

Die Summe-Differenz-Stereotechnik

— ganz einfach dargestellt

Wenn der Stereo-Rundfunk erörtert wird, taucht immer wieder der Begriff Kompatibilität und damit zusammenhängend der Ausdruck Summe-Differenz-Verfahren auf. Der Hauptträger des Senders wird mit der Summe der beiden Stereo-Signale, der Zusatzträger mit der Differenz moduliert. Dadurch können alle üblichen Mono-Rundfunkgeräte das volle Signal, nämlich die Summe, empfangen. Bei stereo-erweiterten Geräten fügt der Stereo-Adapter dann nur noch in geeigneter Weise das Differenzsignal hinzu und schon entstehen aus diesen Gemischen wieder einwandfreie Links- und Rechtssignale.

Dieses manchen Lesern wie Zauberei erscheinende Verfahren soll nun in einfacher Weise mit einigen Zeichnungen erklärt werden. Betrachten wir von **Bild 1** zuerst die linke Hälfte der Darstellung, also die Schaltung der Mikrofone, so erkennen wir, daß — um die Summe zu erhalten — jeweils zwei Mikrofone hintereinandergeschaltet werden. Es ergibt sich somit: Links + Rechts = Summe oder $L + R = S$. Würde man an den Ausgang dieser beiden Mikrofone einen Hörer anschließen, so wären alle Instrumente gleich gut zu hören. Dieser Summenkanal ist somit für alle Mono-Rundfunkempfänger geeignet und bringt die erwünschte Kompatibilität.

Zwei weitere Mikrofone stehen ebenfalls an den gleichen Plätzen vor den Musikinstrumenten. Auch sie sind hintereinandergeschaltet, aber mit einem bedeutenden Unterschied: Das rechte Mikrofon ist nämlich umgepolzt (Leitung gekreuzt). Dadurch entsteht in diesem Stromkreis die Differenz beider Mikrofonspannungen. Es ergibt sich also **Links minus Rechts = Differenz** oder $L - R = D$. Beide derart zusammengesetzten Si-

gnale, also Summe und Differenz, werden beim Stereo-Rundfunk drahtlos übertragen.

Wenden wir uns jetzt der rechten Seite der Darstellung von **Bild 1** zu: Aus den beiden Signalen S und D, von denen das S-Signal den vollen Inhalt beider Orchesterenteile enthält, soll nun die für eine Stereo-Wiedergabe erforderliche Trennung in Links- und Rechtssignale erfolgen. Dies geschieht auf dem gleichen Wege, wie mikrofonseitig die Summe- und Differenzbildung erfolgte, also einmal durch gleichgepolzte Zusammenschaltung, das andere Mal durch entgegengepolzte Zusammenschaltung. **Empfangsseitig muß also ebenfalls von der Summe und Differenz nochmals Summe und Differenz gebildet werden.** Unser Beispiel zeigt dies deutlich.

Zuerst die Rückwandlung des linken Kanals:

$$\begin{aligned} \text{Von} \quad S &= +L + R \\ + D &= +L - R \end{aligned}$$

bleibt $S + D = L + L$ als Summe übrig, denn $+R - R$ hebt sich auf.

$L + L$ entspricht der Spannung der beiden Links-Mikrofone. Wir vernehmen also im linken Hörer nur die Darbietung, die sich vor den linken Mikrofonen abspielt. Man kann also grundsätzlich feststellen:

$$\begin{aligned} \text{Summe plus Differenz} &= \text{Links,} \\ \text{also } S + D &= L. \end{aligned}$$

Beim rechten Kanal geschieht es ebenso, nur mit dem Unterschied, daß jetzt das Differenzsignal umgepolzt wird. Durch diese Umpolung werden die Vorzeichen vertauscht. Aus $+L$ und $-R$ wird also $-L$ und $+R$.

$$\begin{aligned} \text{Von} \quad S &= +L + R \\ - D &= -L + R \end{aligned}$$

bleibt $S - D = R + R$ als Differenz übrig, denn $+L - L$ hebt sich auf.

Die Grundformeln des Summe-Differenz-Stereo-Systems

$$\begin{aligned} L + R &= S \\ L - R &= D \quad \text{und} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (L + R) + (L - R) &= L + L \\ (L + R) - (L - R) &= R + R \end{aligned}$$

oder prinzipiell

$$\begin{aligned} S + D &= L \\ S - D &= R \end{aligned}$$

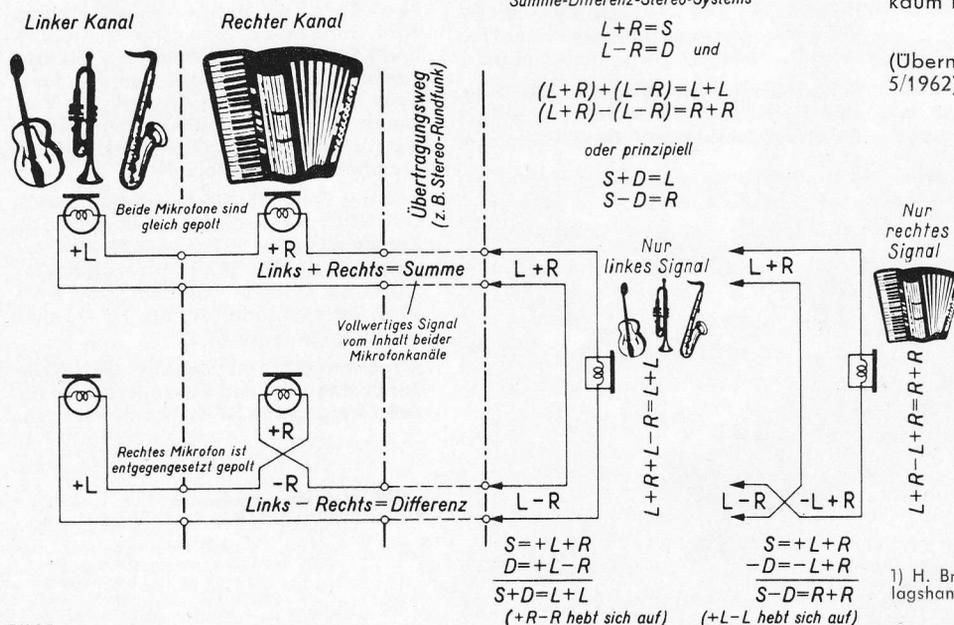


Bild 1

$R + R$ entspricht der Spannung der beiden Rechtsmikrofone. Wir vernehmen also im rechten Hörer nur die Darbietung, die sich vor den rechten Mikrofonen abspielt.

Es ergibt sich also grundsätzlich:

$$\begin{aligned} \text{Summe minus Differenz} &= \text{Rechts,} \\ \text{also } S - D &= R \end{aligned}$$

In der Praxis braucht man natürlich keineswegs zwei getrennte Mikrofone in jedem Kanal, es genügt z. B. eine Übertragungsanordnung, wie sie **Bild 2** zeigt. Die grundsätzlichen Formeln $S + D = L$ und $S - D = R$ sind, wenn man die Gesamt-Sekundär-Windungszahlen mit den Primär-Windungszahlen gleichsetzt, durchaus exakt (man müßte nämlich bei den Einzelmikrofonen streng genommen $L + L$ bzw. $R + R$ schreiben).

Auch hier weist der eine Übertragungskanal das Summensignal, der andere das Differenzsignal auf. Die Polumkehrung kann auf verschiedene Weise vorgenommen werden, außer durch Übertrageranordnungen auch z. B. durch Phasenumkehrrohren- oder Widerstandsbrückenschaltungen. Auf der Empfängerseite (Stereo-Decoder) erzeugt man + Differenz und - Differenz meist ganz einfach durch entsprechend gepolte Demodulatoren, so daß zur Rückwandlung lediglich einige Widerstände erforderlich sind. Auf die spezielle Technik und Schaltungspraxis des Summe-Differenzverfahrens sowie seiner mannigfachen Varianten, z. B. des MS-Mikrofonsystems, soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, da eine ausführliche Darstellung dieses Themas in dem kürzlich erschienenen Buch „Stereotechnik“¹⁾ enthalten ist. Außer der Kompatibilität hat das Summe-Differenz-Verfahren übrigens noch einen besonderen Vorteil. Ungleichheit der Summe- und Differenzkanäle bringt nämlich keine Balance-Verschiebung, sondern nur eine kaum merkbare Basisänderung.

H. Brauns

(Übernommen aus "FUNKSCHAU", Heft 5/1962).

1) H. Brauns: „Stereotechnik“, Franckh'sche Verlagshandlung Stuttgart-O, Pfizerstraße 5-7.

Die Stereo-Rundfunk-Norm

Was liefert der FM-Stereo-Sender?

Für den Stereo-Rundfunk wurde ein System ausgewählt, welches kompatibel ist, d. h. auch Mono-Rundfunkempfänger können die Sendungen empfangen. Dadurch sind getrennte Sender, die nur für Stereophonie arbeiten, nicht erforderlich. Die Ergänzung der vorhandenen UKW-FM-Sender durch Stereo-Modulatoren ist recht einfach und ohne nennenswerte Kosten möglich.

Weiterhin besitzt das genormte Stereo-Rundfunk-System (Pilottonverfahren) den Vorteil, daß nur relativ einfache empfängerseitige Ergänzungen benötigt werden.

Die erforderlichen Adapter, „Stereo-Decoder“ genannt, benötigen meist nur eine Röhre oder zwei Transistoren. Der zusätzliche Strombedarf ist sehr gering und kann vom Netzteil des UKW-Empfängers geliefert werden.

Bevor wir näher auf die spezielle Stereo-Empfänger-Schaltungstechnik eingehen, soll zuerst erklärt werden, welche Signale ein Stereo-FM-Rundfunksender ausstrahlt. Das ist wichtig, um die Arbeitsweise des Decoders und die empfängerseitige Gewinnung der Signale Links und Rechts zu verstehen.

Von den beiden NF-Signalen Links (L) und Rechts (R), die den üblichen Frequenzbereich von 30 Hz bis 15 kHz umfassen, wird die Summe (L + R) und die Differenz (L - R) gebildet. Das geschieht auf völlig „linearer“ Weise. Die Signale dürfen sich also nicht miteinander modulieren.

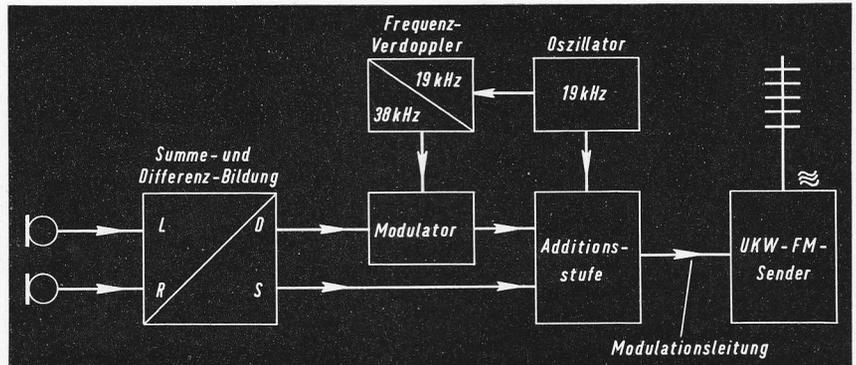


Bild 1 Blockschaltung eines Stereosenders

Mit der Summe, ein aus L und R bestehendes, also vollinhaltliches Signal (L + R), wird der UKW-FM-Sender in der gleichen Weise wie bei Mono-Sendungen moduliert. Damit ist sichergestellt, daß auch alle nicht für Stereo-Rundfunk eingerichteten Radioempfänger das Programm zwar nur monophon, aber doch mit dem vollen Inhalt empfangen können. Über das Grundprinzip der Summe-Differenzbildung und deren Rückbildung in Links- und Rechts-Signale wollen Sie bitte den aus der Funkschau übernommenen Beitrag „Die Summe-Differenz-Stereotechnik ganz einfach dargestellt“ (Seite 566 dieses Heftes) und den dort gegebenen Literaturhinweis beachten.

Das Differenzsignal (L - R), welches später im Decoder in gleicher und entgegengesetzter Phasenlage dem Summensignal zugefügt wird und dadurch die Trennung in Links- und Rechts-Signale bewirkt, wird einem auf 38 kHz liegenden Hilfsträger im AM-Verfahren aufmoduliert, wobei der Träger selbst jedoch bis auf einen geringfügigen Rest von weniger als 1% unterdrückt wird. Ein verbleibender Träger würde einen seiner Amplitude entsprechenden Hub benötigen, der aber dann für den Hub des Nutzsignals verlorengehen würde. Ihn nur zu verringern, würde bei der Wiederherstellung Schwierigkeiten machen,

Bild 1

Wirkungsweise der Umwandlung von Links- und Rechtssignalen der Stereophonie in Summe-Differenz-Signale und deren Rückwandlung in Links- und Rechts-Signale

Zusätzliche Bemerkungen zu Bild 1:

Alle Angaben beziehen sich auf die Spannungen an den Mikrofonen, Übertragungsanlagen und Hörern. Wenn man die Richtung der Ströme in den Leitungen betrachtet, kommt man ebenfalls zum gleichen Ergebnis.

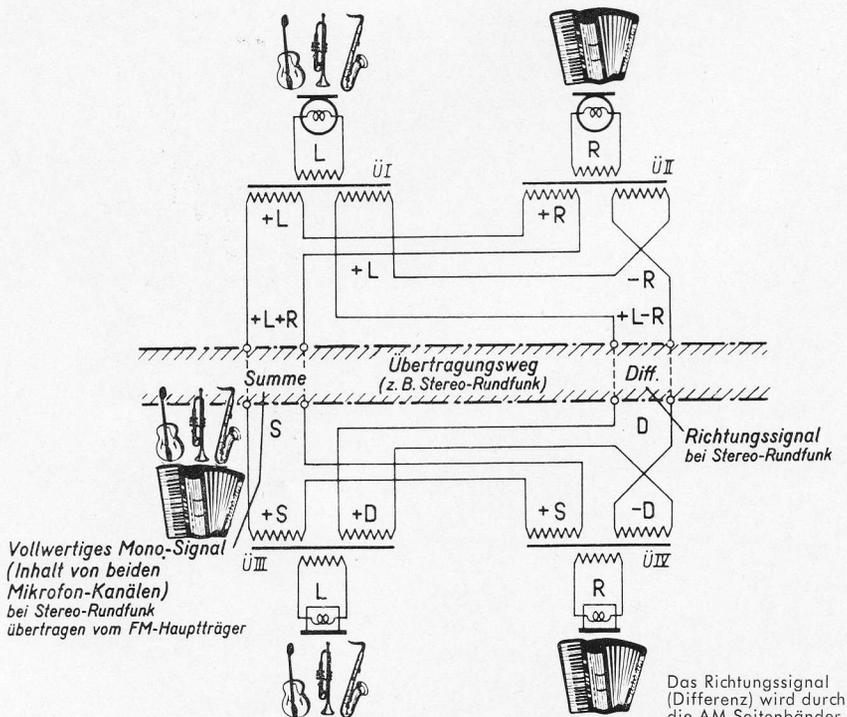


Bild 2

Bildung von Summe und Differenz durch entsprechend gepolte Transformatoren und Rückwandlung in Links- und Rechts-Signale in gleicher Weise

Vollwertiges Mono-Signal (Inhalt von beiden Mikrofon-Kanälen) übertragen vom FM-Hauptträger

Das Richtungssignal (Differenz) wird durch die AM-Seitenbänder des Gesamt-HF-Stereo-Signals übertragen

denn es würden selbst bei sehr schmalbandigen Filtern die Seitenbandfrequenzen mitverstärkt und somit stark amplitudenverzerrt. Außerdem ist die Trägerunterdrückung vorteilhaft, um Störungen in Mono-Empfängern zu verhindern, wenn diese auf einen Stereo-Sender eingestellt sind. Die weiteren Signale außerhalb des Hauptträgersignals werden durch die Deemphasis des Mono-Empfängers ausreichend unterdrückt und stören praktisch nicht.

Da das Differenzsignal ebenso wie das Summensignal NF-seitig einen Bereich von 30 Hz bis 15 kHz erfordert, umfaßt das Gesamthilfsträgersignal ein Frequenzband von 38 ± 15 kHz, also insgesamt 23 bis 53 kHz.

Um den für die AM-Modulation erforderlichen, inmitten der beiden AM-Seitenbänder liegenden unterdrückten Träger von 38 kHz empfängerseitig wieder herstellen zu können, wird senderseitig ein 19-kHz-Pilottonträger mit ausgestrahlt, der 8...10% des Modulationsgrades beansprucht.

Die Frequenz des Pilottonträgers darf nicht mehr als ± 2 Hz abweichen. Außerdem muß der 19-kHz-Pilotton phasenstarr zu seiner zweiten Harmonischen, also dem (unterdrückten) 38-kHz-Träger, sein.

Der 19-kHz-Träger muß absolut frei von Amplitudenanteilen des Summensignals sein. Deshalb wird das Summensignal dem Stereosender über ein Tiefpaßfilter mit einer Nullstelle bei 19 kHz zugeführt.

Der maximal mögliche Gesamthub (100% = 75 kHz FM-Auslenkung, wie auch bei Mono-UKW-Sendern) setzt sich stets aus 1% Rest des unterdrückten 38-kHz-Trägers, 9% des 19-kHz-Pilottonträgers und

aus 90% verwertbaren Hubs für das Summe- und Differenz-Stereosignal zusammen.

Wenn man die Darstellung von Bild 2 betrachtet, so muß man sich die Amplituden der frequenzbandmäßig auseinandergezogenen Felder von Summe und Differenz stets übereinandergesetzt vorstellen, entsprechende Phasenlagen vorausgesetzt.

Der von der NF-Amplitude der beiden Signale Summe und Differenz abhängige Hub von 90%, also die Hauptaussteuerung des FM-Senders, hängt von der Verteilung der Schallquellen und vor allem deren Phasenlagen zueinander ab und ist also aufnahmeseitig gegeben.

Es können bei einer Stereoaufnahme theoretisch und praktisch alle nur möglichen Varianten in der Verteilung von Amplituden und Phasen der beiden Signale Links und Rechts vorkommen.

Wenn zum Beispiel in der Aufnahme ein Signal in voller Stärke vorhanden ist und genau aus der Mitte wiedergegeben werden soll, so weisen der linke und rechte Kanal je ein Signal von gleicher Amplitude und gleicher Phase auf. Es ergibt sich also $L = R$. In diesem Fall entfällt das Differenzsignal völlig ($L - R = 0$).

Umgekehrt brächte der (in der Praxis jedoch fast nie vorkommende) Fall $L = -R$ einen 90%-Hub des Differenzsignals, wobei dann das Summensignal $L + R = 0$ ist. Das sind die beiden Extremfälle.

Wie schon früher erläutert, setzt sich ein Einzelsignal L oder R aus Summe und Differenz zusammen. Je nach dem Vorzeichen der Differenz ergibt sich L oder R.

Ist nun nur eines dieser Signale, also das linke oder das rechte, vollausgesteuert vorhanden, so wird der FM-Hub bis 75 kHz ebenfalls voll beansprucht, denn nun verteilt sich die eine Hälfte (45%) des 90%-Nutzhubes auf das Summensignal ($L + R$) und die andere Hälfte (45%) auf das Differenzsignal ($L - R$)¹⁾.



¹⁾ Bei Stereoaufnahmen von Musikdarbietungen treten die geschilderten Extremfälle der Amplitudenverteilung nicht in „Reinform“ auf. So kommt es z. B. praktisch kaum vor, daß im Summenkanal nur eine geringe Amplitude vorhanden ist. Das von Mono-Rundfunkgeräten empfangene Stereo-Signal erfährt praktisch keine Beeinträchtigung.

Die heutigen Stereo-Aufnahmen werden durchweg „kompatibel“ hergestellt, das heißt, sie müssen auch nach Zusammenschaltung der beiden Kanäle ein einwandfreies Mono-Signal liefern. Dafür sorgt schon während der Aufnahme der Tonmeister. Die richtige Mikrofonanstellung und Phasengleichheit der Mikrofonanschlüsse spielen hierbei eine wichtige Rolle. Die Forderung nach Kompatibilität wird jedenfalls heute einwandfrei beherrscht. Die ersten, bewußt kompatibel hergestellten Stereo-Schallplatten trugen noch die Kennzeichnung „stereo-compatible“, doch sind kompatible Stereo-Aufnahmen heute Allgemeingut, so daß man davon nicht mehr spricht und Kompatibilität als Selbstverständlichkeit voraussetzt. (Einzelheiten darüber sind in dem Kapitel „Kompatible Stereophonie“ des Buches „Stereotechnik“ zu finden.)

Es sei noch erwähnt, daß beim natürlichen Hören in geschlossenen Räumen sowie in der Aufnahmepraxis die Phasenlagen vor allem durch Nachhall und Echobildungen stark verwischt werden. Trotzdem ortet das Gehör (auf Grund des Haas-Effektes) und bei einigem Geschick des Tonmeisters ist nicht nur eine einwandfreie Stereowirkung zu erzielen, es gelingt außerdem sogar, den Stereoeffekt, vor allem in bezug auf die Übertragung der Raumwirkung mit Hilfe technischer Mittel, bedeutend zu verbessern. (Siehe auch „Ein Stereo-Aufnahmeverfahren mit Übertragung der Rauminformation und Verbreiterung der Basis auch bei kleinerem Lautsprecherabstand“ – „Stereotechnik“, Seiten 216/217.)

Die auf Seite 569 erwähnte Preemphasis beträgt in den USA 75 μ s, in Deutschland dagegen 50 μ s.

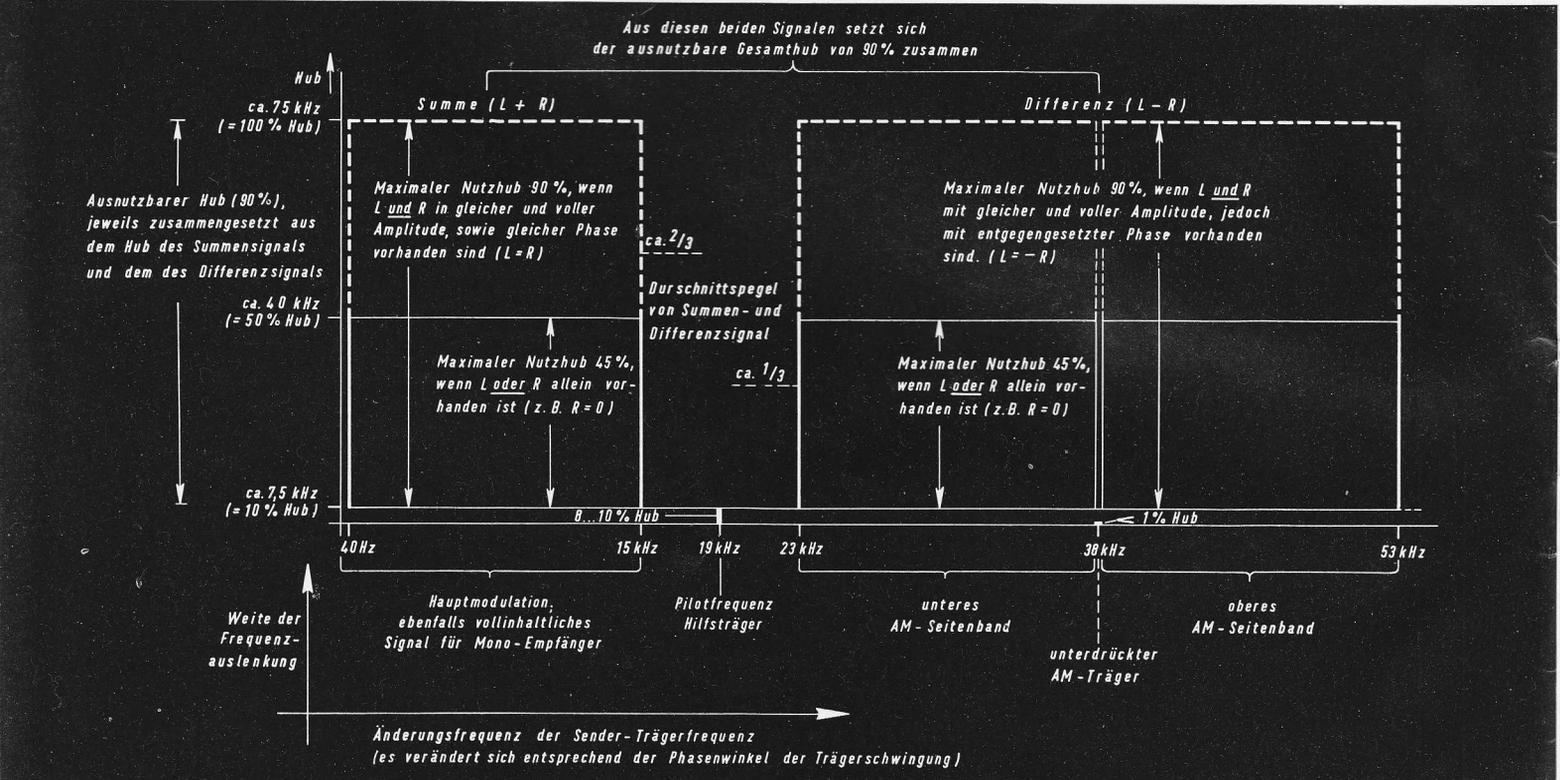


Bild 2 Frequenzband und Frequenzhub beim FM-Stereo-Rundfunk

So arbeitet die FM-Rundfunk-Stereophonie

Wie schon im vorigen Beitrag erwähnt, überträgt ein FM-Stereo-Rundfunksender nicht direkt die Rechts- und Links-Signale, sondern zwei verschiedene Informationen, die jeweils in besonderer Weise aus den Rechts- und Links-Signalen zusammengefügt wurden. Der Sender ist einmal mit dem, einen Frequenzbereich von 40...15000 Hz umfassenden, Summen-Signal frequenzmoduliert. Gleichzeitig werden seinem FM-Modulator zusätzliche Signale zugeführt, welche im Frequenzbereich über dem Hauptsignal liegen. Diese werden von üblichen Mono-UKW-Geräten nicht mit verarbeitet, sind dagegen bei FM-Stereo-Rundfunkgeräten zur Wiederherstellung der ursprünglichen Rechts- und Links-Signale erforderlich.

Um die im Radiodetektor gewonnene Niederfrequenz des Summenkanals wieder in Links- und Rechts-Signale trennen zu können, muß in einem Hilfskanal das Differenzsignal übertragen werden, welches zwar ebenfalls aus Links- und Rechts-Signalen besteht, die aber mit entgegengesetzter Polarität des einen Kanals zusammengefügt wurden. Man bezeichnet das mit gleicher Polarität zusammengesetzte erstere Stereo-Signal, also $(L + R)$, mit Summensignal, das zweite Stereo-Signal, $(L - R)$, mit Differenz.

Während das Summensignal ein kompakt, vollinhaltliches Signal ist, besteht



In der Praxis überwiegt das Summensignal stets. Durchschnittlich beansprucht die Summe ca. $\frac{2}{3}$, die Differenz ca. $\frac{1}{3}$ des Hubes. Die heutige Aufnahmetechnik sorgt dafür, daß bei Zusammenschaltung von L und R ein vollwertiges Signal erhalten wird. Deshalb lassen sich auch Stereo-Schallplatten (nach Zusammenschaltung beider Tonabnehmerkanäle) ungeschmälert über Mono-Verstärker wiedergeben, selbstverständlich unter Verzicht der Richtungsverteilung. Umgekehrt werden auch von Zweikanal-Stereo-Tonbandaufnahmen nach Zusammenfügen von L und R Mono-Schallplatten geschnitten.

Der Phasengang der beiden Stereo-Signale soll keine größeren Abweichungen als $\pm 3^\circ$ über den gesamten Frequenzbereich aufweisen. Die senderseitige Übersprechdämpfung beträgt bei diesen Toleranzen dann 30 dB. Sie liegt bei genauerem Phasengang wesentlich höher, besonders in der Bandmitte. Betragen die Phasenunterschiede an den Bandgrenzen z. B. $1,5^\circ$, ein Wert, der der Praxis entspricht, so ergibt sich eine Übersprechdämpfung von 40...50 dB.

Die NF-Frequenzgänge (30...15000 Hz) von Summe und Differenz dürfen nicht mehr als $\pm 0,3$ dB voneinander abweichen.

Es sei noch erwähnt, daß auch die Stereosender-NF-Signale Summe und Differenz mit der gleichen Preemphasis (Höhenanhebung von $R \cdot C = 75 \mu s$) wie beim üblichen Mono-Signal von UKW-Sendern versehen sind. H. B.

das Differenzsignal hauptsächlich aus gegenphasigen Schallanteilen. Im Gegensatz zum Inhalt des Summenkanals ergeben sie kein allein verwertbares Signal. Erst wenn man beide Signale in gleicher Weise wieder zusammenbringt, wie diese beiden Stereo-Signale selbst zusammengebracht wurden, also durch abermalige Summen- und Differenzbildung, ergeben sich wieder einwandfrei und völlig voneinander getrennt die ursprünglich vorhandenen Signale Links und Rechts. Es ergibt sich also:

$L + R =$ Summe, also ein vollinhaltliches Monosignal,

$L - R =$ Differenz, ein Signal, nur für die Trennung von L und R erforderlich.

Von diesen beiden zusammengesetzten Signalen wiederum die Summe gebildet, ergibt

$$(L + R) + (L - R) = L + L$$

und als Differenz aus beiden Stereo-Signalen

$$(L + R) - (L - R) = R + R$$

Im Stereo-Decoder wird aus dem vom

FM-Stereo-Rundfunksender gelieferten Frequenzgemisch das Differenzsignal als Niederfrequenz gewonnen, und zwar gleich in beiderlei Polarität. So genügt eine einfache Hinzuführung des bereits vorhandenen Summensignals, um die beiden gewünschten Signale Links und Rechts wieder getrennt zu erhalten.

Aber die GRUNDIG Stereo-Decoder können noch mehr. In der großen Ausführung (Decoder V) schalten sie sogar automatisch von Mono auf Stereo um, wenn vom Sender eine Stereoübertragung erfolgt. Doch selbst, wenn man nur den GRUNDIG Stereo-Decoder IV benutzt, zeigt das „Stereo-Auge“ (bei allen übrigen GRUNDIG FM-Stereo-Rundfunkgeräten) an, ob der Sender in Mono oder Stereo arbeitet. Das „Stereo-Auge“ dient zugleich als hochwirksamer Abstimm-Indikator, da es direkt vom Stereo-Pilottonträger gesteuert wird. Es handelt sich übrigens beim „Stereo-Auge“ um ein präzises Drehspul-Instrument in Art eines Schanzeichens, welches auch nach Jahren der Benutzung nichts von seiner Anzeige-Wirksamkeit verliert.

Zur Schaltungstechnik von Stereo-Decodern

Das vom Sender gelieferte HF-Stereo-Gesamtsignal muß im Decoder wieder in die Ursprungschanäle Links und Rechts zurückgeführt werden, ohne daß etwas vom Inhalt verlorengeht und ohne daß etwas hinzugefügt wird, was nicht erwünscht ist.

Es gibt mehrere Prinzipien der Decodierung; da sie praktisch angewandt werden, möchten wir sie kurz erläutern und die wichtigsten Unterschiede zeigen. Grundsätzlich muß der inmitten der AM-Seitenbänder liegende unterdrückte 38-kHz-Träger wiederhergestellt werden. Er soll mindestens die gleiche Amplitude wie die beiden Seitenbänder zusammen haben.

Das kann entweder durch Synchronisierung eines 38-kHz-Oszillators mit der 19-kHz-Pilotfrequenz erfolgen oder es wird durch Frequenzverdopplung der 19-kHz-Frequenz der 38-kHz-Träger gewonnen. (Eine Demodulation der Seitenbänder ohne Träger würde starke Verzerrungen zur Folge haben. Es würde als NF nahezu ausschließlich der Klirrfaktor K 2 entstehen.)

Für die Gewinnung der Links- und Rechts-Signale gibt es ebenfalls mehrere praktisch angewandte Methoden. Man kann einmal die 38-kHz-Trägerfrequenz mit dem Gesamt-Stereo-Signal zusammenführen und erhält dann als Umhüllende der HF-Schwingungen auf der einen Hälfte (z. B. oben) die Frequenz des linken Kanals, auf der anderen Hälfte (unten) die Frequenz des rechten Kanals.

Durch Demodulation mit Hilfe zweier (an den Punkt der Signal-Zusammenführung gelegten) verschieden gepolter Dioden oder einer Ringdemodulatorschaltung erhält man sodann ohne weiteres das Links- bzw. Rechts-Signal (**Bild 1**). Da keine hochfrequenzseitige Zwischensiebung erfolgen kann, besteht bei diesem einfachen Schaltungsprinzip leicht die Gefahr der Bildung von störenden Frequenzen als Mischprodukte mit der entstehenden NF. Außerdem verschlechtert sich bei Belastung der Dioden die Übersprechdämpfung merklich. Eine manchmal gewünschte und durch Unterschiede im Empfänger oft notwendige

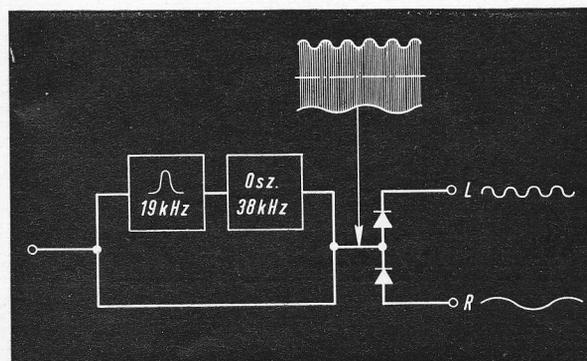


Bild 1
Blockschaltung eines einfachen Stereo-Decoders mit Hüllkurvenprinzip

Bild 3
Gesamtschaltbild des GRUNDIG Stereo-Decoders IV
bzw. Teilschaltbild des Decoders V

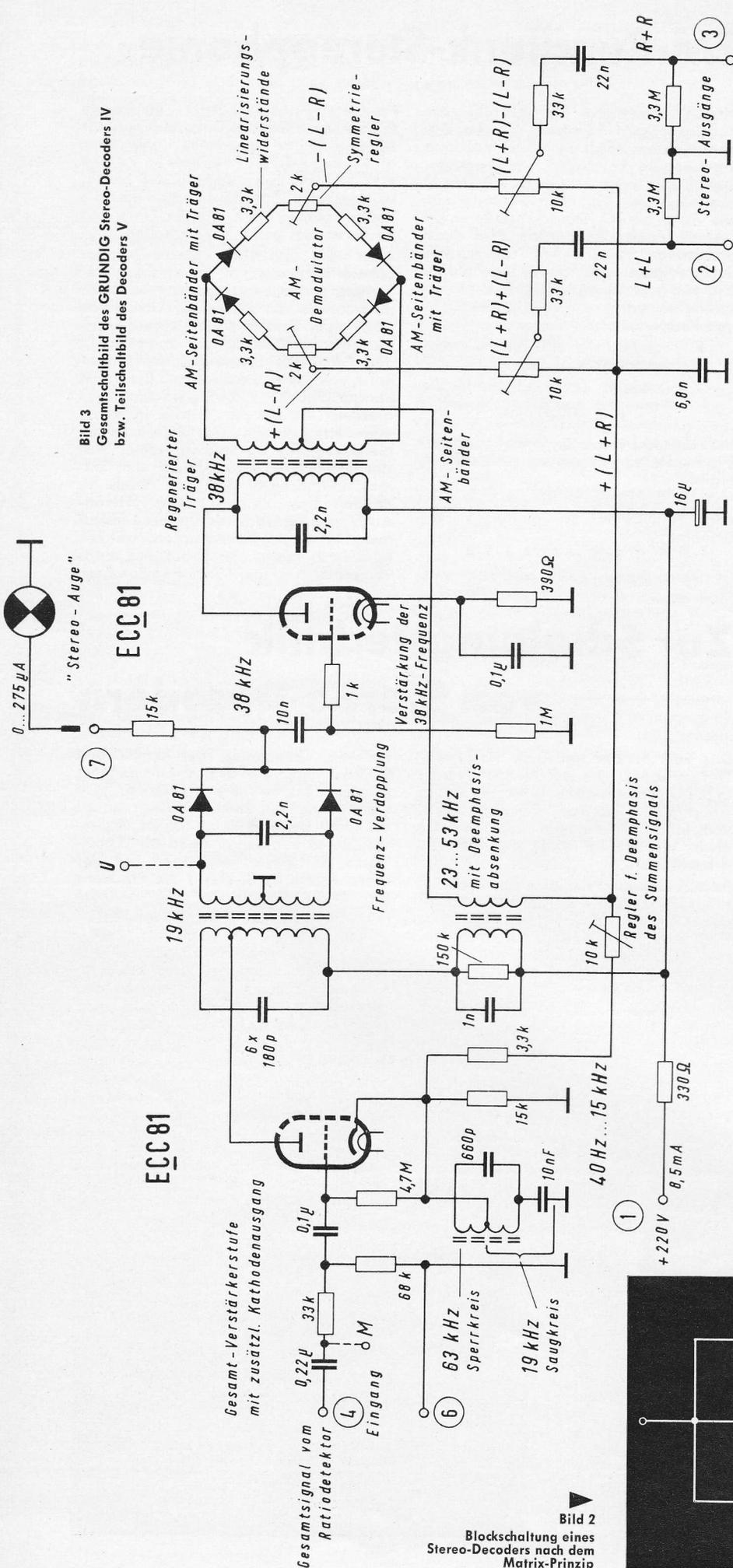
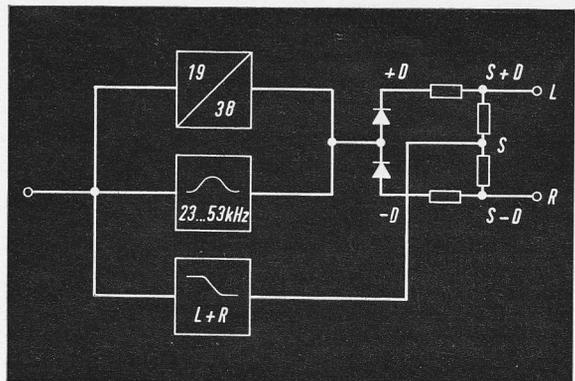


Bild 2
Blockschaltung eines Stereo-Decoders nach dem Matrix-Prinzip



Rechter Kanal

Linker Kanal

Einstellung des Amplitudenverhältnisses vom Summen- und Differenzkanal ist ebenfalls nicht möglich.

Das zweite, vor allem in aufwendigeren Stereo-Decodern benutzte Verfahren nimmt lediglich die Gleichrichtung (Demodulation) des mit einem 38-kHz-Träger wieder vervollständigten AM-Gesamtsignals vor und erhält dadurch L+R, also die NF des Differenzkanals. Man könnte eine für die Erzeugung von L und R notwendige verschiedene Polarität des Differenz-NF-Signals z. B. durch eine Phasenumkehrstufe erzielen. Verwendet man jedoch zwei getrennte, jeweils entgegengesetzt gepolte Dioden oder eine Brückenschaltung, so läßt sich L-R sowohl mit positivem Vorzeichen als + (L-R) und negativem Vorzeichen als - (L-R) ohne zusätzliche Phasenumkehr erhalten. Diese beiden NF-Signale können nun mit Hilfe von einfachen ohmschen Widerständen mit dem NF-Summensignal (L+R) zusammengebracht werden, wodurch sich nach den Formeln $S + D = L$ und $S - D = R$ die gewünschten Links- und Rechts-Signale bilden (Bild 2).

Anstelle von zwei Dioden kann bei diesem Decoder-Prinzip auch eine aus vier Dioden zusammengesetzte Graetz-Gleichrichterschaltung treten.

Eine Verbesserung dieser Decoder-Ausführungsart wird mit einer Schaltungsweise erreicht, wie sie in den GRUNDIG Decodern IV und V angewandt ist. Sie unterscheidet sich von dem im Bild 2 gezeigten Prinzip vor allem dadurch, daß eine in Art eines Ringmodulators gleichsinnig geschaltete 4-Dioden-Anordnung benutzt wird.

An die eine der Diagonale dieses Ringmodulators gelangt die durch vorherige Frequenzverdopplung gewonnene 38-kHz-Trägerfrequenz. Zwischen dem Symmetriepunkt der 38-kHz-Auskoppelspule und Masse wird das übrige Stereosignal eingespeist. Dieses Signal enthält einmal die mit der Differenz (L-R) modulierten Seitenbänder und zweitens gegenphasig dazu das Summensignal (L+R). Im Ringmodulator entstehen zwischen den weiteren Diagonalpunkten und Masse die gewünschten NF-Signale L und R.

Diese Schaltung funktioniert prinzipiell wie ein im Rhythmus von 38 kHz arbeitender elektronischer Umschalter.

Es sind noch andere Varianten dieses Schaltungsprinzips möglich. So weist zum Beispiel die vollständige Schaltung der GRUNDIG Stereo-Decoder IV und V verschiedene Feinheiten auf. Sie dienen in erster Linie zur Erreichung einer guten Störungsfreiheit und hohen Übersprechdämpfung.

Die Schaltungstechnik der GRUNDIG Stereo-Decoder IV und V

Bild 3 zeigt die ausführliche Schaltung des GRUNDIG Decoders IV. Zusammen mit der in **Bild 4** dargestellten Stufe für die automatische Mono-Stereo-Umschaltung gilt diese Schaltung auch für den GRUNDIG Stereo-Decoder V.

Das erste System der ECC 81 verstärkt das Gesamtsignal, wobei insbesondere durch einen 19-kHz-Sperrkreis parallel zum hochohmigen Kathodenwiderstand die Frequenz 19 kHz angehoben wird. Im Anodenkreis wird der 19-kHz-Pilotton ausgesiebt und durch eine Dioden-Gegentaktschaltung ($2 \times OA 81$) frequenzverdoppelt. Nach Verstärkung gelangt

die 38-kHz-Frequenz als wiederhergestellter Träger auf die Diagonalen einer Dioden-Ringschaltung ($4 \times OA 81$).

Das ebenfalls vom ersten ECC-81-System verstärkte AM-Seitenbandsignal 23... 53 kHz, beinhaltend die Differenz (L-R), wird über einen Schwingkreis abgenommen und zusammen mit dem aus der Kathode des ersten ECC-81-Systems kommenden Summensignal (40 Hz... 15 kHz; L + R) dem Symmetriepunkt der Sekundärwicklung des 38-kHz-Kreises und somit der Dioden-Ringschaltung zugeführt. Diese wirkt als elektronischer Umschalter, so daß zwischen den beiden

weiteren Diagonalpunkten und Masse jeweils das Links-NF-Signal und das Rechts-NF-Signal entstehen.

Die in Reihe zu den Dioden liegenden Widerstände linearisieren die Diodenkennlinien. Die beiden 10-k Ω -Trimmwiderstände an den NF-Abgriffpunkten dienen zur jeweils genauen Einstellung des Verhältnisses Summe/Differenz. Somit ist eine einwandfreie Rückbildung von L und R gewährleistet.

Durch exakte Phasenverhältnisse und Symmetrie wird eine sehr hohe Übersprechdämpfung erreicht.

Die Deemphasis des Summensignals erfolgt über ein R-C-Glied (R ist einstellbar). Dagegen wird die Deemphasis des Differenzsignals hochfrequenzseitig durch entsprechende Auslegung des 23... 53-kHz-Auskoppelkreises vorgenommen. Hierdurch und durch das Gegenteilprinzip der Dioden-Ringschaltung werden unerwünschte Störfrequenzen unterdrückt.

An den Ausgangspunkten (2) und (3) stehen die NF-Spannungen zur Verfügung.

Die GRUNDIG Stereo-Decoder IV und V weisen in Bandmitte (300... 5000 Hz; am wichtigsten für die Stereowirkung) eine **Übersprechdämpfung von > 35 dB** auf. Bei 8000 Hz werden noch 20 dB erreicht, ein Wert, der die Übersprechdämpfung von Schallplatten in diesem Frequenzbereich weit übertrifft. **Der Klirrfaktor der GRUNDIG Stereo-Decoder liegt unter 1 %.**

In einem der nächsten Hefte werden wir die Schaltungstechnik der GRUNDIG Stereo-Decoder noch ausführlicher besprechen.

Das „Stereo-Auge“

Die sich hinter dem Gegentaktgleichrichter der Frequenzverdopplerstufe (19/38 kHz) bildende Gleichspannung, deren Höhe von der Feldstärke des Senders, genauer gesagt von der Stärke des 19-kHz-Pilotträgers abhängig ist, läßt sich für die Betriebsart-Anzeige des Senders verwenden. An diese Spannung ist das „Stereo-Auge“, ein Gleichstrom-Drehspulinstrument, angeschlossen. Da der 19-kHz-Pilotträger nur dann vorhanden ist, wenn der Sender auf Stereobetrieb umgeschaltet hat, zeigt das „Stereo-Auge“ automatisch die jeweilige Betriebsart des Senders an. Gleichzeitig dient es als genaue Abstimmanzeige. Besonders erwähnt werden muß noch die hervorragende Übersprechdämpfung der GRUNDIG Stereo-Decoder IV und V, die bei genauer Einstellung mehr als 35 dB beträgt.

Die automatische Mono-Stereo-Umschaltung des GRUNDIG Stereo-Decoders V

Im Decoder V, der schaltungstechnisch mit dem Typ IV übereinstimmt, ist zusätzlich eine Einrichtung zur automatischen Umschaltung von Mono auf Stereo enthalten. So wie das „Stereo-Auge“ bei Umschalten des Senders auf Stereobetrieb eine Spannung erhält, die die Anzeige bewirkt, so wird im Decoder V ebenfalls von der 19-kHz-Pilotträgerfrequenz — über einen zusätzlichen Abstimmkreis — ein Signal abgeleitet, welches über einen Transistor verstärkt, nach

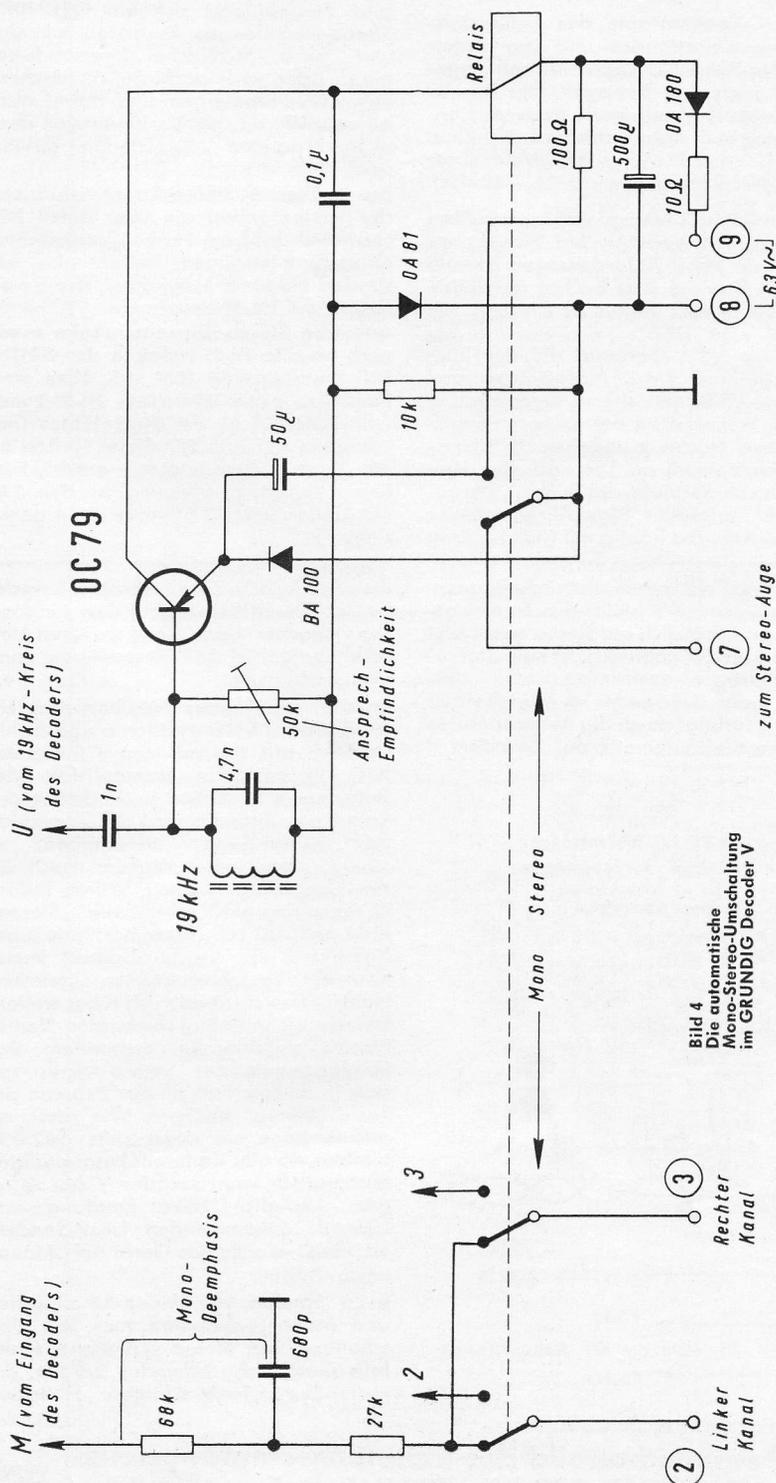


Bild 4
Die automatische Mono-Stereo-Umschaltung im GRUNDIG Decoder V

Gleichrichtung ein Relais steuert. Dessen Kontakte liegen an den Mono- und Stereo-NF-Ausgängen und schalten nun automatisch den Eingang des NF-Verstärkerteils von Mono- auf Stereo-Betrieb um. In Stellung Mono sind beide NF-Kanäle zusätzlich miteinander verbunden. Das Drücken einer Taste von Hand erübrigt sich somit. Geräte, die mit dem GRUNDIG Stereo-Decoder V ausgestattet werden, weisen also einen besonders hohen Bedienungskomfort auf. Das „Stereo-Auge“ behält dabei seine Funktion voll und ganz bei, so daß stets auch eine optische Anzeige der jeweiligen Betriebsart gegeben ist.

Die Schaltung der Stereo-Decoder-Anschlußbuchse

Bei allen für Stereo-Rundfunk eingerichteten GRUNDIG Geräten wird eine einheitliche Decoder-Anschlußbuchse benutzt, identisch mit einer Noval-Fassung. Die Decoder I, IV und V besitzen einen entsprechend geschalteten Noval-Anschlußstecker.

Bild 5 zeigt die empfängerseitige Schaltung der Decoder-Anschlußbuchse. Kontakt 1 dient zur Zuführung der Anodengleichspannung, Kontakte 8 und 9 stellen die Heizanschlüsse dar. An Kontakt 6 liegt Masse, an Kontakt 7 das Anzeigeinstrument („Stereo-Auge“).

Das von der Tertiärspule des Ratiodektors kommende Gesamt-Stereo-Signal, bestehend aus Summe, 19-kHz-Pilotton und 38-kHz-Seitenbandmodulation der Differenz, gelangt über Kontakt 4 zum Stereo-Decoder. Die am Ausgang des Decoders gewonnenen beiden Stereo-NF-Kanäle werden von den Kontakten 2 (Linker Kanal) und 3 (Rechter Kanal) abgenommen.

Kontakt 5 der Anschlußbuchse tritt nur bei Betrieb des automatisch umschaltenden Stereo-Decoders V in Funktion. Beim Decoder V besteht zwischen Kontakt 7 (Anzeige-Instrument) und Kontakt 5 innerhalb des Steckers eine Verbindung. Hierdurch wird gewährleistet, daß das Rundfunkempfangsgerät nicht versehentlich auf Mono geschaltet ist, wenn ein Stereosender arbeitet und vom Instrument angezeigt wird.

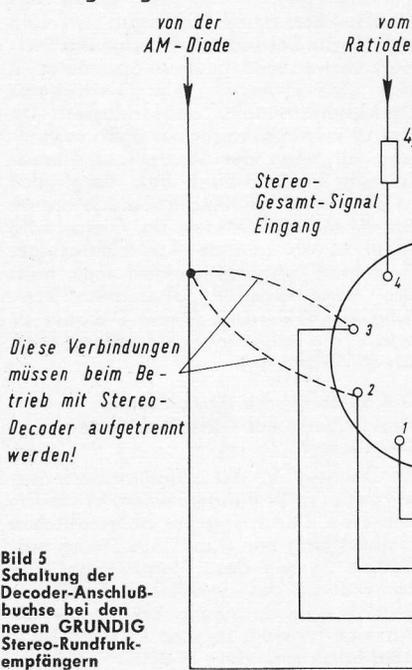


Bild 5
Schaltung der Decoder-Anschlußbuchse bei den neuen GRUNDIG Stereo-Rundfunkempfängern

Das Beispiel eines modernen FM-Stereo-Rundfunkempfängers:

Können ältere UKW-FM-Rundfunkgeräte auf Stereo-Empfang erweitert werden?

Diese Frage wird vor allem von Besitzern größerer NF-Stereo-Anlagen gestellt, die dazu einen hochwertigen Mono-UKW-Rundfunkempfänger betreiben.

Wir können im Rahmen dieses Heftes nicht näher auf die Möglichkeiten und Schwierigkeiten der Ergänzung von älteren FM-Geräten für Stereo-Empfang eingehen, möchten jedoch auf das Kapitel „Erweiterung vorhandener UKW-FM-Rundfunkgeräte auf Stereo-Empfang“ innerhalb des Buches „Stereotechnik“ (Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart) hinweisen.

Die R-C-Zeitkonstante des Ratiodektor-Innenwiderstandes und der Ratiodektor-Fußpunkt-Kapazität soll ungefähr 2,5 bis 3 μ s betragen. Der an der Tertiär-(Auskoppel)-Spule liegende Kondensator muß daher entsprechend klein sein. ($T = 2,5 \dots 3 \mu$ s entspricht einer oberen Grenzfrequenz von 53...60 kHz).

Da an die Übertragungseigenschaften des FM-ZF-Verstärkers bei Stereoempfang sehr hohe Anforderungen gestellt werden (wie aus dem Beitrag der Seiten 578—581 dieses Heftes zu ersehen ist), kommt eine HF-Stereoerweiterung bei kleineren UKW-Geräten, die nur über eine geringe FM-ZF-Verstärkung und schmale ZF-Bandbreite verfügen, nicht in Frage. Wie weit sie bei größeren Geräten ohne Nachteile möglich ist, kommt auf den Versuch an. Die nach den Hinweisen von Seite 211 des Buches „Stereotechnik“ erfolgten Stereo-Ergänzungen sind in Amerika häufig mit gutem Erfolg

Bei Betrieb mit automatisch schaltendem Stereo-Decoder V bleibt das Empfangsgerät grundsätzlich auf Stereo geschaltet (Taste STEREO gedrückt). Ist kein Stereo-Pilottonträger vorhanden, also stets dann, wenn der Sender im Monobetrieb arbeitet, erfolgt durch die Relaiskontakte der Umschaltautomatik des Decoders V

bei verschiedenen Mono-UKW-Geräten durchgeführt worden.

Grundsätzlich kann man aber sagen, daß derartige Abänderungen bzw. Ergänzungen allgemein gesehen nicht propagiert werden sollen. Sie sind für die Arbeit der Fachwerkstätten nicht geeignet und sollen eine Sache privat daran interessierter Techniker bleiben.

Interessenten und Besitzern von Hi-Fi-Stereoanlagen sollte man auf jeden Fall die von vornherein für HF-Stereophonie eingerichteten neuen GRUNDIG Rundfunkempfänger anbieten, die es jetzt in allen nur erdenklichen Ausführungsarten gibt. Hierbei läßt sich ein GRUNDIG Stereo-Decoder als Zusatzteil mühelos und ohne technische Vorkenntnisse gleich oder auch nachträglich anschließen. Lötverbindungen sind dabei nicht erforderlich, da alle Verbindungen über einen 9poligen Novalstecker geführt sind.

Bei größeren Stereo-Konzertschränken der letzten Jahre, die über einen NF-Stereoteil und eine Stereo-Lautsprecheranordnung verfügen, besteht eine besonders elegante Möglichkeit der Erweiterung auf HF-Stereophonie.

An diese Stereo-Konzertschränke sowie auch an alle Hi-Fi-Anlagen der GRUNDIG Bausteinserie läßt sich ohne weiteres der neue GRUNDIG Hi-Fi-Rundfunk-Tuner RT 50 der Studioklasse (beschrieben auf Seite 582 dieses Heftes) an die Tonabnehmerbuchsen anschließen. Seine Ausgangsspannung ist den TA-Eingängen von NF-Stereoanlagen angepaßt.

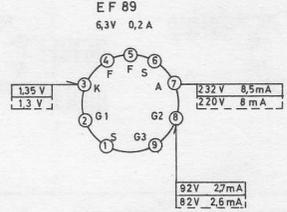
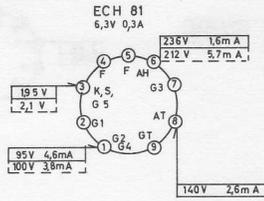
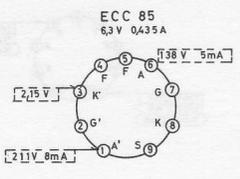
die erforderliche Zusammenschaltung der beiden Stereo-Kanäle mit dem Eingang des Decoders. Über einen weiteren Umschaltkontakt ist das Stereo-Auge dann kurzgeschlossen.

Schaltet der Sender auf Stereobetrieb, so wird der 19-kHz-Pilotton ausgestrahlt. Dadurch tritt die mit einem Transistor (OC 79) bestückte Umschaltstufe des Decoders V in Aktion und schaltet das Relais um. Zugleich wird der Kurzschluß des Stereo-Auges aufgehoben; es schlägt somit aus und kann auch als Abstimmanzeige dienen. Würde jedoch im Empfangsgerät die Taste „Stereo“ nicht gedrückt sein, dann bestünde (über Kontakt 5 der Anschlußbuchse) immer noch der Kurzschluß des Anzeigeinstruments. Ebenso wären auch (über weitere Drucktastenkontakte) die beiden Stereo-Kanäle miteinander verbunden. Das Nichtanzeigen des Stereo-Auges soll also in diesem Fall an das Drücken der Taste „Stereo“ erinnern. Wie schon erwähnt, kann sie dann stets gedrückt bleiben, da alle weiteren Umschaltungen automatisch vom Decoder V aus erfolgen. Lediglich beim Empfang von schwach ankommenden UKW-Sendern empfiehlt es sich, das Gerät auf „Mono“ umzuschalten.

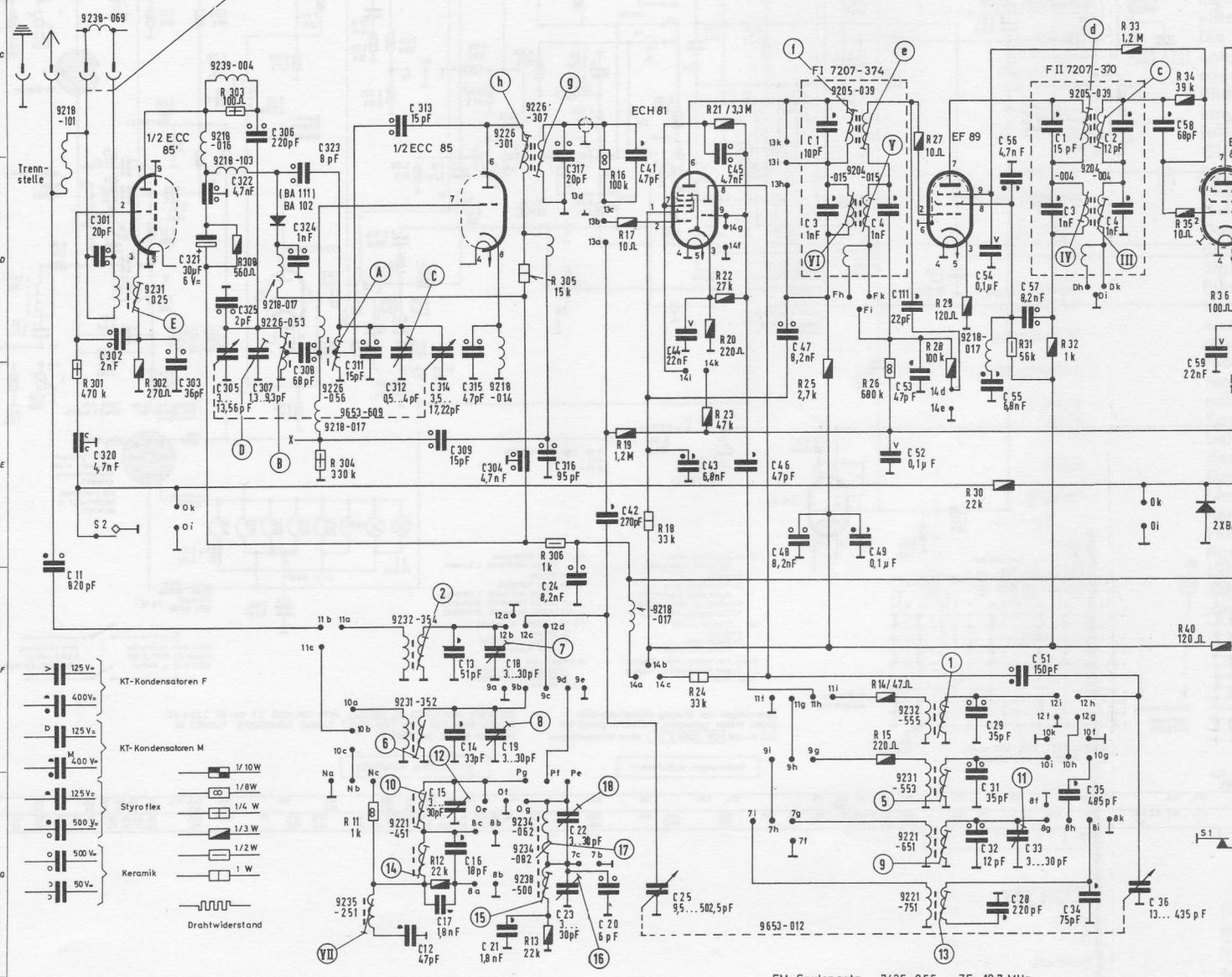
Beim Spielen von Mono-Schallplatten und Mono-Tonbändern muß die Umschaltung von Stereo auf Mono ebenfalls durch entsprechendes Drücken der Mono-Stereo-Taste erfolgen. H. Brauns

Gesamtschaltbild des Rundfunk-Empfangsteils HF 10 der GRUNDIG Bausteinserie





Achtung! Beim Abgleich der UKW-ZF(10,7MHz) Antenneneingang kurzschließen.



- > 125V- KT-Kondensatoren F
 - > 400V- KT-Kondensatoren M
 - > 125V- M. 500V- Styroflex
 - > 500V- Keramikk
 - > 50V- Drahtwiderstand
- 1/10W
 - 1/8W
 - 1/4W
 - 1/3W
 - 1/2W
 - 1W

FM-Spulensatz 7435-055 ZF= 10,7 MHz
 AM-Spulensatz 7412-009 ZF= 460 kHz
 FA kpl. 7701-051

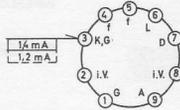
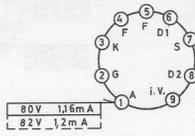
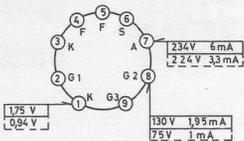
FI: c: 1, 3, 2, 4,	FII: c: 1, 3, 2, 4,
--------------------	---------------------

C: 11, 320, 301, 302, 303, 321, 325, 307, 323, 324, 308, 311, 313, 12, 309, 13, 14, 17, 315, 18, 316, 24, 22, 23, 25, 41, 47, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 52, 53, 29, 31, 32, 54, 55, 28, 33, 51, 35, 56, 57, 34, 36, 58, 59,
R: 301, 302, 303, 308, 304, 11, 305, 306, 13, 16, 17, 18, 19, 24, 23, 20, 21, 22, 25, 26, 14, 15, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36,

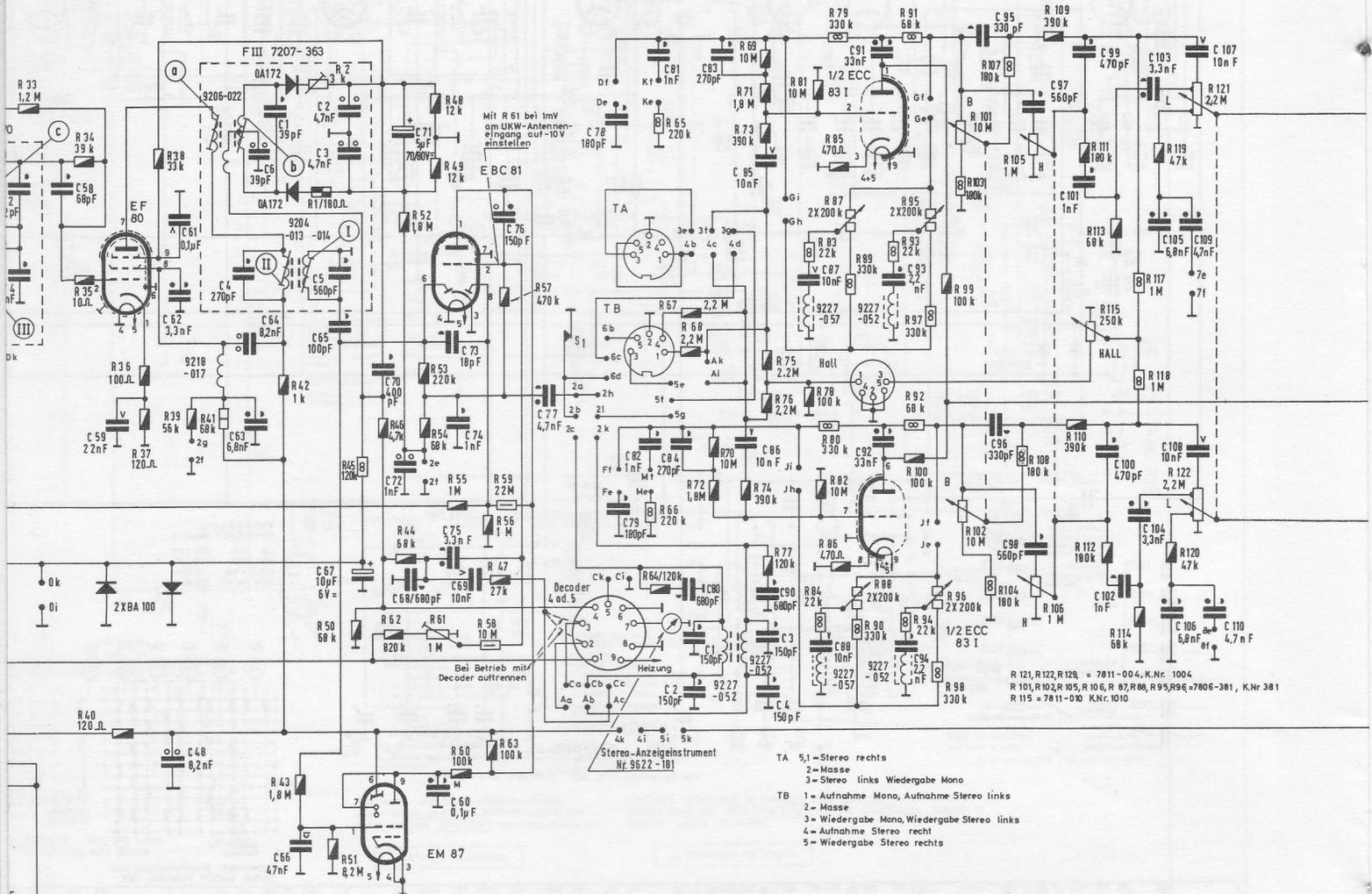
EF 80
6,3 V 0,3 A

EBC 81
6,3 V 0,23 A

EM 87
6,3 V 0,3 A



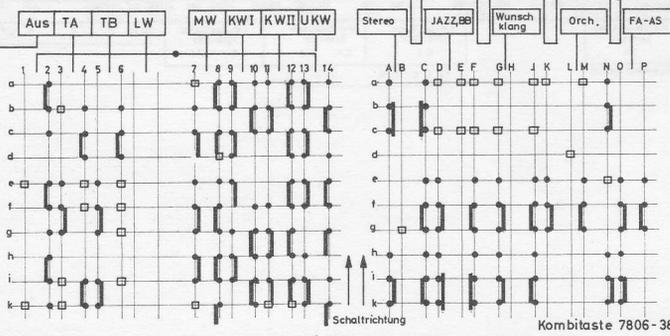
Spannungen mit Grundig Röhrevoltmeter gegen Masse gemessen.
Meßwerte gelten bei 220V~ auf MW,UKW ohne Signal an der Antenne und ohne Decoder.



R 121, R 122, R 123 = 7811-004, K.Nr. 1004
R 101, R 102, R 105, R 106, R 87, R 88, R 95, R 96 = 7806-381, K.Nr. 381
R 115 = 7811-010 K.Nr. 1010

- TA 5,1 - Stereo rechts
2 - Masse
3 - Stereo links Wiedergabe Mono
- TB 1 - Aufnahme Mono, Aufnahme Stereo links
2 - Masse
3 - Wiedergabe Mono, Wiedergabe Stereo links
4 - Aufnahme Stereo recht
5 - Wiedergabe Stereo rechts

Stereo-Anzeigeelement Nr. 9622-181



Wellenbereiche:
LW 145... 350 kHz
MW 510... 1620 kHz
KWI 3,15... 8,8 MHz
KWII 86... 22,5 MHz
UKW 87... 104 MHz

Änderungen vorbehalten

gezeichnete Tastenstellung „Aus“ Kombitaste 7806-381.01

FIII: C: 4, 6, 1, 2, 3, 5, R: 1, 2

C: 1, 2, 3, 4, Stereo Tieffreq 7209-103

36,	58,	59,	61,	62,	63,	64,	66,	65,	67,	70,	72,	71,	73,	75,	76,	77,	78,	79,	81,	82,	84,	83,	80,	85,	86,	90,	88,	87,	91,	92,	93,	94,	95,	96,	97,	98,	99,	101,	100,	102,	104,	106,	109,	107,	103,	105,	108,	110,	112,	113,	117,	119,	121,	123,	125,	33,	34,	35,	36,37,38,	39,	41,	42,43,	45,	51,	50,	46,	62,	52,	44,	53,54,	61,48,	55,47,	63,60,49,	56,58,	57,	66,	64,	65,67,68,70,72,	74,	69,73,	76,	78,83,82,	85,	87,	89,90,	94,	92,93,91,96,99,103,104,107,108,110,	71,75,	77,	81,80,	84,79,	86,	88,93,100,97,95,99,101,102,105,106,09,111,	115,114,	118,	120,	124,	126,	127,
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----------	-----	-----	--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--------	--------	--------	-----------	--------	-----	-----	-----	-----------------	-----	--------	-----	-----------	-----	-----	--------	-----	-------------------------------------	--------	-----	--------	--------	-----	--	----------	------	------	------	------	------

GRUNDIG

**Stereo-Rundfunk-
Spitzensuper
»Konzertgerät 5490 St«**

**Technische Daten
des Gerätes**

FM

Wellenbereich:
UKW 87 ... 104 MHz.

Kreise:
12 (davon 8 ZF-Kreise).

Schaltungsaufbau:
Vorstufe, Misch- und Oszillator-
stufe

Schaltbare automatische
UKW-Scharfabstimmung

Drei ZF-Verstärkerstufen mit
geringster Gruppenlaufzeit-
differenz

Hochwirksame, verstimmungsfrei
arbeitende Begrenzung

Symmetrischer Breitband-
Radiodetektor

Automatische
Rauschunterdrückung

Stereo-Decoder-Anschluß

Empfindlichkeit
(bei 26 dB Rauschabstand): 1,4 µV

Rauschzahl: 3 kTo

ZF-Sicherheit:
80 dB (bei 93 MHz)

Radiodetektor-Höckerabstand:
510 kHz

AM

Wellenbereiche
KW I 3,15 ... 8,8 MHz
KW II 8,6 ... 22,5 MHz
MW 510 ... 1620 kHz
LW 145 ... 350 kHz

Kreise:
8 + 1 (davon 6 ZF-Kreise)

Ferritantenne

Mischstufe, Oszillator

Zwei ZF-Verstärkerstufen

ZF-Bandbreite-Umschaltung

Schwindregelung, verzögert,
auf zwei Stufen wirksam

NF

Zwei Stereo-NF-Vorverstärker-
stufen

Zwei Phasenumkehrstufen

Zwei Gegentakt-Endstufen

Ausgangsleistung:
2 x 8,5 W
(Sinus-Dauerstrom 1000 Hz)
2 x 10 W Musikleistung
(music power)

HF-Teil-Schaltbild

Die Schaltung des NF-Teils
vom 5490 Stereo
bringen wir im nächsten Heft

Röhrenbestückung des nicht
dargestellten NF-Endverstärkers:
ECC 83, ECC 83, ELL 80, ELL 80

Zur Schaltungstechnik von Stereo-Decodern

2. Teil Wirkungsweise der Demodulatorschaltungen

(Fortsetzung von Seite 570)

Die nachstehenden Darstellungen und Erklärungen sollen vom einfachsten Prinzip her in die Schaltungstechnik der Decoder-Gleichrichter einführen. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit aller denkbaren Schaltungsmöglichkeiten; es sind jedoch die wichtigsten Prinzipschaltungen aufgeführt. Um das für die Demodulation des Differenz-AM-Signals und L-R-Signal-Wiedergewinnung Wesentliche gut übersehen zu können, sind die Schaltungsteile für die Trägerrückgewinnung (Frequenzverdopplung, Verstärker und Zusatzfilter) fortgelassen worden. Das Gesamt-Stereosignal wurde jeweils mit drei Generatoren dargestellt; je einer für das niederfrequente Summensignal (S) für die HF-Seitenbänder des Differenzsignals (d) und für den wiederhergestellten 38-kHz-Träger (38). Anstelle der bei vielen Beispielen gezeichneten Serienschaltung des Seitenband- und Trägersignals kann natürlich auch eine Parallelschaltung treten, ohne daß sich dadurch die grundsätzliche Wirkungsweise ändert.

Es sei noch erwähnt, daß bei allen Schaltungsbeispielen das Summensignal gegen Masse bezogen ist, da dieses den praktischen Möglichkeiten entspricht. Hochfrequente Signale, wie das Differenz-Seitenbandsignal oder der regenerierte 38-kHz-Träger können dagegen leicht über Koppelpulen erdfrei eingespeist werden.

Bei dem schon auf Seite 569 erwähnten „Hüllkurvenverfahren“ findet eine verschieden gepolte Spitzengleichrichtung des mit dem Träger vervollständigten Stereo-Gesamtsignals statt. Bild 1 zeigt die Grundsicherung dieses einfachen Prinzips.

Baut man den Decoder so, daß das Summensignal unabhängig vom Differenz-HF-Stereosignal zur Verfügung steht, so läßt sich bereits mit einer Diode bei einfachstem Schaltungsaufwand ein Verfahren anwenden, welches nach dem Matrix-Prinzip ($S+D=L$ und $S-D=R$) arbeitet, wie Bild 2 zeigt. Die eingezeichneten Pfeile geben die Stromrichtungen und damit den Spannungsaufbau an den Widerständen und am L- und R-Ausgang an.

Eine mit zwei Dioden arbeitende Schaltung zeigt Bild 3. Hierbei kann das gesamte Stereosignal einseitig an Masse liegen. Die obere Diode erzeugt das Plus-Differenz-Signal, die untere Diode das Minus-Differenz-Signal. Über Widerstände werden jeweils beide Signale mit dem Summensignal zusammengeführt (Matrix), so daß an den Ausgängen die Signale L und R entstehen. In der ähnlichen Schaltung nach Bild 4 sind die gleichgerichteten Differenzspannungen auf die Summenspannung S aufgestockt.

Anstelle der Einzeldiode nach Bild 2 oder einer Zweiodenschaltung läßt sich auch eine mit vier Dioden in Graetzschaltung arbeitende Doppelweg-Demodulation anwenden. Ein Beispiel dieser Art, bei der die Summe über Widerstände den Ausgängen zugeleitet wird, zeigt Bild 5. Die Wirkungsweise geht aus den Pfeilen hervor, die für jede Stromrichtung des Signals voll und gestrichelt dargestellt sind.

Man kann im Gegensatz zu Schaltung 4 die Summe auch gleich in den Brückenmittelpunkt einspeisen, also den entsprechenden Plus- und Minus-Differenzsignalen hinzuaddieren, wie Bild 6 zeigt. Diese Schaltung wurde im **GRUNDIG Stereo-Decoder I** (ausführliche Beschreibung siehe: F. Schmidt „Der GRUNDIG Adapter für die USA-Stereo-Rundfunk-Norm“, Funkschau, Heft 5/1962, Seiten 115/116) benutzt, der im Jahre 1960 entwickelt und 1961/62 in großen Stückzahlen für die USA gebaut wurde.

Bild 7 zeigt eine Schaltung, die sich vor allem dadurch von allen vorhergehenden unterscheidet, daß der regenerierte 38-kHz-Träger nicht mehr von vornherein mit den Differenz-Seitenbändern zusammengeführt ist, sondern daß er in Verbindung mit einer Dioden-Ringschaltung im Takt seiner positiven und negativen Halbwellen sich dem Differenz-Seitenbandsignal addiert, zugleich das Gesamt-HF-Signal gleichrichtet und dabei abwechselnd auf den einen oder anderen Ausgangskanal schaltet. Da hierbei auch das Summensignal mit verarbeitet wird, entsteht an den Ausgängen unmittelbar L und R. Allerdings ist das Summensignal ohne vorherige Filterung bei dieser Schaltung im Übergewicht, so daß eine (im Bild 6 nicht gezeigte) Kompensation mit einem gegenphasigen Summenteil an den Ausgängen notwendig ist.

Wie die Schaltung im Prinzip arbeitet, zeigen die eingetragenen Pfeile. Die starken Amplituden der 38-kHz-Frequenz des Trägers öffnen und sperren jeweils zwei Dioden. Die in Art eines Ringmodulators geschaltete Anordnung wirkt somit wie ein „elektrotronischer Schalter“.

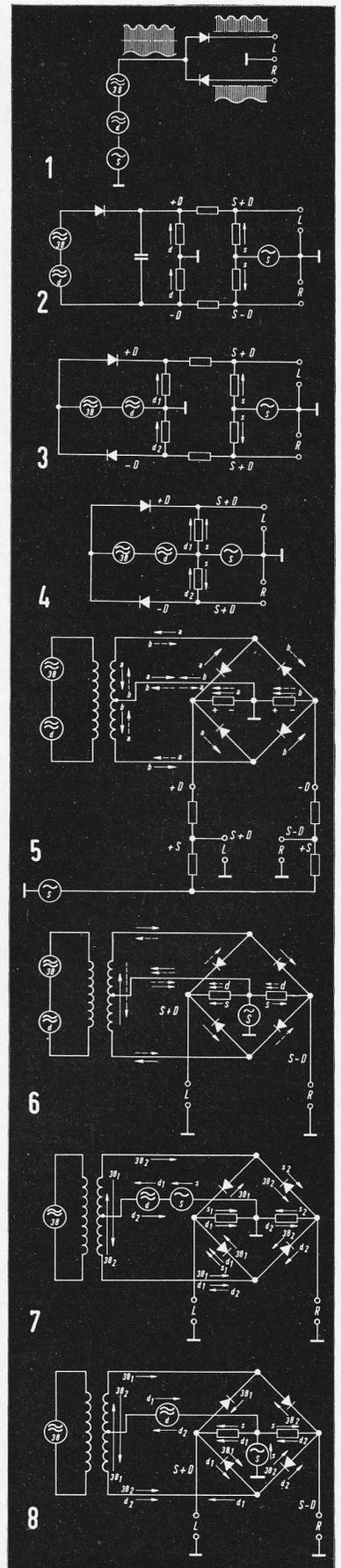
Eine ähnliche, doch teilweise anders arbeitende Schaltung dieser Art zeigt Bild 8. Sie unterscheidet sich vor allem durch Art der Zuführung des Summensignals. Es läuft nicht mit über die Dioden, sondern ist den an den Belastungswiderständen abfallenden Spannungen (+D, -D) unmittelbar aufgestockt. Dadurch ist ein exaktes Summe-Differenz-Gleichgewicht ohne zusätzliche Kompensation erreichbar.

Diese Schaltung wird seit Anfang 1961 bei dem **GRUNDIG Stereo-Decoder II** benutzt. Für Versuche, die das Institut für Rundfunktechnik, (IRT, Hamburg) durchführte, wurden derartige Stereo-Decoder Mitte 1961 von GRUNDIG hergestellt. Die Gleichrichterschaltung dieser Decoder (Bild 8) bewährte sich so gut, daß sie auch wieder in den neuesten **GRUNDIG Stereo-Decodern IV und V** (1963) angewandt wird. Durch Ausbildung der beiden Lastwiderstände als Trimmer ist für jeden Kanal eine genaue Einstellung des Summe-Differenz-Verhältnisses gewährleistet.

An Hand der Blockschaltung von Bild 8 ist die Wirkungsweise der Differenzsignal-Gleichrichtung und Entstehung der L- und R-Signale leichter verständlich als bei Betrachtung des Gesamtschaltbildes. Bei der Dioden-Ringschaltung wird eine besonders gute Unterdrückung des Trägers und anderer HF-Störkomponenten – bezogen auf die L- und R-Ausgänge – erreicht, da für diese Frequenzen an den NF-Lastwiderständen Spannungsnulld herrscht. Man wendet zusätzlich Abgleich-Trimmwiderstände innerhalb der Dioden-Ausgangsdiagonale an, wie das Gesamtschaltbild auf Seite 570 zeigt.

Die ausführliche Beschreibung der **GRUNDIG Stereo-Decoder IV und V** folgt im nächsten Heft der „Technischen Informationen“.

H. Brauns



Welche Anforderungen werden an den ZF-Verstärker und Ratiodektor eines Stereo-Rundfunkempfängers gestellt?

Die Dimensionierung des FM-ZF-Verstärkers im Hinblick auf die kommende Rundfunk-Stereophonie

Die HF-Stereophonie stellt an den ZF-Verstärker eines UKW-FM-Empfängers besondere Anforderungen. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

1. Die ZF-Übertragungskurve soll so breitbandig sein, daß alle Frequenzen der beiden Stereosignale Summe und Differenz keinen größeren Klirrfaktor als 1% am Ausgang des Ratiodektors ergeben.
2. Trotz der gegenüber normalen Empfängern größeren ZF-Bandbreite soll die Trennschärfe hoch sein.
3. Durch früh einsetzende Begrenzung soll sich beim Stereoempfang ein linearer Verlauf der ZF-Durchlaufkurve ergeben.
4. Die ZF-Kurve muß, ebenso wie die S-Kurve des Ratiodektors, absolut symmetrisch sein. Der verstimmende Einfluß von Änderungen der Röhreneingangskapazität während des Begrenzungs- und Regelvorganges muß ausgeschaltet sein.
5. Der ZF-Verstärker soll nicht nur amplitudenmäßig, sondern vor allem phasenmäßig nahezu linear sein. Die Gruppenlaufzeit soll möglichst konstant, also nicht frequenzabhängig, sein. Im interessierenden Frequenzbereich soll sich keine größere Laufzeitdifferenz als 2 μ s ergeben.
6. Der Ratiodektor sollte möglichst breitbandig sein. Sein Kuppenabstand soll ungefähr 500 kHz betragen.
7. Der Frequenzgang des Ratiodektors (NF-Erzeugung) muß für die höheren Modulationsfrequenzen ausgelegt sein. Er soll zwischen 40 Hz und 53 kHz annähernd linear sein.

Während bei AM eine Frequenzbandbescheidung oder amplitudenmäßige Änderung eine lineare Verzerrung ergibt, bedeutet der gleiche Vorgang bei FM eine nichtlineare Verzerrung der Modulationsfrequenz. Die Erfahrung hat gelehrt, daß die benötigte Durchlaufbreite etwa gleich Frequenzhub plus höchste Modulationsfrequenz sein soll. Das entspricht bei den für die Rundfunk-Stereophonie benötigten Frequenzen $\pm (75 + 53)$ kHz = ± 133 kHz. Dieser Wert darf jedoch unterschritten werden, wenn das Eingangssignal so groß ist, daß eine Amplitudenbegrenzung einsetzt, eine Voraussetzung, die für alle Stereo-Rundfunkempfänger in hohem Maße erfüllt ist. Eine ideal arbeitende Begrenzung gleicht den Verstärkungsgang der vorhergeschalteten ZF-Filter völlig aus. Es

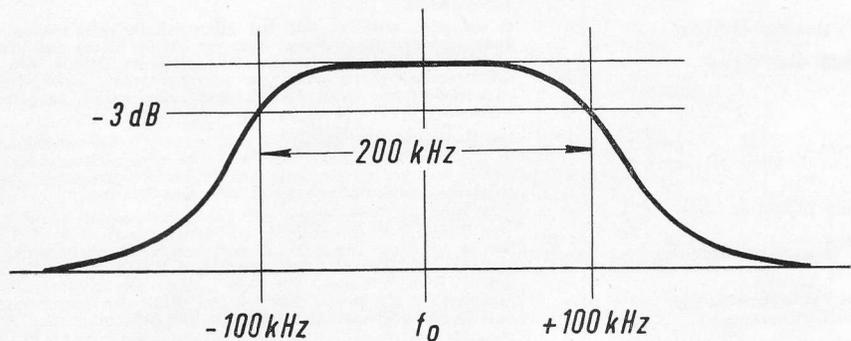


Bild 1 ZF-Bandbreite eines für FM-Stereo eingerichteten Rundfunkempfängers

sind dabei sowohl die amplitudenbegrenzende Eigenschaft eines gut symmetrisierten Ratiodektors als auch die durch Gitterstromereinsatz gegebene Begrenzung der ZF-Verstärkerröhren beteiligt.

Durch früh einsetzende Begrenzung ergibt sich bei dem für Hi-Fi-Stereoempfang erwünschten Eingangssignal ein linearer Verlauf der ZF-Kurve. In dem Kapitel „Der Zwischenfrequenz-Verstärker im UKW-Rundfunkempfänger“ des Buches „Die Röhre im UKW-Empfänger“ (Autoren Dr. Goswin Schaffstein und Dipl.-Ing. Rudolf Schiffl) sind die Verhältnisse sehr anschaulich dargestellt, u. a. auch anhand von Oszillogrammen. Gute Begrenzereigenschaften vorausgesetzt, soll die Gesamtbandbreite des FM-ZF-Verstärkers von Stereo-Rundfunkgeräten $\pm 70 \dots \pm 90$ kHz betragen. Spitzengeräte weisen diese Bandbreiten auf.

Bedingt durch die bei Stereo-Rundfunk auftretenden hohen Modulationsfrequenzen und der damit notwendigen verhältnismäßig hohen HF- und NF-Bandbreite (53 kHz) muß die Zeitkonstante der Begrenzglieder sehr klein sein; sie soll bei 3...5 μ s liegen. (Beispiel: 39 k Ω / 68 pF + Schalt- und Röhren-C beim Gerät 5490 Stereo.) Zugleich ergibt sich dadurch auch eine gute Abkappung von AM-Störspitzen mit steiler Flanke, die reich an höherfrequenten Oberwellen sind. Es wird hierdurch außerdem die bei höheren Frequenzen etwas geringere AM-Unterdrückung des Ratiodektors ausgeglichen.

Die Trennschärfe des ZF-Verstärkers für Rundfunk-Stereophonie ist viel wichtiger als für Mono-Empfang, da das zu übertragende Frequenz-Spektrum des FM-modulierten HF-Signals größer geworden ist, andererseits aber der Senderabstand (300 kHz) gleichgeblieben ist.

Neben einer ausreichend großen Bandbreite ist eine außergewöhnliche Stabilität der ZF-Durchlaufkurve erforderlich.

Verstimmungsfreie Begrenzung

Beim Einsetzen der Begrenzung ändert sich die Gittergleichspannung der ZF-Verstärkerröhren und damit auch die dynamische Eingangskapazität der Röhre. Ohne Kompensationsmaßnahmen würde sich eine Verstimmung der Bandfilter-Sekundärkreise ergeben, was eine Asymmetrie der ZF-Kurve und damit Modulationsverzerrungen zur Folge hätte (Bild 2).

Damit der Einfluß der dynamischen Eingangskapazität am Gitter der ZF-Verstärkerröhren ausgeschaltet wird, wendet man unüberbrückte Widerstände in den Kathodenleitungen der Röhren an (Bild 3). Es gibt dafür optimale Dimensionierungen, die von der Steilheit und anderen Röhrendaten abhängen. Für die am meisten benutzten ZF-Verstärkerröhren EF 89 und EAF 801 ist 120 Ω der günstigste Wert. Bei Pentoden, wie EF 89

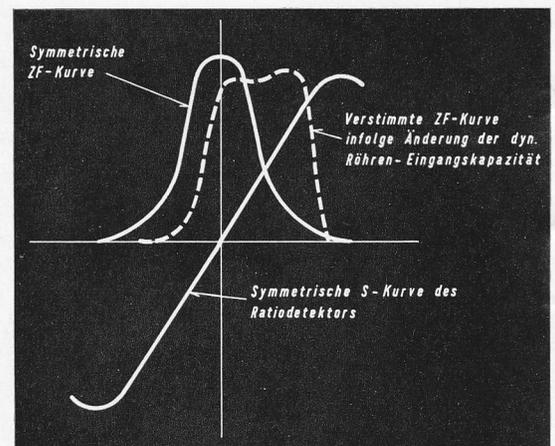


Bild 2 Durch Änderung der dynamischen Röhreneingangskapazität wird die ZF-Kurve verstimmt. Sie liegt nicht mehr symmetrisch zu der S-Kurve des Ratiodektors. Gleichzeitig tritt eine zusätzliche AM-Modulation durch die erhöhte Welligkeit der Gesamt-ZF-Verstärkerkurve auf.

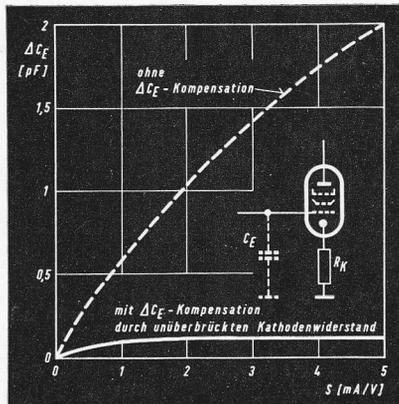


Bild 3 Aufhebung des verstimmenden Einflusses der dynamischen Gittereingangskapazität durch unüberbrückten Kathodenwiderstand der ZF-Röhren

und EF 80, läßt sich ohne Nachteile ein unüberbrückter Kathodenwiderstand einfügen (Beispiel: GRUNDIG Spitzensuper 5490 Stereo, Gesamtschaltbild auf den Seiten 575/577 dieses Heftes), nicht dagegen bei Kombinationsröhren, bei denen die Abschirmung des Systems mit an der Kathode liegt (Beispiel: EBF 89). Aus diesem Grunde wurde für Geräte, die über keine weiteren Röhrendioden verfügten, eine neue Röhre (Typ EAF 801) geschaffen, bei der die Systemabschirmung separat herausgeführt ist. Dieser Röhrentyp wird z. B. im GRUNDIG Rundfunkempfangsteil HF 10 der Bausteinserie benutzt; (siehe Gesamtschaltbild auf den Seiten 573/574 dieses Heftes). Wenn man weiß, daß sich die dynamische Eingangskapazität um mehrere Picofarad ändert, so läßt sich leicht ausrechnen, daß bei niedrigen Schwingkreisfrequenzen, wie sie bei 10,7-MHz-Bandfiltern üblich sind (Beispiel 25 pF), erhebliche Frequenzänderungen des Schwingkreises auftreten können (ca. 100 ... 200 kHz). Besonders im Anfangsbereich des Gitterbegrenzers ist die Frequenzänderung am größten. Da hier aber die Begrenzerwirkung noch sehr schwach ist, würde sich nicht nur eine frequenzmäßig verschobene, sondern auch asymmetrische Durchlaufkurve ergeben mit der Gefahr von störender Eigen-AM-Modulation doppelter Modulationsfrequenz.

Bei einem unüberbrückten Kathodenwiderstand von 120 Ω kann die Änderung der Eingangskapazität völlig kompensiert werden; es lassen sich die erwähnten Verstimmungen von 100 ... 200 kHz also nahezu völlig vermeiden. 20 kHz Verstimmung bleibt etwa bestehen, wenn der unüberbrückte Kathodenwiderstand 100 Ω beträgt. Die sich dadurch ergebende geringe Kurvenverzerrung wird durch die damit verbundene höhere Verstärkung in Kauf genommen. Man dimensioniert in dieser Weise meist die letzte ZF-Röhre eines zweistufigen ZF-Verstärkers.

Die Beseitigung der Änderung der Eingangskapazität bei Schwankungen der Gittervorspannung durch einen unüberbrückten Kathodenwiderstand macht allerdings eine getrennte Neutralisation für AM und FM notwendig. Das geschieht unter Zuhilfenahme von Drosseln, die die Wirkung der Schirmgitter-Neutralisations-Kondensatoren frequenzmäßig aufteilen. Beispiele: Drossel 9218—017, C 118, C 119, C 121 an der Röhre EAF 801 I beim GRUNDIG Stereo-Rundfunkempfangsteil HF 10 oder Drossel 9218—017, C 55, C 56, C 57 an der Röhre EF 89 und Drossel 9218—017, C 62, C 63, C 64 an der Röhre EF 80 des GRUNDIG Stereo-Rundfunk-Spitzensupers 5490.) Der hinter der Drossel liegende 6,8-nF-Kondensator wirkt bei 460-kHz-ZF, während die übrige Neutralisation optimal für die 10,7-MHz-ZF dimensioniert ist. Es sei noch erwähnt, daß die Kompensierung der Gitter-Eingangskapazität mittels unüberbrückten Kathodenwiderstand durch die damit verbundene Stromgegenkopplung auch zugleich eine wesentlich verbesserte Stabilität der übrigen Röhreneigenschaften sowie eine Erhöhung des dynamischen Eingangswiderstandes zur Folge hat. Man kann ohne Gefahr kleinere Schwingkreisfrequenzen anwenden und gleicht damit den durch die Gegenkopplung bedingten Verstärkungsverlust wieder aus.

Eine wesentliche Verbesserung der Begrenzung bringt eine zusätzliche Schaltungsmaßnahme, die ebenfalls in den beiden hier besprochenen, für HF-Stereophonie erwähnten GRUNDIG Geräten HF 10 und 5490 verwendet wird. Die HF-Wechselspannung soll an einer be-

grenzenden ZF-Verstärkerröhre nicht zu hoch werden, da sonst Neigung zu einer „Überbegrenzung“ entsteht, das heißt, die zuerst flach verlaufende Kurve der ZF-Ausgangsspannung würde bei stärker werdendem Signal abfallen. Dies entsteht dadurch, daß im Extremfall mit immer größer werdender Gitterwechselspannung die Röhre zuletzt nur noch von den Spitzen der Wellenzüge angesteuert würde. Dadurch würde auch der anodenseitig liegende Kreis des nachfolgenden Bandfilters bzw. Ratiofilters nicht mehr, wie es sein müßte, mit Sinus-Wellenzügen gespeist, sondern mit Impulsen. Da aus einem abgestimmten Bandfilter oder Kreis aber nur Sinusfrequenzen entnommen werden können, deren Spannung jedoch nicht von der Höhe der Impulsspannung, sondern von der effektiven Impulsleistung abhängt, wird schließlich die Nutzspannung am Ratiodektor geringer. Dieser Effekt zeigt sich durch ein Abfallen der Begrenzerkurve bei größeren Eingangssignalen. Bei manchen einfacheren FM-ZF-Verstärkern hat sich diese Überbegrenzung nur dadurch nicht bemerkbar gemacht, daß die dynamischen Eingangskapazitäten der Begrenzerröhren den Kreis verstimmten, die ZF-Gitterwechselspannungen also auf diese wenig schöne Weise herabsetzten.

Werden nun aber die ZF-Bandfilterkreise durch Kompensierung der Eingangskapazitätsänderung nicht mehr verstimmte, so wie es bei den neuen Stereo-Rundfunkgeräten der Fall ist, dann wäre die Möglichkeit einer Überbegrenzung bei starken Signalen wieder gegeben. Aus diesem Grunde wendet man bei dem als 1. ZF-Verstärkerstufe arbeitenden Heptodensystem der ECH 81 eine Rückwärtsregelung an. Das Gitter 3, welches wie Gitter 1 eine Regelcharakteristik aufweist und bei AM-Betrieb mit der Oszillator-Wechselspannung moduliert wird, erhält bei FM-Betrieb als Regelspannung die am Begrenzer-R-C-Glied der nachfolgenden ZF-Verstärkerröhre entstehende negative Gleichspannung, die nur bei stärkeren Signalen entsteht.

Bild 4 zeigt die Begrenzercharakteristik des GRUNDIG Stereo-Rundfunkempfängers 5490. Deutlich ist die Ent-

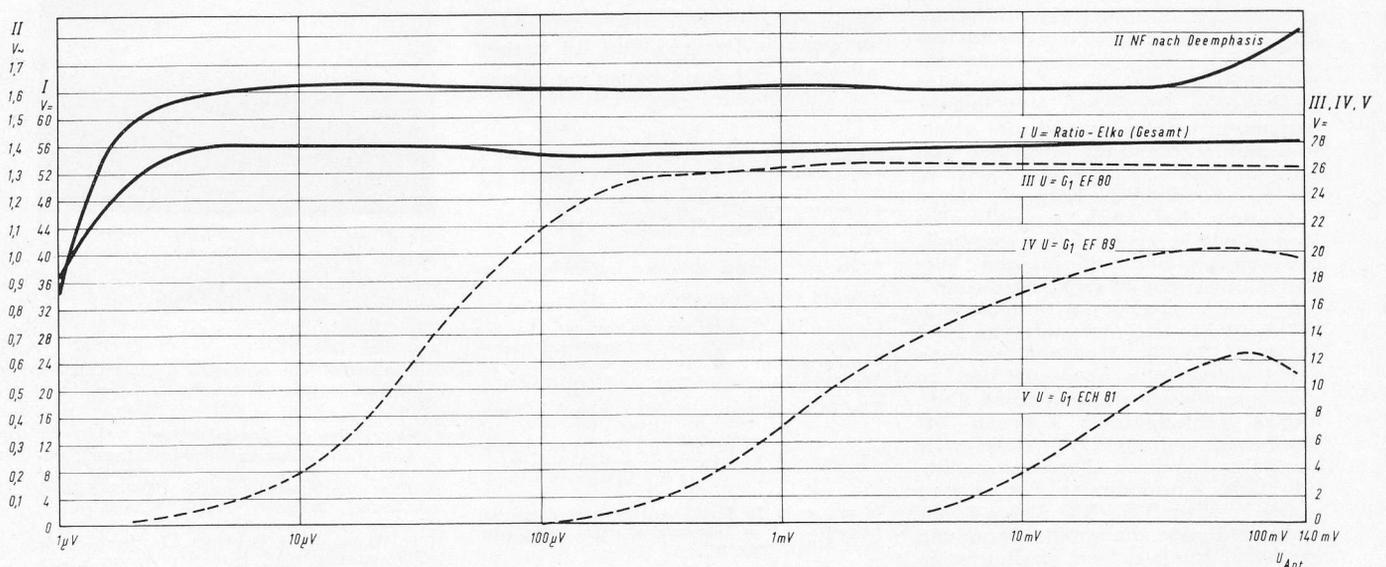


Bild 4 Begrenzercharakteristiken der einzelnen FM-ZF-Stufen des GRUNDIG Stereo-Rundfunkempfängers 5490, einschließlich des Ratiodektor-Gleichspannungs- und NF-Spannungsverlaufs in Abhängigkeit des Eingangssignals (Antennenspannung).

stehung der Begrenzer-Gleichspannungen an den Steuergittern der drei ZF-Verstärkerröhren (ECH 81, EF 89 und EF 80) zu erkennen. Wie man sieht, verläuft die Richtspannung am Ratiodektor schon ab einer Eingangsspannung von ca. 3 μV völlig geradlinig und entsprechend auch der Verlauf der NF-Spannung am Ratiodektor. Die leichte Erhöhung der NF-Ausgangsspannung bei Eingangsspannungen um 100 mV ist auf einen Effekt zurückzuführen, der zwar ungewollt, aber keineswegs nachteilig ist. Bei sehr starken Eingangssignalen entsteht an der selbstschwingenden UKW-Mischstufe eine gleichphasige Zusatz-FM-Modulation, so daß sich eine Erhöhung der NF-Ausgangsspannung am Ratiodektor ergibt.

Phasenverzerrungen

Beim Zwischenfrequenzverstärker eines Stereo-Rundfunkempfängers ist es aber nicht allein damit getan, eine genügend große Bandbreite, hohe Trennschärfe und gute Begrenzereigenschaft zu erreichen. Es kommt, da ein viel breiteres Frequenzband verarbeitet werden muß und auch z. B. die Phasen der Seitenbandfrequenzen des unterdrückten AM-modulierten Hilsträgers untereinander und zum Pilotfrequenzträger nicht verfälscht werden dürfen, vor allem auf einen linearen Phasengang an. Ein FM-Empfänger ist gegen Laufzeitverzerrungen besonders empfindlich, da die Frequenzmodulation auch durch eine Phasenwinkelmodulation zu erklären ist. Eine Veränderung des Phasenwinkels ist gleichbedeutend mit einer Änderung der Frequenz. Laufzeitverzerrungen ergeben daher starke Modulationsverzerrungen.

Wir stellen bewußt die Erläuterung zum Phasengang erst hinter die eingangs genannten Eigenschaften, da Frequenzgang, Bandbreite, Trennschärfe und Begrenzung jedem Techniker aus der allgemeinen Technik des UKW-FM-Empfängers geläufiger sind. Vom Phasengang wurde dagegen bisher weniger berichtet. Man war der Ansicht, daß er, im Gegensatz zum Fernseh-Bild-ZF-Verstärker, bei dem sich Phasenverzerrungen sehr unangenehm als „Fahnen“ im Bilde bemerkbar machen, keine allzu große Bedeutung hat. Ein schlechter Phasengang im ZF-Verstärker eines FM-Empfängers macht sich zwar nicht so deutlich wie im Fernsehbild bemerkbar, bei Hi-Fi-Geräten ließ sich aber darüber nicht hinweghören. Die hohen Modulationsfrequenzen werden nämlich bei einem schlechten Phasengang erheblich verzerrt. Das deutlichste Beispiel hierfür ist die als „Spuckeffekt“ bekannte starke Verzerrung bei stark ausgesteuerter Sprache und Fortissimostellen von Musik, insbesondere bei Tuttipassagen. Hier sind die Obertöne oft sehr „verschmiert“, also unrein, obwohl der nachfolgende NF-Verstärker alle Merkmale von Hi-Fi aufweist. Gewiß, Phasenverzerrungen nachzuweisen, also zu messen bzw. zu oszillographieren, erfordert schon einen großen meßtechnischen Aufwand. Bei der Entwicklung von ZF-Verstärkern für den Stereo-Rundfunk ist er aber unerlässlich. Dem einwandfreien Phasengang wurde in allen GRUNDIG Stereo-Rundfunkempfängern die größte Beachtung geschenkt. Nur bei einem einwandfreien Phasengang ist gewährleistet, daß die Stereosignale keine Verzerrung erfahren.

Wenn kein linearer Zusammenhang zwischen der im Empfänger auftretenden Phasenverschiebung φ , zwischen der Eingangs- und Ausgangsspannung und der Kreisfrequenz ω besteht, wird die Frequenzmodulation nichtlinear verzerrt. Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei Amplitudenmodulation ergeben bei der Frequenzmodulation Nichtlinearitäten von Röhren keine Verzerrungen, dagegen Kreise Verzerrungen. Aus der Phasenverschiebung φ in Beziehung zu ω ergibt sich die „Gruppenlaufzeit“¹⁾. Diese soll im gesamten Übertragungsbereich der ZF-Kurve möglichst konstant sein. Die Änderung der Gruppenlaufzeit ist daher ein Maß für die Größe der Phasenverzerrungen. Es zeigt sich, daß bei Verstimmungen von Kreisen bzw. Bandfiltern sowie gleichermaßen auch bei ungenauer Abstimmung ein Klirrfaktor geradzahlig Harmonischer, vor allem K_2 auftritt²⁾. Das ist u. a. der Fall, wenn infolge nichtkompensierter Gittereingangskapazitätsänderungen Verstimmungen bei Begrenzung auftreten.

Bei genauer Symmetrie und Mittenfrequenz-Übereinstimmung der Kreise und Bandfilter (einschließlich des Ratiodektors) sowie richtiger Abstimmung ergeben Gruppenlaufzeit-Differenzen nur noch ungeradzahlig Harmonische, vor allem K_3 ³⁾.

Rechnet man die zulässigen Laufzeitfehler für einen zulässigen Klirrfaktor bei den höchsten Frequenzen der Rundfunk-Stereophonie aus, so kommt man zu recht hohen Beträgen. Man muß aber berücksichtigen, daß die höchsten Modulationsfrequenzen des Differenz-Signals trotz senderseitiger Preemphasis einen relativ geringen Anteil am Modulationsgrad besitzen. Es ist anzustreben, daß der aus Gruppenlaufzeitverzerrungen herrührende Klirrfaktor bei guten Stereo-Rundfunkempfängern $\leq 1,5\%$ zu liegen kommt. Durch geeignete Dimensionierung, insbesondere der Kopplung der FM-ZF-Bandfilter, läßt es sich erreichen, daß die Gruppenlaufzeitdifferenz über den gesamten Bereich der ZF-Frequenzkurve keine größeren Abweichungen aufweist.

Es hat sich gezeigt, daß ZF-Bandfilter mit einer leicht unterkritischen Kopplung von $k/d = 0,8$ die günstigsten Werte in bezug auf kleinste Gruppenlaufzeitfehler ergeben. Der k/d -Wert 0,8 bezieht sich dabei auf das Arbeiten der Röhren

$$1) \text{ Gruppenlaufzeit } \tau = \frac{d\varphi}{d\omega}$$

φ = Phasenwinkel, ω = Kreisfrequenz $2\pi f$. Die Abkürzung d bedeutet in dieser Formel nicht Dämpfung, sondern „Differential“, d. h. eine verschwindend kleine Differenz.]

2) Der sich hierbei aus dem Laufzeitfehler ergebende Klirrfaktor beträgt $K_2 = \frac{1}{2} \omega_m \cdot \Delta\tau$.

(ω_m ist die Modulationsfrequenz und $\Delta\tau$ die Differenz der sich für die übertragenen Frequenzen bei Asymmetrie der Übertragungskurve ergebenden Gruppenlaufzeiten des ZF-Verstärkers).

3) Bei ZF-Verstärkern mit zweikreisigen Bandfiltern

$$\text{gilt hierbei: } K_3 = 4n \frac{3 \left(\frac{k}{d}\right)^2 - 1}{\left[1 + \left(\frac{k}{d}\right)^2\right]^3} \cdot \frac{f_m \cdot \Delta F^2}{(d \cdot f_0)^3}$$

(n = Anzahl der Bandfilter, f_m = Modulationsfrequenz, ΔF = Frequenzhub, d = Dämpfung, f_0 = Trägerfrequenz).

$$\frac{k}{d} = \frac{\text{Kopplungsfaktor}}{\text{Dämpfung}}$$

im Begrenzungsbereich. Außerhalb der Begrenzung liegt der k/d -Wert der gleichen Filter bei 1...1,2. Da bei gleicher Dämpfung eine Vergrößerung des k/d -Wertes eine Verschlechterung der Trennschärfe mit sich bringt, die Dämpfung jedoch durch die nicht mehr vorhandene Gitterbegrenzung geringer wird, tritt keine Verminderung der Trennschärfe auf.

Der Laufzeitfehler eines einzelnen Bandfilters beträgt bei einem k/d -Wert von 0,8 ($d = 0,01$ und $\Omega = 0,7$) ungefähr $\tau = 0,24 \mu\text{s}$ ⁴⁾. Der Gesamt-Laufzeitfehler setzt sich aus den addierten Beträgen aller von dem Antenneneingang bis zum Ratiodektor liegenden Selektionsmitteln zusammen. Da die Laufzeit als solche unbedeutend ist, kommt es allein auf die über den gesamten HF- und ZF-Teil des Empfängers gemessene Gruppenlaufzeitdifferenz an. Nur die frequenzabhängigen Unterschiede führen zu den erwähnten Modulationsverzerrungen. Bei GRUNDIG wird die Gruppenlaufzeitdifferenz aller Stereo-Rundfunkempfänger mit modernsten Meßmitteln laufend kontrolliert.

Die Tabelle zeigt ein solches Meßprotokoll. Die Messung umfaßt den gesamten HF- und ZF-Teil sowie Ratiodektor des Empfängers 5490 Stereo, bezogen auf eine UKW-Senderfrequenz von 98 MHz.

4) Ein Rechenbeispiel:

Es soll die maximale Laufzeitdifferenz bei einem leicht unterkritisch gekoppelten ZF-Bandfilter bestimmt werden. Folgende Daten sind gegeben:

Resonanzfrequenz = 10,7 MHz, $k/d = 0,8$

Dämpfung $d = 0,01$.

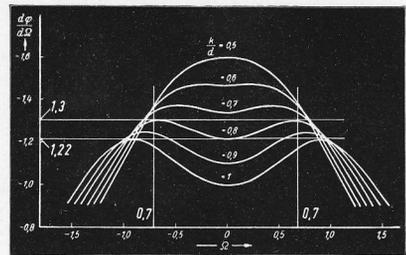
Die Formel für die Gruppenlaufzeit zweikreisiger Bandfilter in Nähe der Resonanzfrequenz lautet:

$$\tau = \frac{2}{d\omega_0} \cdot \frac{d\varphi}{d\Omega}$$

[d im ersten Teil der Formel = Dämpfung, ω_0 = Resonanzfrequenz, Ω = normierte Verstimmung =

$$\frac{2\Delta f}{f_0 \cdot d}$$

Aus dem Diagramm läßt sich für $k/d = 0,8$ ein Faktor $\frac{d\varphi}{d\Omega}$ von 1,22 bei der Kurvenmitte ($\Omega = 0$) und von 1,30 bei den beiden Höckern ($\Omega = 0,7$) ablesen.



Es ergibt sich somit bei $\Omega = 0$:

$$\tau = \frac{2 \cdot 1,22}{0,01 \cdot 6,28 \cdot 10,7} = 3,63 \mu\text{s} \text{ und für } \Omega = 0,7$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 1,3}{0,01 \cdot 6,28 \cdot 10,7} = 3,83 \mu\text{s}.$$

Somit beträgt die maximale Gruppenlaufzeitdifferenz dieses Bandfilters $\Delta\tau = 3,83 - 3,63 = 0,24 \mu\text{s}$.

Literaturstellen über Laufzeitfehler:

R. Rothe, „Die Röhre im UKW-Empfänger“, Abschnitt „Phasenverzerrungen“ im Kapitel „Der Zwischenfrequenzempfänger im UKW-Rundfunkempfänger“, Seiten 31...34, Franzis-Verlag, München.

H. H. Meinke, F. W. Gundlach, „Taschenbuch für Hochfrequenztechnik“, Abschnitte „Phasenverzerrungen der Momentanfrequenz“ (Seite 1355) und „Verzerrungen bei FM“ (Seiten 1468/1469), Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.

Gruppenlaufzeitdifferenz über Mischstufe und ZF-Verstärker bezogen auf $f_E = 98 \text{ MHz}$

Eingangsfrequ. MHz	97,85	97,9	97,95	98	98,05	98,1	98,15
Verstimmung kHz	— 150	— 100	— 50	0	+ 50	+ 100	+ 150
Eingangsspannung V Ant.	$\Delta \tau$ $\mu \text{ sec}$						
20 μV		— 0,3	+ 0,4	0	+ 0,6	— 1	
40 "		— 0,7	+ 0,2	0	+ 0,3	— 0,5	
100 "	— 3,1	— 0,8	+ 0,25	0	— 0,2	— 0,6	— 3,3
400 "	— 3	— 0,8	+ 0,4	0	— 0,3	— 0,7	— 3
1 mV	— 3,2	— 1	+ 0,45	0	— 0,3	— 0,4	— 2,5
4 "	— 2,5	— 0,6	+ 0,3	0	— 0,5	— 0,7	— 2,2
10 "	— 3,6	— 0,9	+ 0,8	0	— 0,9	— 2	— 3,6
40 "	— 2	0	+ 0,6	0	— 0,3	— 1,1	— 2,8

Wie man sieht, weist dieses Gerät auch in Bezug auf die Gruppenlaufzeitdifferenz sehr günstige Werte auf, praktisch unabhängig von der Eingangsspannung. Ähnlich günstig verhält sich auch der HF 10, der im wesentlichen mit dem 5490 identisch ist.

Bei zu hoher Gruppenlaufzeit-Differenz kann übrigens auch die Übersprechdämpfung sehr verschlechtert werden, da dann die Phasenlagen vom Summe- und Differenzsignal nicht mehr exakt zugeordnet sind.

Aber nicht nur im ZF-Teil ergeben sich neue Anforderungen durch die Stereotechnik. Es sind auch die Eigenschaften des Ratiodektors, die die Qualität der breitbandigen und störungsfreien Übertragung wesentlich mitbestimmen.

Anforderungen an den Ratiodektor

Grundsätzlich muß der Ratiodektor für einen Stereo-Rundfunkempfänger ein wesentlich breiteres Frequenzband verarbeiten können. Der Kuppenabstand soll daher ca. 500 kHz betragen, der Frequenzgang der entstehenden "NF", also der demodulierten Stereo-Signale, soll zwischen 40 Hz ... 53 kHz annähernd linear sein. Bei Ratiodektoren von Mono-Rundfunkempfängern brauchte der NF-Frequenzabstand nur den Tonfrequenzbereich von 40 Hz ... 15 kHz zu umfassen. Demgemäß wurde auch der Fußpunkt Kondensator an der Tertiärwicklung dimensioniert.

Die Grenzfrequenz für die am Ausgang (Tertiärwicklung) des Ratiodektors entstehende NF wird bestimmt vom Innenwiderstand im Zusammenwirken mit dem Kondensator an der Tertiärwicklung. Der Innenwiderstand, den man als eigentlichen Quellwiderstand des „NF-Generators“ auffassen kann, setzt sich zusammen aus den dynamisch wirksamen Diodenwiderständen sowie den Dioden-Ableichwiderständen und beträgt ca. 3 ... 5 k Ω . Mit einem Fußpunkt Kondensator von 400 pF (beim 5490 St) wird die Forderung erfüllt. Das Produkt $R \cdot C$ soll ca. 3 μs nicht überschreiten⁵⁾. Das entspricht einer genügend hohen Grenzfrequenz für die maximal zu übertragende Modulationsfrequenz von 53 kHz⁶⁾. Die genannten GRUNDIG Empfänger weisen ein R-C-Produkt von ca. 2 μs auf. Hierbei ergibt sich an der oberen Übertragungsfrequenz (53 kHz)

nur ein Abfall von ca. 2 dB, wie aus Bild 5 hervorgeht.

Wie beim ZF-Verstärker, spielt auch beim Ratiodektor die Gruppenlaufzeitdifferenz eine wichtige Rolle. Sie soll nicht mehr als 0,3 μs betragen. Außerdem ist die absolut genaue Symmetrie der S-Kurve sehr wichtig. Der Nulldurchgang wird durch Serienwiderstände zu den Dioden weitgehend stabilisiert. Einer dieser Widerstände ist als Einstellwiderstand ausgebildet. Ein gut symmetrierter Ratiodektor ist in der Lage, die sonst vorwiegend auftretenden 2. Oberwellen (K_2) bis auf einen verschwindend geringen Rest (0,5 ... 1,5%) zu kompensieren. Die 3. und höheren Oberwellen sind ohnehin sehr schwach (0,1 ... 0,3%), so daß sie nicht berücksichtigt zu werden brauchen. Zwar ist die Verzerrungen kompensierende Wirkung des Ratiodektors beim Nulldurchgang der S-Kurve am größten, doch ist durch die breitbandige Ausführung des Ratiodektors auch bei Abweichungen von der Mittenfrequenz eine breite AM-Unterdrückung gegeben und somit eine genügende Verzerrungsfreiheit gewährleistet. Diese Verzerrungskompensation gleicht zwar Verzerrungen, die durch zu schmale ZF-Kurven entstehen, weit-

⁵⁾ Zeitkonstante $T = R \cdot C$ [T in μs , R in k Ω , C in nF].

⁶⁾ Bei einem Abfall von 3 dB. Die 3-dB-Frequenzgrenze ergibt sich aus $f = \frac{1}{2 \pi \cdot T} = \frac{159}{T}$ [f in kHz, T in μs].

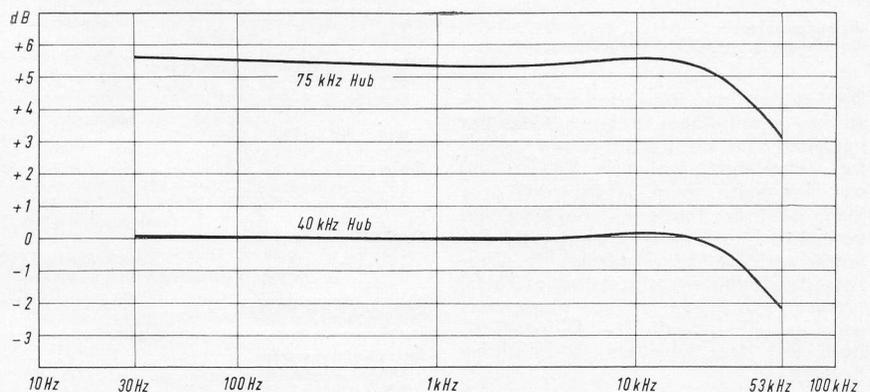


Bild 5 Frequenzgang des 5490 St über alles. (Ab Antenneneingang, gemessen an Kontakt ④ der Decoder-Anschlußbuchse. Antennenspannung 60 μV bei 98 MHz. Ohne Scharfabstimmung. Abstimmung des Gerätes nach Stereo-Auge auf die Pilotfrequenz 19 kHz. Decoder angeschlossen.)

gehend aus. Voraussetzung dafür ist aber stets, daß sich der Nulldurchgang der symmetrischen S-Kurve genau mit dem Mittelpunkt der ZF-Kurve deckt. S-Kurve und ZF-Kurve müssen also genau symmetrisch zueinander sein, wie Bild 2 zeigt.

Da die Frequenzstabilität des Ratiodektors bei richtigem Aufbau von vornherein gut ist und sich während des Empfangsbetriebs praktisch nicht ändert, ist es sehr wichtig, daß die ZF-Kurven keine Verstimmungen durch sich im Empfangsbetrieb ändernde Röhreneingangskapazitäten erleiden. Diese Notwendigkeit erörtern wir bereits eingangs bei der Behandlung der Anforderungen an den ZF-Verstärker. Von der Tertiärwicklung des Ratiodektors gelangt das gesamte Stereo-Modulations-Spektrum, umfassend den Bereich 40 Hz ... 53 kHz, über einen 4,7-k Ω -Widerstand an den Eingang des Stereo-Decoders (Kontakt 4 der Anschlußbuchse). Die für die beiden Stereo-Signale „Summe“ und „Differenz“ notwendigen Preemphasis-Absenkungen der höheren Frequenzen werden innerhalb des Decoders vorgenommen. Bei der Summe durch ein RC-Glied, bei der Differenz in einem Filter für die Differenz-Seitenbänder. Für FM-Mono-Empfang ist in den Empfängern ein separates Deemphasis-RC-Glied (68 k Ω , 680 pF, entsprechend 50 μs) vorhanden. Wird der Stereo-Decoder 5 mit automatischer Mono-Stereo-Umschaltung benutzt, so tritt für Mono-Empfang ein im Decoder liegendes R-C-Glied im Anschluß an die bei Mono-Betrieb zusammengeschlossenen beiden Stereo-NF-Kanäle in Funktion.

Zum Abschluß noch eine wichtige Feststellung: **Alle die soeben erläuterten Anforderungen an einen für Stereophonie eingerichteten Rundfunkempfänger kommen voll und ganz auch der Qualität des Empfangs von Mono-UKW-Sendern zugute. Der Empfang mit einem derartigen stereovorbereiteten Gerät zeigt erst so recht, was in den angebotenen Rundfunk-Musikdarbietungen wirklich steckt. Die Höhen kommen klar und ohne störende Zischeffekte. Erst bei einem solchen Empfangsteil lohnt sich auch ein ebenso guter Hi-Fi-NF-Verstärker. Der UKW-FM-Rundfunkempfänger ist dem Schallplattenspiel in der technischen Qualität überlegen, wenn man einmal von den wenigen Ausnahmen abieht, wo auch heute noch die Übertragung zum UKW-Sender durch einfache Kabel erfolgt.**

H. Brauns
(unter Mitarbeit von W. Traub)