

Ein Echo-Hall-Gerät

P. SALOMON

(rescript funkamateur 1970, H5, S222-225; H6, S293-295)

1. Allgemeines

Im Folgenden soll einiges Grundlegende über Nachhall, Echo und deren Erzeugung und der Aufbau eines so genannten Echo-Hall-Gerätes nach dem Tonbandprinzip beschrieben werden. Seine Eigenschaften sind besonders für den mobilen Einsatz bei Tanzkapellen zugeschnitten worden. Die Anforderungen sind da bei weitem nicht so hoch wie die in der Studioteknik, wo entsprechend höherer Aufwand getrieben wird.

2. Zu den Begriffen Nachhall und Echo

Das menschliche Ohr hat die Eigenschaft, nach dem Aufhören einer Schallerregung noch ein Nachklingen zu empfinden, das lautstärkemäßig nach dem Exponentialgesetz abfällt und sich durch eine Zeitkonstante $t \sim 25 \text{ ms}$ beschreiben läßt [1].

Weiterhin ist eine mit „Lautstärkezerfall“ bezeichnete Erscheinung interessant, die im Frequenzgebiet zwischen 1 Hz und 20 Hz auftritt. Einerseits können in diesem Frequenzgebiet Pulsfolgen mit ihrer Maximallautstärke gehört werden, andererseits ist es möglich, eine „mittlere Lautstärke“ zu empfinden. Oberhalb von etwa 20 Hz hört man nur noch ein „stationäres“ Signal (bezogen auf die Pulsfolgen, von 25 ms), unterhalb von 1 Hz ist kaum noch eine Mittelwertbildung möglich, die Pulsfolge wird in Einzelimpulse bis zum Einzel-„Knack“ aufgelöst.

Als Nachhall bezeichnet man nun alle Schallereignisse, insbesondere unterhalb 20 Hz, die dadurch zustande kommen, daß Schallenergie (z. T. mehrmals) reflektiert, auch teilweise durch Reibung verbraucht wird [2] und gegenüber dem Originalsignal verzögert an einem Ort eintrifft.

Das Abklingen geschieht nach einer e-Funktion. Als Nachhallzeit gilt jene Zeit, in der der Schalldruck auf des Anfangswertes, d. h. um 60 dB, nach Abschalten der Schallquelle abgefallen ist [3].

Echos sind als Einzelereignisse wahrnehmbare Reflexionen, die nach dem oben Gesagten in mehr als 50 ms Abstand auf das Ausgangsereignis folgen. Geeignet für den anfangs genannten Anwendungszweck erscheinen Verzögerungszeiten zwischen 50 ms und 1 s. Das Übertragungsverhalten wird nicht an diskreten Frequenzpunkten gemessen, sondern - da insbesondere die mechanischen Speichermedien zu Mehrfachreflexionen neigen und sich stehende Wellen ausbilden, somit die Bedingung des „diffusen Schallfeldes“ nicht erfüllt ist - wird „Weiβes Rauschen“ (mit konstantem Energieinhalt pro Oktave) über Oktav- oder Terzfilter geleitet und der entsprechende Oktav- oder Terzpegel gemessen.

Die diskrete Frequenz kann aber auch gewobbelt werden ("Heultöne") [3].

3. Möglichkeiten der Hallerzeugung

Unter die Prinzipien mit mechanischen Speichern fallen der Hallraum, die „Kuhl'sche Hallplatte“, und das Federhallgerät. Im Hallraum erhält man durch zahlreiche diffuse Reflexionen einen sehr farbigen Hall. Das zu verhallende Signal wird über Lautsprecher abgestrahlt, über Mikrofon verhallt empfangen und dem Originalsignal wieder beigemischt. Es sind auch noch eindimensionale Gebilde mit ähnlichen Eigenschaften bekannt geworden - der Hallkanal und Hohlrohrleitungen. Bei dem Verfahren nach W. Kuhl [4] wird eine etwa 2m^2 große Stahlplatte dämpfungsarm aufgehängt und elektrodynamisch zu Biege wellen angeregt. Die Abnahme erfolgt z. B. piezoelektrisch. Die Nachhallzeit ist - je nach Anregung - zwischen 0 und 20s einstellbar. Die Übertragungseigenschaften sollen auch sehr gut sein.

Beim Federhallgerät wird die Verzögerung durch die Laufzeit der mechanischen Schwingungen in der erregten Schraubenfeder erreicht. Eigenresonanzen des Federsystems werden durch gegensinnige Wickelrichtungen, entsprechende Kombinationen von Federn und zusätzliche Dämpfungsmaßnahmen (z. B. Öldämpfung bei der Hammondorgel) gemindert.

Für den Selbstbau einer Einrichtung zur Hallerzeugung scheint das Verfahren mit magnetischem Speicher am geeignetsten, wenn dafür z. B. ein Laufwerk eines Heimtonbandgerätes vorhanden ist. Als Speichermedium dient das Magnettonband. Das Übertragungsverhalten beim Magnettonprinzip lässt sich relativ einfach bestimmen und verändern.

Die grundsätzliche Wirkungsweise zeigt Bild 1.

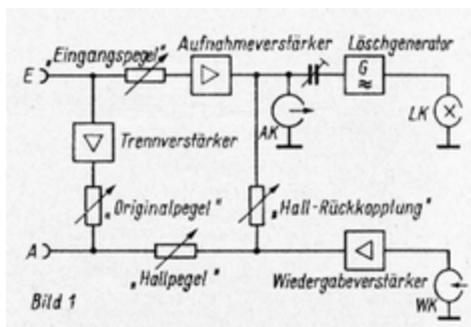


Bild 1: Prinzipschaltbild des Echo-Hall-Geräts

Das zu verhallende Signal wird in gleicher Weise wie bei herkömmlichen Tonbandgeräten elektrisch vorverzerrt und entzerrt, nur sind getrennte Aufsprech- und Wiedergabeverstärker sowie die zugehörigen Wandler (Tonköpfe) und ein getrennter HF-Generator nötig.

Das Eingangssignal gelangt einmal über den Tonverstärker und Originalpegelregler als "Originalton" zum Ausgang, zum anderen verzögert über den Aufnahmeverstärker, Aufsprechkopf, Tonband, Wiedergabekopf, Wiedergabeverstärker und Hallpegelregler. Der Abstand Sprech- / Hörkopf und die Bandgeschwindigkeit bestimmen die Verzögerungszeit. Durch Rückführen des verzögerten Signals in den Aufnahmekanal erreicht man eine Nachbildung von Mehrfachreflexionen. Für deren zusätzliches Abklingen ist die Größe des zurückgeführten Signals ausschlaggebend. Elektrisch gesehen ist diese Rückführung eine Mitkopplung, die auch bis zum Schwingeneinsatz getrieben werden kann.

Die aufeinander folgenden Echos klingen nicht ab, sondern werden immer lauter. Dieser Effekt kann mitunter durchaus erwünscht sein.

Mittels der Pegelregler werden das jeweils gewünschte Originalton-Hallpegel-Verhältnis und die Abklingzeit eingestellt. Eine gegenseitige Beeinflussung kann durch geeignete Dimensionierung des Regelnetzwerkes und durch Trennverstärker erreicht werden.

4. Beschreibung des Echo-Hall-Gerätes

4.1. Grundsätzliche Funktionsbeschreibung und Bedienungshinweise

Folgende Bedingungen sollte das hier beschriebene Gerät erfüllen:

- guter Halleffekt,
- dadurch bedingt verschiedene Verzögerungszeiten,
- kontinuierliche Einschaltung der verschiedenen Verzögerungszeiten,
- von der eingestellten Verzögerungszeit unabhängige Wahl der Verzögerungszeit für die Rückkopplung,
- keine Beeinflussung der Pegelregler untereinander,
- Einstellbarkeit des Frequenzganges im Rückkopplungskanal,
- zwei Eingänge,
- abschaltbarer Löschkopf für Dauerwiederholung durch Bandschleife,
- einfacher, mechanischer Aufbau,
- Robustheit und Zuverlässigkeit. Durch die Verwendung von zwei Eingängen kann das Gerät gleichzeitig für zwei Instrumente, z. B. Gitarre und Orgel, verwendet werden.

Der Signalweg ist folgender (Bild 2):

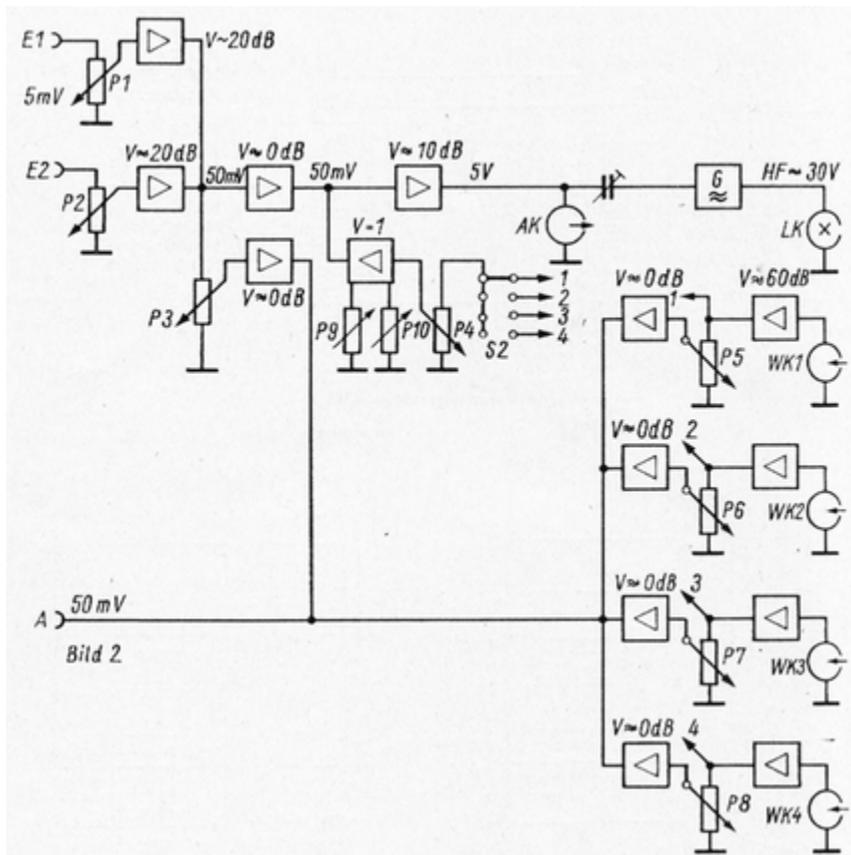


Bild 2: Blockschaltbild des Echo-Hall-Gerätes

Von den beiden Eingängen gelangt das Signal über die Pegelregler P1 und P2 und die beiden Eingangsverstärker zu einem Trennverstärker. Hier wird der Originalton abgenommen und über den Originaltonregler P3 und einen weiteren Trennverstärker dem Ausgang zugeleitet. Im Trennverstärker des Aufnahmekanals erfolgt die erforderliche Höhenanhebung. Von dort gelangt das Signal zum Endverstärker und zum Aufnahmekopf. Der HF-Vormagnetisierungsstrom wird über den Trimmer vom Löschkopf, welcher ebenfalls den Löschkopf speist, geliefert. Mit den vier Wiedergabeknöpfen wird das Signal mit unterschiedlicher Verzögerungszeit vom Band abgenommen, verstärkt und entzerrt bzw. in seinem Frequenzgang beeinflusst. Mit den Reglern P5.. . P8 wird die gewünschte Lautstärke der verschiedenen verzögerten Signale eingestellt. Über Trennverstärker werden diese dann dem Ausgang zugeleitet und mit dem Originalton vermischt. Vor den Reglern P5 ... P8 wird auch das Signal für die Rückkopplung abgenommen.

Mit dem Tastenschalter S2 wird die gewünschte Verzögerungszeit für das Rückkopplungssignal gewählt. Der Grad der Rückkopplung bzw. der Abklingzeit des Nachhalls wird mit P4 eingestellt. Die Regler P9 und P10 beeinflussen den Frequenzgang des Hallrückkopplungsverstärkers und gestatten damit eine Einstellung der „Farbigkeit“ des verhallten Signals. Die „Farbskala“ reicht dabei vom dumpfen „Kellerhall“ bis zum brillanten „Sphärenhall“. Durch die Einspeisung des Rückkopplungssignals in den Aufnahmekanal wird der Rückkopplungskreis geschlossen.

Die verschiedenen Trennverstärker sind zur Vermeidung der gegenseitigen Beeinflussung der Pegelregler nötig. Das ist besonders wichtig, wenn während des Spielens die Klangeigenschaften bzw. die Verzögerungszeiten des Gerätes verändert werden sollen.

4.2 Hinweise zum elektrischen Aufbau

4.2.1 Der Löschkopf

Die Schaltung des Löschkopfs zeigt Bild 3.

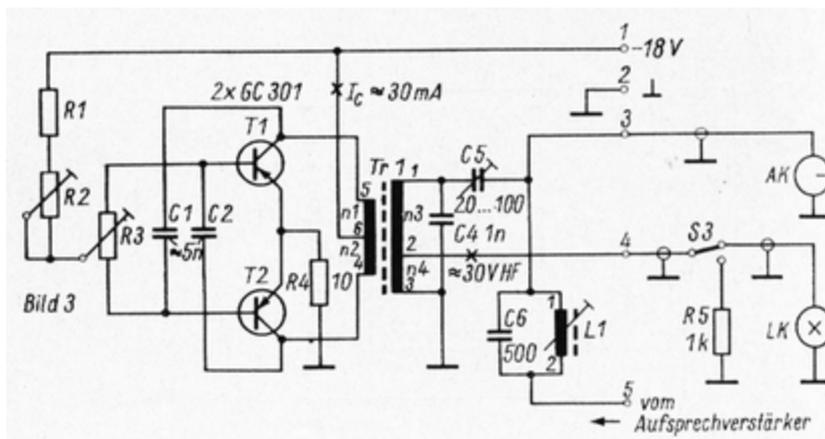


Bild 3: Schaltung des Löschkopfs

Sie wurde im wesentlichen aus [5] übernommen.

Mit den Reglern R2 und R3 wird der optimale Arbeitspunkt des Generators eingestellt. Als

Transistoren wurden zwei GC 301 mit relativ geringer Stromverstärkung eingesetzt ($B = 20$). Sie sind

auf einem ausreichend dimensionierten Kühlblech, 75 mm x 120 mm x 1,5 mm, montiert. Für Tr 1 wird ein Ferrit-Schalenkern 22 x 13, Al-Wert 2000 nH, mit folgenden Wickeldaten verwendet:

n1, n2 : 2 X 15 Wdg.; 0,2 mm CuL

n3 : 45 Wdg.; 0,1 mm CuL

n4 : 34 Wdg.; 0,1 mm CuL

Der Vormagnetisierungsstrom wird über den Trimmer C5 entnommen, damit er nicht in den Aufsprechverstärker gelangen kann, ist dort der Sperrkreis L1 - C6 zwischengeschaltet. L1 wird ebenfalls als Schalenkern ausgeführt, Größe 14 x 8, AL,-Wert 100 nH, mit 0,3 mm Luftspalt, bewickelt mit 300 Wdg.; 0,1 mm CuL. Mit S3 läßt sich der Löschkopf abschalten. Die Bilder 7 und 8 zeigen die Platine des Löschkgenerators.

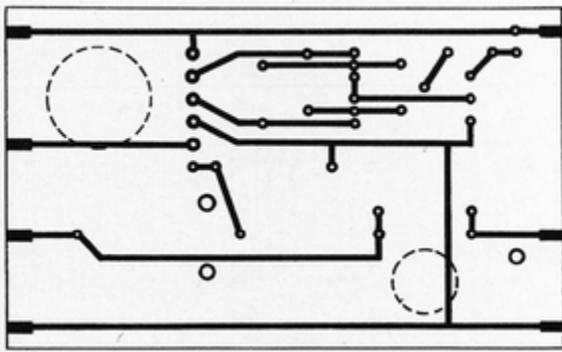


Bild 7

Bild 7: Leitungsführung der Platine für den Löschkgenerator (M = 1 : 1 - im Original)

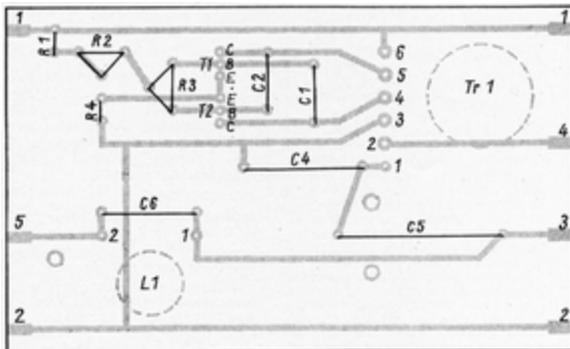


Bild 8

Bild 8: Bestückungsplan zur Platine nach Bild 7 (von der Bestückungsseite gesehen)

Das gleichgroße Kühlblech wird mit kleinen Abstandshülsen direkt über der Platine montiert.

4.2.2 Der Wiedergabeverstärker

Der Wiedergabeverstärker ist vierstufig ausgeführt. Die Schaltung (Bild 4) wurde nach den Veröffentlichungen [6] und [7] zusammengestellt.

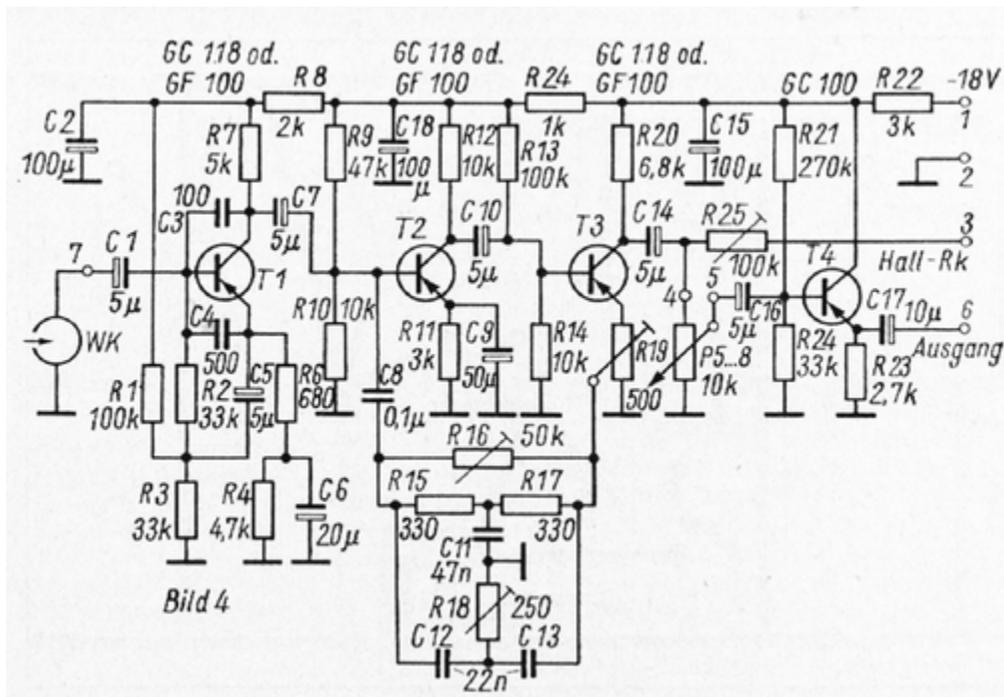


Bild 4: Schaltung des Wiedergabeverstärkers (Entzerrer)

Der relativ hohe Aufwand ergab sich durch die Forderung nach höherer Verstärkung und breitem Einstellbereich des Frequenzganges.

Die Eingangsstufe mit T1 ist eine modifizierte Bootstrap-Schaltung, deren Eingangswiderstand frequenzabhängig ist. Dies ist notwendig, um den Hörkopf, dessen Innenwiderstand nach hohen Frequenzen hin ansteigt, nicht zu belasten. Bei ungünstigen Transistorparametern neigt diese Stufe zum Schwingen. Durch entsprechendes Variieren von C3 und C4 läßt sich die Schwingneigung beseitigen.

Auf die Eingangsstufe folgt der eigentliche Entzerrer mit T2 und T3. Im Gegenkopplungsweig dieses zweistufigen Verstärkers liegt ein frequenzabhängiges RC-Netzwerk. Der Gegenkopplungsgrad wird mit R19 eingestellt. Die erforderliche Höhenanhebung wird durch ein Doppel-T-Glied erreicht, das bei Resonanz die Gegenkopplung nahezu aufhebt. Die Resonanzfrequenz kann in gewissen Grenzen mit R18 eingestellt werden, die Stärke der Höhenanhebung mit R16.

Es ist dabei zu beachten, daß die Regler voneinander abhängig sind. Diese Dimensionierung des Entzerrers soll nur ein Anhaltspunkt sein, man kann dort in weiten Grenzen experimentieren und es ist mitunter zweckmäßig, die einzelnen Wiedergabekanäle unterschiedlich auszulegen.

Vom Kollektor von T3 gelangt das Signal an den Pegelregler P5 (bzw. P6... P8). Hier wird auch über den Einstellregler R25 das Signal für den Hallrückkopplungsverstärker abgenommen. Die Trennstufe mit T4 verhindert Rückwirkungen der anderen Wiedergabekanäle, so daß sich die Pegelregler untereinander nicht beeinflussen.

Bei den Wiedergabeverstärkern ist unbedingt darauf zu achten, daß Transistoren mit niedrigen Rauschfaktoren verwendet werden. Im Mustergerät wurden Bastlertransistoren "HF" auf kleines Rauschen ausgesucht. Die Stromverstärkungsfaktoren brauchen nicht höher als 40 zu sein. Die Bilder 11 und 12 zeigen die Platine des Wiedergabeverstärkers.

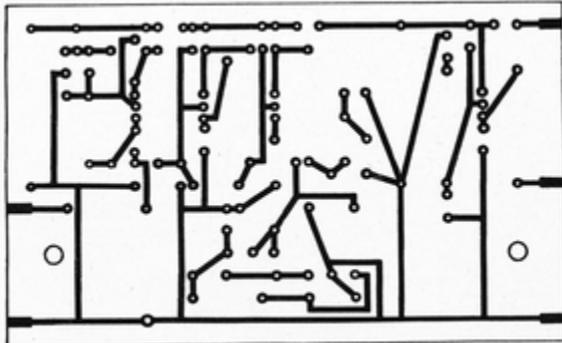


Bild 11

Bild 11: Leitungsführung der Platine für den Wiedergabeverstärker (M = 1 : 1 – im Original)

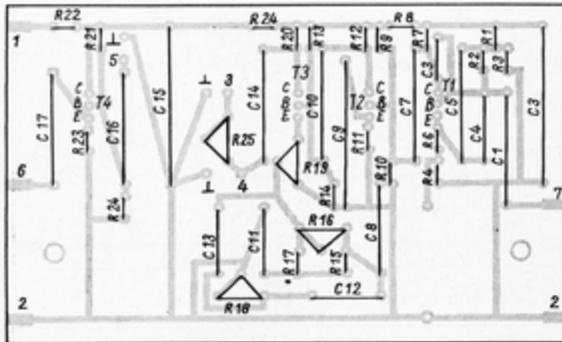


Bild 12

Bild 12: Bestückungsplan zur Platine nach Bild 11 von der Bestückungsseite gesehen)

4.2.3. Aufsprechverstärker

Bild 5 zeigt die Schaltung des Aufsprechverstärkers.

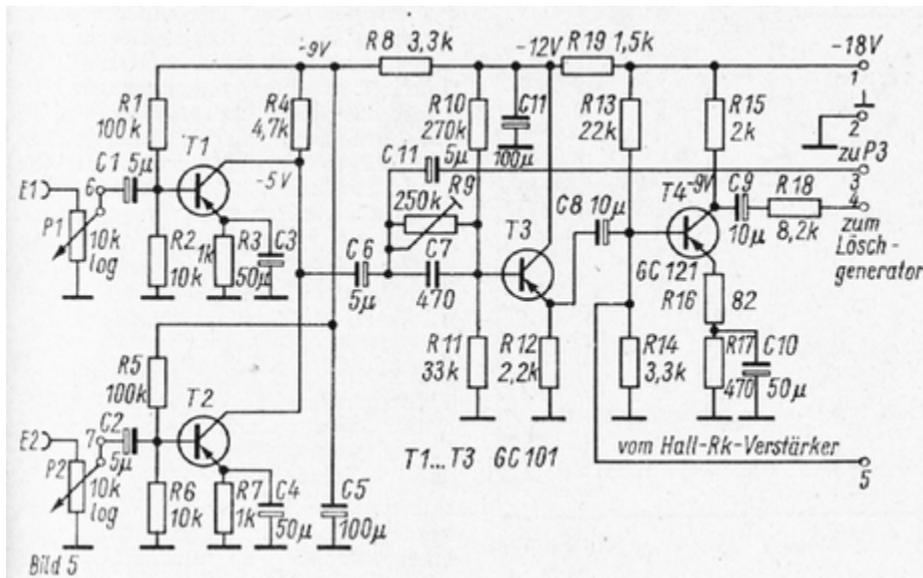


Bild 5

Bild 5: Schaltung des Aufsprechverstärkers

Mit den beiden Eingangsreglern (P1 und P2) lässt sich das Gerät den entsprechenden Pegelverhältnissen anpassen. Der gemeinsame Ausgang für den Originalton von T1 und T2 geht an die Trennstufe. Sie befindet sich aus Platzgründen auf der Hallrückkopplungsplatine. Außerdem folgt die

Kollektorstufe mit T3. Hier erfährt das Signal die beim Aufsprechen erforderliche Höhenanhebung. An die Basis des Endstufentransistors T4 (A-Endstufe) gelangt außer dem Eingangssignal auch noch das vom Hallrückkopplungsverstärker. Um eine brauchbare Dynamik zu erreichen, soll die Endstufe bis 5 V (eff.) unverzerrt ansteuerbar sein (zu kontrollieren am Kollektor von T4). Es empfiehlt sich, T4 mit einem Kühlkörper zu versehen. Die Platine zeigen die Bilder 13 und 14.

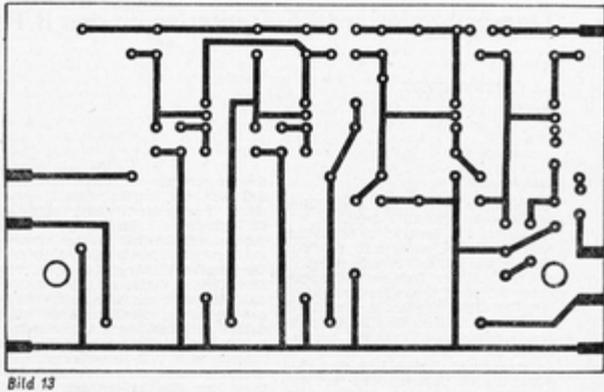


Bild 13: Leitungsführung der Platine für den Aufsprechverstärker (M = 1:1 – im Original)

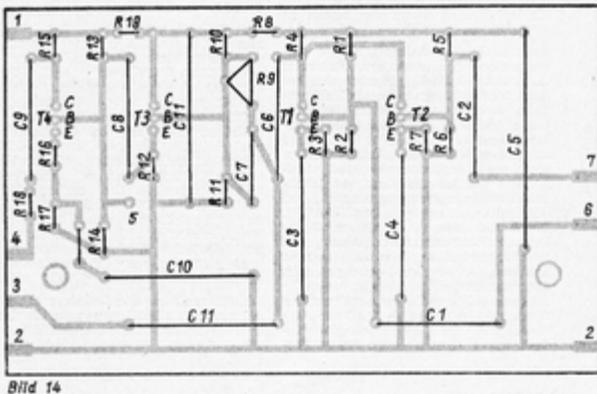


Bild 14: Bestückungsplan zur Platine nach Bild 13 (von der Bestückungsseite gesehen)

4.2.4 Hallrückkopplungsverstärker (HRV)

Bild 6 zeigt die Schaltung des HRV.

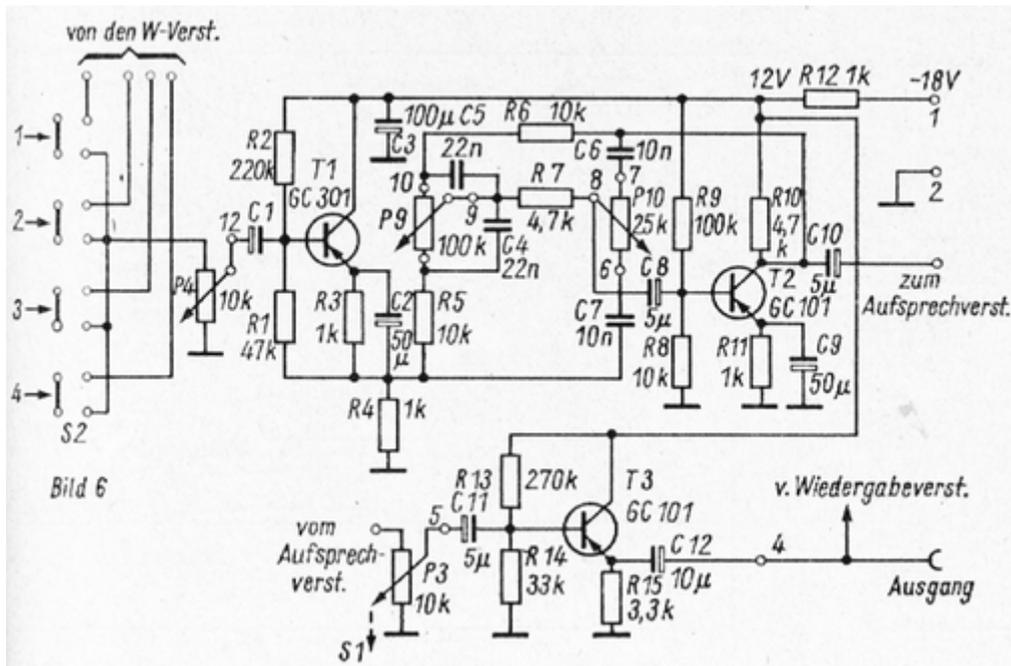


Bild 6: Schaltung des Hallrückkopplungsverstärkers (HRV)

Es handelt sich dabei im wesentlichen um einen der bekannten Klangregler [8]. Von den vier Signalen der Wiedergabeverstärker können durch den Schalter S2 eins oder mehrere ausgewählt werden. S2 ist deshalb ein Schalter mit voneinander unabhängigen Schiebetasten. P4 dient als Eingangsregler des HRV und damit zur Einstellung der Abklingzeit des Nachhalls. Mit dem Höhen- und Tiefenregler P10 und P9 lassen sich die schon weiter oben beschriebenen Effekte erreichen. Wie auch schon erwähnt, befindet sich auf der HRV-Platine (Bilder 9 und 10) noch der Trennverstärker für den Originalton.

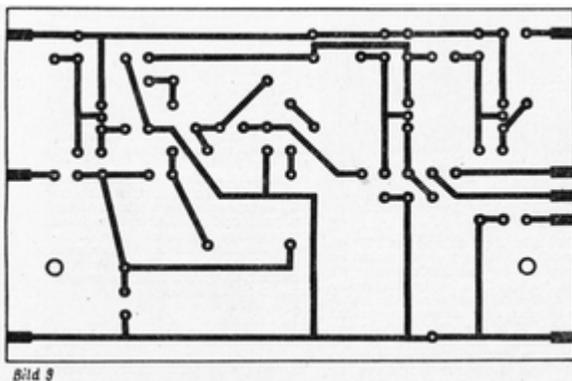


Bild 9: Leitungsführung der Platine für den Hallrückkopplungsverstärker (M = 1 : 1 – im Original)

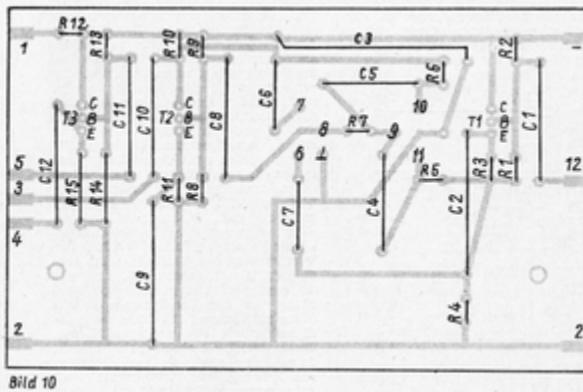


Bild 10: Bestückungsplan zur Platine nach Bild 9 (von der Bestückungsseite gesehen)

Auch bei diesem Baustein sollen nur rauscharme Transistoren verwendet werden.

4.2.5 Netzteil

Denkbar einfach ist das Netzteil (Bild 15) aufgebaut.

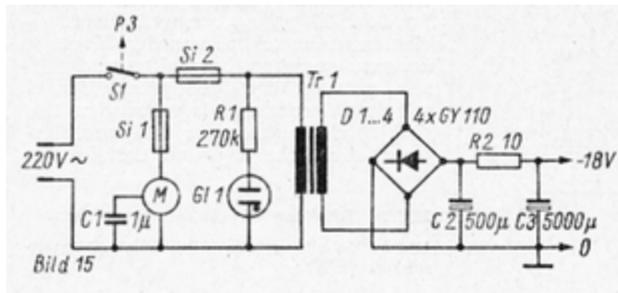


Bild 15: Schaltung des Netzteils

Als Netztrafo wird der des umgebauten BG 19 verwendet. Die Heizwicklung wird entfernt und eine neue von 200 Wdg., 0,35 mm CuL-Draht aufgebracht. Eine Graetzschaltung dient als Gleichrichter, dem sich eine RC-Siebketten anschließt. Um den ohnehin geringen Platz nicht noch mehr zu beanspruchen, wurde auf eine LC-Siebung verzichtet, sie erwies sich auch nicht als notwendig. Die große Siebkapazität C3 garantiert eine brummarmer Betriebsspannung.

4.3 Mechanischer Aufbau

Die mechanische Grundlage bildet hier das sehr robuste und z. Zt. relativ leicht und billig beschaffbare Magnetbandgerät BG 19. Seine sehr einfache Konstruktion bietet sich zum Bau eines Hallgerätes an. Zunächst wird der gesamte elektronische Teil demontiert, auch der Tastenschalter. Danach wird der schräge Teil des Chassis abgesägt, um einer neuen Front- bzw. Bedienungsplatte Platz zu machen. Auf die nun separat bearbeitbare Laufwerkplatte werden die Köpfe montiert und die Bandführung wird verändert - Bild 16 zeigt das Schema.

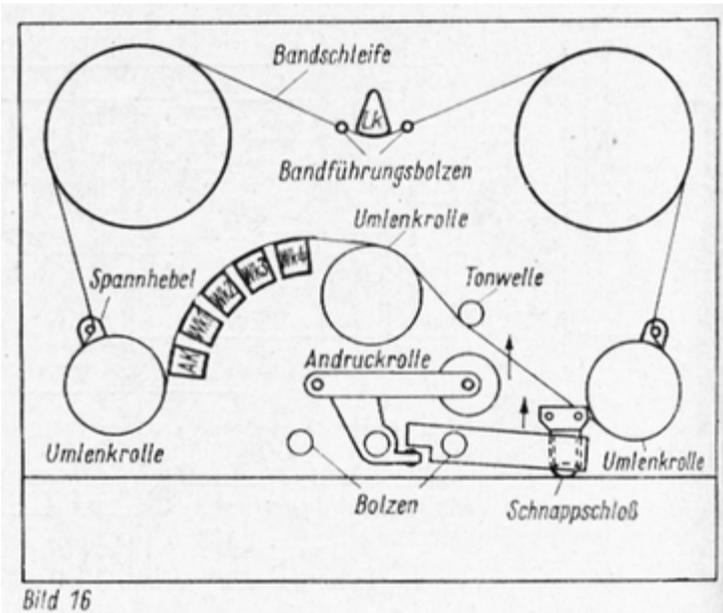


Bild 16: Skizze des Andruckmechanismus und der Bandführung

Alle Köpfe müssen taumelbar sein. Auf den Bandtellern werden zwei kleine Kolibri-Leerspulen befestigt, besser wären allerdings zwei gedrehte Umlenkrollen. Wenn alle Köpfe und Führungsstifte montiert sind (Kabeldurchführungen nicht vergessen), wird die Bandgeschwindigkeit geändert, d. h. der Durchmesser der Tonwelle wird vergrößert. Dies ist notwendig, um trotz des geringen Tonkopfabstandes (etwa 20 mm) auf eine Verzögerungszeit von 50 ms zu kommen. Die Bandgeschwindigkeit wurde also auf etwa 39 cm/s heraufgesetzt, die absolute Größe spielt dabei keine besondere Rolle. Eine Hülse von $d = 10$ mm auf die Tonwelle straff aufgezogen und überdreht erfüllt dazu voll und ganz ihren Zweck. Selbstverständlich ist auf einwandfreien Rundlauf zu achten. Durch den Wegfall der Originaltastenschalter wird eine neue Andruckrollenmechanik notwendig. Die etwas primitiv anmutende, aber sehr einfache und zuverlässige Lösung des Problems zeigt ebenfalls Bild 16.

Als Tastmechanismus fungiert dabei ein kleines Taschenschnappschloß o. ä.

Noch einiges zur Gestaltung der Frontplatte:

Eine 70 mm x 300 mm große und 3 mm starke Aluplatte wird mit den im Bild 17 angegebenen Bedienungselementen versehen, vor der Montage hellgrau gespritzt, beschriftet und mittels entsprechend gebogener Winkel mit dem Gesamtchassis verbunden.

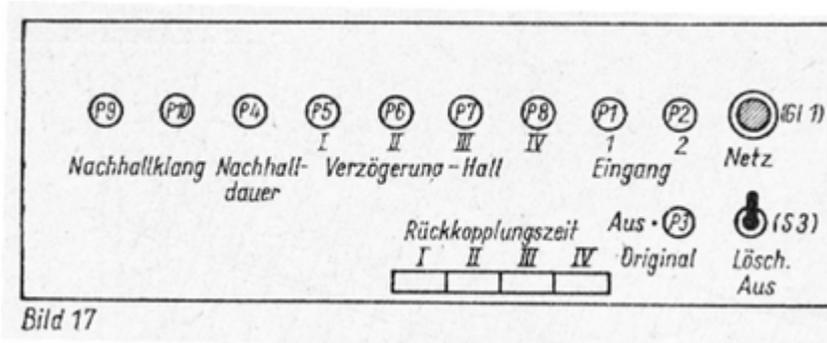


Bild 17: Skizze zur Frontplattengestaltung

Die drei Diodenbuchsen für Ein- und Ausgang, die Sicherung und der Gerätestecker werden ebenfalls auf einen neuen Blechstreifen montiert. Beim Verdrahten der Diodenbuchsen ist darauf zu achten, daß sich keine Erdschleifen bilden (Anschluß „2“ nicht mit Masse verbinden). Nachdem alle Bauteile der Frontplatte montiert und verdrahtet sind, können die Leiterplatten eingebaut werden (Bilder 18 und 19).

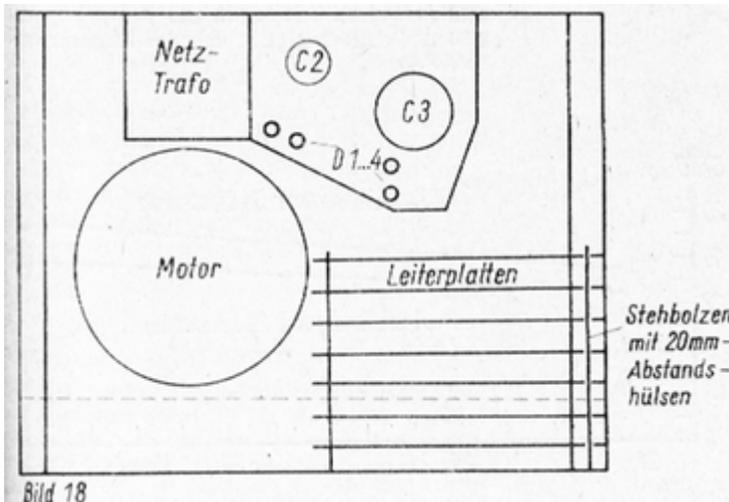


Bild 18: Einbau der Platine in das BG19-Chassis (von unten gesehen)

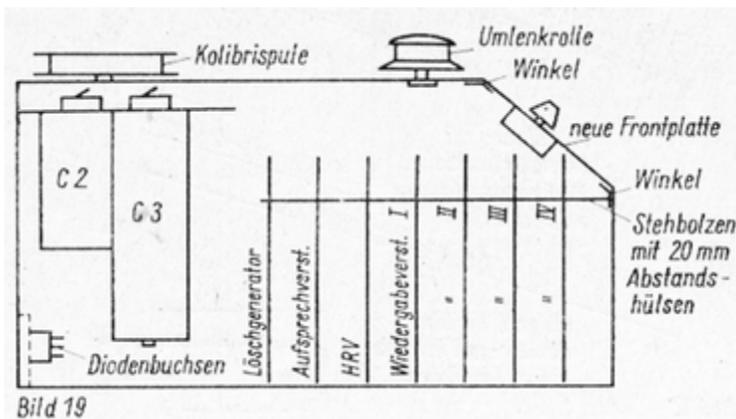


Bild 19: Skizze zum mechanischen Neuaufbau des BG 19-Chassis (von der Seite gesehen)

Vor dem Einbau der Platinen ist es jedoch zweckmäßig, diese auf Funktionstüchtigkeit zu überprüfen und bei den Wiedergabeverstärkern evtl. schon den gewünschten Frequenzgang einzustellen.

4.4 Inbetriebnahme des Gerätes

Nachdem alle Baugruppen geprüft und verbunden sind, wird das Gerät zwischen eine NF-Signalquelle (Musik) und einen Verstärker mit angeschlossener Box (evtl. auch TA-Eingang eines Rundfunkgerätes) geschaltet. Zunächst sind alle Potentiometer zuzudrehen, S2 ist ausgeschaltet. Nun wird P3 oder P2 so weit aufgedreht, bis das Gerät gerade noch nicht verzerrt. Es sind dann die richtigen Pegelverhältnisse eingestellt. Jetzt wird eine Bandschleife aufgelegt. Die Länge ist durch Experiment zu ermitteln, wobei die Kriterien guter Kopfkontakt" und Gleichlauf" durch einen

Kompromiss zu erfüllen sind. Der Aufnahmekopf ist so zu taumeln, daß sein Spalt senkrecht zum Band steht und die obere Spur (Normallage) eingenommen wird. Läuft das Band einwandfrei, wird P5 auf- und P3 zuge dreht. Wenn jetzt P1 bzw. P2 geschlossen werden, darf kein Signal zu hören sein, andernfalls ist der Löschkopf zu taumeln.

L1 auf der Löschgeneratorplatine wird danach so abgeglichen, daß die HF-Spannung am Aufsprechverstärker ein Minimum wird (mit RVM gemessen am R18).

Jetzt wird der Trimmer für die HF-Vormagnetisierung so weit herausgedreht, daß das Gerät gerade noch nicht verzerrt, aber eine gute Höhenwiedergabe vorhanden ist. Nun werden die einzelnen Wiedergabeköpfe getaumelt, indem man jeweils eines von P5... P8 aufdreht und auf maximale Höhenwiedergabe einstellt. Eventuell ist die HF-Vormagnetisierung nachzugleichen.

Die Wiedergabeverstärker werden nach linearem Frequenzgang über Band oder notfalls nach "persönlichem Geschmack" abgeglichen. Die Höhenanhebung im Aufnahme kanal ist dabei nicht zu übertreiben, sonst übersteuert das Gerät trotz einwandfreier Pegelverhältnisse im mittleren Frequenzbereich zu schnell. Dies macht sich dann im Klirrfaktor bemerkbar.

Sind alle diese Einstellungen beendet, wird der Eingangsregler wieder zuge dreht, die Potentiometer P9 und P10 werden in Mittelstellung gebracht, P4 wird voll geöffnet und eine Taste von S2 betätigt. Die Einstellregler R25 auf den Wiedergabeverstärkerplatinen werden dann soweit geöffnet, daß das Gerät gerade von selbst einschwingt. Wird der Eingangsregler wieder aufgedreht, kann man sich vom guten Halleindruck in Verbindung mit der Wirksamkeit der Regler P9 und P10 überzeugen. Damit sind alle Einstellungen beendet.

Als Nachtrag kann noch bemerkt werden, daß es zweckmäßig wäre eine Abstimmanzeigeröhre als Aussteuerungskontrolle einzubauen. Die Anodenspannung kann dazu von der auf dem BG19-Trafo vorhandenen Wicklung entnommen werden.

Literatur

- [1] Reichhardt, W.: Grundlagen der technischen Akustik, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1968, S. 472 ff.
- [2] Handbuch für HF- und Elektrotechnik, Band V, Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin-Borsigwalde 1967, S.480
- [3] Taschenbuch der Elektrotechnik, Band 3 (Nachrichtentechnik) Herausgeber: E. Philippow, VEB Verlag Technik, Berlin 1969. S. 1478 ff.
- [4] Kuhl, W.,: Ober akustische und elektrische Eigenschaften der Nachhallplatte, Rundfunktechnische Mitteilungen 2 (1958). H. 3. S. 111 bis 116
- [5] Ing. Schubert, K.-H.: Elektronisches Jahrbuch 1968. DMV, S. 193
- [6] Jakubaschk, H.: Amateurtontechnik, DMV. Berlin, S.132
- [7] Ing. Schubert, K.-H. : Elektronisches Jahrbuch 1968 DMV. Berlin, S. 189
- [B] Jakubaschk, H.: Amateurtontechnik, DMV, Berlin, S. 148

© Copyright Peter Salomon, Berlin, (rescript funkamateur 1970, H5, S222-225; H6, S293-295); 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 Patentsituation 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.