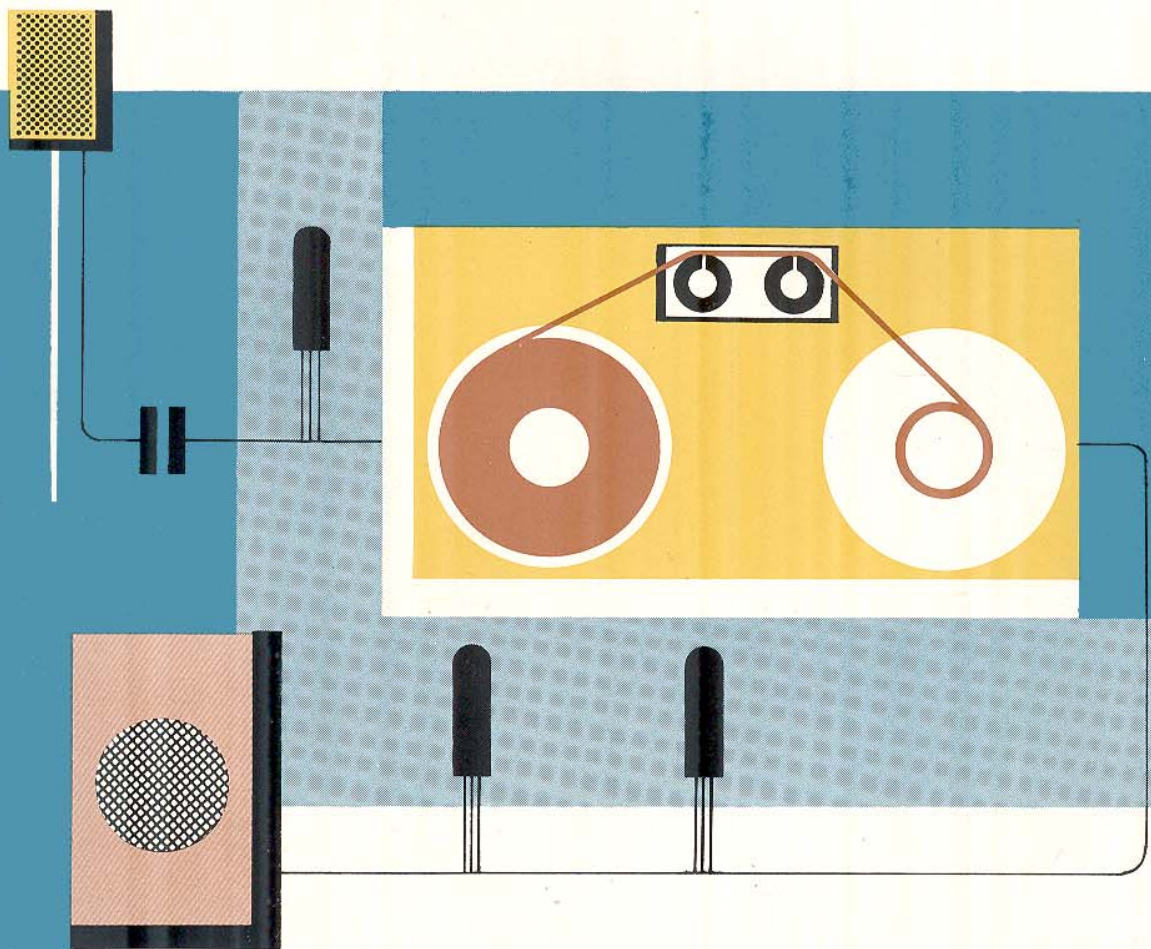


TELEFUNKEN



RÖHREN- UND HALBLEITERMITTEILUNGEN

Ein Tonbandverstärker mit Transistoren



600963

Übersicht über die bisher herausgegebenen Telefunken-Röhrenmitteilungen für die Industrie gibt Ihnen das regelmäßig zum Ende eines jeden Vierteljahres erscheinende Inhaltsverzeichnis. Alle darin genannten Mitteilungen können jederzeit vom technischen Kundendienst der TELEFUNKEN GmbH., Röhrenvertrieb Ulm-Donau, Söflinger Str. 100, nachgefordert werden.

Diese Mitteilung dient nur zu Ihrer Information. Nachdruck (auch auszugsweise) bedarf unserer Zustimmung. Lizenz- und Schutzrechtsfragen liegen außerhalb dieser techn. Information.

Druck: Hartmann Ulm-Do. Printed in Western Germany



Ein Tonbandverstärker mit Transistoren

ZUSAMMENFASSUNG

Diese RMI enthält Dimensionierungsgrundlagen, Schaltung und Meßwerte eines nach der (amerikanischen) NARTB-Norm entzerrten Transistorverstärkers für tragbare Tonbandgeräte mit 9,5 cm/s Bandgeschwindigkeit.

Der Verstärker ist 4-stufig und wird als Aufsprech- und Wiedergabeverstärker verwendet. Die Transistoren des Löschgenerators werden bei Eigenwiedergabe als Verstärkerendstufe in Gegentakt-B-Schaltung verwendet.

Als Köpfe wurden ein Doppelspur-Kombikopf und ein Doppelspur-Löschkopf vorgesehen.

TECHNISCHE DATEN:

Betriebsspannung	6,5 (5,5...7)	V
Bandgeschwindigkeit	9,5	cm/s
Doppelspurköpfe		
Entzerrung nach NARTB-Norm	100	µs
Überalles-Frequenzgang (-3 dB) bezogen auf 1 kHz		
am Rundfunkausgang	40 ... 18000	Hz
am 5-Ω-Lastwiderstand der Gegentakt-B-Endstufe bei Eigenwiedergabe	50 ... 17000	Hz
Temperaturbereich für Abweichung des Überalles-Frequenzganges vom Frequenzgang bei 25 °C für < 3 dB	-10 ... +45	°C
Störspannungsabstand bezogen auf den Bezugspegel des Bandflusses	≥ 50	dB

EINLEITUNG

Für transportable Tonbandgeräte bietet der Transistorverstärker im Vergleich zum Röhrenverstärker Vorteile. Neben kleineren Abmessungen, geringerem Gewicht und geringerer Wärmeentwicklung tritt eine erhebliche Leistungersparnis auf, so daß der Betrieb auch aus Trockenbatterien möglich ist. Bei geeigneter Dimensionierung ist der vom Röhrengerät gewohnte Frequenzgang ohne Schwierigkeiten erreichbar.

1. DIMENSIONIERUNGSGRUNDLAGEN

Ein durch einen Wechselstrom mit frequenzunabhängiger Amplitude und steigender Frequenz magnetisiertes Tonband liefert bei der Wiedergabe eine frequenzabhängige Hörfopf-Leerlaufspannung, deren Verlauf Bild 1 für die Bandgeschwindigkeit $v=9,5$ cm/s zeigt. Der Abfall der Hörfopf-Leerlaufspannung bei hohen Frequenzen ist im wesentlichen bedingt durch die Selbstentmagnetisierung des Bandflusses, die mit abnehmender Aufzeichnungswellenlänge (Bandwellenlänge $\lambda = \frac{v}{f}$) zunimmt. Der Bandfluß ist der remanente Fluß, der nach dem Aufsprechen auf dem Tonband vorhanden ist.

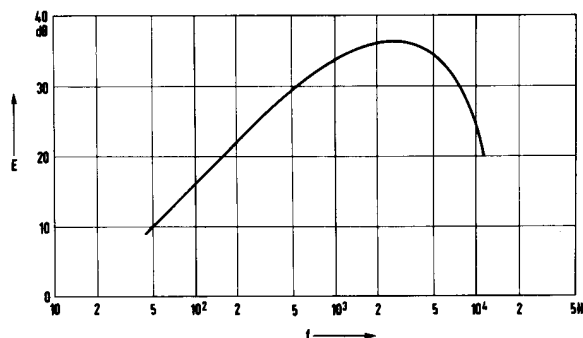


Bild 1 Hörfopf-Leerlaufspannung eines Tonbandes, das mit einem Sprechstrom mit frequenzunabhängiger Amplitude bei 9,5 cm/s Bandgeschwindigkeit magnetisiert wurde.

Zum Erreichen eines linearen Frequenzganges ist eine kräftige Anhebung der tiefen und hohen Frequenzen notwendig. Diese Frequenzgangkorrektur kann im Aufsprechverstärker, der den Sprechkopf speist, oder im Wiedergabeverstärker, der vom Hörfopf gespeist wird, oder aufgeteilt auf beide Verstärker erfolgen. Im Interesse einer Austauschbarkeit von Tonbandaufnahmen wurde eine bestimmte Aufteilung der Frequenzgangkorrektur (Entzerrung) zwischen Aufsprech- und Wiedergabeverstärker durch Normung des Bandflusses festgelegt. Die Entzerrung im Aufsprechverstärker hat dann so zu erfolgen, daß sich bei der Aufnahme der genormte Frequenzgang des Bandflusses ergibt. Dadurch ist für alle Wiedergabeverstärker der gleiche Frequenzgang festgelegt.

1.1 Normung des Bandflusses

Da der Frequenzgang des Bandflusses bei hohen Frequenzen abfällt und daher mit dem Frequenzgang der Impedanz der Parallelschaltung eines Widerstandes R und einer Kapazität C vergleichbar ist, erfolgt die Normung des Frequenzganges des Bandflusses durch Angabe der Zeitkonstanten $\tau = R \cdot C$ dieser Parallelschaltung aus R und C für die jeweilige Bandgeschwindigkeit v , Bild 2.

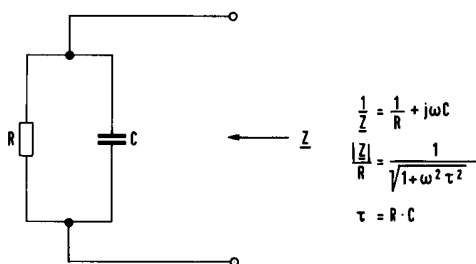


Bild 2 Zeitkonstante eines RC-Gliedes

Für die Bandgeschwindigkeit $v = 9,5$ cm/s ist der Frequenzgang des Bandflusses festgelegt nach der

CCIR-Norm (Comité Consultatif International des Radiocommunications)	mit $\tau = 200 \mu\text{s}$
NARTB-Norm (National Association of Radio and Television Broadcasters)	mit $\tau = 100 \mu\text{s}$

Bild 3 zeigt die normierten Frequenzgänge des Bandflusses mit den Zeitkonstanten der entsprechenden RC-Glieder $\tau = 200 \mu\text{s}$ (normierter Frequenzgang des nach CCIR genormten Bandflusses für $v = 9,5$ cm/s) und $\tau = 100 \mu\text{s}$ (normierter Frequenzgang des nach NARTB genormten Bandflusses für $v = 9,5$ cm/s).

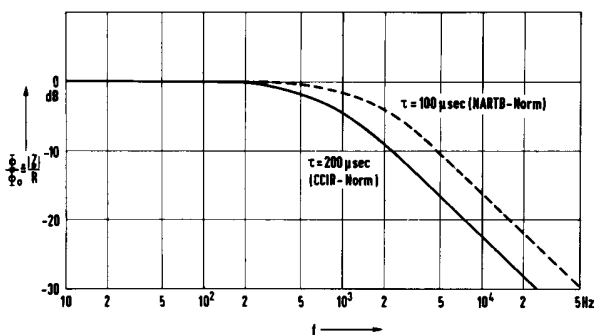


Bild 3 Normierter Frequenzgang des genormten Bandflusses nach der NARTB-Norm ($\tau = 100 \mu\text{s}$) und der CCIR-Norm ($\tau = 200 \mu\text{s}$)

Der Bezugspegel des Bandflusses ist nach DIN 45 513 (DIN-Bezugsband 9) festgelegt: Bei der Bandgeschwindigkeit $9,5$ cm/s und der Frequenz 166 Hz beträgt der Effektivwert des Bandflusses

$$160 \text{ mMaxwell} = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ Vs}$$

Zur Erzielung des genormten Bandflusses müssen im Aufspeechverstärker die hohen Frequenzen angehoben werden. Für einen nach NARTB ($\tau = 100 \mu\text{s}$) genormten Bandfluß (Bild 3) sind die hohen Frequenzen im Aufspeechverstärker stärker anzuheben als für den nach CCIR genormten Bandfluß. Bei der NARTB-Norm ist daher die Anhebung der hohen Frequenzen im Wiedergabeverstärker geringer, wodurch sich ein größerer Signal-Rauschabstand ergibt. Aus diesem Grunde wurde für den hier beschriebenen Tonbandverstärker die Entzerrung nach der NARTB-Norm ($\tau = 100 \mu\text{s}$) gewählt.

1.2 Hörfopfspannung eines mit genormtem Bandfluß (NARTB) besprochenen Tonbandes

Die Leerlaufspannung E , die ein Band mit dem Fluß Φ an der Wicklung (Windungszahl w) des Hörkopfes induziert, ist nach dem Induktionsgesetz

$$E = -w \frac{d\Phi}{dt}$$

Hat Φ einen sinusförmigen Verlauf, $\Phi = \Phi_{\text{max}} \sin \omega t$ und ist Φ_{max} konstant (d. h. frequenzunabhängiger Bandfluß), so ergibt sich

$$E = -w \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{max}} \cos \omega t$$

Bei konstantem Bandfluß steigt die Leerlaufspannung E des Hörkopfes linear mit der Kreisfrequenz ω an (ω - Gang), Bild 4, Kurve a.

Infolge des Abfalls des Bandflusses bei hohen Frequenzen durch die Selbstentmagnetisierung, des Einflusses der Spaltbreite (Spaltfunktion) und der Eisen- und Kupferverluste des Hörkopfes ist die tatsächliche Leerlaufspannung am Hörkopf bei hohen Frequenzen geringer. Kurve d in Bild 4 zeigt den tatsächlichen Verlauf der Leerlaufspannung für den verwendeten kombinierten Hör-Sprechkopf für Doppelspurbetrieb mit $5 \mu\text{m}$ Spaltbreite (Kombikopf 30 mH, $5 \mu\text{s}$, Fa. Bogen GmbH, Berlin), der sich bei der Wiedergabe eines mit genormtem Bandfluß (NARTB-Norm) besprochenen Bandes bei der Bandgeschwindigkeit $v = 9,5$ cm/s ergibt.

TELEFUNKEN RÖHREN- UND HALBLEITERMITTEILUNGEN



BLATT 3

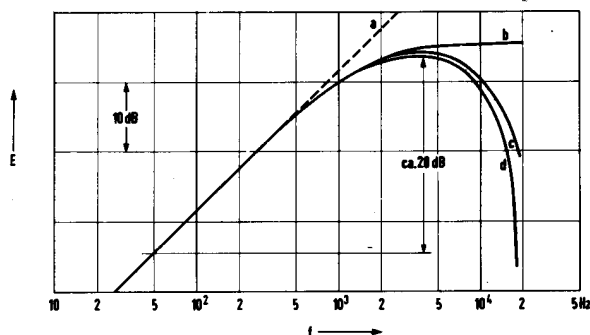


Bild 4 Frequenzgang der Hörkopf-Leerlaufspannung E eines mit genormtem Bandfluß (NARTB) besprochenen Tonbandes.
 Kurve a $1/\omega$ -Gang
 Kurve b Abfall vom $1/\omega$ -Gang infolge Selbstentmagnetisierung
 Kurve c Abfall infolge Selbstentmagnetisierung und Spaltbreite ($5 \mu\text{m}$) des verwendeten Hörkopfes
 Kurve d Gemessene Leerlaufspannung E in Abhängigkeit von der Frequenz

Der Abfall der Hörkopfspeisung von Kurve a (Bild 4) auf Kurve b ist eine Folge der Selbstentmagnetisierung, der Abfall von Kurve b auf Kurve c ist bedingt durch die Hörkopf-Spaltbreite von $5 \mu\text{m}$, der Abfall von Kurve c auf Kurve d wird verursacht durch die Eisen- und Kupferverluste des Hörkopfes.

Die Entzerrung der Hörkopfspeisung erfordert einen Frequenzgang des Wiedergabeverstärkers, der sich durch Spiegelung der Kurve d an einer Waagerechten ergibt. Aus Kurve d folgt, daß zur Erzielung eines konstanten Gesamtfrequenzganges die untere Grenzfrequenz (ca. 50 Hz) am stärksten (um ca. 28 dB) anzuheben ist. Die zur Frequenzgangkorrektur des Wiedergabeverstärkers notwendige frequenzabhängige Gegenkopplung muß also einen maximalen Gegenkopplungsgrad von $p \approx 25 \pm 28 \text{ dB}$ haben. Darüber hinaus ergibt sich aus Kurve d, daß der Wiedergabeverstärker für Frequenzen unterhalb 400 Hz einen $1/\omega$ -Gang haben muß.

2. SCHALTUNG

Als Aufsprech- und Wiedergabeverstärker wird der gleiche Verstärker benutzt, der für Aufnahme und Wiedergabe entsprechend umgeschaltet wird. Der Verstärker ist 4-stufig. Die Eingangsstufe ist mit dem rauscharmen NF-Transistor OC 603 bestückt. In den anderen Stufen wird der NF-Transistor OC 604 verwendet. Bild 17 (am Schluß dieser RMI) zeigt das Gesamtschaltbild des Verstärkers.

Die Temperaturabhängigkeit der Transistorkennwerte erfordert die Stabilisierung der Emitterströme der Transistoren. Die Emitterströme wurden bei den Transistoren T 1 ... T 4 (Bild 17) in der üblichen Weise mit Basisspannteiler und Emitterwiderstand stabilisiert. Die Entzerrung (Frequenzgangkorrektur) des Verstärkers erfolgt nach der NARTB-Norm (Abschnitt 1.1) durch eine frequenzabhängige Gegenkopplungsschaltung, die wegen der unterschiedlichen Frequenzgänge des Verstärkers bei Aufnahme und Wiedergabe umgeschaltet werden muß. Zur Löschung einer Aufnahme für die Neubesprechung eines Tonbandes enthält der Gesamtverstärker außerdem einen Löschgengerator mit $2 \times \text{AC } 106$, der bei Eigenwiedergabe als Gegentakt-B-Endverstärker verwendet wird. Die für eine Aufnahme notwendige HF-Vormagnetisierungsspannung wird dem Löschgengerator entnommen. Zur Aussteuerungsanzeige bei einer Aufnahme dient die Abstimmanzeigeröhre DM 71. Als Anodenspannung für die DM 71 wird die gleichgerichtete Spannung des Löschgengerators verwendet.

Die Umschaltung des Tonbandverstärkers erfolgt mit einem Drucktastenschalter. Es sind folgende Betriebsarten möglich:

Aufnahme	vom Rundfunkgerät
	vom Mikrofon
Wiedergabe	über Rundfunkgerät
	über eig. Lautsprecher

2.1 Wiedergabe

Bei der Wiedergabe einer Tonbandaufnahme wird die am Hörkopf (Kombikopf) induzierte Spannung der Basis des rauscharmen Transistors OC 603 (T 1) zugeführt (Bild 17). Die notwendige Frequenzgangkorrektur des Wiedergabeverstärkers erfolgt mit der frequenzabhängigen Gegenkopplungsschaltung zwischen Emitter von T 3 (OC 604) und Basis von T 2 (OC 604).

Bei Schalterstellung „Wiedergabe über Rundfunkgerät“ gelangt die NF-Spannung vom Collector des Transistors T 4 (OC 604) über den Elektrolytkondensator $10 \mu\text{F}$ an den Kontakt 3 des Rundfunkanschlusses. Bei „Wiedergabe eigen“ werden die als Gegentakt-B-Endstufe umgeschalteten Transistoren T 5 und T 6 ($2 \times \text{AC } 106$) des Löschgengerators vom Transistor T 4

über den Treibertransformator Tr 1 angesteuert. Die Wiedergabe erfolgt entweder mit dem eingebauten 5 Ω -Lautsprecher oder über die Schaltbuchse mit einem Außenlautsprecher.

2.11 Eingangsstufe

In der Eingangsstufe (Bild 17, T 1, OC 603) wird die Hörkopfspeisung frequenzunabhängig verstärkt. Zur Erreichung einer hohen oberen Grenzfrequenz soll der Hör-Sprechkopf (Kombikopf) praktisch im Leerlauf arbeiten. Das ist der Fall, wenn bei der oberen Grenzfrequenz die Eingangsimpedanz des Transistors T 1 (OC 603) noch groß gegen den induktiven Widerstand des Kombikopfes ist. Aus diesem Grunde wurde der niederohmige Kombikopf „30 mH, 5 μ “ der Fa. Bogen GmbH, Berlin, gewählt.

Die Eingangsimpedanz eines Transistors in Emitterschaltung ist die Parallelschaltung von Eingangswiderstand

$$R_e \approx \frac{U_T}{I_E} \beta + r_{bb'}$$

($U_T \approx 28$ mV Temperaturspannung, I_E Emitterstrom, β Stromverstärkungsfaktor in Emitterschaltung, $r_{bb'}$ Basisbahnwiderstand)

und Eingangskapazität (gesamte am Eingang des Transistors wirksame Kapazität)

$$C_e \approx C_{BE} + V \cdot C_{CB} = C_{BE} + \frac{R_a \cdot I_E}{U_T} C_{CB}$$

(C_{BE} Basis-Emitterkapazität, V Spannungsverstärkung in Emitterschaltung, C_{CB} Collector-Basiskapazität, R_a Außenwiderstand im Collector). Die Eingangsimpedanz ist also abhängig vom Emitterstrom I_E . Mit kleiner werdendem Emitterstrom nimmt der Eingangswiderstand zu und die Eingangskapazität ab. Die erwünschte hohe Eingangsimpedanz ergibt sich daher bei einem kleinen Emitterstrom I_E . Da bei sehr kleinen Emitterströmen die Stabilisierung des Collectorstromes gegen Temperaturschwankungen Schwierigkeiten bereitet, wurde als Kompromiß ein Emitterstrom von $I_E = 220 \mu\text{A}$ für den Transistor T 1 (OC 603) der Eingangsstufe gewählt.

Ein weiterer Vorteil des geringen Emitterstromes ist eine kleine Rauschzahl der Eingangsstufe [1].

2.12 Gegenkopplung

Das Prinzipschaltbild der Gegenkopplung bei Wiedergabe zeigt Bild 5. Der für die tiefen Frequenzen not-

wendige $1/\omega$ -Gang des Wiedergabeverstärkers wird durch den Kondensator C_2 erreicht, dessen kapazitiver Widerstand bei tiefen Frequenzen sehr groß ist. Bei mittleren Frequenzen (um 3 kHz) ist sein Einfluß gering und eine kräftige Gegenkopplung über die Widerstände R_3 und R_4 ergibt eine Absenkung der Verstärkung um etwa 28 dB. Bei Frequenzen oberhalb 3 kHz bewirkt das Doppel-T-Glied (C_3, C_4, R_2 und R_3, R_4, C_5) durch seine Sperrkreiseigenschaften (Resonanzfrequenz ca. 21 kHz), daß die Gegenkopplung bei zunehmender Frequenz in der geforderten Weise geringer wird, wodurch eine Höhenanhebung in der Verstärkung erreicht wird. Der Grad der Höhenanhebung wird durch den Kondensator C_1 und den Einstellwiderstand P_2 bestimmt.

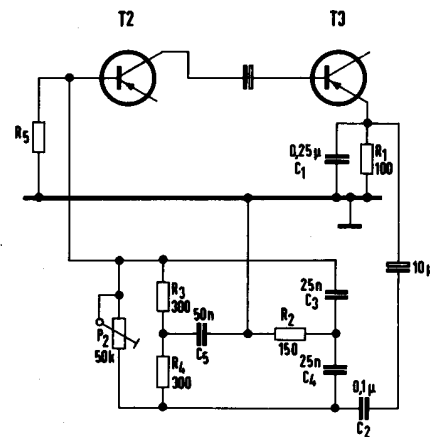


Bild 5 Gegenkopplungsschaltung des Wiedergabeverstärkers

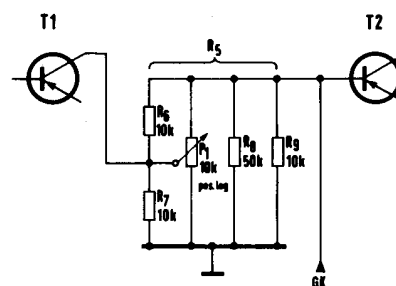


Bild 6 Lastwiderstand R_5 (aus Bild 5) für die Gegenkopplungsspannung bei Wiedergabe und Aufnahme

Damit der Lastwiderstand R_5 für die Gegenkopplung weitgehend unabhängig von der jeweiligen Stellung des Lautstärkereglers (Bild 17 Schichtdrehwiderstand 10 k Ω pos. log) bleibt, wurde zwischen basisseitigem Anschluß und Schleifer des Lautstärkereglers ein Widerstand von 10 k Ω parallel geschaltet (R_6 in Bild 6).



In Bild 6 ist der Lastwiderstand R_5 (Bild 5) für die Gegenkopplung besonders herausgezeichnet. R_8 und R_9 sind die Widerstände des Basisspannungsteilers von T 2 (OC 604), P_1 ist der Lautstärkereglер und R_7 ist der Widerstand in der Collectorleitung des Eingangstransistors T 1 (OC 603). Durch den Widerstand R_6 wird erreicht, daß sich R_5 von der Mittelstellung des Lautstärkereglers P_1 ($R_5 \approx 3,7 \text{ k}\Omega$) bis zu den beiden Endstellungen von P_1 ($R_5 \approx 3,1 \text{ k}\Omega$) nur um maximal 16 % verringert.

2.13 Wiedergabe über Rundfunkgerät

Bei „Wiedergabe Rundfunk“ ist ein getrennter NF-Verstärker (z. B. ein Rundfunkgerät) erforderlich, der am Anschluß 3 der Rundfunkbuchse (Bild 17) anzuschließen ist. Der Eingangswiderstand dieses Verstärkers soll $\geq 20 \text{ k}\Omega$ sein. Der Lautstärkereglер (Schichtdrehwiderstand $10 \text{ k}\Omega$ pos. log zwischen T 1 und T 2) des Wiedergabeverstärkers ist voll aufzudrehen. Die Lautstärkeregelung erfolgt im getrennten NF-Verstärker.

Um einen praktisch frequenzunabhängigen Außenwiderstand der letzten Stufe (T 4, OC 604) des Wiedergabeverstärkers zu erhalten, wird parallel zur Primärwicklung des Treibertransformators Tr 1, dessen Sekundärwicklung bei „Wiedergabe Rundfunk“ offen ist, ein Widerstand von $2 \text{ k}\Omega$ geschaltet. Zur Verringerung des Klirrgrades dient der Gegenkopplungswiderstand 30Ω in der Emitterleitung von T 4. Mit dem zweiten Gegenkopplungswiderstand 100Ω in der Emitterleitung von T 4 wird bei „Wiedergabe Rundfunk“ die Verstärkung von T 4 reduziert, um eine bei sehr großen Amplituden evtl. mögliche Übersteuerung von T 4, die infolge des voll aufgedrehten Lautstärkereglers auftreten kann, zu vermeiden.

2.14 Wiedergabe über eigenen Lautsprecher

Bei „Wiedergabe eigen“ werden die Transistoren T 5 und T 6 (2 x AC 106) des Löschgenerators als Gegentakt-B-Endstufe geschaltet, Bild 7. Die Endstufe wurde für eine Ausgangsleistung von 750 mW dimensioniert. Der Collector-Ruhestrom der Endstufe wird mit dem Einstellwiderstand P_4 auf ca. 6 mA bei $U_b = 6,5 \text{ V}$ eingestellt. Beim Anschluß eines Außenlautsprechers wird der eingebaute $5\text{-}\Omega$ -Lautsprecher durch eine Schaltbuchse abgeschaltet.

Zur Verringerung des Klirrgrades dient die Gegenkopplung ($p \approx 1,5$) durch den Widerstand R_{10} von der Sekundärseite des Ausgangsübertragers Tr 2 auf die Basis des Treibertransistors T 4. Das RC-Glied R_{11} ,

C_6 parallel zur Primärwicklung des Ausgangsübertragers Tr 2 kompensiert die Überlappungsfehler der Transistoren der Endstufe, die infolge der induktiven Belastung durch den Lautsprecher besonders stark bei hohen Frequenzen auftreten. Durch dieses RC-Glied wird daher ebenfalls der Klirrgrad der Endstufe verringert.

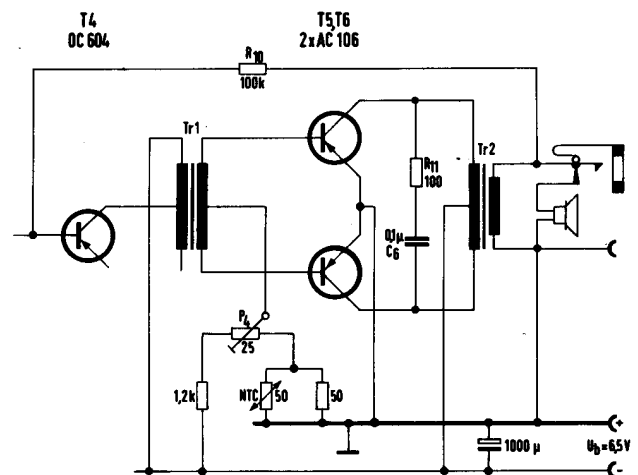


Bild 7 Schaltung der Gegentakt-B-Endstufe mit den Transistoren des Löschgenerators bei „Wiedergabe eigen“.

2.2 Aufnahme

Bei „Aufnahme“ werden die Transistoren T 1 . . . T 4 des Verstärkers mit demselben Arbeitspunkt betrieben wie bei „Wiedergabe“. Der Eingang des Verstärkers ist wahlweise für Aufnahme vom Mikrofon oder vom Rundfunkgerät umschaltbar. Im Gesamtschaltbild, Bild 17, ist die Schalterstellung „Aufnahme Mikrofon“ eingezeichnet.

Das verstärkte Signal wird am Collector des Transistors T 4 der Ausgangsstufe des Aufsprechverstärkers entnommen und über den Widerstand von $15 \text{ k}\Omega$ und den auf die Löschfrequenz (ca. 100 kHz) abgestimmten Sperrkreis ($L_1 \parallel 250 \text{ pF}$) dem Kombikopf (Hör-Sprechkopf) zugeführt. Durch diesen $15\text{-k}\Omega$ -Widerstand wird der Innenwiderstand der Sprechstromquelle (Ausgangsstufe des Aufsprechverstärkers) für den Kombikopf erhöht. Dadurch wird eine stromlineare Aussteuerung des Kombikopfes erreicht. Der Widerstand von $2 \text{ k}\Omega$, der parallel zur Primärwicklung w_2 des Treibertransformators Tr 1 liegt, dient zur Erzielung eines frequenzunabhängigen Außenwiderstandes der Ausgangsstufe des Aufsprechverstärkers und zur Verringerung der unteren Grenzfrequenz.

Die für einen genormten Bandfluß (NARTB-Norm: $\tau = 100 \mu\text{s}$ bei $v = 9,5 \text{ cm/s}$ Bandgeschwindigkeit, Abschnitt 1.1) notwendige Anhebung der hohen Frequenzen wird durch entsprechende Umschaltung der für Wiedergabe verwendeten Gegenkopplungsschaltung erreicht.

2.21 Gegenkopplung

Das Prinzipschaltbild der Gegenkopplung bei Aufnahme zeigt Bild 8. Der bei Wiedergabe für den $1/\omega$ -Gang erforderliche Kondensator C_2 wird überbrückt. Die Anhebung der hohen Frequenzen erfolgt wieder durch das Doppel-T-Glied (Abschn. 2.12) bei unveränderter Einstellung des Stellwiderstandes P_2 . Um die für den Aufsprechverstärker erforderliche Anhebung der hohen Frequenzen einstellen zu können, wird parallel zum Doppel-T-Glied der Einstellwiderstand P_3 ($3 \text{ k}\Omega$) geschaltet.

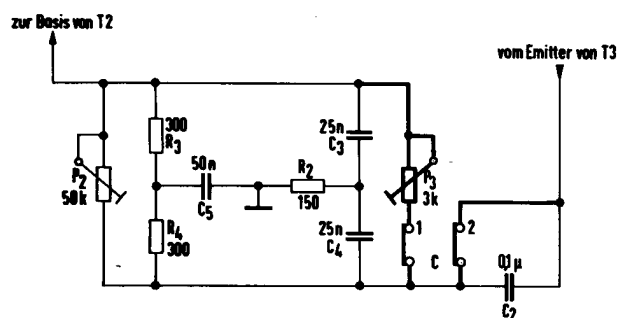


Bild 8 Gegenkopplungsschaltung des Verstärkers bei „Aufnahme“

2.22 Löschgenerator

Der Löschgenerator liefert die HF-Spannung mit einer Frequenz von ca. 100 kHz zum Löschen einer Aufnahme. Gleichzeitig wird ihm die bei einer Aufnahme notwendige Spannung zur HF-Vormagnetisierung entnommen. Für den Löschgenerator wurde ein Gegentakt-Oszillator mit einem Transistorpärchen 2x AC106 gewählt. Als Löschkopf wird die Type 2 mH der Firma Bogen GmbH, Berlin, die eine HF-Löschspannung von 40 V benötigt, verwendet. Bild 9 zeigt die Schaltung des Löschgenerators.

Die Oszillatorfrequenz wird mit Hilfe des Kondensators C_9 ($1,2 \text{ nF}$) auf ca. 100 kHz eingestellt. Der Arbeitspunkt des Oszillators stellt sich durch Gleichrichtung der Schwingamplitude an der Basis-Emitterstrecke von T5 (T6) ein. Mit dem Stellwiderstand P_5 ($5 \text{ k}\Omega$) wird die Spannung am Löschkopf auf 40 V eingestellt.

Die Rückkopplungskondensatoren C_7 und C_8 (je 8 nF) werden so gewählt, daß die Phasendrehung des Collectorwechselstromes i_C gegenüber der steuernden Basis-Emitterwechselspannung u_{BE} , die infolge der komplexen Steilheit $\underline{S} = |\underline{S}| \cdot e^{i\varphi_S}$ der Transistoren auftritt, kompensiert wird. Bei Frequenzen weit oberhalb der β -Grenzfrequenz ist die Steilheitsphase φ_S annähernd -90° . Für diesen Fall, der beim Löschgenerator vorliegt, zeigt Bild 10 das Zeigerdiagramm des Oszillators. Die Collector-Emitterwechselspannung u_{CE} ist bei Resonanz (reeller Außenwiderstand) gegenüber dem Collectorwechselstrom i_C um 180° phasenverschoben. Durch Abgriff der Rückkopplung für den Transistor T5 (T6) am Collector von T6 (T5) erhält man eine Spannung u'_{CE} , die mit i_C in Phase ist. Sie eilt also der Spannung u_{BE} um den Betrag $|\varphi_S|$ der Steilheitsphase nach.

Durch entsprechende Bemessung des Rückkopplungskondensators C_7 (C_8) wird nun die Phase des Stromes im Rückkopplungsweig um $\varphi = -\varphi_S$ gedreht, so daß sich am Eingangswiderstand des Transistors T5 (T6) die phasenrichtige Steuerspannung u_{BE} ergibt.

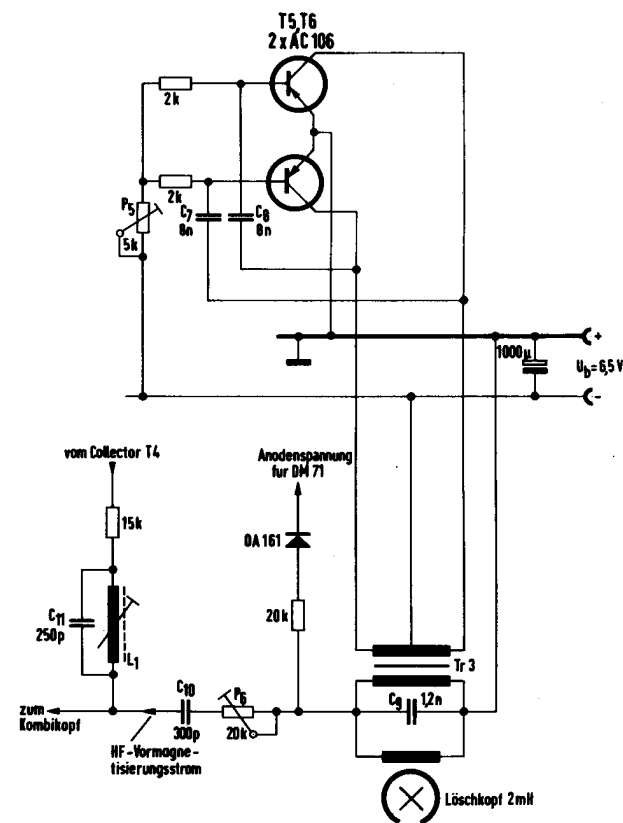


Bild 9 Schaltung des Löschgenerators

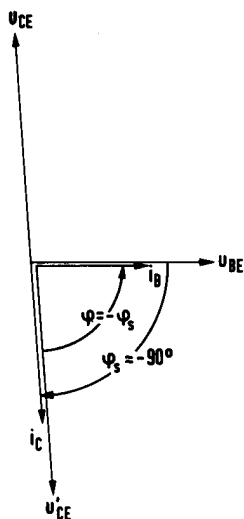


Bild 10 Zeigerdiagramm des Oszillators für die Löschfrequenz

Bei optimalem C_7 und C_8 ergibt sich eine gute Sinusform der Oszillatorschwingung. Für $C_7 = C_8 = 8 \text{ nF}$ wurde bei einer Güte des Löschkopfes von $Q \approx 3$ ein Wirkungsgrad von

$$\eta = \frac{P_{\text{HF}}}{P_{\text{=}}} = 70\% \text{ gemessen.}$$

Die vom Löschkopf aufgenommene HF-Leistung beträgt bei 40 V Löschspannung $P_{\text{HF}} = 450 \text{ mW}$.

Diode D 3 (OA 161) gleichgerichtete HF-Spannung des Löschgenerators (ca. 40 V, 100 kHz).

Die Anzeigespannung wird mit der Wicklung w_3 des Treibertransformators im Verhältnis 1:2 hochtransformiert, um die Aussteuerungsanzeige genügend empfindlich zu machen. Sie gelangt nach Gleichrichtung durch die Diode D 1 (OA 150) an das Gitter der Anzeigeröhre. Die Entladezeitkonstante dieser Gleichrichterschaltung (D 1, C_{12} , R_{13}) liegt über 0,1 s und ist damit noch groß gegen die Zeitkonstante des Aufsprechverstärkers bei der unteren Grenzfrequenz.

Da durch die zusätzliche Belastung des Aufsprechverstärkers durch den Aussteuerungsanzeiger der Klirrrgrad des Aufsprechverstärkers von 1,5 % auf etwa 3 % steigt, ist der Aussteuerungsanzeiger nur eingeschaltet, wenn die Drucktaste T gedrückt ist. Bei Beginn einer Aufnahme wird der Lautstärkereger (10 k Ω pos. log) im Collector von T 1 (OC 603), Bild 17, bei gedrückter Taste T so eingestellt, daß keine Übersteuerung des Tonbandes auftritt. Eine gelegentliche Kontrolle der Aussteuerung ist durch Drücken der Taste T während einer Aufnahme jederzeit möglich.

2.23 HF-Vormagnetisierung

Die HF-Vormagnetisierung erfolgt mit der Löschfrequenz von ca. 100 kHz. Der Vormagnetisierungsstrom wird der Sekundärwicklung des HF-Transformators Tr 3 entnommen und über den Einstellwiderstand P_6 und den Kondensator C_{10} dem Kombikopf zugeführt (Bild 9).

Zur Einstellung des Vormagnetisierungsstromes wird ein Widerstand von 1 Ω in die Masseleitung des Kombikopfes gelegt. Dann wird der Strom mit dem Einstellwiderstand P_6 so eingestellt, daß bei der Betriebsspannung $U_b = 6,5 \text{ V}$ an dem 1 Ω -Widerstand ein Spannungsabfall von 2,3 mV ($\approx 2,3 \text{ mA}$ HF-Vormagnetisierungsstrom) entsteht.

Der Sperrkreis L_1 , C_{11} ist auf die Löschfrequenz (ca. 100 kHz) abgestimmt. Er verhindert das Eindringen der Löschfrequenz in den Aufsprechverstärker und eine dadurch bedingte Übersteuerung des Transistors T 4.

2.24 Aussteuerungsanzeige

Zur Aussteuerungsanzeige bei einer Tonbandaufnahme wird die Abstimmanzeigeröhre DM 71 verwendet, Bild 11.

Bei gedrückter Drucktaste T wird die DM 71 aus der Betriebsspannungsquelle über den Widerstand R_{12} (200 Ω) geheizt. Das Gitter erhält vom negativen Heizfadenende über die Dioden D 2 und D 1 (OA 150) eine negative Vorspannung von ca. 1,4 V (\approx Heizspannung der DM 71). Als Anodenspannung dient die durch die

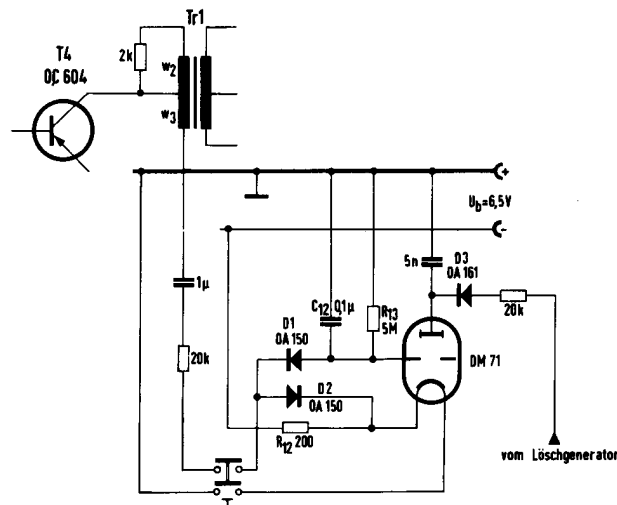


Bild 11 Schaltung des Aussteuerungsanzeigers

3. MESSWERTE

3.1 Gesamtverstärker

Der Klirrrgrad des Gesamtverstärkers (einschließlich Tonband) wurde beim Bezugspegel (Abschn. 1.1) mit 4 % gemessen. Als Störspannungsabstand ergab sich beim Bezugspegel $\geq 50 \text{ dB}$.

Der Überalles-Frequenzgang des Gesamtverstärkers (einschließlich Tonband) wurde mit einer Aussteuerung, die um ca. 20 dB unter dem Bezugspegel liegt,

gemessen, da bei einem höheren Pegel Übersteuerungen des Bandes bei höheren Frequenzen auftreten können. Bild 12 zeigt den am „Rundfunkausgang“ (Kontakt 3 des Rundfunkanschlusses, Bild 17) gemessenen Überalles-Frequenzgang. Den an der Sekundärwicklung w_2 des Ausgangsübertragers Tr 2 gemessenen Überalles-Frequenzgang enthält Bild 13. Für diese Messung wurde der eingebaute Lautsprecher durch einen ohmschen Widerstand (5Ω) ersetzt. Der Einfluß der Batteriespannung auf den Überalles-Frequenzgang ist in Bild 14 dargestellt. Mit kleiner werdender Batteriespannung verringert sich der HF-Vormagnetisierungsstrom, wodurch sich eine Anhebung der hohen Frequenzen ergibt. Änderungen der Umgebungstemperatur wirken sich auf den Überalles-Frequenzgang im Temperaturbereich von $-10^\circ\text{C} \dots +45^\circ\text{C}$ mit weniger als 3 dB aus.

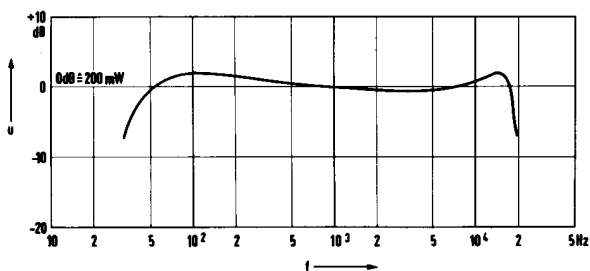


Bild 12 Überalles-Frequenzgang des Tonbandverstärkers (einschl. Tonband), gemessen am Rundfunkausgang

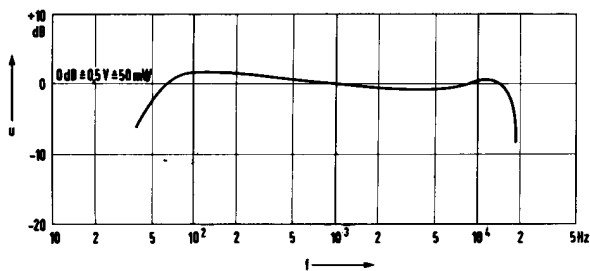


Bild 13 Überalles-Frequenzgang des Tonbandverstärkers (einschl. Tonband), gemessen am mit 5Ω belasteten Ausgang der Gegentakt-B-Endstufe

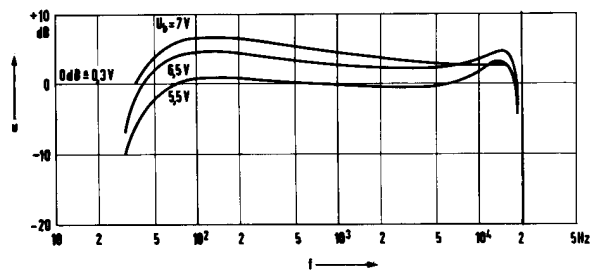


Bild 14 Einfluß der Batteriespannung auf den Überalles-Frequenzgang

3.2 Aufsprechverstärker

Die Eingangs-Empfindlichkeit des Aufsprechverstärkers beträgt für den Bezugspegel:
 am Mikrofoneingang (Eingangswiderstand $R_e = 6,5 \text{ k}\Omega$ der Eingangsstufe) ca. 2,5 mV
 am Rundfunkeingang (Anschluß 1 der Rundfunkbuchse, $R_e = 100 \text{ k}\Omega$) ca. 40 mV
 Als Klirrgrad ergab sich 1,5 % (3 % mit eingeschaltetem Aussteuerungsanzeiger).

Der Frequenzgang des Aufsprechverstärkers, Bild 15, wurde für eine Aussteuerung des Bandes von ca. 20 dB unter dem Bezugspegel am Collector des Transistors T 4 (OC 604) gemessen.

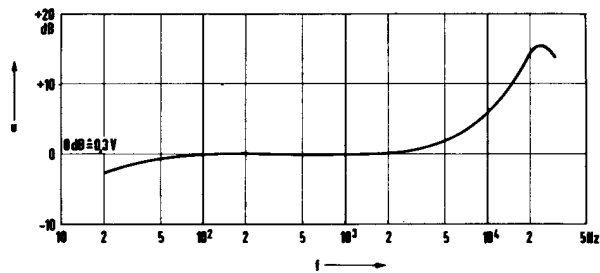


Bild 15 Frequenzgang des Aufsprechverstärkers

3.3 Wiedergabeverstärker

Der Klirrgrad beträgt ca. 2 %. Der am „Rundfunkausgang“ gemessene Frequenzgang des Wiedergabeverstärkers allein ist in Bild 16 dargestellt.

J. D. Mattfeld

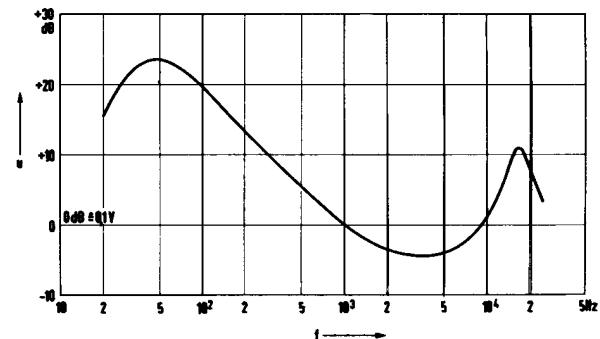
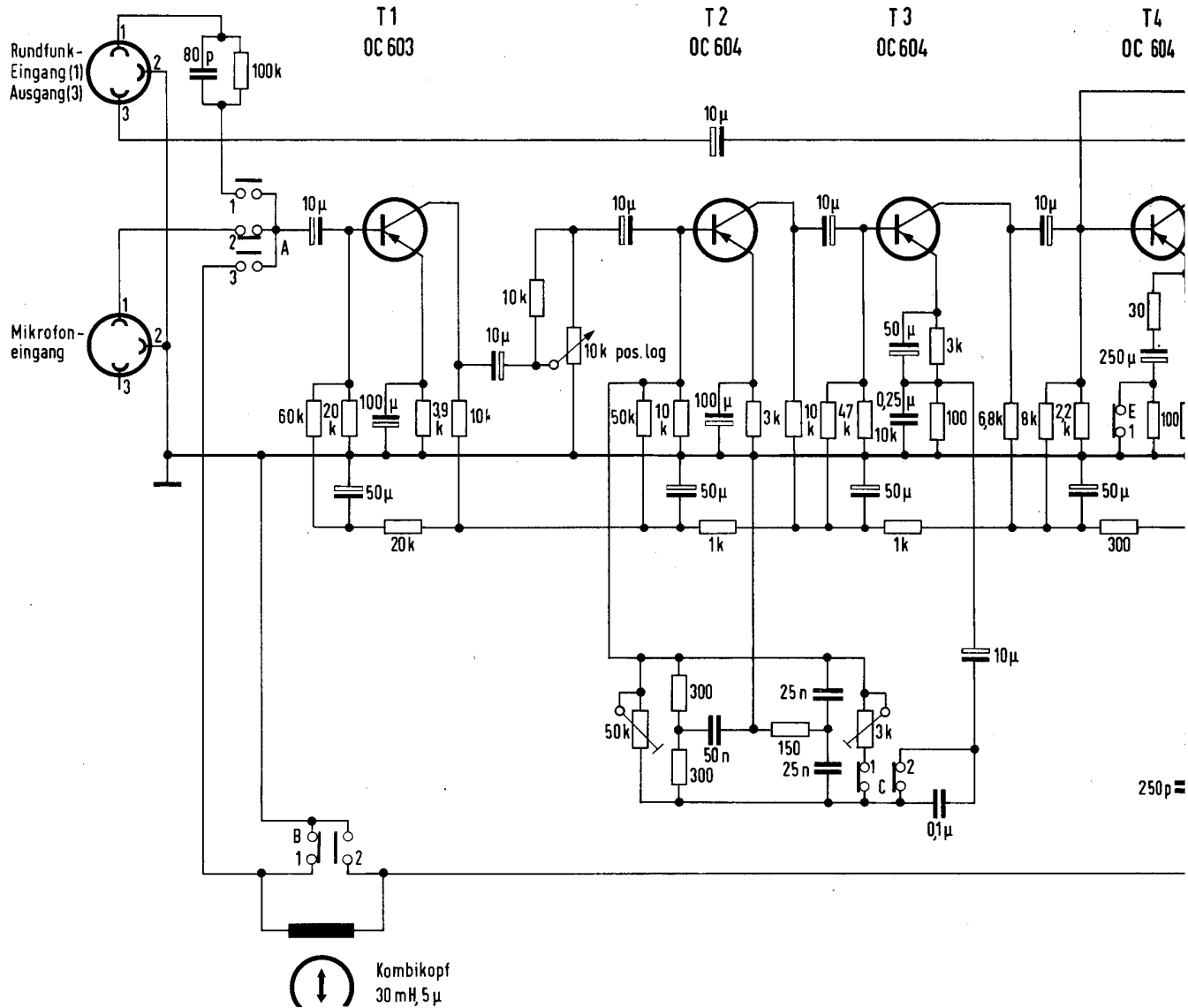


Bild 16 Frequenzgang des Wiedergabeverstärkers

Literatur:

- [1] RMI 5709 27
 Dimensionierung rauscharmer Eingangsstufen von NF-Verstärkern mit Transistor OC 603



Schaltschema

Gezeichnet: Aufnahme Mikrofon

	A 1	A 2	A 3	B 1	B 2	C 1	C 2	D 1	E 1	F 1	F 2	G 1	G 2	H 1	H 2	J 1	J 2
Aufnahme Rundfunk	•			•		•	•	•	•		•		•		•		•
Aufnahme Mikrofon		•		•		•	•	•	•		•		•		•		•
Wiedergabe Rundfunk			•		•			•									
Wiedergabe eigen			•	•					•	•		•		•		•	

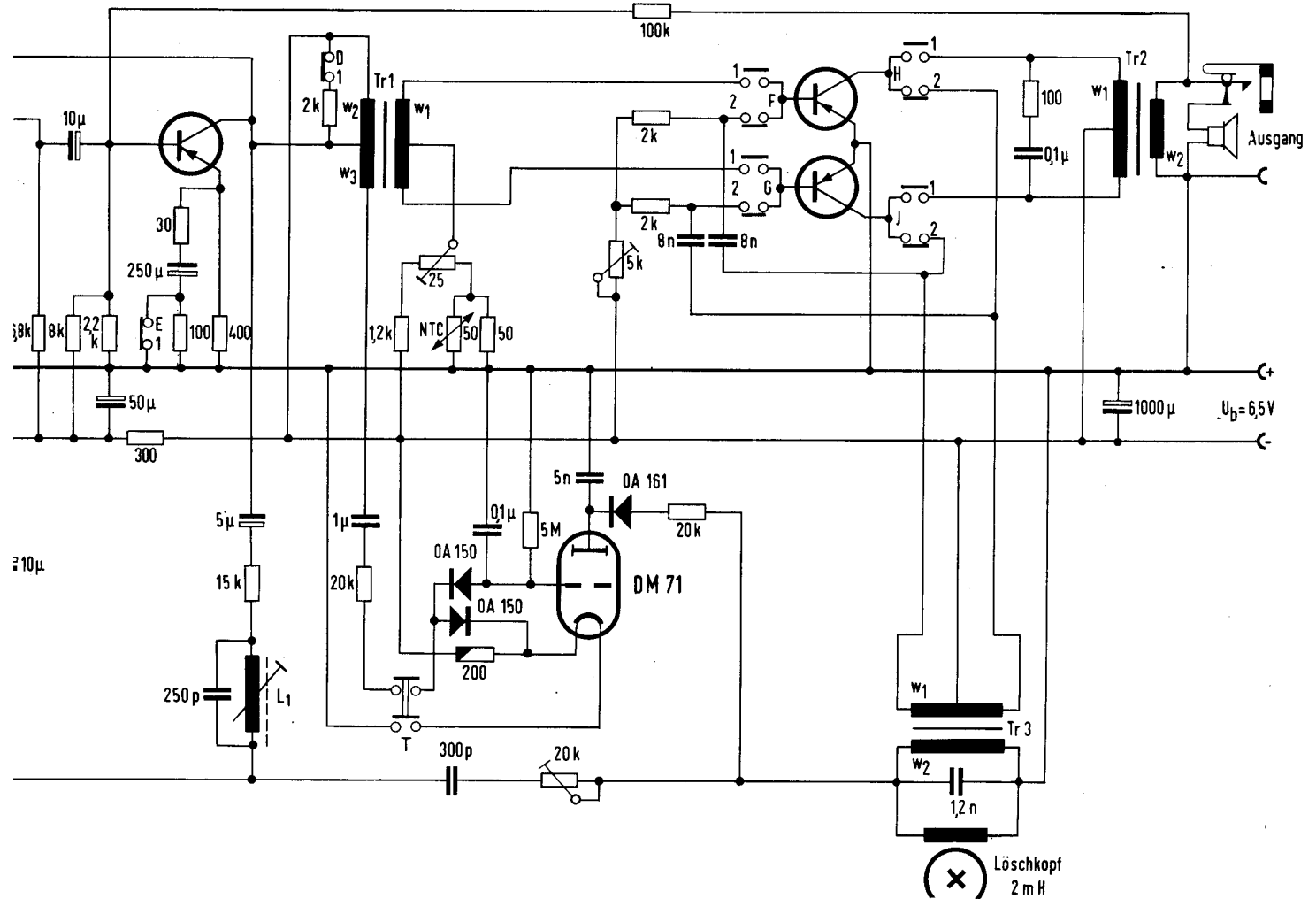
Bild 17

BLATT 6

Gesamtschaltbild des Tonbandverstärkers

T4
OC 604

T5,T6
2xAC 106



Tr 1 Permenorm 3601 k

EJ 42, wechselseitig geschichtet
 w_1 : 300 Wdg 2x0,22 CuL
 w_2 : 1800 Wdg 0,1 CuL
 w_3 : 1800 Wdg 0,06 CuL

Tr 2 Dyn. Blech IV

EJ 48, wechselseitig geschichtet
 w_1 : 180 Wdg 2x0,37 CuL
 w_2 : 90 Wdg 0,6 CuL

Tr 3 Siferrit-Schalenkern 1100 N 22 23x17 oL

w_1 13 Wdg 2x0,45 CuL
 w_2 130 Wdg 0,6 CuL

L1 Siferrit-Schalenkern 1100 N 22 14x8 $A_L=160$
 250 Wdg 0,13 CuL

Köpfe Fa. Bogen GmbH, Berlin

Widerstände 0,1 W
 0,25 W

1	12
•	
•	

