

Erfahrungen mit der Übertragung hochwertiger Tonsignale im Videosignal

HANS-JÜRGEN KROSCHWALD

Mitteilung aus dem Rundfunk- und Fernsehtechnischen Zentralamt der Deutschen Post, Berlin

Charakteristische Merkmale der integrierten Tonübertragung

Die analogen Tonsignale werden zunächst in einem als Quellenkodierung bezeichneten Vorgang in PCM-Signale umgewandelt. Dabei wird jedes analoge Tonsignal in einer Videozeile (64 μ s) zweimal abgetastet (Abtastfrequenz $f_0 = 2f_H = 31,25$ kHz) und durch ein 14stelliges binäres Kodewort dargestellt, d. h., der Maximalwert des Pegels wird in $2^{14} = 16384$ Quantisierungssprünge unterteilt. Dieser Wert wurde auch durch Hörtests bestätigt und wird für Übertragungszwecke als Standardqualität angesehen. Diese relativ feine Quantisierung muß nicht für alle Amplitudenwerte aufrechterhalten werden; bei großen Pegeln ist eine gröbere Stufung zulässig. Daher wird entsprechend der bei der Kodierung von Telefonsignalen verwendeten 13-Segment-Kennlinie die Quantisierungsstufenhöhe mit wachsendem Signalpegel vergrößert. Dadurch reduziert sich die zu übertragende Bitzahl je Abtastwert von 14 bit auf 10 bit. Diese Art der Bitreduzierung wird als Momentanwertkompanidierung bezeichnet.

Da die spektrale Leistungsdichte von Sprache und Musik im allgemeinen nach hohen Frequenzen hin abfällt, beeinflussen als Folge dieser Momentanwertkompanidierung tieffrequente hohe Pegel die Quantisierungsverzerrungen höherfrequenter kleiner Pegel, so daß die nichtlinearen Verzerrungen leiser hoher Töne im Rhythmus lauter tiefer Töne „atmen“. Dieser als Maskierungseffekt bezeichnete Vorgang kann durch eine Preemphase wesentlich verringert werden. Es wurde eine Preemphase nach CCITT J 17 gewählt (Dämpfung bei 30 Hz 12,15 dB; Verstärkung bei 15 kHz 6,6 dB, neutrale Frequenz 2,12 kHz).

Je Tonkanal und Videozeile müssen zwei zehnstellige Kodewörter nach dem beschriebenen Prinzip gebildet werden, d. h., es müssen 40 bit in einer Videozeile unter-

Seit längerer Zeit laufen im RFZ Untersuchungen zur Einschachtelung von Tonkanälen in ein Videosignal. Bei dem verwendeten Verfahren, das als integrierte Tonübertragung (ITU) bezeichnet wird, werden zwei qualitativ hochwertige Tonkanäle in den Zeilensynchronimpuls eines Videosignals eingelagert. Über die entwickelte Anlage und die Betriebserfahrungen wird im folgenden Beitrag berichtet.

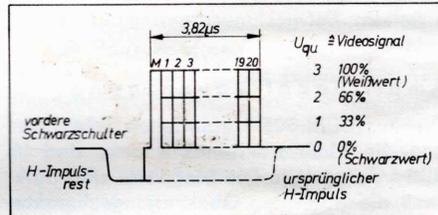


Bild 1: In das Videosignal eingelagertes Tonsignalimpulsbündel. M Markierimpuls; 1, 3, 5, 7, 9 Abtastwert 1, Tonkanal 1; 2, 4, 6, 8, 10 Abtastwert 2, Tonkanal 1; 11, 13, 15, 17, 19 Abtastwert 1, Tonkanal 2; 12, 14, 16, 18, 20 Abtastwert 2, Tonkanal 2

gebracht werden. Der Videofrequenzbereich fordert jedoch bestimmte Mindestimpulsbreiten (≈ 150 ns), so daß eine direkte Einschachtelung der kodierten binären Tonsignale in das Videosignal nicht möglich ist. Daher werden jeweils zwei Bits zu einem quaternären Digit zusammengefaßt. Immer abwechselnd wird ein Digit des ersten und ein Digit des invertierten zweiten Abtastwertes übertragen.

Mit dem für die Synchronisierung der Empfängerseite erforderlichen Markierimpuls werden so aus den 2×20 bit der beiden Tonkanäle die 21 quaternären Digits, die das Tonsignalimpulsbündel bilden. Ein \sin^2 -Filter gibt diesem Signal die für die Übertragung zweckmäßige Form. Das so aufbereitete Tonsignalimpulsbündel wird in den Zeilenimpuls des Videosignals eingelagert (Bild 1).

Wirkungsweise der Geräte

Koder (Bild 2)

Die Tonsignale gelangen über den Eingangsverstärker mit nichtabschaltbarer Preemphase (NF-Baugruppe) an den A-D-Wandler. Der Tiefpaß sperrt eventuell vorhandene störende Frequenzen oberhalb 15 kHz. Das so behandelte Tonsignal durchläuft im A-D-Wandler ein Abtast- und Halteglied. Während der Haltephase

wird jeder Abtastwert in zehn Schritten binär kodiert, indem er bei jedem Schritt mit einer logikgesteuerten Referenzspannung verglichen wird. Dabei wird die Bewertung entsprechend der 13-Segment-Kennlinie digital ausgeführt. Das Ergebnis dieses Vergleiches ist das zehnstellige binäre Kodewort des Abtastwertes. Es bedeuten:

- Bit 1 Polaritätsbit
- Bit 2 bis 4 Segmentkennung
- Bit 5 bis 10 Kodierung innerhalb des Segmentes.

Für jeden Tonkanal wurde ein getrennter A-D-Wandler vorgesehen, da dadurch einerseits die zeitlichen Verhältnisse günstiger wurden, andererseits sehr hohe Werte für die Übersprechdämpfung zwischen den beiden Tonkanälen erzielt werden konnten.

Die zehnstelligen Kodewörter beider Tonkanäle laufen seriell in die Speicher des Kodewandlers. Während des Zeilenimpulses werden die 2×20 bit mit einer Frequenz von 5,5 MHz (\triangleq einer Impulsdauer von 182 ns) aus den Speichern ausgelesen und in 20 quaternäre Digits umgewandelt, der Markierimpuls wird dabei zugesetzt. Die Dauer dieses Impulsbündels beträgt 21 mal 182 ns $\approx 3,82$ μ s. Es kann nun in die S-Impulse des (F)BAS-Signals eingetastet werden. Das geschieht im Video-Ton-Multiplexer, an dessen Ausgang das komplette Koderausgangssignal (F)BAS zur Verfügung steht. In der Videoimpulsstufe werden die Synchronimpulse vom übrigen Videosignal getrennt. Aus ihnen werden dann alle übrigen benötigten Impulsfolgen gewonnen. Die für die richtige Phasenlage dieser Impulse notwendige Verzögerung des Videosignals erfolgt durch Laufzeitausgleich. Der Taktgeber erzeugt einen quartzstabilen 11-MHz-Takt, aus dem alle für die Kodierung und Kodewandlung benötigten Impulsfolgen abgeleitet werden.

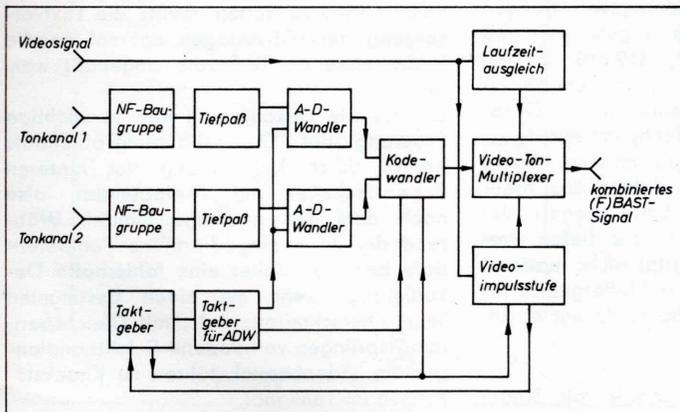


Bild 2: Übersichtsschaltplan des Koders

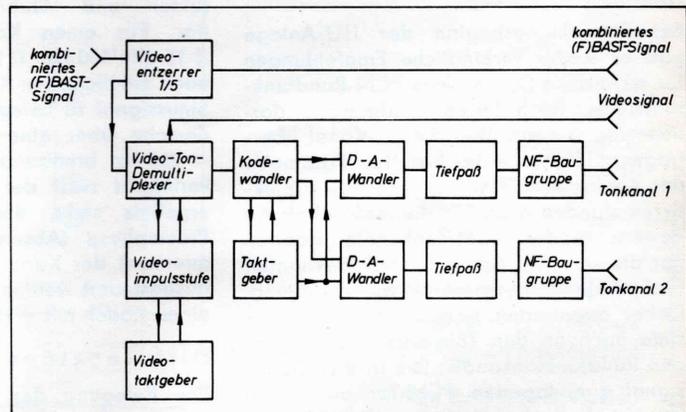


Bild 3: Übersichtsschaltplan des Dekoders

Dekoder (Bild 3)

Das (F)BAST-Signal gelangt über den Videoentzerrer 1/5 – der auf Wunsch durch die Kurzschlußkarte ersetzt werden kann – an den Video-Ton-Demultiplexer. Dort wird das (F)BAST-Signal in das Video- und das Tonsignal zerlegt. Die dazu benötigten Impulse werden in der Videoimpulsstufe gewonnen. Das Tonsignal gelangt an den Kodewandler, wo die quaternären Digits in binäre Impulsfolgen umgewandelt werden. Die Bits beider Abtastwerte werden gespeichert. Gleichzeitig wird der Markierimpuls abgetrennt und dem Taktgeber zugeführt. In dieser Baugruppe werden die für die Dekodierung und Kodewandlung erforderlichen Impulsfolgen aus einem 11-MHz-Takt erzeugt. Die im Kodewandler gespeicherten Bits der beiden Abtastwerte stehen am Speicherausgang parallel zur Verfügung, wobei die Bits des ersten Abtastwertes an den Eingängen des D-A-Wandlers anliegen, bis in Zeilenmitte auf die des zweiten Abtastwertes umgeschaltet wird. Nach der Digital-Analog-Wandlung wird dem Signal die Originalpolarität zugeordnet; anschließend beseitigt ein Abtast- und Halteglied Ausgleichsvorgänge und Überschwüngen. Es folgt der Tiefpaß, der aus der Treppenkurve (PAM-Signal) des D-A-Wandlers das Nutzschrift ausfiltert. Dieses steht nach der NF-Baugruppe (Deemphase und Ausgleich des durch PAM bewirkten Amplitudenabfalls bei hohen Frequenzen) am Ausgang des Gerätes für weitere Verbraucher zur Verfügung.

Bei der Zerlegung des (F)BAST-Signals in Video- und Tonsignal werden die durch die Eintastung des Tonsignalsimpulsbündels auf der Koderseite „beschädigten“ S-Impulse abgetrennt. Das neue S-Signal, das am Ausgang des Video-Ton-Demultiplexers zugesetzt wird, wird in der Videoimpulsstufe aus zwei vom Videotaktgeber gelieferten Impulsfolgen gewonnen. Der Videotaktgeber besteht aus einem LC-Generator, der durch eine Regelung phasenstarr mit dem H-Impuls gekoppelt ist, und einer Impulsaufbereitung.

Stromversorgung

Die Stromversorgung erfolgt aus dem örtlichen Niederspannungsnetz (220 V/50 Hz). Die benötigten Betriebsspannungen +5 V, ±12 V und ±15 V werden durch einen Netz- und einen Regelteil bereitgestellt.

Betriebserfahrungen

Qualität des pulskodemodulierten Tonkanals

Bei Entwicklungsbeginn der ITÜ-Anlage gab es weder verbindliche Empfehlungen für technische Daten eines PCM-Rundfunktonkanals, noch lagen Erfahrungen darüber vor, wie ein über diesen Kanal übertragenes Signal – hochwertige Parameter der Analogtechnik vorausgesetzt – subjektiv empfunden wird. Für die meßtechnische Bewertung der PCM-Tonkanäle standen nur die aus der Analogtechnik bekannten Meßgeräte und -verfahren zur Verfügung. Daher orientierten sich die Entwicklungsziele auch an den Toleranzen des analogen Rundfunktonkanals: Die in das Videosignal eingelagerten PCM-Tonkanäle sollen bei dreifacher Kodierung-Dekodierung (drei Kodeks) die Bedingungen nach CCIR

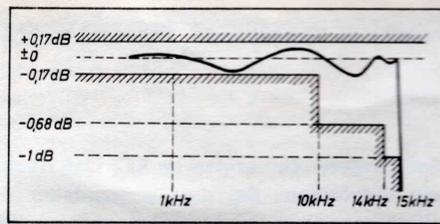


Bild 4: Amplituden-Frequenzgang eines Kodeks

505-2 einhalten. Einige an einem Koder-Dekoder gemessene Parameter sollen die erzielten Entwicklungsergebnisse demonstrieren.

Amplitudenfrequenzgang

Die aus CCIR 505-2 ermittelten Toleranzen und die Meßwerte eines Kodeks sind im Bild 4 dargestellt. Die Meßwerte sind praktisch die addierten Übertragungscharakteristiken zweier Tiefpässe. Die Einhaltung derartig geringer Toleranzen (im mittleren Frequenzbereich $\pm 0,07$ dB für einen Tiefpaß) bereitet naturgemäß einige Schwierigkeiten, ist aber bei den unter fertigungstechnischen Bedingungen entstandenen Mustern gelungen. Auch die zeitliche Stabilität dieser Baugruppen ist äußerst zufriedenstellend.

Klirrfaktor

Dieser Parameter wurde aus den selektiv gemessenen Harmonischen K2 und K3 ermittelt und beträgt bei Maximalpegel (+15 dBu) und 500 Hz 0,06 % (64 dB).

Übersprechen

Übersprechen zwischen den beiden Tonkanälen und zwischen Ton- und Bildsignal konnte meßtechnisch nicht nachgewiesen werden. Die Begründung ist einerseits das Zeitmultiplexverfahren, mit dem das Tonsignalsimpulsbündel in das Bildsignal eingelagert wird, andererseits die konsequente Trennung der beiden Tonkanäle im analogen Bereich.

Quantisierungsverzerrungen

Durch die analoge Meßtechnik werden die Geräusche eines PCM-Kanals nicht korrekt erfaßt, da die Messung des unbelegten Kanals nur das Leerkanalgeräusch ergibt. Für die Messung der Quantisierungsverzerrungen muß der Kanal mit einem Nutzschrift belegt werden, das auf der Dekoderseite ausgefiltert wird. Dies kann z. B. durch eine Klirrfaktormeßbrücke erfolgen. Allerdings stellt dabei das Meßergebnis Klirrfaktor und Quantisierungsverzerrungen dar. Für einen Kodek ergab sich mit +15 dBu/500 Hz 0,11 % (59 dB). Es ist auch möglich, den Kanal mit einem 63-Hz-Sinussignal zu belegen und auf der Dekoderseite über einen Hochpaß mit $f_{\text{Grenz}} = 250$ Hz breitbandig zu messen. Dabei verfälscht zwar der Klirrfaktor das Meßergebnis nicht, doch kann wegen der Preemphase (Absenkung der tiefen Frequenzen) der Kanal digital nicht maximal ausgesteuert werden. Das Meßergebnis für einen Kodek mit +15 dBu/63 Hz war 61 dB.

Differenztöne

Die Belegung des Tonkanals mit Sinussignalen führt zur Bildung von Mischprodukten zwischen Harmonischen der Ab-

tastfrequenz und des Eingangssignals der Form

$$f_d = m f_0 - n f \quad m = 1; 2; \dots \\ n = 2; 3; \dots$$

mit f_d Differenzfrequenz, f Eingangssignalfrequenz und f_0 Abtastfrequenz, die in den Übertragungsbereich fallen. Über die subjektive Wirkung dieser Mischprodukte ist wenig bekannt, doch wird allgemein angenommen, daß sie bei einem Abstand zum Nutzschrift von ≥ 50 dB nicht mehr stören, zumal die natürliche Tonmodulation wenig stationäre Sinussignale der erforderlichen Intensität enthält.

Untersuchungen an den ITÜ-Geräten haben gezeigt, daß die Pegel dieser Differenzfrequenzen erst bei $f \geq 5$ kHz das allgemeine Verzerrungsgeräusch übersteigen. Besonders kritisch sind $f_1 = 10$ kHz und $f_2 = 12,3$ kHz, die mit $f_0 = 31,25$ kHz zu $f_{d1} = f_0 - 3f_1 = 1,25$ kHz und $f_{d2} = 2f_0 - 5f_2 = 1$ kHz führen, da die Deemphase das Nutzschrift absenkt und den Störpegel mit $f_{d1,2}$ anhebt.

Bei der ITÜ-Anlage wurden bei Maximalpegel und den oben genannten Frequenzen Abstände zum Nutzschrift zwischen 63 und 65 dB gemessen.

Subjektive Beurteilung

Zur subjektiven Einschätzung der Übertragungsqualität der ITÜ-Geräte wurden mehrere Hörtests vorgenommen. Die Beurteilung erfolgte anhand von Ausschnitten ausgewählter kritischer Musikbeispiele. Als zusammenfassende Einschätzung kann gesagt werden, daß ein Qualitätsunterschied zwischen den Tonsignalen vor und hinter der ITÜ-Anlage selbst durch Abhörern nicht festgestellt werden konnte. Beim Betrieb bildet die ITÜ-Anlage nur ein Glied der Kette Studio-Übertragungsstrecke-Sender-Empfänger. Daher und weil normalerweise eine Beeinflussung der Tonkanalparameter durch die Übertragungsstrecke nicht erfolgt, kann mit Sicherheit festgestellt werden, daß durch den Einsatz der ITÜ-Anlage eine Qualitätsverringerng beim Hörer nicht wahrnehmbar ist.

Verkopplung von Video- und Tonsignal

Das Zeitmultiplexverfahren, das eine phasenstarre Verkopplung zwischen Video- und Tonsignal erfordert, bringt eine gegenseitige Beeinflussung beider Signale bei Phasensprüngen und Unterbrechungen mit sich. Im Tonsignal äußert sich das durch Knackstörungen, während im Videosignal kurzzeitig die Tonsignalaustastlücke erscheint. Um diese Wechselwirkungen möglichst gering zu halten, mußte die Taktversorgung der ITÜ-Anlagen optimal an die Verhältnisse im TV-Studio angepaßt werden.

Die für die Dekodierung ebenso wichtige Fixierung des Gleichspannungspotentials erfolgt durch Klammerung der hinteren Schwarzschrift auf Nullpotential, also nach dem Tonsignalsimpulsbündel. Während der Zeile eingedrungene Fehlpotentiale bewirken daher eine fehlerhafte Dekodierung, wenn sie einen bestimmten Wert überschreiten; d. h., mit Gleichspannungssprüngen verbundene Schalthandlungen im Videobereich führen zu Knackstörungen im Tonkanal.

Die ITÜ-Anlage wurde bei allen auftretenden normalen Betriebszuständen im TV-

Studio erprobt. Durchschnittlich traten dabei weniger als zwei Knackstörungen je Tag auf.

Anforderungen an die Übertragungsstrecke

Die Geräte der ITU werden bei der Deutschen Post zur Kapazitätserweiterung des Richtfunknetzes eingesetzt, indem das kombinierte (F)BAST-Signal in den Fernsehprogrammtuben übertragen wird. Die Toleranzen und Grenzwerte der TV-Programmtuben sind natürlich auf die Richtfunkübertragung eines Videosignals zugeschnitten. Es ist einsehbar, daß das komplizierte (F)BAST-Signal für seine Übertragung teilweise andere Werte erfordert. Daher wurde ein Versuch unternommen, in dem – zugeschnitten auf den speziellen Anwendungsfall – der Einfluß verschiedener Parameter des TV-Kanals auf die Tonqualität bei Übertragung eines (F)BAST-Signals untersucht wurde. In diesem Versuch wurde ermittelt, bei welchem bewerteten Rauschabstand im Leuchtdichtekanal die Bitfehlerquote (BER) der Tonsignalübertragung auf 10^{-6} ansteigt. Dieser Wert für die BER wurde bei subjektiven Tests als leicht störend empfunden. Für ungestörte Tonübertragung wird $BER \leq 10^{-9}$ angesetzt. Der Anstieg der BER von 10^{-9} auf 10^{-6} wird durch eine Verringerung des Rauschabstandes um 2 dB bewirkt. Gleichzeitig wur-

den die Frequenzabhängigkeit der Restdämpfung (Amplitudenfrequenzgang) und die Nichtlinearität im Farbträgerbereich verändert. Zeitliche Schwankungen der Restdämpfung haben wegen einer im Kodewandler des Dekoders verwendeten Amplitudenregelung innerhalb vernünftiger Grenzen (± 6 dB) einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Tonsignalübertragung. Der Einfluß der Nichtlinearität ist relativ gering: Bei Erhöhung von 3% auf 10% konnte keine Veränderung des erforderlichen Rauschabstandes festgestellt werden, bei einer Nichtlinearität von 15% war für $BER = 10^{-6}$ ein um 1 dB höherer Wert für den Rauschabstand erforderlich. Wesentlich stärker ist der Einfluß des Amplitudenfrequenzganges auf das Tonsignalimpulsbündel. Das soll anhand eines Diagrammes erläutert werden. Bild 5 zeigt die eingestellten Amplitudenfrequenzgänge. Sie wurden durch einen Tiefpaß mit einstellbarer Grenzfrequenz, verschiedene Kabel und Videozentrierer mit unterschiedlichen Entzerrungszuständen realisiert. Kurve V im Bild 5d zeigt den Amplitudenfrequenzgang der benutzten Versuchsstrecke. Die bei diesen Frequenzgängen für $BER = 10^{-6}$ erforderlichen Rauschabstände sind auf der rechten Bildseite dargestellt. Verallgemeinernd kann festgestellt werden, daß ein abfallender

Frequenzgang für die ITU günstiger ist als ein nach hohen Frequenzen hin ansteigender. So ist selbst bei einer Bandbegrenzung auf 3,5 MHz (Kurve 4) nur ein relativ geringer Anstieg des Rauschabstandes erforderlich. Besonders ungünstig wirkt sich ein ansteigender und dann durch die Bandbegrenzung steil abfallender Frequenzgang aus (Kurve 5).

Um die Bedeutung dieser Meßwerte für den Betrieb der ITU-Anlagen im Richtfunknetz der Deutschen Post abschätzen zu können, müssen diese mit den dort zulässigen Toleranzen bzw. Meßwerten verglichen werden:

Für einen Modulationsabschnitt ($1/3$ Bezugskreis) werden für die Nichtlinearität $\leq 7\%$ und für den Rauschabstand > 58 dB gefordert; alle vorliegenden Meßwerte des Amplitudenfrequenzganges (Toleranzen für diesen für die Bildübertragung unkritischen Parameter gibt es nicht, da er über das Zeitverhalten bei $t \ll H$ erfaßt wird), die jemals über einen oder zwei Modulationsabschnitte gemessen wurden, liegen günstiger als die Kurven 7, 10 und 14 im Bild 5. Setzt man außerdem voraus, daß bei einem Rauschabstand von etwa 45 dB Maßnahmen zur Verbesserung der Qualität (Streckenersatzschaltung) eingeleitet werden, so kann man folgenden Schluß ziehen: Für die Übertragung des (F)BAST-Signals über einen oder zwei Modulationsabschnitte im Richtfunknetz der Deutschen Post (Programmtube) besteht eine ausreichende Sicherheit für ungestörte Tonübertragung ($BER \leq 10^{-9}$). Diese Aussage wird auch durch die Praxis unterstützt, denn schließlich versorgt eine ITU-Anlage nach umfangreicher Erprobung (September 1983 bis Februar 1984) seit 15. 2. 1984 ohne Beanstandungen den UKW-Sender „Stimme der DDR“ im Raum Dresden mit stereofoner Tonmodulation.

Auch die für die Richtfunkübertragung kritischen atmosphärischen Verhältnisse (z. B. starke Sonneneinstrahlung und geringe Durchmischung der unteren Luftschichten) im August 1984 führten zu keiner fadingbedingten Störung der integrierten Tonübertragung.

Dieses günstige Betriebsverhalten der ITU-Anlage und der hohe Rationalisierungseffekt durch die Mehrfachausnutzung vorhandener technischer Anlagen ermöglichen einen umfassenden Einsatz der ITU-Geräte im Richtfunknetz der Deutschen Post.

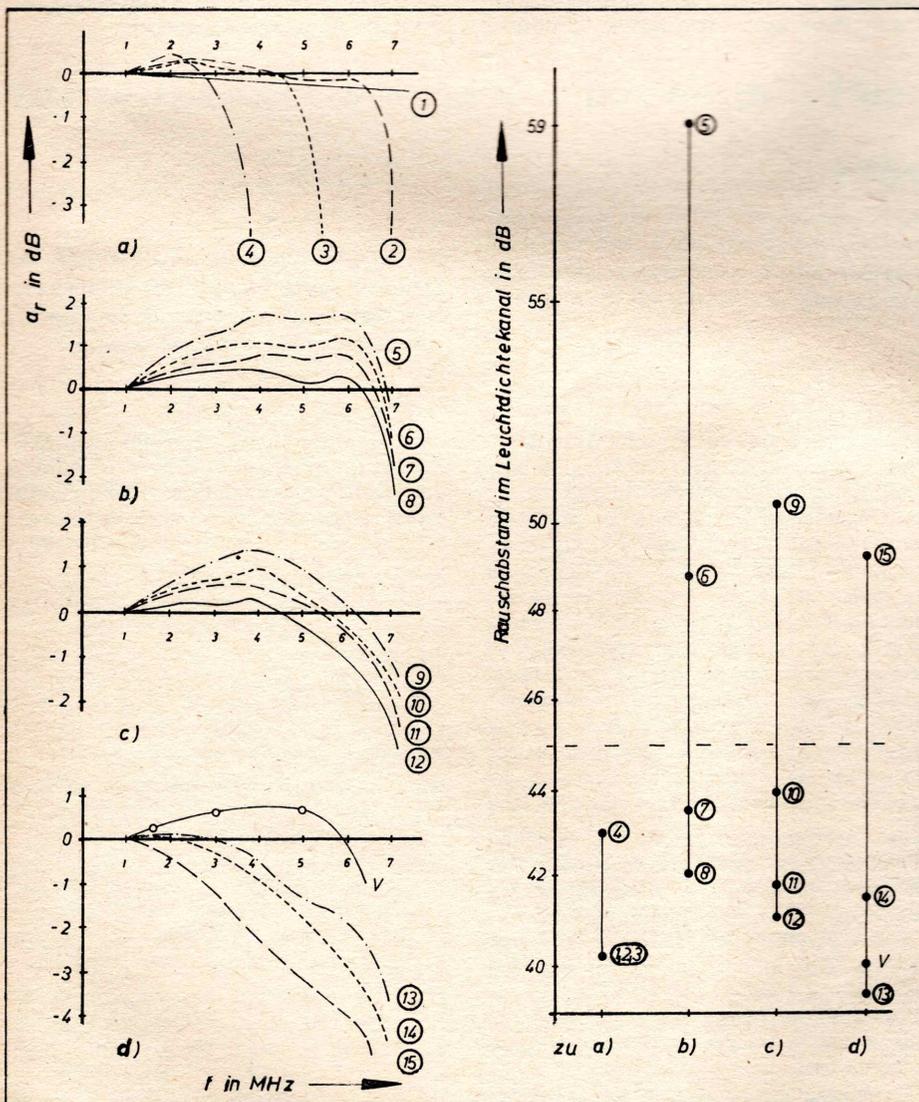


Bild 5: Zusammenhang zwischen verschiedenen Amplitudenfrequenzgängen und den für $BER = 10^{-6}$ erforderlichen Rauschabständen

Verkaufe

„radio fernsehen elektronik“

Jahrgänge 1961–1980, ungeb., Abgabe nur komplett.

Walter Bukall, 5235 Rastenberg, Mühlstraße 2