

# Eine universelle Gitarrenelektronik

P. SALOMON

(rescript funkamateur 1971, H11, S546-549)

Die moderne Tanzmusik verlangt in immer größerem Maß den Einsatz der Elektronik, um Komposition und Arrangement jederzeit klanglich variieren zu können. Erst dadurch kommt die schöpferische Arbeit des Musikers (z. B. bei Improvisationen) richtig zur Geltung. Auf [1], [2] basierend wurde ein solches Gerät entwickelt.

Nachfolgend sollen insbesondere die bei der Entwicklung auftretenden Probleme aufgezeigt werden. Mit einer Elektrogitarre kann man dann durch Einsatz des beschriebenen Universalelektronikgeräts eine Vielzahl von Klangvariationen und -effekten erzeugen.

Das Gerät hat folgende 5 Grundfunktionen:

- Linear
- Booster (Orgeleffekt)
- Verzerrer 1
- Verzerrer 2 (Frequenzverdoppler)
- Frequenzteiler

Zusätzlich können noch verschiedene Filter, so genanntes "Waw-Waw" und Tremolo, eingeschaltet werden. Außerdem ist eine Fernbedienungstaste für ein Hallgerät vorgesehen.

## Funktionsweise des Gesamtgeräts

Bild 1 zeigt den in mehrere Baugruppen unterteilten Übersichtsschaltplan des Geräts.

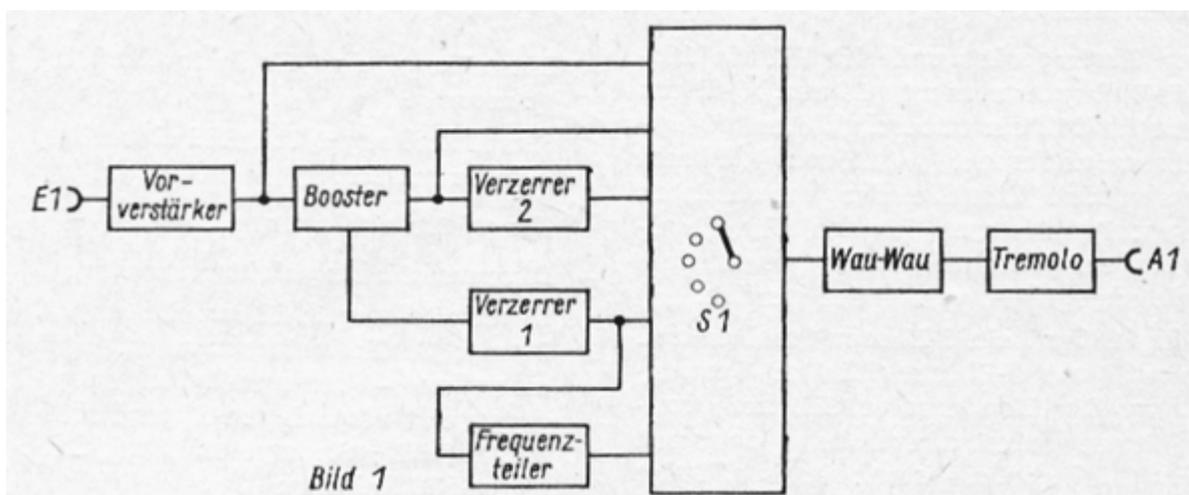


Bild 1: Übersichtsschaltplan des Gesamtgeräts

Das vom Tonabnehmer der Gitarre erzeugte Signal gelangt über Eingangsbuchse E1 an den Vorverstärker. Vom Ausgang des Vorverstärkers wird das Signal einmal direkt über Wahlschalter S1 an den Mischteil gegeben (Stellung „Linear“), zum anderen gelangt es auch an den Eingang des Boosters. Dessen Ausgangssignal wird dem Mischteil zugeleitet und auch die Baugruppe Verzerrer 2 wird mit ihm angesteuert.

Das Eingangssignal für den Verzerrer 1 nimmt man vom Regelspannungsverstärker der Baugruppe Booster ab. Vom Ausgang des Verzerrers 1 gelangt das Signal wiederum zum Mischteil, außerdem zum Eingang des Frequenzteilers. Vom Mischteil werden die in ihrer Intensität regelbaren, auch einzeln einschaltbaren 5 Signale über verschiedene Filter der Baugruppe „Waw-Waw“ zugeleitet, d. h. sofern diese eingeschaltet ist. Das gilt auch für die Baugruppe „Tremolo“, die als letzte im Signalweg liegt, wobei sie jedoch im Gegensatz zur Baugruppe „Waw-Waw“ im ausgeschalteten Zustand nicht aus dem Signalweg genommen wird (sie ist nur funktionsmäßig ausgeschaltet).

Das Ausgangssignal führt man dann über Ausgangsbuchse A1 dem Gitarrenendverstärker zu.

## Vorverstärker

Der Tonabnehmer einer üblichen Elektrogitarre gibt eine Leerlaufspannung von etwa 5 bis 20 mV ab. Nun haben die Tonabnehmer einen relativ hohen Innenwiderstand, so daß bei Anschluß eines gewöhnlichen Transistorverstärkers die abgegebene Spannung auf wenige Millivolt zusammenbricht. Hohe Eingangswiderstände bringen allerdings auch einige Nachteile (große Brummanfälligkeit, größeres Rauschen), so daß man entsprechende Kompromisse eingehen muß. Es wurde deshalb ein rauscharmer 2-stufiger Vorverstärker aufgebaut, dessen Eingangswiderstand und Verstärkung sich je nach Eigenart des Tonabnehmers einstellen lassen. Bild 2 zeigt die Schaltung des Vorverstärkers.

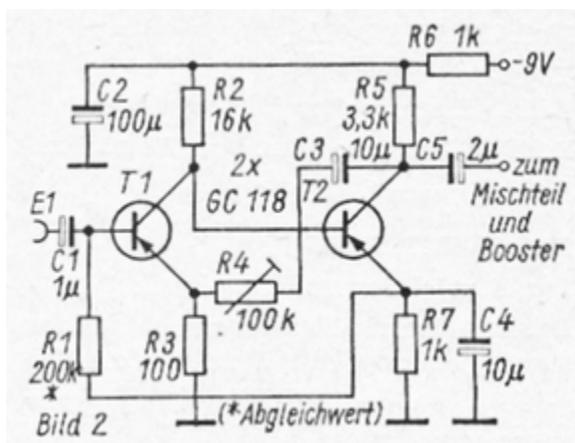


Bild 2: Schaltung des Vorverstärkers

Man muß unbedingt auf geringes Rauschen ausgesuchte Exemplare des Typs GC 118 verwenden. Mit Einstellregler R4 läßt sich der jeweils gewünschte Eingangswiderstand einstellen. Am Ausgang des Vorverstärkers steht ein um ungefähr 20 dB höherer Pegel (abhängig von R4) als am Eingang zur Verfügung.

## Booster

Die Baugruppe „Booster“ stellt prinzipiell eine automatische Amplitudenregelung dar. Sie unterteilt sich in mehrere Bausteine:

- Regelstrecke
- Regelspannungsvorverstärker
- Regelspannungserzeuger
- Regelspannungsverstärker

Um auch höhere Pegel noch verzerrungsarm ausregeln zu können, wurde als veränderliches Bauelement in der Regelstrecke ein Fotowiderstand eingesetzt. Bild 3 zeigt die Schaltung der Baugruppe Booster.

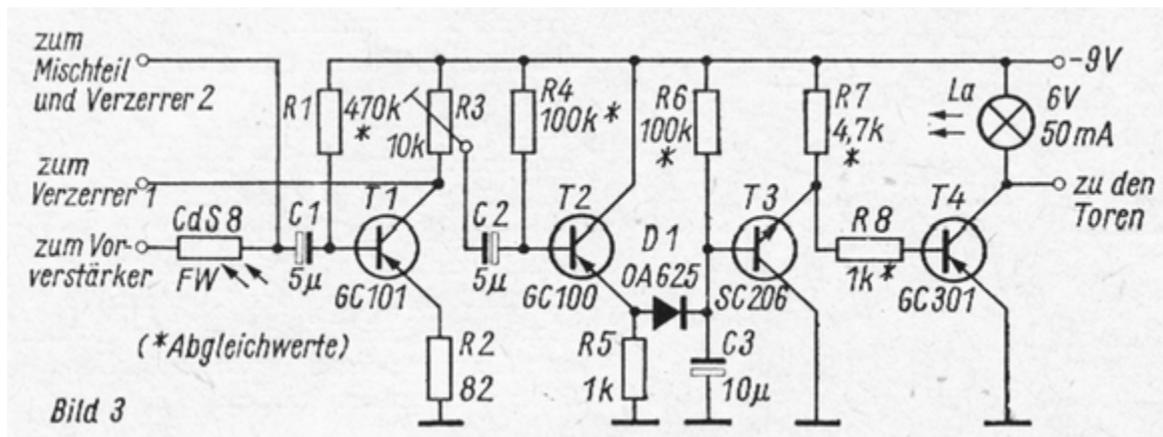


Bild 3: Schaltung des Boosters

Der Fotowiderstand bildet mit Potentiometer P2 (befindet sich im Mischteil), mit den Eingangswiderständen des Regelspannungsvorverstärkers und denen des Verzerrers 2 einen amplitudenabhängigen Spannungsteiler, der als Regelstrecke wirkt. Klanglich ergibt das einen sehr harten Anschlag der Gitarre, d. h., der Gitarrenendverstärker wird im Moment des Anschlags übersteuert. Dann folgt ein orgelähnlicher, eine gewisse Zeitspanne kaum abklingender Ton. Im Gegensatz zu den anderen Funktionen (außer "Linear") eignet sich der Booster auch für Harmoniespiel.

Wichtig für die einwandfreie Funktion des Boosters ist die richtige Dimensionierung des Regelspannungserzeugers, d. h. der beiden Zeitkonstanten (Ein- und Ausschwingzeit). Im allgemeinen werden Einschwingzeiten von wenigen Millisekunden gefordert, während Ausschwingzeiten von 0,1 bis 1 s üblich sind [3]. Beide Forderungen gleichzeitig sind nur mit entsprechendem Aufwand zu erreichen.

Der relativ geringe Signalpegel, der nach der Regelstrecke zur Verfügung steht, wird von dem Regelspannungsvorverstärker auf die für die Regelspannungserzeugung notwendige Höhe gebracht. Die positiven Halbwellen der am Emitterwiderstand von T2 abfallenden Signalspannung öffnen Diode D1 und entladen somit Kondensator C3, T3 wird mehr oder weniger durchgesteuert und der im Ruhezustand leitende T4 entsprechend weniger angesteuert.

Die Lampe La verringert ihre Helligkeit und somit wird der Fotowiderstand hochohmiger. Damit ist der Regelkreis geschlossen.

Der Kondensator C3 bildet mit dem Durchlaßwiderstand von D1 und dem Ausgangswiderstand des Regelspannungsvorverstärkers ( $\sim R5/2$ ) die Einschwingzeitkonstante. Mit R6 und dem Eingangswiderstand des Regelspannungsverstärkers liegt dann auch die Ausschwingzeit fest. Man erkennt, daß besonders einer kleinen Einschwingzeit Grenzen gesetzt sind. Die Trägheit von Lampe und Fotowiderstand wurden der Übersichtlichkeit halber außer Betracht gelassen.

Der Regelspannungsverstärker hat einen hohen Eingangswiderstand und bringt die erforderliche Leistung zur Helligkeitsregelung der Lampe auf.

Die Regelverstärkung wird mit R3 eingestellt. Je größer die Verstärkung, um so länger hält der Booster den Ton. Leider wird dadurch auch das Einschwingverhalten verschlechtert, so daß man entsprechende Kompromisse eingehen muß.

Am Kollektor des 1. Verstärkertransistors wird außerdem die Signalspannung für Verzerrer 1 abgenommen.

### **Verzerrer 1**

Ein Verzerrer reichert das von der Gitarre kommende Frequenzspektrum zusätzlich mit Oberwellen an. Es kommen dabei folgende Möglichkeiten in Frage:

- übersteuerter Verstärker
- Diodenbegrenzer
- Schmitt-Trigger

Alle Varianten verarbeiten nur eine einzelne Frequenz (evtl. mit geringem Oberwellengehalt) einwandfrei, d. h. ohne daß in starkem Maß disharmonische Frequenzen am Ausgang auf

treten. Mit anderen Worten - zum Harmoniespielen sind sie nicht oder nur bedingt geeignet; was insbesondere für den Schmitt-Trigger zutrifft.

Das Frequenzspektrum der Ausgangsspannung mancher Gitarren hat eine Besonderheit, die die Funktion der Baugruppe Frequenzverteiler beeinträchtigt. Es existieren Nebenfrequenzen, die in keinem ganzzahligen Verhältnis zur Grundwelle stehen. Als Folgeerscheinung entsteht bei der Begrenzung der Amplitude (Verzerrer 1) eine Phasenmodulation, d. h., das Tastverhältnis ändert sich laufend. Man kann dann deutlich eine Schwebung heraushören, die aber bei der Funktion Verzerrer 1 nicht weiter stört bzw. sogar erwünscht ist. Wie Versuche zeigten, hängt dieser Effekt sehr vom Saitenmaterial und von dessen Alter ab.

Wie aus Bild 4 zu ersehen ist, wurde für Verzerrer 1 eine Kombination von übersteuertem Verstärker und Diodenbegrenzer gewählt.

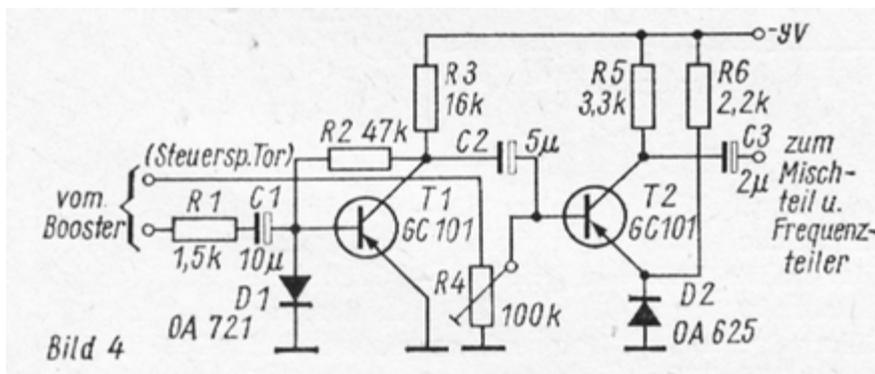


Bild 4: Schaltung des Verzerrers 1

Während Diode D1 und Basis-Emitter-Strecke von T1 den Diodenbegrenzer bilden, gewährleistet der hohe Wert von R3 eine schnelle Übersteuerung des gleichen Transistors. Da infolge der hohen Gesamtverstärkung trotz umfangreicher Abschirmmaßnahmen ohne Eingangssignal (bei angeschlossener Gitarre und abgedämpften Saiten) ein unangenehmer Störpegel (Brummen) hörbar wurde, ist dem eigentlichen Verzerrer ein amplitudenabhängiges Tor nachgeschaltet. Ohne Eingangssignal sperrt T2, weil das Emitterpotential durch die in Flußrichtung betriebene Diode D2 höher ist als das der Basis. Erst wenn ein Eingangssignal anliegt, öffnet die vom Booster erzeugte amplitudenabhängige Gleichspannung (einstellbar mit R4) das Tor, so daß das Nutzsignal zum Ausgang gelangen kann.

Für T1 und T2 sollen im Interesse eines hohen Fremdspannungsabstands nur rauscharme Transistortypen (Z. B. GC 117) eingesetzt werden.

## Verzerrer 2

Wie sich durch Fourier-Analyse nachweisen läßt, entstehen beim Verzerrer 1 nur ungeradzahlige Harmonische (ideale Rechteckspannung mit Tastverhältnis 1:1 vorausgesetzt).

Bild 5 zeigt einen Verzerrer, der auch geradzahlige Harmonische erzeugt, wobei die besonders interessante 1. Oberwelle (= 2. Harmonische) stark hervortritt.

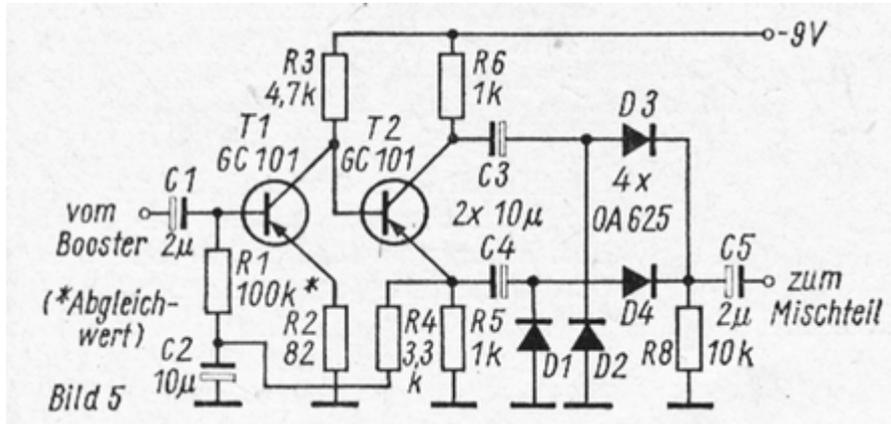


Bild 5: Schaltung des Verzerrers 2

Wird diese Frequenzverdopplerschaltung mit oberwellenarmer Sinusspannung betrieben, so wird sogar eine fast völlige Unterdrückung der Grundwelle ermöglicht. Nun ist die Ausgangsspannung der Gitarre alles andere als oberwellenarm, so daß eine echte Frequenzverdopplung nicht erreicht werden kann. Es findet vielmehr eine starke Betonung der 1. Oberwelle statt, ohne daß sich an der Oktavlage der Gitarre etwas ändert. Wie man sich leicht vorstellen kann, ergibt das einen völlig anderen Klang, als den mit Verzerrer 1.

Wie schon gesagt - ist auch bei dieser Schaltung ein Harmoniespiel nicht möglich, da sich dann infolge der Diodenschaltung zahlreiche Kombinationsfrequenzen bilden und somit ein ganz undefinierbares Frequenzgemisch entsteht.

Die Schaltung an sich zeigt nichts Besonderes. Ein Vorverstärker, von der Ausgangsspannung des Boosters angesteuert, speist eine Phasenumkehrstufe. Die nachfolgende Gleichrichterschaltung läßt nur die beiden um 180° verschobenen positiven Halbwellen durch. An R8 entsteht eine "angenäherte" Sinusspannung doppelter Frequenz nebst Gleichspannungsanteil. Für die Transistorbestückung gilt das gleiche wie bei Verzerrer 1.

## Frequenzteiler

Bei dem Frequenzteiler (Bild 6) handelt es sich um einen bistabilen Multivibrator (BM).

Da der BM eigentlich eine digitale Schaltung ist, bereitet das Ansteuern mit analogen Signalen eine gewisse Schwierigkeit.

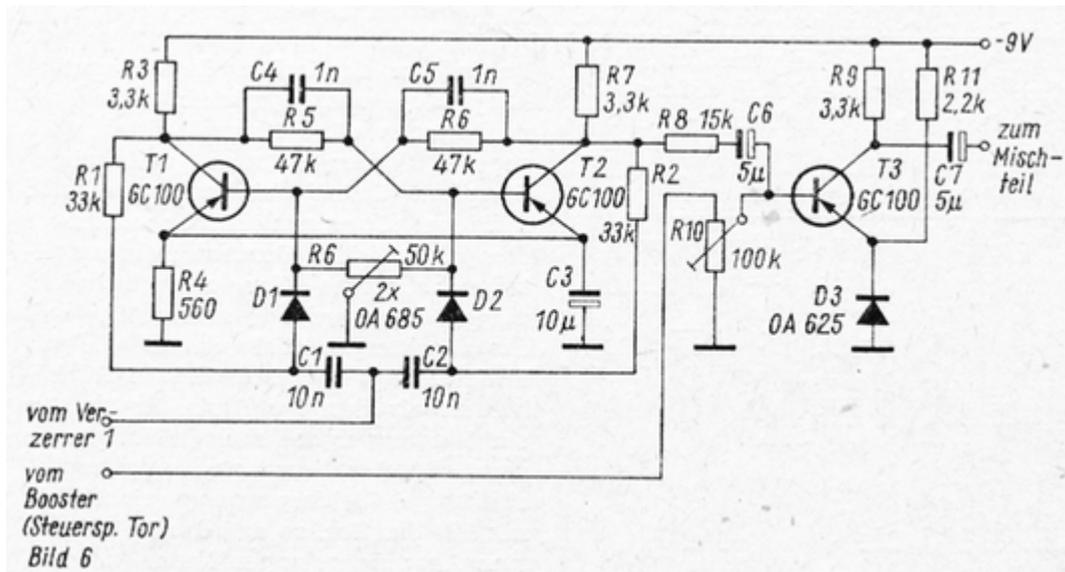


Bild 6: Schaltung des Frequenzteilers

Ein Flip-Flop verlangt, um einwandfrei zu arbeiten, zum Ansteuern eigentlich steile Nadelimpulse. Hier werden jedoch die relativ steilen Flanken der Rechteckspannung aus Verzerrer 1 benutzt. Mit den Differenziergliedern R1/C1 und R2/C2 werden aus der Rechteckspannung die Nadelimpulse gewonnen. Bei der Dimensionierung der Differenzierglieder muß ein Kompromiss eingegangen werden, weil infolge der Arbeitsweise des Rechteckerzeugers (Begrenzer) je nach Eingangsfrequenz unterschiedliche Anstiegszeiten vorliegen. Bei hohen Frequenzen - entspricht kleiner Anstiegszeit - dürfen die Nadelimpulse nicht zu breit werden, weil der Flip-Flop sonst nicht in seinem zweiten stabilen Zustand verharrt, sondern sofort nach Ende des Ansteuerimpulses wieder zurückschaltet. Das bedeutet, es findet keine Frequenzteilung statt. Bei niedrigen Frequenzen hingegen - entsprechend größerer Anstiegszeit - darf die Amplitude des Nadelimpulses nicht zu klein werden, weil sonst der Flip-Flop gar nicht anspricht.

Um die bei Amplitudenrückgang unsichere Funktion nicht hörbar werden zu lassen, wurde ebenfalls ein amplitudenabhängiges "Tor" nachgeschaltet. Seine Funktion ist die gleiche wie bei Verzerrer 1. Mit R6 wird der günstigste Arbeitspunkt des Flip-Flops eingestellt, mit R10 der des Tors. Für den FlipFlop sollen möglichst Transistoren mit ungefähr gleichem Stromverstärkungsfaktor verwendet werden.

### Mischteil mit Filterbaustein

Die 5 Signale der Grundfunktionen können einzeln oder gemischt weiterverarbeitet werden (Bild 7).

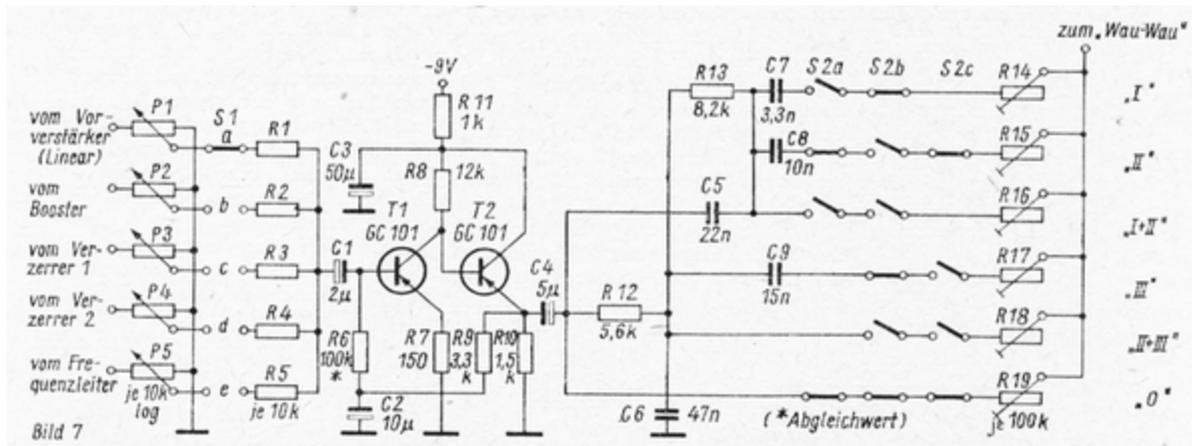


Bild 7: Schaltung des Mischteils mit Filterschaltung

Der Wahlschalter S1 - im Mustergerät als Tastenschalter mit 5 abhängigen Tasten ausgeführt - kann bei Einbau des Gesamtgeräts in den Hohlkörper einer Halbresonanzgitarre zur Bedienungsvereinfachung oder bei mangelndem Platz ein Stufenschalter sein. Als Pegel­potentiometer P1...P5 werden dann Einstellregler eingebaut, wobei eine Signalmischung selbstverständlich nicht mehr möglich ist.

Den nachfolgenden 2-stufigen Verstärker benötigt man, um die Dämpfungen auszugleichen, die durch den Mischteil und die nachfolgenden Filterschaltungen zustande kommen. Die 2. Verstärkerstufe ist eine Kollektorschaltung, die einen für die Filterschaltung günstigen niedrigen Quellwiderstand hat. Die Filterschaltung besteht aus einer Anordnung von RC-Hoch-, -Tief- und Bandpässen, die jeweils einen charakteristischen Klang haben [4]. Mit der Kombination von 3 unabhängigen Tasten (S2) sind die 6 Filterfunktionen leicht zu bewältigen. Damit sich beim Umschalten keine Pegeländerungen ergeben, werden die Einstellregler R14...R19 auf gleiche Lautstärke (subjektiv nach Gehör) eingestellt. Die Transistoren des Verstärkers sollten in jedem Fall nur rauscharme Typen sein, (GC 101 o. ä.).

### Waw-Waw-Baugruppe

“Waw-Waw” (oder auch “Wau-Wau“ genannt) ist ein in der Musikelektronik noch nicht lange bekannter Effekt. Es handelt sich dabei um eine Anhebung schmaler Frequenzbänder im NF-Bereich, bei der ihre Lage ständig verändert wird. Die dabei auftretenden Einschwingvorgänge und Phasenverschiebungen rufen den so genannten “Wau-Wau“-Effekt hervor. Man benötigt also im einfachsten Fall nur ein durchstimmbares NF-Filter [5]. Das hat jedoch den Nachteil hoher Dämpfung und ist infolge seiner geringen Güte auch nur wenig wirksam. Außerdem bereiten die mechanischen Anforderungen u. a. einige Schwierigkeiten.

Wie industrielle Geräte zeigen, ist es auch möglich, ohne die unhandliche Induktivität auszukommen.

Bild 8 zeigt die Schaltung der selbstentwickelten "Wau-Wau"-Baugruppe.

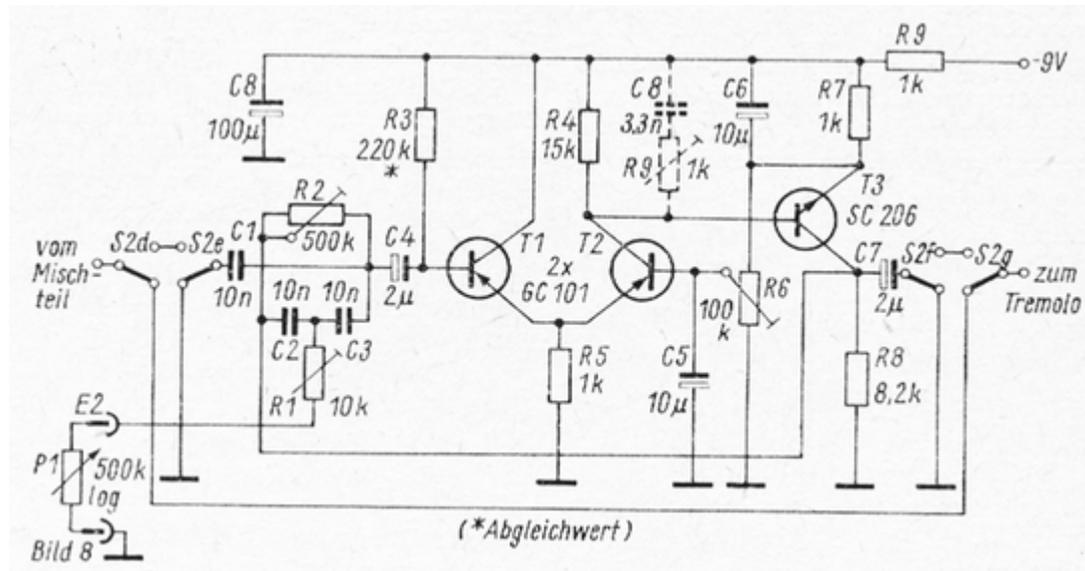


Bild 8: Schaltung des Waw-Waw-Bausteins

Es handelt sich dabei im wesentlichen um einen einfachen Operationsverstärker mit überbrücktem T-Glied als Gegenkopplung. Das Dämpfungsmaximum des T-Gliedes wirkt durch die Gegenkopplungsschaltung wie die Resonanzüberhöhung eines LC-Schwingkreises. An dieser Stelle im Frequenzgang wirkt fast die volle Verstärkung des Operationsverstärkers, während sonst eine starke Gegenkopplung vorhanden ist. Das überbrückte T-Glied wird in seinem Querzweig mit P1 abgestimmt. Die Veränderung nur eines T-Glied-Elements läßt eine stark frequenzabhängige Güte erwarten, jedoch konnte durch geeignete Wahl des Quell- und Lastwiderstands eine über mehrere Oktaven relativ konstante Güte erreicht werden.

Potentiometer P1 wird räumlich getrennt vom Gesamtgerät in einem der üblichen Fußpedal-Lautstärkereger eingebaut und durch abgeschirmtes Kabel mit dem Gesamtgerät verbunden. Wird, wie weiter oben beschrieben, die Gitarrenelektronik direkt in die Gitarre eingebaut, dann kann man auch ein 2poliges Diodenkabel verwenden, was dann gleichzeitig die Ausgangsspannung der Gitarrenelektronik und die Zuleitung für P1 des "Wau-Wau"-Bausteins führt. Die Weiterleitung des Ausgangssignals zum Gitarrenendverstärker geschieht dann vom Fußregler aus.

Das Nutzsignal wird an der Basis von T1 eingekoppelt. C1 bewirkt eine Kompensierung des nach hohen Frequenzen abfallenden Amplitudengangs der Gitarre und des "Wau-Wau"-Bausteins. Der dabei entstehende Pegelverlust ist wegen der Verstärkungsreserven des

Mischverstärkers zulässig. Den Arbeitspunkt des Operationsverstärkers stellt man mit R6 ein, wodurch gleichzeitig der günstige Ein- und Ausgangswiderstand festgelegt wird. Eventuell vorhandene Schwingneigung bei sehr hohen Frequenzen kann durch das skizzierte RC-Glied (R9/C8) beseitigt werden. Mit R1 und R2 legt man Lage und Größe des Abstimmbereichs fest. Um die Betriebsbedingungen des T-Gliedes zu gewährleisten, darf die "WauWau"-Schaltung nur so wenig wie möglich belastet werden ( $R_a = 100 \text{ k}\Omega$ ). Durch Betätigen von S2 (unabhängige Taste) ist es möglich, den "Wau-Wau"-Baustein in den Signalweg einzuschleifen.

### Tremolo-Baugruppe

Tremolo, oft mit Vibrato verwechselt, ist (elektronisch gesehen) nichts weiter als eine Amplitudenmodulation des Signals mit einer relativ niedrigen Frequenz (1... 10 Hz, seltener auch darüber). Es werden also für diese Funktion ein Tiefstfrequenzgenerator und ein Modulator benötigt. Besonders schwierig war die Entwicklung eines durchstimmbaren Tiefstfrequenzgenerators. Vielfach benutzt man einfach eine übliche Multivibratorschaltung. Sie läßt sich mit wenig Mitteln aufbauen und im gewünschten Bereich leicht durchstimmbarmachen. In diesem Fall würde jedoch das Signal „zerhackt“, was sich in sehr unangenehmen Störgeräuschen äußert.

Wird aber an Stelle der Rechteckspannung als Modulationsfrequenz eine Frequenz mit annähernder Sinusform verwendet und mit einem Gegentaktmodulator die Modulationsfrequenz am Ausgang unterdrückt, so läßt sich ein gutes Tremolo aufbauen. Bild 9 zeigt die Schaltung.

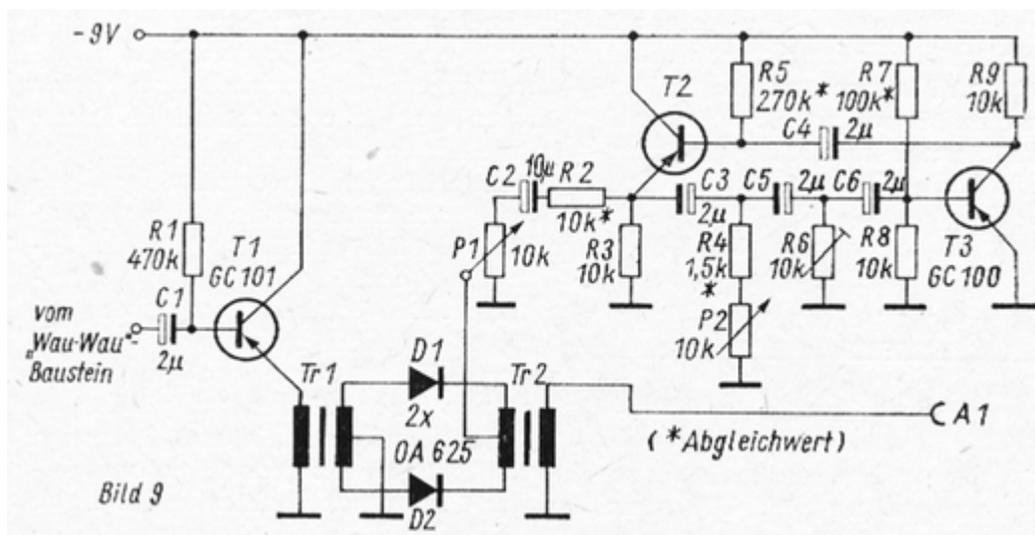


Bild 9: Schaltung des Tremolo-Bausteins

T1 arbeitet als Impedanzwandler, um die Arbeitsbedingungen der im Signalweg davor liegenden Baugruppe („Wau-Wau“) zu gewährleisten. Als Überträger eignen sich „Sternchen“-Treibertrafos. An der Mittelanzapfung von Tr2 wird die Modulationsfrequenz eingespeist. Ihre Amplitude ist mit Modulationsgradregler P1 einstellbar.

Um bei dem Tiefstfrequenzgenerator den Aufwand in Grenzen zu halten, wurde als Kompromisslösung zugunsten einer Phasenschieberschaltung entschieden [6]. Abgestimmt wird sie mit P2 (Tremolofrequenz). Da keine automatische Amplitudenregelung vorhanden ist, ergibt sich eine von der jeweils eingestellten Frequenz stark abhängige Ausgangsamplitude. Diese Inkonstanz stört aber nicht weiter, da sie sich mit P1 ausgleichen läßt. Es ist lediglich darauf zu achten, daß keine Übermodulation auftritt (Modulationsgrad = 100%). Mit R6 wird der Frequenzbereich festgelegt, in dem der Generator schwingen soll (ggf. ist R4 zu verändern). Im Interesse einer guten Anschwing- und Betriebssicherheit sollte man nur Transistoren mit hohem Stromverstärkungsfaktor verwenden ( $B = 100$ ).

Ein- und ausgeschaltet wird das Tremolo ebenfalls mit dem Modulationsgradregler P1.

#### Literatur

(7) Hörning, H.: Vibrato und Klangregelung für E-Gitarre, radio und fernsehen, 14 (7965) H. G, S, 180 und H, 9, S. 282

(2) Reimann. H.: Gitarren-Elektronik, FUNKAMATEUR 18 (1969), H2, S. 63

(3) Köhler, W.: Verstärker, VEB Verlag Technik, Berlin

(9) Filter für Gitarren, Amateurske Radio 18 (1969) H. 2, S. 49

(5) Schulz. W.: Beatelektronik - ein Spezialgebiet der Elektroakustik, Funkschau 1968, H. 17, S. 523-528 .

(6) Gitarren-Elektronik, Radiotechnika 19 (1969) H 5, S. 194

---

© Copyright Peter Salomon, Berlin, rescript aus funkamateureur 1971/11; 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.