

Bei allen elektroakustischen Anlagen, bei denen sich Mikrofon und Lautsprecher im gleichen Raum befinden, wird das Mikrofon nicht nur vom Besprechungsschall, sondern auch von einem Teil des vom Lautsprecher abgestrahlten Schalls getroffen. Oberhalb einer bestimmten Gesamtverstärkung kann dann der Fall eintreten, daß für eine oder sogar für mehrere Tonfrequenzen, die sich aus dem Frequenz- und Phasengang der verschiedenen Teile der Anlage sowie aus der Raumakustik ergeben, die Rückkopplungsbedingung erfüllt ist: Die Anlage beginnt dann zu heulen. Zwar kann man durch Auswahl von Mikrofonen, Verstärkern und Lautsprechern mit sehr ausgeglichenem Frequenzgang, durch geschickte räumliche Anordnung von Mikrofonen und Lautsprechern und eventuell durch Ausfiltern besonders anfälliger Frequenzen den Einsatzpunkt dieser akustischen Rückkopplung etwas hinausschieben – ganz auszuschalten aber ist sie nie.

Frequenz-Shifter kontra akustische Rückkopplung

Als günstigstes Verfahren zur Bekämpfung der akustischen Rückkopplung hat sich das sogenannte „Frequenz-Shiften“ erwiesen, bei dem das ganze Spektrum der vom Mikrofon gelieferten Signale um einige Hertz nach oben oder unten verschoben wird. So läßt sich beispielsweise bei Sprachübertragung eine Verschiebung bis zu etwa 10 Hz vornehmen, ohne daß man sie wahrnimmt. Für Musikübertragungen darf man die Frequenzen jedoch nicht so weit verschieben. In großen Sälen liegt das Optimum des Frequenzversatzes bei etwa 2 oder 3 Hz, für kleinere Räume mit kürzeren Nachhallzeiten erzielt man mit etwa 5 Hz die besten Resultate. Da bei diesem Verfahren auch die von den Lautsprechern zurückkommenden Signale in ihrer Frequenz verschoben werden, ist die Rückkopplungsbedingung weit schwe-

rer zu erfüllen, und der darauf zurückzuführende Effekt – ein gewisses Tremolo bei der Wiedergabe in der Nähe des Einsatzpunktes – tritt erst bei erheblich höheren Verstärkungen auf.

Bei den bisher üblichen Verfahren des Frequenz-Shiftens modulierte man zunächst einen Hilfsträger von 450...480 kHz mit dem zu verarbeitenden Signal, entfernte dann das eine Seitenband dieses Zweiseitenband-AM-Signals durch hochselektive Filter und demodulierte schließlich das übriggebliebene Einseitenband-Signal durch Überlagerung mit einem Hf-Signal, welches sich frequenzmäßig vom ursprünglichen Träger um die wenigen Hertz unterschied, um die das Nf-Signal geshifft werden sollte.

Dieses Verfahren hatte aber verschiedene Nachteile: Zum einen mußte man,

um harmonische und Intermodulationsverzerrungen klein zu halten, sehr aufwendige Modulatoren und Demodulatoren verwenden. Zweitens hatte man im Frequenzgang zusätzliche Ungleichmäßigkeiten von etwa 2 dB in Kauf zu nehmen, denn die zur Unterdrückung des unerwünschten Seitenbandes erforderlichen hochselektiven Filter ließen sich in der Praxis nicht besser herstellen. Wurde das andere Seitenband aber nicht ausreichend unterdrückt, dann ergaben sich nach der Demodulation Schwebungen zwischen den beiden Demodulationsprodukten. Da diese Filter aus den angeführten Gründen gerade bei der Trägerfrequenz ihre größte Flankensteilheit aufweisen mußten, wies dann außerdem das demodulierte Signal eine unerwünscht starke Abschwächung der tiefen Frequenzen auf.

wie die normalen Frequenz-Shifter, gestattet es die Verschiebung des gesamten dem Eingang zugeführten Tonfrequenzspektrums um Beträge zwischen 0,1 Hz und 1000 Hz, und zwar sowohl nach oben als auch nach unten. Zusätzlich kann das geshiftete Ausgangssignal dem ungeschifteten Eingangssignal

im Verhältnis 1:1 zugemischt werden. Die sich daraus ergebenden Effekte und Klangbildveränderungen sind derartig vielfältig, daß eine vollzählige Beschreibung den hier gegebenen Rahmen sprengen würde. Hauptanwendungsgebiete dieses Gerätes sind elektronische Musik, Hörspiele und Vertos-

nungen von beispielsweise Werbespots. Seine wichtigsten technischen Daten können *Tabelle 2* entnommen werden.
H. P. S.

(nach Unterlagen der Surrey Electronics, Cranleigh, Surrey GU 6 7 BG, England)

Von Dr. M. Hartley Jones am Institute of Science and Technology der University of Manchester wurde nun 1973 eine Frequenz-Shifter-Technik vorgestellt, welche alle diese Nachteile nicht aufweist. Die englische Firma Surrey Electronics baut seit einiger Zeit entsprechende Geräte in Lizenz, die auch auf dem kontinental-europäischen Markt angeboten werden. Im folgenden wird das Arbeitsprinzip dieser interessanten Shifter-Technik beschrieben.

Phasenschieber-Frequenz-Shifter

Bild 1 zeigt die komplette Schaltung eines Phasenschieber-Frequenz-Shifters. Das Eingangssignal durchläuft zunächst den integrierten Vorverstärker IS 1, von dessen Ausgang es einmal auf den einen Eingang eines RC-Phasenschiebers, zum anderen an den Eingang eines invertierenden Verstärkers IS 2 gelangt. Der Ausgang von IS 2 ist wiederum mit dem anderen Eingang des RC-Phasenschiebers verbunden. Dieser Phasenschieber ist so bemessen, daß

seine Ausgangssignale über den gesamten Nf-Bereich um nahezu konstant 90° gegeneinander verschoben sind. Beide Ausgangssignale des 90°-Phasenschiebers werden den Eingängen X+ der beiden integrierten Multiplizierschaltungen IS 5 und IS 6 zugeführt.

Die drei integrierten Operationsverstärker IS 8, IS 9 und IS 10 sind als RC-Generator so geschaltet, daß an den beiden Ausgängen zwei frequenz- und amplitudenmäßig hochkonstante Signale gleicher Frequenz zwischen 1 Hz und 10 Hz, aber mit ebenfalls um 90° versetzter Phasenlage auftreten. Diese beiden Signale werden den Eingängen Y+ der beiden Multiplizierer IS 5 und IS 6 zugeführt.

Nach den Regeln der multiplikativen Mischung entsteht nun durch Differenzbildung der Ausgangssignale der beiden Multiplizierer ein Signal, welches entweder um den Betrag der RC-Generatorfrequenz nach oben oder nach unten verschoben ist. Die beiden Mul-

tiplizierer-Ausgangssignale werden zu diesem Zweck einem Differenzverstärker IS 7 zugeführt, während man mit Hilfe eines zweipoligen Umschalters die vom RC-Generator kommenden Signale für die Y+-Eingänge der beiden Multiplizierer miteinander vertauschen kann: Im einen Fall wird das NF-Signal etwas nach oben, im anderen etwas nach unten verschoben, wobei der Betrag der Frequenz-Shiftung der Ausgangsfrequenz des RC-Generators entspricht.

Das Ausgangssignal des Differenzverstärkers IS 7 gelangt über einen Umschalter an die Emitterfolger-Kombination T 5, T 6, deren RC-Beschaltung so bemessen ist, daß die sehr tiefe Shiftfrequenz selbst unterdrückt wird. Von dieser Emitterfolgerstufe wird schließlich die aus den Transistoren T 3 und T 4 und dem Verstärker IS 11 bestehende Leistungstreiberstufe angesteuert.

Der vor dem Emitterfolger T 5, T 6 angeordnete Umschalter gestattet

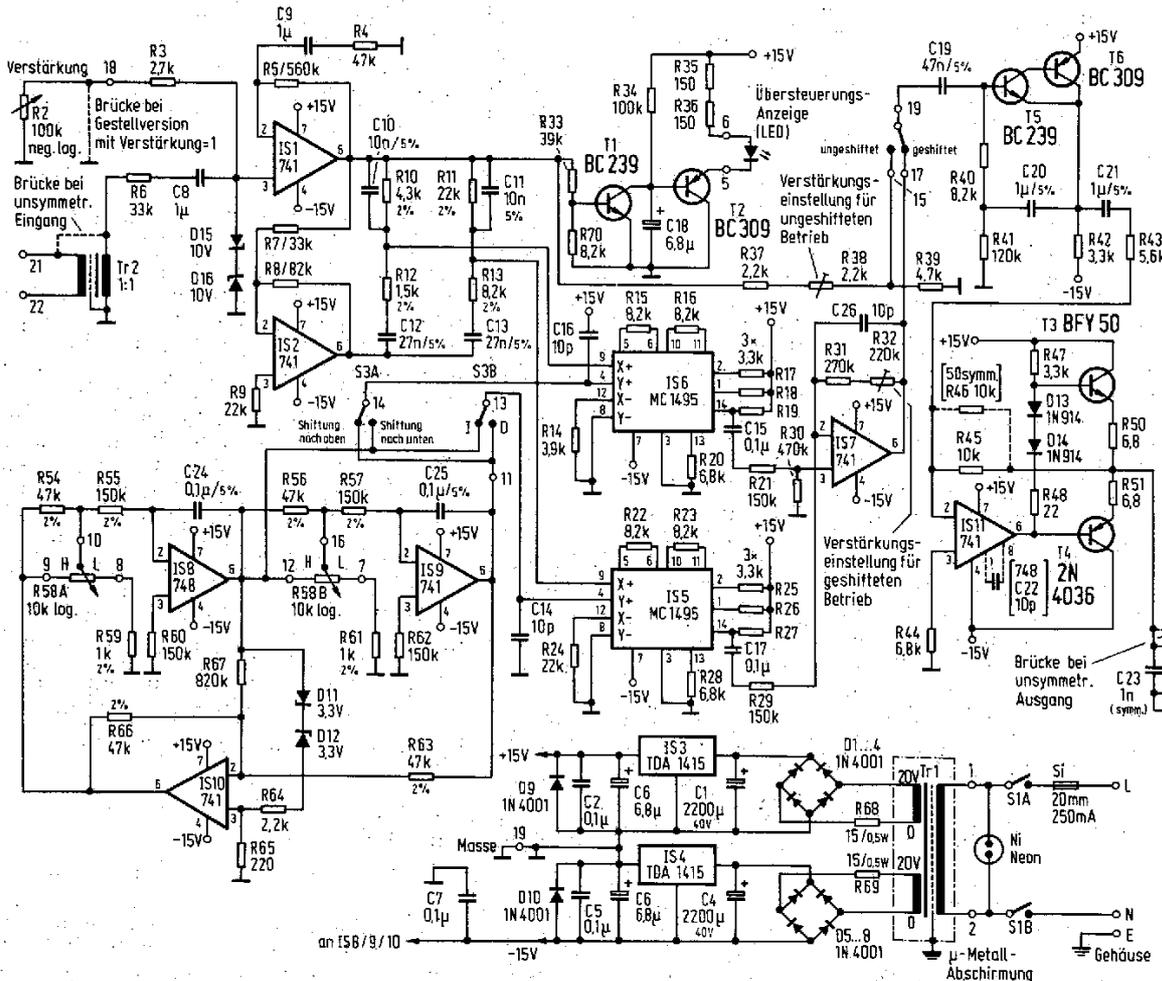
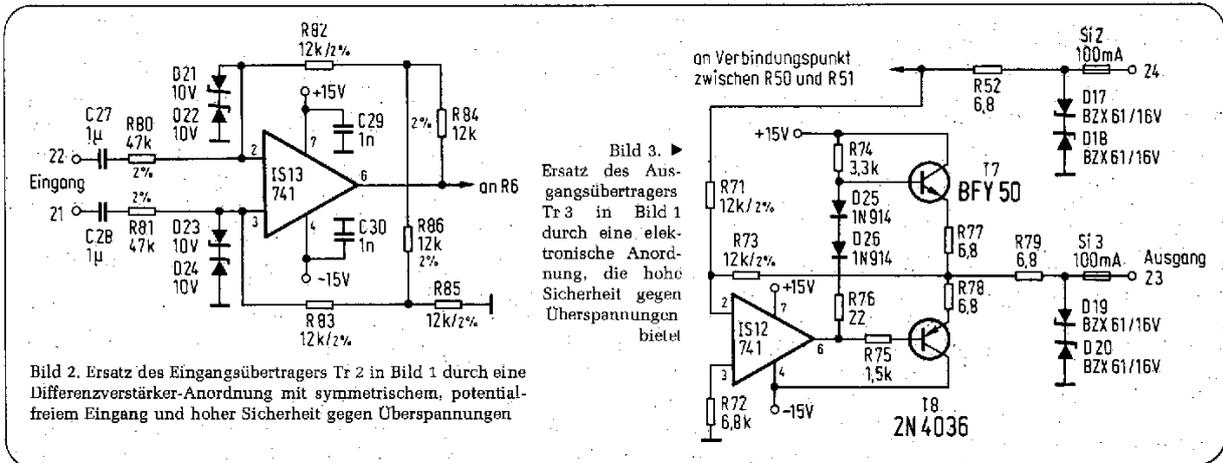


Bild 1. Komplette Schaltung eines Frequenz-Shifters in Phasenschieber-Technik (Surrey Electronics)



wahlweisen Betrieb mit und ohne Frequenz-Shiftung, wobei im letzteren Fall das Ausgangssignal von IS 1 direkt auf den Emitterfolger durchgeschaltet wird. Für beide Betriebsarten läßt sich die Verstärkung getrennt einstellen – für ungeschifteten Betrieb mit dem Regler R 38, für geschifteten Betrieb mit dem im Gegenkopplungs-zweig von IS 11 angeordneten Regler R 32.

Der Ausgang des Vorverstärkers IS 1 steuert außerdem noch den aus den Transistoren T 1 und T 2 bestehenden, unipolar ansprechenden Spitzendetektor an, in dessen Ausgangskreis die Leuchtdiode LED geschaltet ist: Sie beginnt zu leuchten, wenn das Sinus-Eingangssignal einen Wert von -4 dB unterhalb des Begrenzungseinsatzes erreicht (1 kHz).

Anstelle des Eingangsübertragers Tr 2 kann auch die symmetrische Differenzverstärker-Eingangsschaltung nach Bild 2 gewählt werden. Sie gewährleistet einen symmetrischen, potentialfreien Eingang, der unempfind-

lich gegen statische Aufladungen ist und selbst bei versehentlichem Anlegen der Netzspannung nicht zerstört wird. Auch der Ausgangsübertrager Tr 3 in Bild 1 läßt sich durch eine elektronische Schaltung ersetzen, die einen sicheren Schutz gegen versehentlich angelegte hohe Spannungen bietet. Die

in Bild 3 gezeigte Anordnung hält statische Aufladungen und Netzspannung aus. Bei zu starker Überlastung sprechen die auf der Leiterplatte montierten 100-mA-Sicherungen an. Die Schaltung nach Bild 3 weist einen Ausgangswiderstand von weniger als 20 Ω auf.

Handelsübliche Frequenz-Shifter in Phasenschieber-Technik

Von der Firma Surrey Electronics werden zur Zeit vier verschiedene Frequenz-Shifter in Phasenschieber-Technik angeboten. Die 19"-Gestellversion, wie sie in Bild 4 gezeigt ist, dient speziell zur Unterdrückung von akustischer Rückkopplung in elektroakustischen Anlagen. Sie weist symmetrische Ein- und Ausgänge auf und zwar Klinkenbuchsen mit jeweils parallel geschalteten XLR-Anschlüssen. Die technischen Daten dieser Ausführung sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Gleiche technische Daten weisen die beiden Gehäuse-Versionen auf, von denen das Modell A unsymmetrische Ein- und Ausgänge mit Klinkenbuchsen, das Modell B symmetrische Ein- und Ausgänge mit XLR-Buchsen aufweist; Bild 5 zeigt die Außenansicht dieser Version.

Das vierte der Surrey-Modelle wird als „Spectrum-Shifter“ bezeichnet und ist vorzugsweise für die Bearbeitung modernen Musik-Materials bestimmt. Nach den gleichen Prinzipien arbeitend

Tabelle 1. Technische Daten der Surrey-Frequenz-Shifter

Frequenzbereich	35...20 000 Hz, -1 dB
Tiefstfrequenzfilter	Grenzfrequenz 24 Hz, 18 dB/Oktave
Klirrfaktor (1 kHz)	0,1 % bei +13 dBm Ausgangsspannung
Max. Ausgangsspannung	+14 dBm = 4 V _{eff}
Geräuschspannung (20...20 000 Hz)	-70 dBm _{eff}
Restamplitudenmodulation (220...12 000 Hz)	1 dB _{ss}
Eingangswiderstand	30 kΩ
Ausgangswiderstand	50 Ω oder 600 Ω
Stromversorgung	200...250 V, 47...65 Hz, 5 VA



Bild 4. 19"-Version des Frequenz-Shifters der Firma Surrey Electronics



Bild 5. Gehäuse-Version des Frequenz-Shifters

Tabelle 2. Technische Daten des Surrey-Spectrum-Shifters

Shift-Bereiche	0,1...1 Hz, 1...10 Hz, 10...100 Hz, 100...1000 Hz
Eingangswiderstand	10 kΩ
Ausgangswiderstand	unsymmetrisch 50 Ω, symmetrisch 50 Ω
Frequenzbereich	20...40 000 Hz, -3 dB
Geräuschspannung (20...20 000 Hz)	-50 dBm _{eff}
Klirrfaktor (1 kHz)	0,1 % bei +12 dBm
Ausgangsspannung	6,3-mm-Klinkenbuchsen
Anschlüsse	6,3-mm-Klinkenbuchsen
Stromversorgung	200...250 V, 47...65 Hz, 5 VA
Abmessungen (B x H x T)	31 cm x 17 cm x 24 cm
Gewicht	3,8 kg