von acht 12,5-W-Lautsprechern ($R_L = 3 \Omega$) wäre dann bei einer Betriebsspannung von $2 \times 30V = 60V$ eine Ausgangsleistung

$$P_a = \frac{U_B^2}{8 R_L} = \frac{3600}{24} = 150 \text{ W}$$

möglich.

Wegen der unvermeidlichen Verluste sind jedoch nur etwa 100 W erreichbar. Jeder der jeweils parallel geschalteten ASZ1015 muß dabei einen Spitzenstrom von etwa 5 A verkraften.

Die Verlustleistung

$$P_v = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{U_B^2}{R_L} \approx \frac{1}{40} \cdot 1200 \approx 30 \text{ W}$$

verteilt sich ebenfalls auf zwei Transistoren. Die erforderliche Kühlfläche kann mittels eines Diagramms leicht ermittelt werden [2]. T1 bzw. T2 vermindern durch die Darlingtonschaltung den erforderlichen Steuerstrom. Der thermischen Arbeitspunktstabilisierung muß wegen der hohen Wärmeerzeugung besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die Heißeiter werden deshalb in unmittelbarer Nähe der Leistungstransistoren (isoliert) angebracht.

Durch die Phasendrehungen des Treibertrafos lassen sich über ein breites Frequenzband nur geringe Gegenkopplungsgrade erreichen. Zur Verminderung von Verzerrungen und Intermodulationserscheinungen werden aber hohe Gegenkopplungsgrade gefordert. Diese lassen sich bei der Schaltung nach Bild 5 nur durch Begrenzen des Frequenzbandes nach oben hin verwirklichen. Der Verstärker hat eine obere Grenzfrequenz von 1 .. 2 kHz (Bassverstärker). Wegen der Gefährdung der Leistungstransistoren bei ausgangsseitigem Kurzschluss sind unbedingt elektronische Sicherungen oder andere Schutzmaßnahmen vorzusehen.

Ausgangsleistungen in der Größenordnung von 100 W und mehr für den gesamten NF-Bereich (40 ... 16 000 Hz) sind z. Z. mit den im RGW erhältlichen Bauelementen nur mit Röhren zu erreichen. Als Standardvariante hat sich dabei die Gegentakt-B-Schaltung mit EL 34 durchgesetzt (Bild 6).

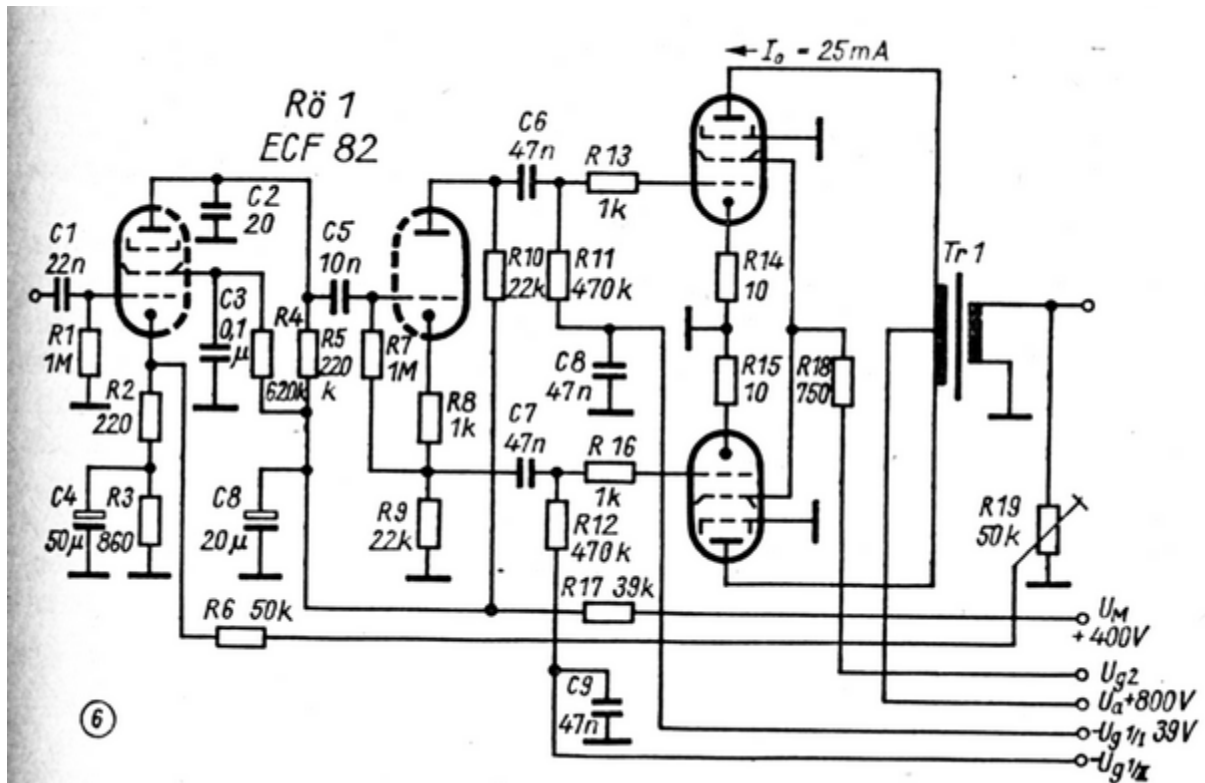


Bild 6: Gegentakt-B-Schaltung mit 2 X EL 34

Es lassen sich zwar mit 2x EL 34 bei entsprechend hoher Betriebsspannung (800 V) 100 W Ausgangsleistung erzeugen [3], aber aus Gründen der Zuverlässigkeit und der größeren Leistungsreserven werden auch vielfach 4x EL 34 eingesetzt (Bild 7).

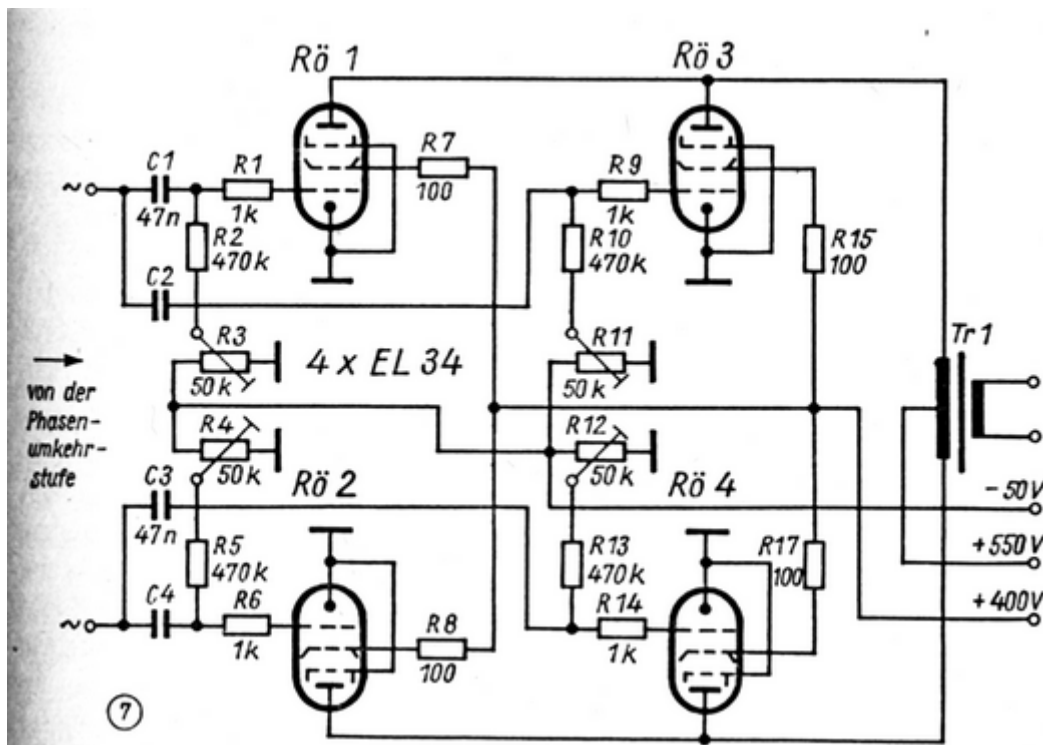


Bild 7: Gegentakt-B-Schaltung mit 4x EL 34

Durch die Parallelschaltung verringert sich der optimale Außenwiderstand, wodurch wiederum der Ausgangsübertrager einfacher und damit billiger wird. Um geringe Streuinduktivitäten und Wickelkapazitäten zu erreichen, müssen die Primär- und Sekundärwicklung des Ausgangsübertragers verschachtelt werden. Es sei hier auf Spezialliteratur verwiesen [4] [5]. Durch Reihen- bzw. Parallelschalten der Sekundärwicklungen ist dann eine Anpassung an verschiedene Lastwiderstände möglich.

Ein fertig dimensioniertes Beispiel ist am Ende des Beitrages bei der Beschreibung des 100W-Gesangsverstärkers zu finden. Die Wickelvorschrift für 4x EL 34 kann beim Verfasser angefordert werden.

Die Phasenumkehrstufe ist wegen der hohen Aussteuerspannung der B-Endstufe ($> 33 \text{ V}$) ebenfalls nur mit Röhren zu realisieren. Wenn man hierfür das Triodensystem einer ECF 82 verwendet und das Pentodensystem als Vorverstärker nutzt, kann man eine Eingangsempfindlichkeit von 50mV (nicht gegengekoppelt!) für Vollaussteuerung erreichen. Mit 20 ... 30 dB Gegenkopplung liegt dann die zur Vollaussteuerung notwendige Eingangsspannung in der Größenordnung von etwa 1 V. Diese Angabe ist wichtig für die Dimensionierung der Vor- und Mischverstärker.

2.2. Vor- und Mischverstärker

Der Vor- und Mischverstärker hat die Aufgabe, die verschiedenen Eingangssignale entsprechend ihrem Pegel zu verstärken, zusammen zu mischen und der Endstufe zuzuführen. Bei exakt aufgebauter Endstufe werden die elektrischen Kenndaten wie Klirrfaktor, Fremdspannungsabstand, Eingangsempfindlichkeit, Frequenzgang und Übersteuerungsfestigkeit im Wesentlichen nur noch von dem Vor- und Mischverstärker bestimmt. Bei der Konzipierung und beim Aufbau des Vor- und Mischverstärkers ist deshalb besonders sorgfältig zu verfahren.

Als wichtigstes Kriterium tritt hierbei die Verstärkung auf, die zur Anpassung der geforderten Eingangsempfindlichkeit an den zur Vollaussteuerung der Endstufe notwendigen Pegel benötigt wird. Nach den weiter oben gemachten Angaben ist dazu eine Verstärkung von etwa $200 = 46\text{dB}$ erforderlich. Diese hohe Verstärkung läßt sich verzerrungsarm nur mit mehrstufigen Transistorverstärkern realisieren. Röhrenverstärker sind an dieser Stelle unzuweckmäßig, da dann der geforderte Fremdspannungsabstand nur sehr schwer zu erreichen ist. Von wesentlichem Einfluß auf den Fremdspannungsabstand ist auch die Einordnung der Pegelregler in den Signalfluss, wobei hier zu beachten ist, daß die Übersteuerungsfestigkeit davon ebenfalls beeinflußt wird.

Bild 8 zeigt das Schaltbild eines universellen Vorverstärkers [6].

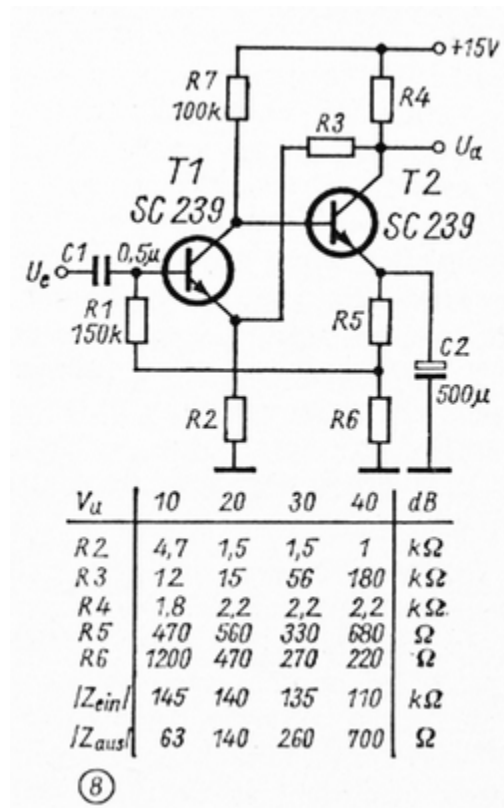


Bild 8: Universeller Vorverstärker

Je nach Dimensionierung ergeben sich verschiedene Verstärkungen und Ein- bzw. Ausgangswiderstände. Dieser Verstärker kann sowohl im Summenkanal als auch in den Einzelkanälen eingesetzt werden. Wird der Verstärker als Eingangsstufe eingesetzt, müssen besonders rauscharme Transistoren verwendet werden.

Im Bild 9 ist ein fertig dimensioniertes Beispiel für einen Gitarrenvorverstärker dargestellt.

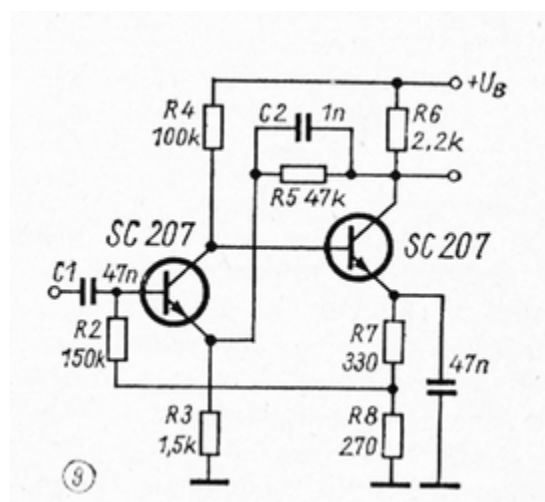


Bild 9: Vorverstärker für Gitarre

Durch die frequenzabhängige Beschaltung mit C2 und C3 wird etwa die Frequenzgangcharakteristik nach Bild 1 erreicht.

Da die Pegelregler der einzelnen Kanäle sich nicht gegenseitig beeinflussen sollten, d. h., unabhängig voneinander funktionieren müssen, ist eine Entkopplung durch Trennstufen notwendig. Bild 10 zeigt eine entsprechende Mischstufe für vier Kanäle.

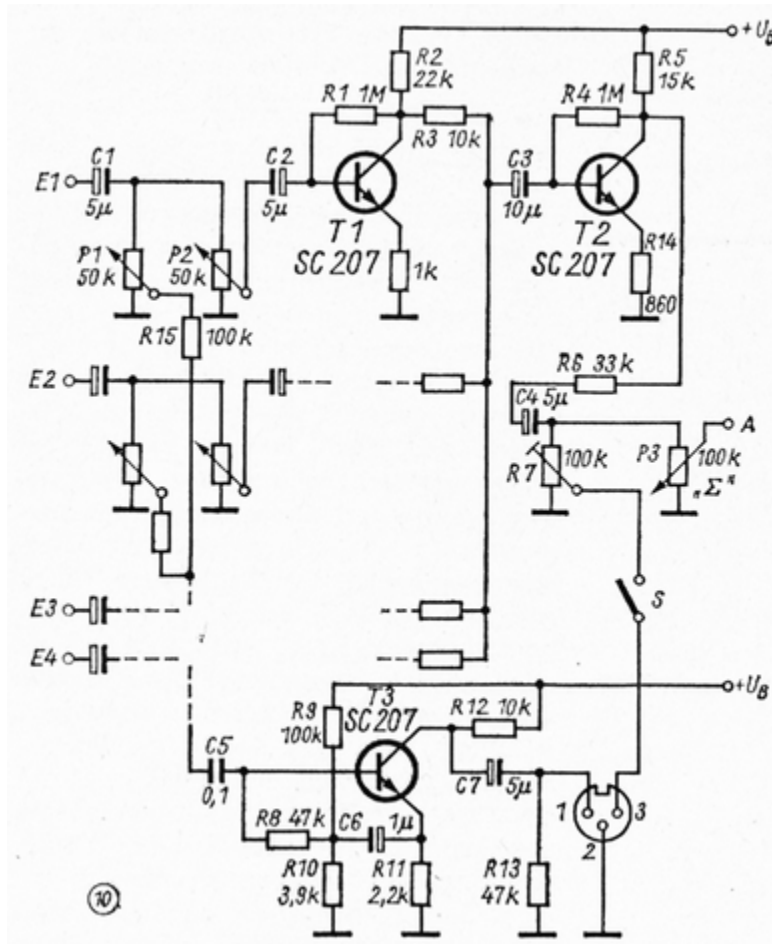


Bild 10: Mischverstärker

Diese Mischstufe läßt sich auf beliebig viele Kanäle erweitern. Die Einschleifung eines Hallgerätes geschieht üblicherweise zwischen Mischstufe und Summenkanal bzw. Endstufe. In dieser Variante sind jedoch Originalsignal und Hallanteil nicht voneinander zu trennen und es ist somit eine etwas schwierige Einstellung der jeweils gewünschten Hallintensität gegeben.

Wenn man außerdem der im Abschnitt 1.1. dargelegten Forderung nach separater Einstellung der Hallintensität je Kanal Rechnung trägt, kommt man zu der ebenfalls im Bild 10 gezeigten Lösungsvariante. Parallel zu den Pegelreglern der einzelnen Kanäle werden mit den

Hallintensitätsreglern die gewünschten Pegelanteile entnommen, über Entkopplungswiderstände zusammengemischt, verstärkt und an den Eingang des Hallgerätes weitergeleitet. Das verhallte Signal wird dann - vom Ausgang des Hallgerätes kommend - im Summenkanal wieder in den Signalfluss eingespeist. Um die Größe des Ausgangssignals des Hallgerätes den Pegelverhältnissen im Summenkanal anpassen zu können, muß ein entsprechender Einstellregler vorgesehen werden. Mit dem Schalter 5 (Leuchtdrucktaste) läßt sich die Wirkung des Hallgerätes völlig abschalten. Im Zuge des Summenkanals muß - wie weiter oben schon erläutert - noch ein Pegelregler eingefügt werden. Dies geschieht meist zwischen Mischstufe und Endverstärker. Vor dem Summenkanalregler kann man dann einen hochohmigen Ausgang herausführen, mit dem es möglich ist, weitere Leistungsendstufen oder andere Geräte von dem einen Verstärker aus zu steuern.

2.3. Klangregelstufen

Klangregelstufen gibt es in verschiedenen Arten. Je nach Funktionsweise und Anwendung unterscheidet man:

- normale Höhen- und Tiefenregler,
- Baxandall-Regler,
- spezielle Klangregler (Middle-Regler und Equalizer).

Bild 11 zeigt einen aus der Rundfunktechnik bekannten normalen HT-Regler [7].

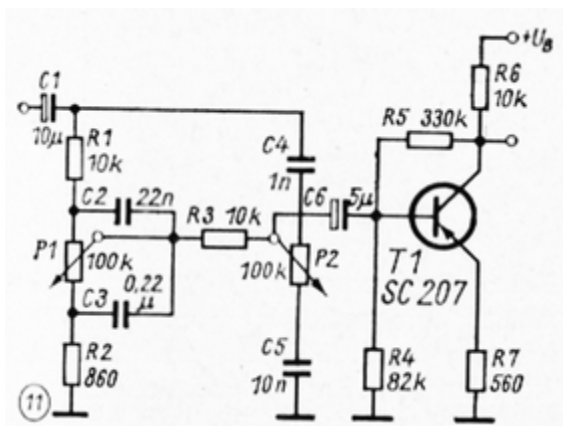


Bild 11: Höhen- und Tiefenregler

Durch frequenzabhängige Spannungsteilung wird die im Bild 12 dargestellte Frequenzcharakteristik erreicht.

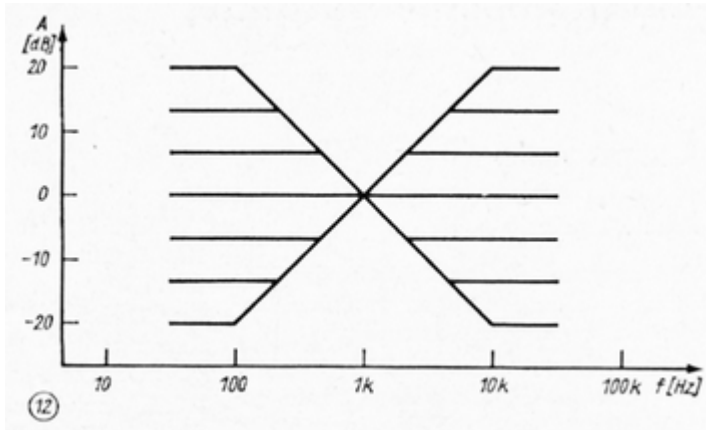


Bild 12: Frequenzgangcharakteristik (schematisch)

Bessere Eigenschaften besonders hinsichtlich Klirrfaktor erzielt man mit der Klangregelschaltung nach „Baxandall“ (Bild 13) [8].

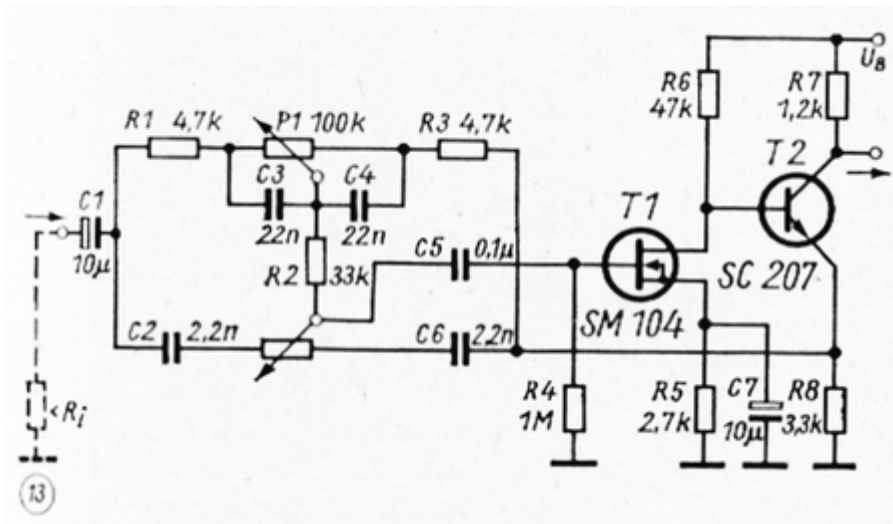


Bild 13: Baxandall-Regler

Durch Einbeziehung der frequenzabhängigen Spannungsteilung in eine Gegenkopplungsschleife ergibt sich dann die im Bild 14 gezeigte Charakteristik.

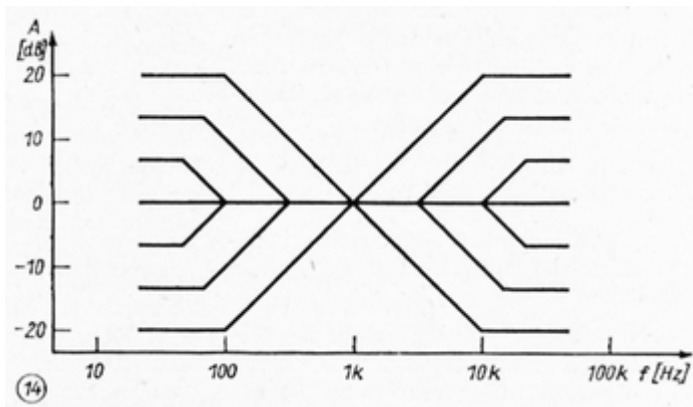


Bild 14: Frequenzgangcharakteristik

Voraussetzung für richtiges Funktionieren sind ein niedriger Quellwiderstand und eine geringe Belastung durch das Verstärkerelement. Aus diesem Grunde wurde für letzteres ein MOSFET als Impedanzwandler und ein npn-Transistor als Verstärker eingesetzt.

Ein spezieller Klangregler ist der sogenannte „Middle“- oder auch „Präsenz“-Regler.

Bild 15 zeigt die entsprechende Schaltung [6].

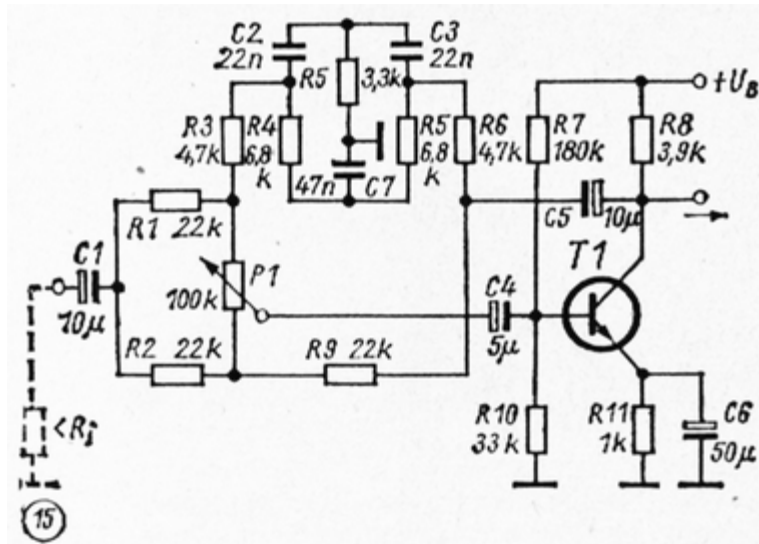


Bild 15: Middle-Regler

Ein Doppel-T-Glied im Gegenkopplungs-zweig wird durch den Regler P1 mehr oder weniger wirksam gemacht. Die Sperrwirkung des Doppel-T-Gliedes hebt die Gegenkopplung bei Resonanzfrequenz nahezu auf, so daß die Verstärkung ansteigt und sich ein Frequenzgang nach Bild 16 ergibt.

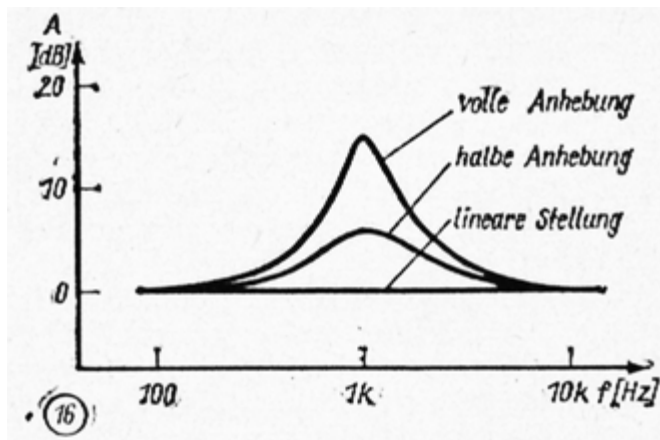


Bild 16: Frequenzgangcharakteristik des Middle-Reglers

In letzter Zeit hat ein neues Gerät bzw. eine neue Baugruppe mit großem Erfolg Einzug in die Musikelektronik gehalten. Es handelt sich um den sogenannten Equalizer [9]. Mit diesem Gerät ist es möglich, den Frequenzgang eines Verstärkers in weiten Grenzen ganz nach „Geschmack“ bzw. Erfordernis einzustellen. Besonders bei Gesangsverstärkern ist man jetzt in der Lage, akustische Unzulänglichkeiten des Veranstaltungsraumes auszugleichen und einen modernen Sound mit wesentlich größerer Lautstärke zu „fahren“. Dies ist durch die elektronische Unterdrückung akustischer Rückkopplungen zu erreichen.

Bild 17 zeigt die Schaltung nach [10].

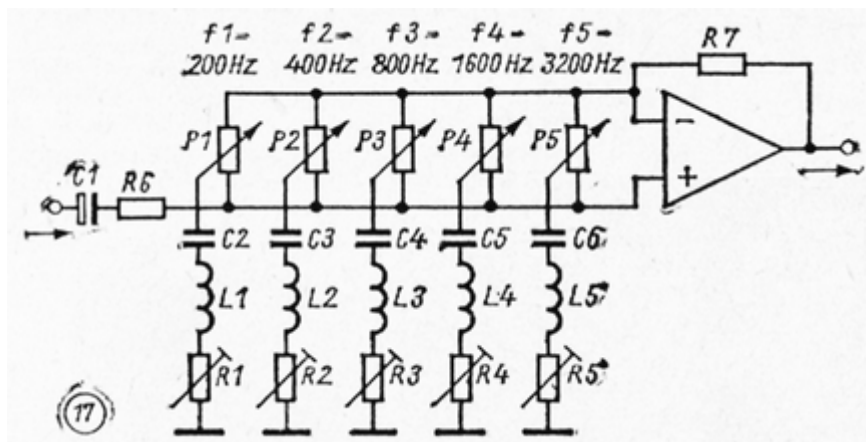


Bild 17: Equalizer

Mit den 5 Potentiometern, die zweckmäßigerweise als Schieberegler ausgeführt werden, ist eine Anhebung bzw. Absenkung fünf verschiedener schmaler Frequenzbereiche möglich. Mit den Einstellreglern R1 bis R5 werden die Reihenschwingkreise auf gleiche relative Güte eingestellt. Das ergibt dann etwa den gleichen Betrag der Anhebung bzw. Absenkung bei den Resonanzfrequenzen. Die Resonanzfrequenzen sind zweckmäßigerweise im Oktavabstand zu wählen. Auf die Wirkungsweise der Schaltung kann hier nicht eingegangen werden. Es wird auf die angegebenen Literaturstellen verwiesen.

Die Frequenzgangcharakteristik ist in Bild 18 dargestellt.

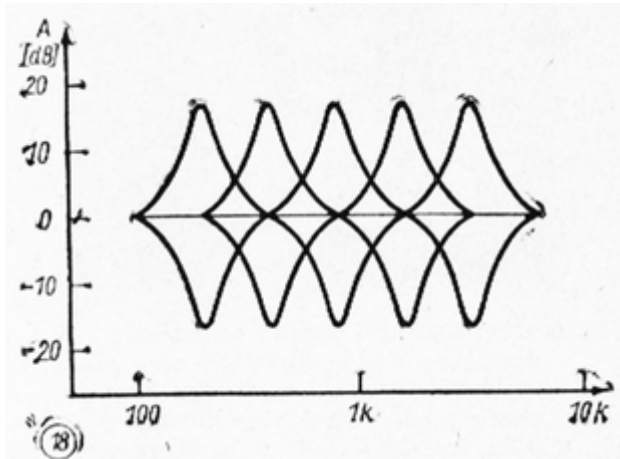


Bild 18: Frequenzgangcharakteristik des Equalizers

2.4. Aussteuerungsanzeige

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten zur Aussteuerungsanzeige.

Die erste Variante bedingt den Einsatz eines kleinen Einbauinstrumentes, dessen Beschaffung durch das Angebot aus der Rundfunk- und Kassettentechik relativ einfach ist. Durch die geringe Skalenlänge wird jedoch die Ablesbarkeit ziemlich eingeschränkt. Um den großen Dynamikbereich besser darstellen zu können, empfiehlt sich die Anwendung einer quasilogarithmischen Anzeige. Bild 19 zeigt die entsprechende Schaltung einer Aussteuerungsanzeige mit Messinstrument.

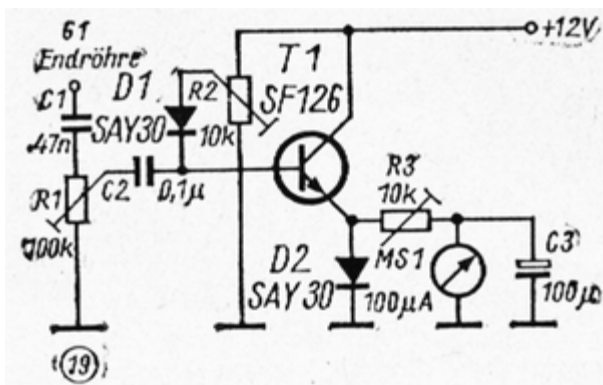


Bild 19: Aussteuerungsanzeige mit Messinstrument

Die Aussteuerungsanzeige mit Messinstrument hat den Nachteil, daß man ziemlich genau hinschauen muß, um sich über den momentanen Aussteuerungszustand des Verstärkers zu informieren. Wenn man dagegen anstelle des Messinstrumentes eine Abstimmanzeigeröhre einsetzt, ist man in der Lage, sozusagen auf den ersten Blick die Aussteuersituation zu übersehen. Außerdem besteht noch der Vorteil, daß durch das kräftige, flackernde Leuchten

ein ansprechender optischer Eindruck auf den Zuschauer erzielt wird. Bild 20 zeigt eine aus der Magnetbandschaltungstechnik (BG 20-6) bekannte Aussteuerungsanzeige mit Magischem Balken.

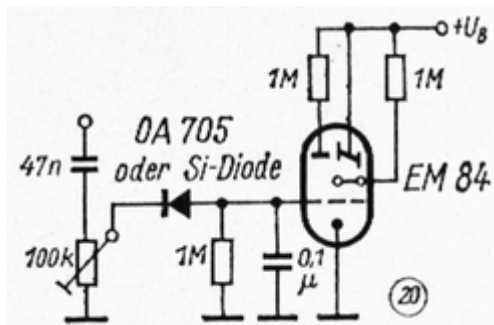


Bild 20: Aussteuerungsanzeige mit EM 84

2.5. Spezialbaugruppen

In vielen Verstärkern für Instrumente wie auch für Gesangsanlagen findet man noch Baugruppen zur Erzeugung spezieller Effekte, z. B.

- Tremolo,
- Verzerrer und
- Regelverstärker.

Da eine Erörterung dieser speziellen und sehr vielseitigen Technik über den Rahmen dieses Beitrags hinaus geht, wird hier nur auf entsprechende Literatur verwiesen [11] [12] [13].

3. Praktisch aufgebauter 100-W-Gesangsverstärker

Zum Schluss soll noch kurz an Hand einiger Bilder ein nach den oben dargelegten Überlegungen entstandener 100-W-Gesangsverstärker beschrieben werden.

Bild 21 zeigt den Übersichtsschaltplan des Verstärkers.

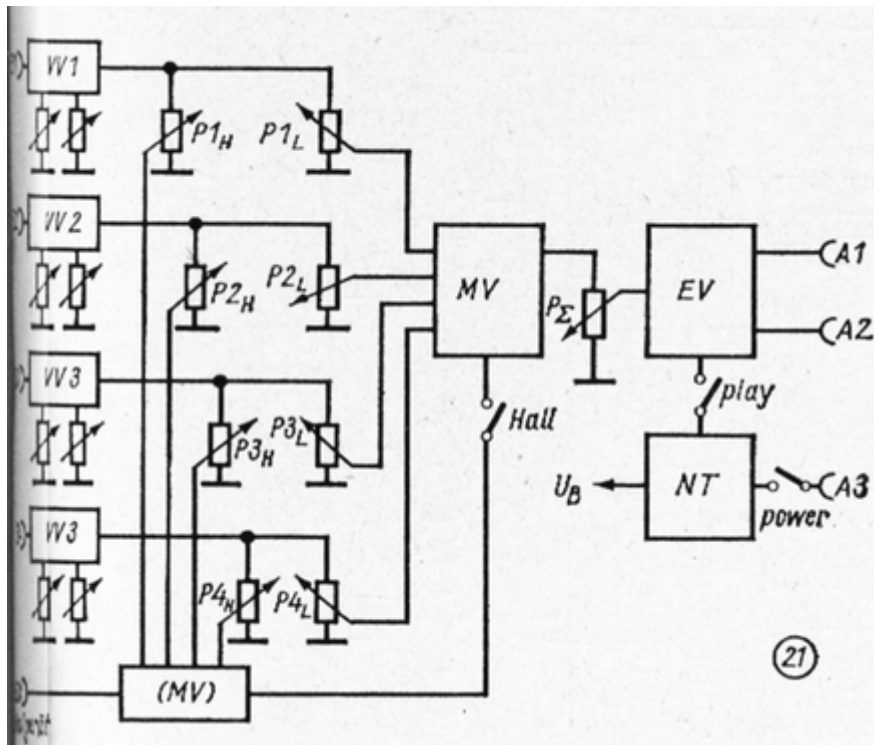


Bild 21: Übersichtsschaltplan des 100-W-Verstärkers

Von den Vorverstärkern VV1 bis VV4 gelangen die Eingangssignale zu den Pegelreglern PH und PL für Hallanteil und Normallautstärke jeden Kanals.

In den Vorverstärkern wird die Höhen- und Tiefenregelung durchgeführt. Von den Pegelreglern gelangen die einzelnen Signale der vier Kanäle zu den identisch aufgebauten Mischverstärkern (MV). Da zum Zeitpunkt der Entstehung des Verstärkers keine rauscharmen npn-Si-Transistoren greifbar waren, musste im Gegensatz zu Bild 10 eine abweichende Variante mit pnp-Ge-Transistoren gewählt werden. Da die vier Kanäle identisch sind, wurden entsprechende Bausteine entwickelt (VV und KRN), so daß alle vier Vorverstärker nebst Klangregelstufen und Mischverstärker auf einer Leiterplatte Platz finden konnten (Bild 24). Das Summensignal wird dann über den Summenpegelregler dem Endverstärker zugeführt. Das vom Hallgerät kommende Hallsummensignal wird vor dem Summenpegelregler wieder in den Signalfluss eingespeist.

Da die meisten Hallgeräte einen Ausgangspegelregler haben, erübrigt sich dieser im Verstärker.

Bild 22 zeigt das Gesamtschaltbild ohne Endverstärker (s. Bild 6) und Netzteil (Bild 23).

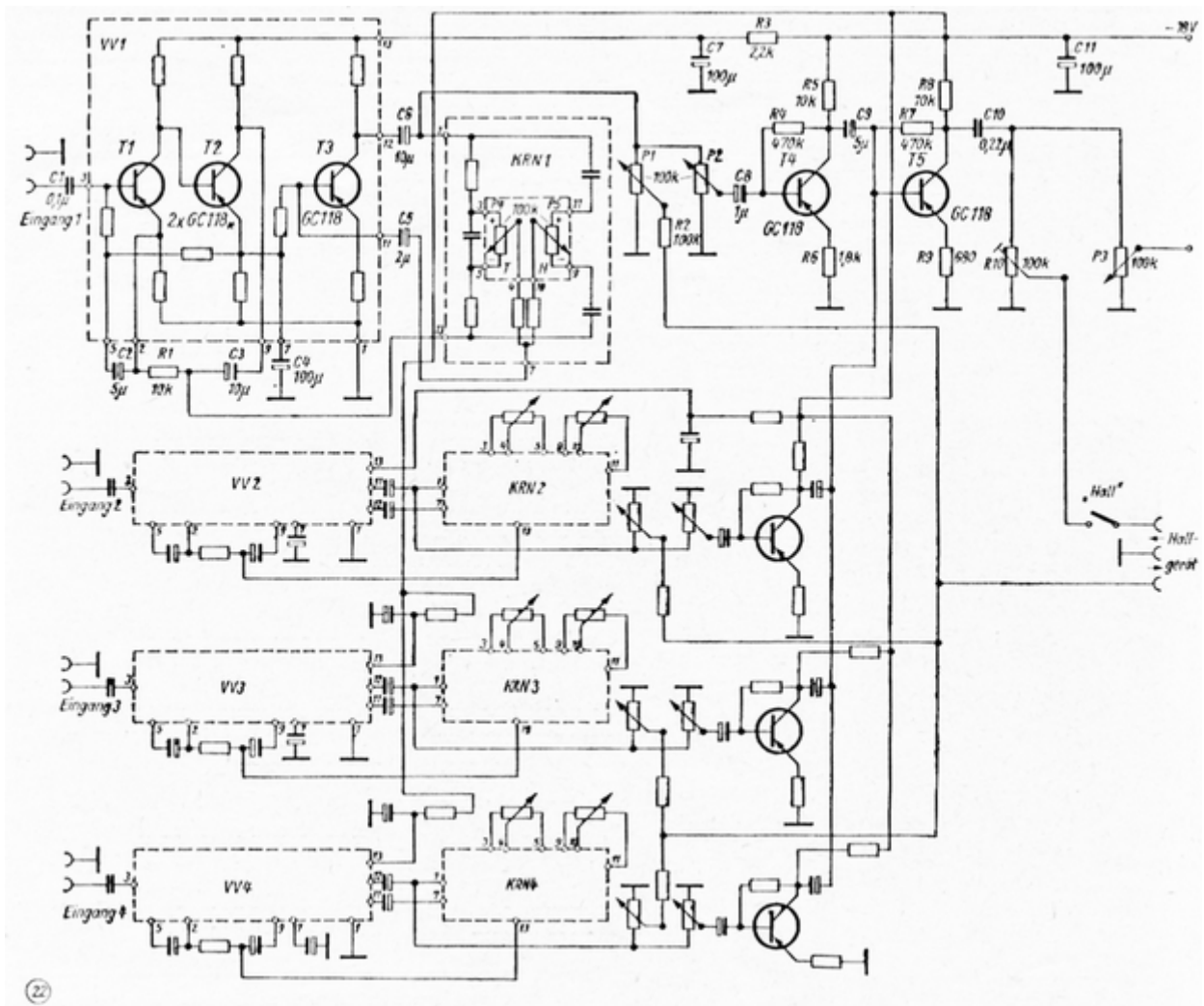


Bild 22: Gesamtstromlaufplan (ohne Endstufe und Netzteil)

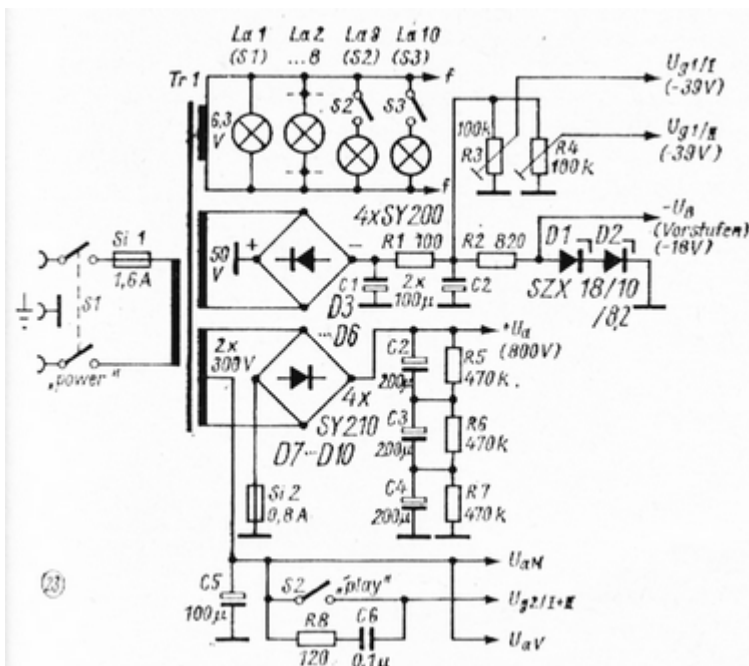


Bild 23: Stromlaufplan des Netzteils

Das Netzteil stellt die für den Verstärker notwendigen Betriebsspannungen bereit. D3 ... D6 mit den dazugehörenden Siebgliedern sorgen für die negative Gittervorspannung der Endröhren und gleichzeitig für die Vorstufen. Durch die Schaltung von D7...D10 ist es möglich, gleichzeitig die Endstufe (800V) und die Phasenumkehrstufe (400V) mit der notwendigen Betriebsspannung zu versorgen. Da es Elkos mit 800 V Betriebsspannung nicht gibt, mussten 3 Stück 200 μ F/350 V in Reihe geschaltet werden. Die Parallelwiderstände dienen der gleichmäßigen Spannungsaufteilung. Mit dem Schalter „play“ läßt sich die Schirmgitterspannung der Endröhren abschalten und somit in Betriebspausen eine unnötige Wärmeentwicklung vermeiden. Das über dem Schalter liegende RC-Glied ist zur Verminderung des Ein- und Ausschaltknackens notwendig.

Die Wickelvorschrift des Netztrafos ist in Tabelle 1 dargestellt. Es wird ebenso wie beim Ausgangstrafo ein EI-130-Kern verwendet.

Tabelle 1

Wickelvorschrift für den Netztrafo

Kern: EI 130/36

Primär: 220V, 570 mA;

Grundisolation 4x 0,1mm-Lackgewebe;

632 Wdg., 0,38-mm-CuL; Lagenisolation je 1x 0,06-mm-Lackpapier;

Isolation zwischen Primär- und Sekundärwicklung: 4x 0,1 mm-Lackgewebe

Sekundär: 60V, 100 mA;

192 Wdg., 0,2-mm-CuL; Wicklungsisolation 0,1-mm-Lackgewebe;

2x 320V, 200 mA;

2000 Wdg., 0,3-mm-CuL (10x 200 Wdg.), Anzapfung bei 1000 Wdg.;

Lagenisolation je 1x 0.06-mm-Lackpapier;

Wicklungsisolation 4x 0,1-mm-Lackgewebe;

6,3 V, 4,2 A;

20 Wdg., 1,2-mm-CuL;

Deckisolation 4x 0.1-mm-Lackgewebe.

Bild 24 zeigt den Aufbau der Endstufe nebst Netzteil und Phasenumkehrstufe (die ECF 82 befindet sich unter den Endröhren).

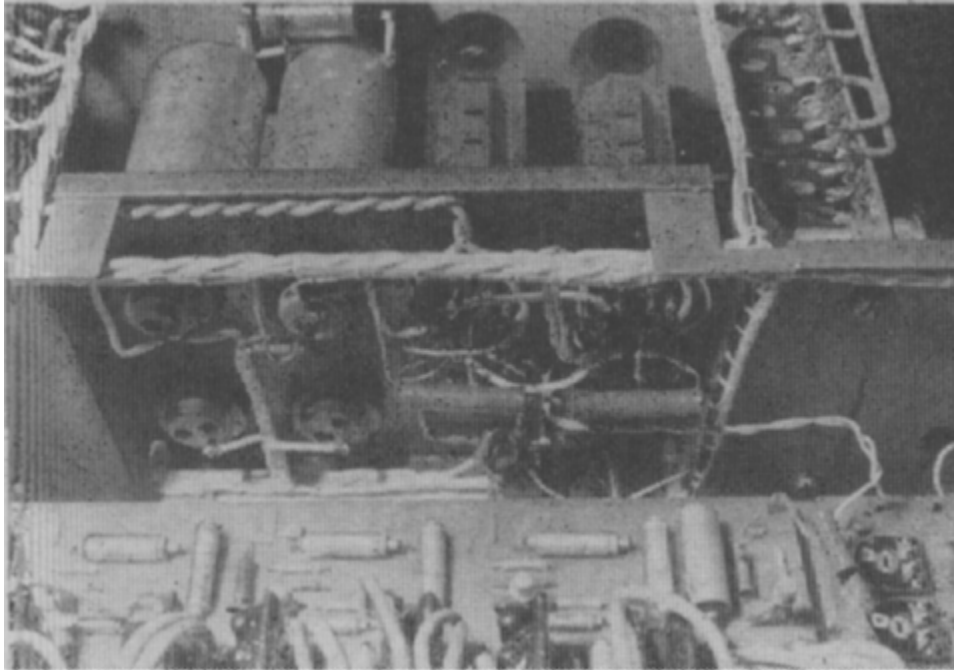


Bild 24: Ansicht der Endstufe (unten die Leiterplatte für Vor- und Mischverstärker)

Die Wickelvorschrift des Ausgangstrafos ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2

Wickelvorschrift für den Ausgangstrafo,

Gegentakt-B-Betrieb mit 2X EL 34, 100 W

Kern: EI 130/36

Betriebsdaten: $U_{Ba} = 800 \text{ V}$; $U_{Bg2} = 400 \text{ V}$; $U_{Bg3} = 0 \text{ V}$; $U_{g1} = -39 \text{ V}$; $R_{g2} = 750 \text{ } \Omega$, $R_{a/a} = 11 \text{ k}\Omega$.

Um eine geringe Streuinduktivität zu erreichen, werden die Primär- und Sekundärwicklungen aufgeteilt: Primärwicklungen: I, III, V und VII; Sekundärwicklungen: II, IV und VI.

Grundisolation 4x 0,1-mm-Lackgewebe.

I. 1000 Wdg., 0,25-mm-CuL (5x 200 Wdg. = 5 Lagen; Lagenisolation je 1x 0,06-mm-Lackpapier;

Wicklungsisolation 4x 0,1-mm-Lackgewebe.

II. 47 Wdg., 1,0-mm-CuL, Anzapfung bei 78 Wdg.;

Wicklungsisolation 1x 0,1 mm-Lackgewebe.

III. 1000 Wdg., 0,25-mm-CuL (5x 200 Wdg.); Lagenisolation je 1x 0,06-mm-Lackpapier;

Wicklungsisolation 4x 0,1-mm-Lackgewebe.

IV. 94 Wdg., 1,0-mm-CuL;

Wicklungsisolation 4x 0,1-mm-Lackgewebe.

V. 1000 Wdg., 0,25-mm-CuL (5x 200 Wdg.); Lagenisolation je 1x 0,06-mm-Lackpapier;

Wicklungsisolation 4x 0,1-mm-Lackgewebe.

VI. 47 Wdg., 1,0-mm-CuL, Anzapfung bei 19 Wdg.;

Wicklungsisolation 9x 0,1-mm-Lackgewebe.

VII. 1000 Wdg.; 0,25-mm-CuL (5x 200 Wdg.); Lagenisolation je 1x 0,06-mm Lackpapier;

Wicklungsisolation 4x 0,1-mm-Lackgewebe.

Die Primärwicklung ist die Reihenschaltung der Wicklungen III, VII, I und V in der angegebenen Reihenfolge. U_{Ba} wird am Verbindungspunkt der Wicklungen VII und I zugeführt. Der Anfang der folgenden Wicklung ist jeweils mit dem Ende der vorigen zu verbinden.

Die Sekundärwicklungen werden je nach Lastimpedanz verschieden zusammengeschaltet:

60

Die Last wird an die verbundenen Anfänge der Wicklungen II und IV sowie die verbundenen Enden der Wicklungen IV und VI angeschlossen. Außerdem wird das Ende der Wicklung II mit dem Anfang der Wicklung VI verbunden.

120

Die Last wird an die Anzapfungen der Wicklungen II sowie VI angeschlossen. Das Ende der Wicklung II wird mit dem Anfang der Wicklung IV verbunden und das Ende der Wicklung IV mit dem Anfang der Wicklung VI.

240

Die Last wird an den Anfang der Wicklung II sowie das Ende der Wicklung VI angeschlossen. Das Ende der Wicklung II wird mit dem Anfang der Wicklung IV und das Ende der Wicklung IV mit dem Anfang der Wicklung VI verbunden.

Die Verwendung des geringfügig größeren Kernes EI 130a bringt den Vorteil wesentlich größeren Wickelraums gegenüber dem in [3] vorgesehenen M102b-Kern.

Die Vorderansicht des kompletten Verstärkers schräg von unten zeigt Bild 25.



Bild 25: Ansicht des kompletten 100-W-Gesangsverstärkers

Die Knöpfe sind nicht handelsüblich, sie wurden angefertigt.

Der weiße Strich, ganz links neben dem Griff, ist die Abstimmanzeigeröhre.

Die Griffe sind – wie eingangs erläutert - ebenfalls Sonderanfertigung.

Literatur

- [1] Henschel, S.: Ein 100-W-Verstärker, radio und fernsehen 13 (1964), H. 8, S. 253 bis 254 [2]
Salomon, P.: Eisenlose Hochleistungs-NF-Verstärker mit Transistoren, FUNKAMATEUR 22 (1973), H.
11, S. 528 bis 541, H. 12, S. 588 bis 591 und 23 (1974), H.1, S.14 bis 19
- [3] Wilson; Pfeiffer: Vocal-Master - Eine portable Gesangsanlage, FUNKSCHAU 42 (1970), H. 24, S.
835 ff
- [4] Schröder: Elektrische Nachrichtentechnik, Bd. II, Verlag für Radio-Foto-Kino-Technik Berlin-
Borsigwalde
- [5] Köhler: NF-Verstärker, VEB Verlag Technik Berlin
- [6] Transistorkompendium Teil III, VALVO-Firmendruckschrift
- [7] Schaltbeispiele aus der NF-Technik, SIEMENS-Firmendruckschrift
- [8] Stereoverstärker HiFi 50, radio fernsehen elektronik 23 (1974), H. 5, S. 150 und 151
- [9] -, Wireless World 79 (1973), H. 1455, S.457 bis 459
- [10] -, Radiotechnika (Budapest) 23 (1973), H. 12, S.418
- [11] Salomon, P.: Eine universelle Gitarrenelektronik FUNKAMATEUR 20 (1971), H. 11, S. 546 ff
- [12] Salomon, P.: Zwei Aufsteckverzerrer für die Gitarre, FUNKAMATEUR 23 (1974), H. 10, S. 482 u.
483
- [13] Ebert, P.: Automatischer NF-Pegelregler, FUNKAMATEUR 19 , (1970), H. 9, S. 429 u. 430

© Copyright Peter Salomon, Berlin – rescript aus funkamateure 1976/H6/H7/H8, bearbeitet 2014

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, Irrtum und Änderungen vorbehalten.
Eine auch auszugsweise Vervielfältigung bedarf in jedem Fall der Genehmigung des Herausgebers.

Die hier wiedergegebenen Informationen, Dokumente, Schaltungen, Verfahren und Programmmaterialien
wurden sorgfältig erarbeitet, sind jedoch ohne Rücksicht auf die Patentlage zu sehen, sowie mit keinerlei
Verpflichtungen, noch juristischer Verantwortung oder Garantie in irgendeiner Art verbunden. Folglich ist
jegliche Haftung ausgeschlossen, die in irgendeiner Art aus der Benutzung dieses Materials oder Teilen davon
entstehen könnte.

Für Mitteilung eventueller Fehler ist der Autor jederzeit dankbar.

Es wird darauf hingewiesen, dass die erwähnten Firmen- und Markennamen, sowie
Produktbezeichnungen in der Regel gesetzlichem Schutz unterliegen.