

Der Farbfernseh-Empfänger (Blockschaltbild)

Fs 13

4 Blätter

1 NTSC-Verfahren

Die in Bild 1 gezeigte Blockschaltung gilt für einen nach dem NTSC-Verfahren aufgebauten Empfänger. Sie wird der Diskussion der wichtigen Empfängerprobleme zu Grunde gelegt. Abweichende Übertragungsverfahren – insbesondere PAL – werden zunächst außer Betracht gelassen, da die grundlegenden Aufgaben bei Empfang einer Fernsehendung ausreichend an der Schaltung eines NTSC-Empfängers behandelt werden können.

2 Schaltungsabschnitte, die denen im Schwarzweiß-Empfänger gleichen

Bei einem Farbfernseh-Empfänger stimmen folgende Stufen mit denen eines Schwarzweiß-Empfängers überein: Die UHF- und VHF-Eingangsstufen, die Bild-Zf-Stufen, die Regelspannungs-Erzeugung, die Impulsabtrennung und Störaustattung, ferner Ton-Zf-Stufen, Tondemodulation und Ton-Nf-Stufen.

Wesentliche Ähnlichkeit besteht in den Stufen für die Vertikal- und Horizontalablenkung. Die hier vorliegenden Unterschiede gründen sich darauf, daß eine höhere Ablenkleistung verlangt wird, denn die Farbbildröhre arbeitet mit einer sehr hohen Spannung und besitzt einen dickeren Halsdurchmesser, allerdings ist ihr Ablenkwinkel kleiner.

| | A 59-12 W/2 | Farbbildröhre rund, 21 Zoll | Farbbildröhre rechteckig, 25 Zoll |
|-----------------|-------------|--------------------------------|---|
| U_a | 18 kV | 24 kV | 24 kV |
| Halsdurchmesser | 28,6 mm | 50 mm | 36 mm |
| Ablenkwinkel | 110° | 70° | 90° |

Ein weiterer Unterschied besteht darin, daß beim Farbfernsehen drei Elektrodensysteme (für Rot, Grün, Blau) betrieben werden müssen und daß die Lochmaske einen erheblichen Teil des Strahlstromes verschluckt. Das ergibt einen maximalen Strahlstrom von über 1 mA. Da die Hochspannungsleistung (wie bei schwarzweiß) der Zeilen-Endstufe entnommen wird, muß sie aus diesem Grunde sehr viel leistungsfähiger als die eines Schwarzweiß-Empfängers sein.

Ein relativ großer Leistungsanteil der Zeilen-Endstufe wird für die drei Strahlströme benötigt. Deshalb hat eine Veränderung in der Helligkeit einen sehr starken Einfluß auf die Leistungsentnahme und damit auf die Spannungen in dieser Stufe. Aus diesem Grund muß die Hochspannung stabilisiert werden. Diese Stabilisation arbeitet bei der zur Zeit üblichen Methodik in der Weise, daß die Stromentnahme aus der Zeilen-Endstufe für die Bildröhrenhochspannung stets konstant bleibt. Der bei Helligkeitsschwankungen von der Bildröhre nicht aufgenommene Strom wird über eine sogenannte *Ballast-Röhre* (eine Triode) abgeleitet. Bei hellem Bild ist also der Strom über die Ballast-Triode sehr klein, bei dunklem Bild sehr groß (Bild 2). Diese Ballast-Triode wird sehr hoch beansprucht. An ihrer Anode liegt die volle Bildröhrenhochspannung von etwa 25 kV. Bei dunklem Bild muß sie einen Anodenstrom von 1 bis 1,5 mA aufnehmen, das bedeutet eine Anodenlast von 30...35 W.

Auch der Videokanal, nach der Videodemodulation, gleicht im Prinzip dem eines Schwarzweiß-Empfängers. Allerdings muß im Farbgerät ein höherer Aufwand getrieben werden. Durch ein selektives Filter werden die Farbträgerfrequenz sowie die dicht benachbarten Frequenzen unterdrückt. Ferner ist eine Laufzeitleitung einzuschalten, durch die das Helligkeitssignal verzögert wird. Das Chrominanz-

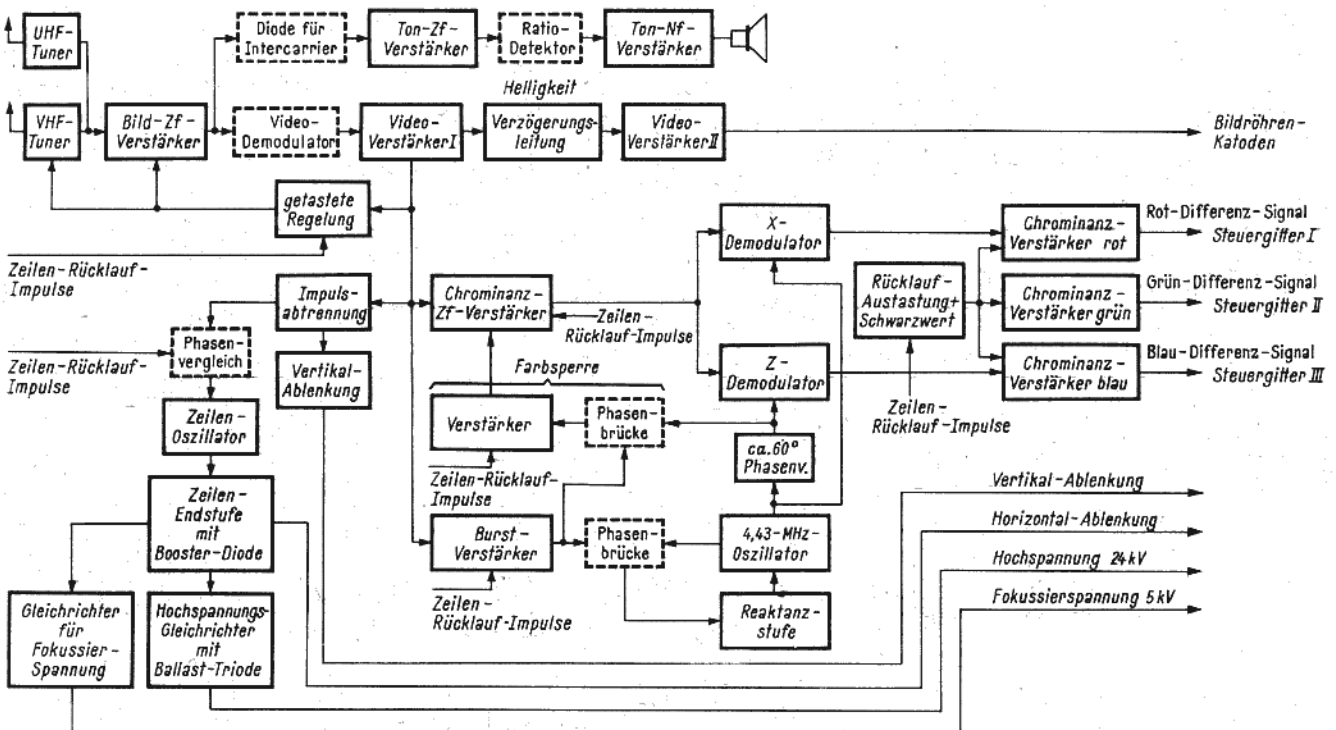


Bild 1. Blockschaltung eines Farbfernseh-Empfängers, dabei ist XZ-Demodulation und Aussteuerung der Bildröhre mit den drei Farbdifferenzsignalen angenommen

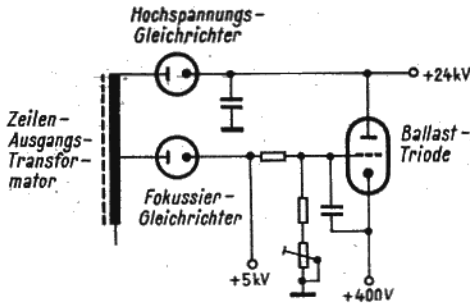


Bild 2. Schaltung der Ballast-Triode zur Konstanthaltung der Bildröhren-Hochspannung

signal läuft nämlich durch Verstärker mit schmalerer Durchlaßkurve als das Luminanzsignal, es benötigt also eine größere Laufzeit als das Helligkeitssignal. Da aber beide Signale gleichzeitig an der Bildröhre eintreffen müssen, ist das Helligkeitssignal zu verzögern. Die erforderliche Verzögerungszeit beträgt etwa 1 μ sec. Man benutzt dazu ein Stück eines Koaxialkabels mit einem auf Hf-Eisen gewickelten Innenleiter, das auf entsprechende Gruppenlaufzeit zugeschnitten ist.

Schließlich ist eine höhere Bildröhren-Steuerspannung als im Schwarzweiß-Empfänger erforderlich. Die Farbbildröhre benötigt eine Steuerspannung bis zu 130 V_{ss}.

3 Schaltungsabschnitte, die in einem Farbfernseh-Empfänger zusätzlich benötigt werden

3.1 Die Video-Gleichrichtung

Im Schwarzweiß-Empfänger ist dem Bild-Zf-Verstärker eine Diode nachgeschaltet. In ihr gewinnt man nicht nur das Videosignal, sondern auch die Ton-Zwischenfrequenz von 5,5 MHz aus der Differenz von Bild- und Tonträger-Zwischenfrequenz (38,9 MHz - 33,4 MHz).

Beim Farbfernseh-Empfänger muß man berücksichtigen, daß bei einer derartigen Schaltung am Gleichrichter folgende Frequenzen stehen:

| | | |
|-----------|---------------------|-----------------------------------|
| 38,9 MHz | Bild-Zf-Träger | } Differenzfrequenz = 1,07 MHz |
| 33,4 MHz | Ton-Zf-Träger | |
| 34,47 MHz | Farbhilfs-Zf-Träger | |

Die Differenzfrequenz von 1,07 MHz liegt mitten im Video-übertragungsbereich. Sie erzeugt ein Moiré auf dem Bildschirm. Man muß deshalb das Zf-Signal in zwei Dioden demodulieren und durch zusätzliche Filter dafür sorgen, daß die an der einen Diode gebildeten Kombinationsfrequenzen nicht an die andere Diode gelangen können.

Bei der Anordnung nach Bild 1 dient die eine Diode zur Gewinnung der Ton-Zwischenfrequenz (5,5 MHz). Diese 5,5 MHz dürfen demnach nicht an die zweite Diode gelangen, die das Videosignal (Luminanz + Chrominanz) erzeugt.

3.2 Der Chrominanz-Verstärker

(Bandpaßverstärker für den modulierten Farbhilfs-Träger)

Die Aufgabe des Chrominanzverstärkers besteht darin, aus dem Videosignal das Chrominanzsignal auszulesen und zu verstärken. Dazu muß dieser Verstärker eine Durchlaßkurve besitzen, die sich aus dem in Bild 3 gezeigten Chrominanzspektrum ergibt. Will man das volle Spektrum verwenden, muß der Verstärker die Frequenzen zwischen 2,5 und 5,2 MHz verstärken. Will man aber ein zur Farbträgerfrequenz symmetrisches Band ausnützen, so muß er die Frequenzen 3,6 bis 5,2 MHz übertragen. Die in diese Bänder fallenden Seitenbandfrequenzen des Helligkeitssignals können vom Chrominanzverstärker nicht ausgesondert werden. Jedoch sind die dadurch im Farbsignal hervorgerufenen Störungen nur gering, denn wie Bild 4 zeigt, haben die oberen Seitenbandfrequenzen des Helligkeitssignals nur kleine Amplituden. Hinzu kommt der in FtA Fs 11, Abschnitt 3 und Bild 6a, besprochene Effekt. Dort war für das Helligkeitssignal gezeigt, daß - bezogen auf ein stehendes Bild - die Chrominanzsignale in zwei aufeinanderfolgenden Zeilen gegensätzliche Phasenlage

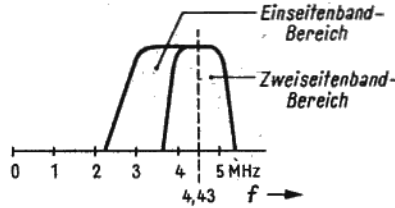


Bild 3. Das Spektrum des Chrominanzsignals bei Übertragung der vollen Farbinformation

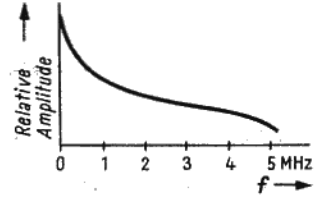


Bild 4. Energieverteilung im Spektrum des Helligkeitssignals (bei den meisten Fernsehbildern, nicht z.B. bei bestimmten Testbildern)

haben, sich also auslöschen und so das Luminanzsignal nicht stören. Das analoge gilt nun auch für das Chrominanzsignal.

Betrachtet man das Chrominanzsignal nach der Demodulation mit Hilfe des Farbhilfs-Trägers, dann ergeben sich die gewünschten Verhältnisse: Bei einem stehenden Bild haben in zwei aufeinanderfolgenden Zeilen die Luminanzsignale entgegengesetzte Phasenlage, heben sich auf und stören die Chrominanzinformation nicht.

Beispiel: (s. FtA Fs 11, Bild 5)

| | | |
|---|-----------|----------------|
| Farbhilfs-Trägerfrequenz | f_{H0} | 4 429 687,5 Hz |
| 5. Seitenbandfrequenz des Farbhilfs-Trägers | f_{H5} | 4 351 562,5 Hz |
| 278. Seitenbandfrequenz des Haupt-Trägers für das Videosignal | f_{278} | 4 343 750 Hz |

Bei der Demodulation mit der Farbhilfs-Trägerfrequenz 4 429 687,5 Hz erhält man für f_{H5} (Farbsignal) die Frequenz 78 125 Hz; geteilt durch 25 ergibt sich die ganze Zahl 3125, für f_{278} (Luminanzsignal) die Frequenz 85 937,5 Hz; geteilt durch 25 ergibt sich 3437,5, also keine ganze Zahl.

Das bedeutet demnach, wie bereits gesagt, daß die Luminanzsignale in aufeinanderfolgenden Zeilen entgegengesetzte Phasenlage haben und deshalb die Chrominanzinformation nicht stören.

3.3 Farbdemodulation

3.3.1 Das Prinzip

Um die Wirkungsweise des Farbdemodulators zu verstehen, seien folgende bekannte Tatsachen kurz zusammengefaßt:

Amplitudenmodulation in Zeigerdarstellung (FtA Mo 11, Abschnitt I)

Man kann eine amplitudenmodulierte Schwingung durch drei Zeiger darstellen (Bild 5). Der Zeiger V_1 charakterisiert die Trägerfrequenz; er durchläuft 360° innerhalb einer Periode der Trägerfrequenz. Die Zeigerlänge spiegelt die Amplitude (den Scheitelwert) der Trägerfrequenzschwingung wieder.

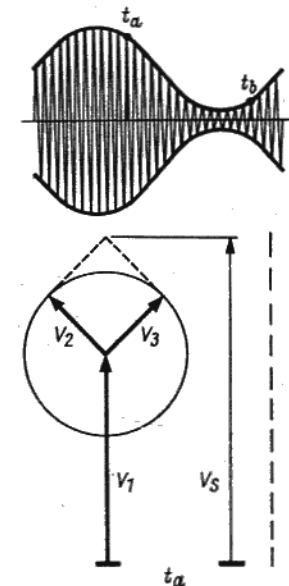


Bild 5. Darstellung der Amplitudenmodulation als Schwingungsvorgang und in Zeigerdarstellung (Schwingung im Verhältnis 1:4 verkleinert). Darin bedeuten: t_a, t_b zwei beliebig gewählte Zeitpunkte, V_1 = Trägeramplitude, V_2, V_3 = Amplitude der Seitenbandfrequenzen, V_s = Momentanwert der Spannung der modulierten Schwingung in den Zeitpunkten t_a oder t_b

3.3.1 Prinzip der Farbdemodulation (Fortsetzung)

Die Zeiger V_2 und V_3 vollenden in der Periode der Modulationsfrequenz einen vollen Umlauf, ihre Länge entspricht der Spannungsamplitude der Modulationsfrequenz. Beide Zeiger V_2 und V_3 rotieren entgegengesetzt zueinander.

Die geometrische Addition von $V_1, V_2, V_3 (= V_s)$ ergibt die Spannungsamplitude der modulierten Schwingung in jedem beliebigen Zeitpunkt.

Der Wert V_s stellt also, wie Bild 5 zeigt, die positive Spannungsamplitude der modulierten Schwingung in einem gegebenen Zeitpunkt dar.

Amplitudenmodulation mit unterdrücktem Träger

In FtA Mo 21/2, Abschnitt 3.4, ist dargestellt, daß bei Unterdrückung des Trägers die Phase der Trägerfrequenz umspringt, wenn die Modulationsspannung durch Null geht (Bild 6). Das sieht man deutlich auch an dem Zeigerdiagramm Bild 5. Während der Wert V_s ohne Trägerunterdrückung stets positiv bleibt, ändert V_s bei Trägerunterdrückung seine Richtung um 180° , wenn die Modulationsspannung durch Null geht (Bild 6). Aber auch hier wieder ist durch $+V_s$ die positive Spannungsamplitude der modulierten Schwingung gekennzeichnet. Bei positiven Modulationsspannungen fällt V_s mit den positiven Amplituden der Trägerfrequenz zusammen, bei negativen Modulationsspannungen dagegen ist V_s um 180° gegen diesen Bezugspunkt, nämlich die positive Trägerfrequenzamplitude, verschoben, damit also als $-V_s$ zu schreiben.

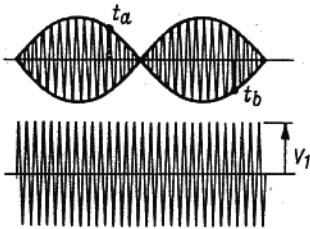
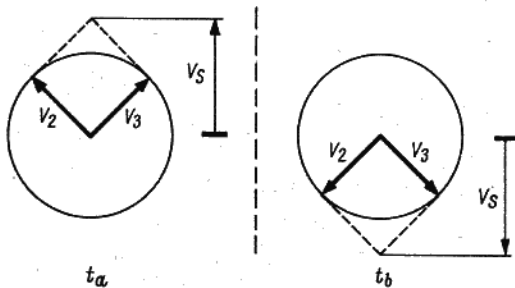


Bild 6. Amplitudenmodulation mit unterdrücktem Träger, Bezeichnungen wie Bild 5 (im Verhältnis 1:4 verkleinert)



Addition zweier amplitudenmodulierter Schwingungen ohne Unterdrückung des Trägers

Beide Träger sollen die gleiche Frequenz haben und seien um 90° gegeneinander verschoben (FtA Fs 11, Abschnitt 4). Je nach dem Modulationszustand (gebildet durch Amplitude und Phasenlage der Modulationsspannung) ergibt sich ein Summenzeiger ($V_{s1} + V_{s2} = V_{s3}$), der in der Größe veränderlich ist, aber auf jeden Fall im ersten Quadranten liegt (Bild 7).

Addition mit Unterdrückung des Trägers

Auch in diesem Fall sollen beide Träger gleiche Frequenz haben und um 90° gegeneinander phasenverschoben sein. Dadurch ergibt sich eine resultierende Schwingung. In der Zeigerdarstellung wird sie durch geometrische Addition von V_{s1} und V_{s2} gewonnen. Je nach Phasenlage und Größe der beiden Modulationsspannungen kann der Summenzeiger in veränderlicher Größe in allen vier Quadranten liegen. Die resultierende Schwingung ist also amplituden- und gleichzeitig phasenmoduliert. Der Phasenwinkel – gemessen gegen die Lage der positiven Amplitude der einen (Bezugs-)Trägerschwingung – kann zwischen 0 und 360° liegen (Bild 8). Der Summenzeiger gibt wieder die positive Spannungsamplitude der resultierenden Schwingung an.

Die Synchron-Demodulation

Man denke sich eine Doppelsteuerröhre nach Bild 9. In ihrem Anodenkreis fließt nur dann Strom, wenn sowohl das erste als auch das dritte Gitter aufgesteuert sind.

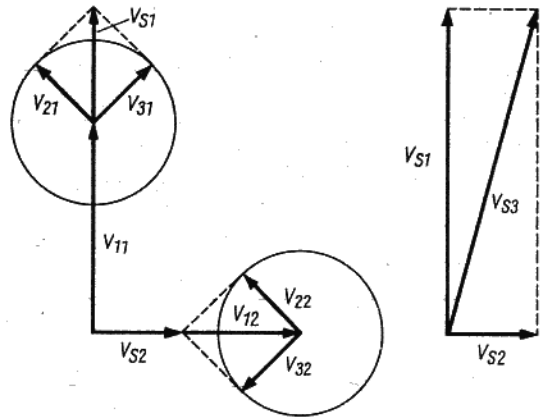


Bild 7. Addition zweier amplitudenmodulierter Schwingungen (Träger nicht unterdrückt)

V_{11}, V_{21} und V_{31} = Träger und Seitenbänder von Schwingung 1
 V_{12}, V_{22} und V_{32} = Träger und Seitenbänder von Schwingung 2
 V_{s1} und V_{s2} = Momentanwerte der beiden modulierten Schwingungen - zum gleichen Zeitpunkt
 V_{s3} = Addition von V_{s1} und V_{s2}

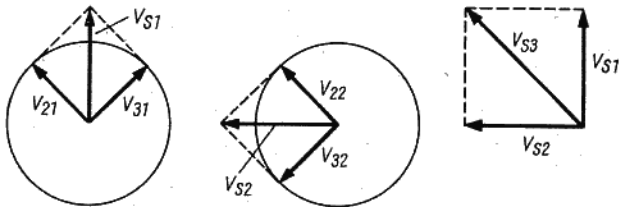


Bild 8. Addition zweier amplitudenmodulierter Schwingungen (Träger unterdrückt) Bezeichnungen wie Bild 7

An das erste Gitter legt man das Chrominanzsignal (s. FtA Fs 11, Abschn. 4), an das dritte Gitter eine im Empfänger erzeugte Oszillatorschwingung, die genau die gleiche Frequenz wie der Farbhilfsträger hat.

Wie Bild 10 zeigt, ist die Spannung des Chrominanzsignals – von Spitze zu Spitze gemessen – kleiner als der Aussteuerbereich der i_a/u_{g1} -Kennlinie, d. h. das Primärsystem der Doppelsteuerröhre – bestehend aus Katode, Gitter 1 und Gitter 2 – führt immer Strom. Dieser Strom geht aber nur dann

Bild 9. Prinzipbild einer Doppelsteuerröhre, als Synchron-Demodulator verwendet

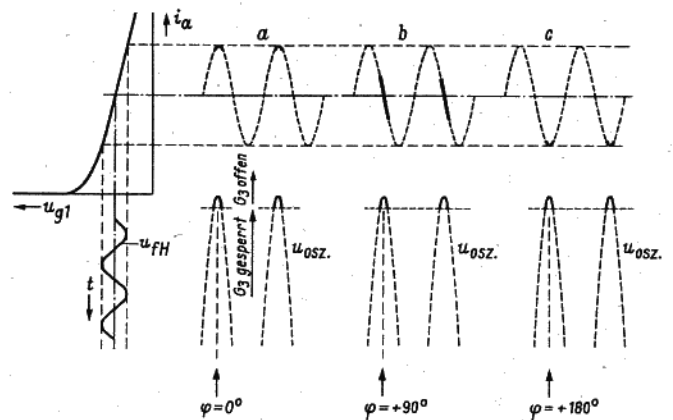
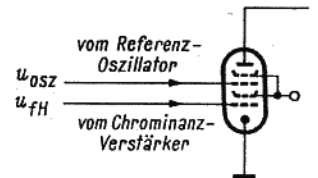


Bild 10. Darstellung der Synchron-Demodulation an Hand einer Doppelsteuerröhre nach Bild 9; links: Aussteuerung der Röhrenkennlinie durch das Chrominanzsignal (u_{fH}); a: Chrominanzsignal und Oszillatorspannung sind phasengleich, Anodenstrom fließt im Scheitel der Chrominanzspannung; b: $\Delta\varphi = 90^\circ$, Anodenstrom fließt auf der Flanke von u_{fH} ; c: $\Delta\varphi = 180^\circ$, Anodenstrom fließt im negativen Scheitel von u_{fH}

zur Anode und wird am Außenwiderstand wirksam, wenn die Oszillatorspannung, die an das dritte Gitter angelegt ist, dessen Sperrspannung unterschreitet. Durch die Wahl der Phasenlage des Oszillators kann man also jeden gewünschten Abschnitt der Spannungskurve des Chrominanzsignals als Demodulator-Ausgangsspannung wirksam werden lassen (Bild 10).

Diese Demodulationsart heißt deshalb „Synchron-Demodulation“, weil bei Frequenz- und Phasen-Konstanz des Chrominanzsignals die Farbhilfsträger- und die Oszillatorspannung völlig synchron schwingen und in jeder Periode an der gleichen Stelle der Chrominanzkurve Anodenstrom fließt.

3.3.2 Die Anwendung der Synchrondemodulation.

Zwei Demodulatoren, mit zwei um 90° gegeneinander versetzten Oszillatorspannungen

In FtA Fs 11, Abschnitt 4, ist gezeigt, daß das Chrominanzsignal dadurch entsteht, daß zwei frequenzgleiche, aber um 90° gegeneinander verschobene Oszillatorspannungen amplitudenmoduliert und anschließend addiert werden. Es liegt nahe, die Rückbildung analog vorzunehmen; das heißt also zwei Referenz-Oszillatoren gleicher Frequenz, die um 90° gegeneinander in der Phase verschoben sind, zu benutzen. Den Zeiger der einen Referenzspannung läßt man mit der I-Achse, den anderen mit der Q-Achse zusammenfallen (FtA Fs 11, Bild 12).

Wird z. B. die Farbart Orange übertragen, dann fällt der Zeiger des Chrominanzsignals mit der I-Achse zusammen. Der I-Demodulator führt den Wechselstrom i_1 , der Q-Demodulator dagegen den Wechselstrom Null (Bild 11a).

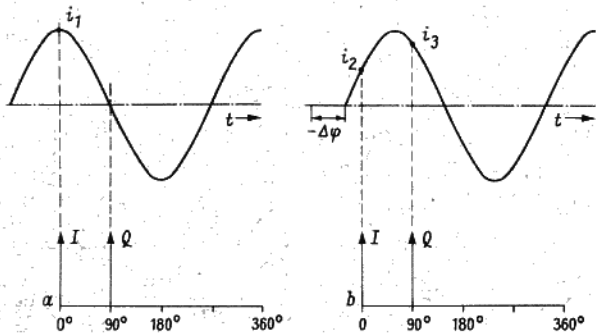


Bild 11. Die Demodulation bei verschiedener Phasenlage des Chrominanzsignals. Die Chrominanzspannung von Bild 11b ist um $\Delta\varphi$ gegen die von Bild 11a verschoben. Dadurch werden durch die I- und Q-Referenzoszillatoren andere Spannungswerte abgetastet

Denkt man sich, daß eine andere Farbart gesendet wird, so verschiebt sich die in Bild 11a gezeigte Chrominanzkurve in der Phase. Durch den I- und Q-Referenz-Oszillator werden dann andere Kurvenstücke der Chrominanzspannung übertragen (Bild 11b). Am Ausgang des Farbdemodulators I steht die Spannung a, erzeugt durch i_2 , an dem des Farbdemodulators Q die Spannung b, hervorgerufen durch i_3 .

Bei dieser Darstellung ist, um die Verhältnisse leicht übersichtlich zu machen, angenommen, daß auf der Senderseite die beiden um 90° versetzten Referenzträger mit konstanten Spannungen, also Gleichspannungssignalen, moduliert werden. Wir haben es also mit folgenden sinusförmigen Spannungen u_1 und u_2 zu tun.

I-Signal: $u_1 = A_1 \cdot \sin \omega_H t$
 $A_1 =$ Modulationsspannung für das I-Signal
 $\omega_H =$ Kreisfrequenz des Farbhilfsträgers

Q-Signal: $u_2 = A_2 \cdot \sin (\omega_H t + \varphi)$
 $A_2 =$ Modulationsspannung für das Q-Signal
 $\varphi =$ Phasenverschiebung zwischen den beiden Hilfsträgern $= 90^\circ$

Die Summe der beiden (u_3) ist wieder eine sinusförmige Spannung mit der Kreisfrequenz ω_H , aber einer gegen u_1 und u_2 abweichenden Phasenlage, also $u_3 = A_3 \cdot \sin (\omega_H t + \alpha)$.

Aus der im Anhang gebrachten Rechnung ergibt sich unter Voraussetzung $\varphi = 90^\circ$:

für $A_3 = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}$ und für $\alpha = \text{arc cotg } \frac{A_1}{A_2}$

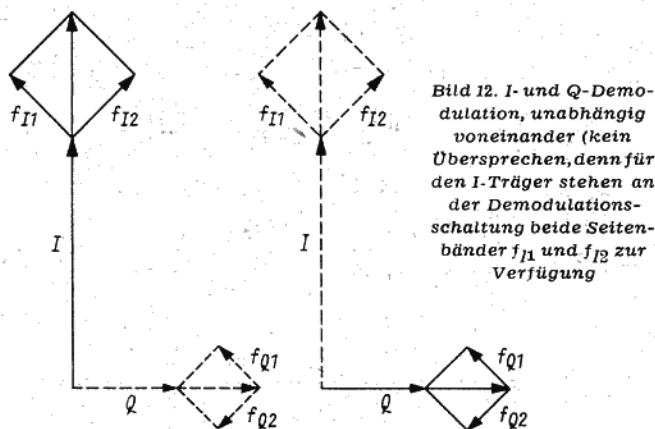


Bild 12. I- und Q-Demodulation, unabhängig voneinander (kein Übersprechen, denn für den I-Träger stehen an der Demodulationschaltung beide Seitenbänder f_{I1} und f_{I2} zur Verfügung

dann ist: $u_3 = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \cdot \sin (\omega_H t + \text{arc cotg } \frac{A_1}{A_2})$

Man sieht, daß sich bei Änderung der Amplituden der beiden Modulationsspannungen die Amplitude der Summenspannung und ihre Phasenlage ändert (s. a. FtA Fs 11, Bild 7).

Wenn auch hier mit konstanten Modulationsspannungen gerechnet wurde, so ist selbstverständlich, daß die gleichen Überlegungen auch bei Modulation mit Wechselspannungen gelten. Die Gleichstrombetrachtung ist dann eine Momentdarstellung der Wechselstromverhältnisse.

Dabei liegt der wichtige Vorteil dieses Demodulationsverfahrens darin, daß die beiden gewonnenen Spannungen a und b unabhängig voneinander sind. Das läßt sich in folgender Weise zeigen (Bild 12).

Im Farbdemodulator I wird dem Chrominanzsignal der Hilfsträger (über das Gitter 3) zugesetzt. Am Gitter 1 steht das Chrominanzsignal, das aus einem Gemisch der Seitenbänder, die aus der doppelten Amplitudenmodulation entstanden sind, besteht. Betrachten wir nur jeweils die zwei dem Träger benachbarten (Seitenband-)Frequenzen, so handelt es sich um die vier Frequenzen:

f_{I1} und f_{I2} (bzw. V_{21} und V_{31} , Bild 7)
 f_{Q1} und f_{Q2} (bzw. V_{22} und V_{32} , Bild 7)

Wird durch den I-Referenz-Oszillator die Röhre aufgetastet, dann wird in diesem Zeitpunkt der Anodenstrom durch die sich aus den Momentanwerten der vier Frequenzen ergebende Spannung bestimmt

u_{I1}, u_{I2}, u_{Q1} und u_{Q2}

Auf Grund der Phasenverschiebung zwischen den beiden Hilfsträgern steuern nur die beiden I-Seitenwellen den Strom (Bild 12), während sich die Q-Seitenwellen aufheben.

Betrachtet man dagegen den Q-Demodulator bei dem das dritte Gitter 90° phasenverschoben aufgesteuert wird, dann wirken in diesem Zeitpunkt die I-Seitenwellen entgegengesetzt und heben sich auf, während die beiden Q-Seitenwellen sich vektoriell addieren, eine Steuerspannung am ersten Gitter ergeben und damit den Anodenstrom des Q-Demodulators bestimmen.

Literatur

- [1] Knox McIlwain, E. E. und Charles E. Dean: Principles of color Television. John Wiley u. Sons Inc., New York.
- [2] Carnt, P. S. und Townsend, G. B.: Colour Television, NTSC-System, Principles and Practice. Iliffe Books Ltd., London.
- [3] Holm, W. A., Dipl.-Ing.: Farbfernsehtchnik ohne Mathematik. Philips Technische Bibliothek.
- [4] Bouma, Dr., P. I.: Farbe und Farbwahrnehmung. N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven.
- [5] Bruch, W.: Farbfernsehsysteme NTSC, PAL, SECAM. FUNK-SCHAU 1964, Heft 23, Seite 619.
- [6] Bruch, W.: Farbfernsehsysteme - Überblick über das NTSC-, SECAM- und PAL-System. Telefunken-Zeitung 1963, Heft 1/2, Seite 70.
- [7] Ratheiser, L.: Wir analysieren die Schaltung eines Farbfernsehempfängers. Radioschau 1964, Heft 2, Seite 76.
- [8] Practical color television for the service industry. RCA Service Company INC., 1954.

3.3.3 Das Übersprechen bei der Farbdemodulation

Zwar ist im vorhergehenden Absatz gesagt, daß bei dieser Art der Demodulation kein Übersprechen zwischen dem I- und Q-Signal auftritt; dies ist aber, wie Bild 12 deutlich zeigt, an die Tatsache gebunden, daß sich im einen Fall die Q-Seitenbänder, im anderen die I-Seitenbänder kompensieren.

Bild 11 aus FtA Fs 11 zeigt nun aber, daß auf Grund der zur Verfügung stehenden Kanalbreite zwar beide Seitenbänder des Q-Signals ungeschmälert wiedergegeben werden können, daß aber für das I-Signal nur das linke Seitenband voll, das rechte – also das nach den höheren Frequenzen zu liegende – nur zu einem Teil übertragen wird.

In Bild 13 ist der I-Referenzträger mit zwei Seitenfrequenzen gezeichnet, die über 1 MHz abseits liegen. Auf Grund der Kanalbreite wird die eine Seitenbandfrequenz abgeschnitten.

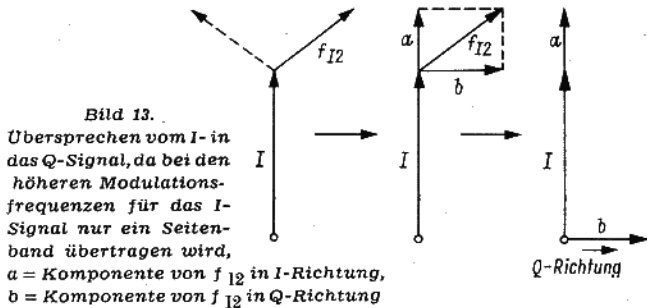


Bild 13. Übersprechen vom I- in das Q-Signal, da bei den höheren Modulationsfrequenzen für das I-Signal nur ein Seitenband übertragen wird, a = Komponente von f_{12} in I-Richtung, b = Komponente von f_{12} in Q-Richtung

Die restlich bleibende Frequenz hat, wie Bild 13 zeigt, eine Komponente in I-Richtung und eine, die um 90° verschoben ist, also in Q-Richtung fällt. Das bedeutet, durch die oberen Seitenbandfrequenzen wird Modulationsinhalt des I-Signals auf das Q-Signal übertragen (Übersprechen, cross-talk).

Diese Störung läßt sich durch zwei Maßnahmen vermeiden oder abschwächen. Man filtert aus dem Q-Demodulator die hohen Chrominanzfrequenzen heraus; denn nur für diese hat ja das I-Signal Einseitenbandcharakter, und nur für diese entsteht das Übersprechen. Eine solche Bandbegrenzung kann durchgeführt werden, da im Q-Signal nur Frequenzen bis rund 0,5 MHz übertragen werden müssen.

Eine andere Möglichkeit ist die, dem Farbdemodulator ein auf zwei gleiche Seitenbänder begrenztes Chrominanzsignal zuzuführen (Bild 14). Man verschenkt zwar, wie in diesem

Bild 14. Die Bandbreiten für das I- und Q-Signal (nach NTSC-Norm) und die Empfänger-Bandbreite bei dem Äquiband-Verfahren. Der Informationsverlust durch Bandbegrenzung ist durch Raster gekennzeichnet

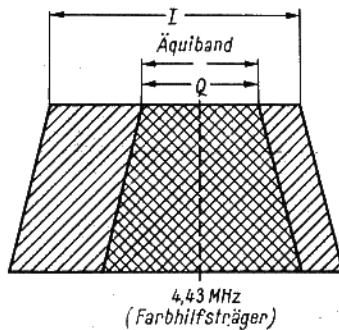


Bild angedeutet, in dem gerasterten Bereich Farbinformation, vermeidet aber das Übersprechen. Einen nach solchem Verfahren arbeitenden Empfänger bezeichnet man mit Äquiband-Empfänger (engl.: equiband).

3.3.4 Zahl und Phasenlage der Referenz-Oszillatoren

I- und Q-Achsen

Dieses Verfahren wurde in Abschnitt 3.3.2 beschrieben. Es ist die Umkehrung des Vorganges auf der Senderseite. Die Demodulation nach I und Q gibt die im Sendesignal enthaltene Farbinformation ungeschmälert wieder, wenn auf der Empfängerseite Vorkehrungen getroffen sind,

- um das Übersprechen vom I- in den Q-Kanal bei den hohen Modulationsfrequenzen des I-Kanals zu vermeiden (s. Abschnitt 3.3.3);
- um im I-Kanal eine Amplitudenkorrektur vorzunehmen. Die hohen Modulationsfrequenzen werden nämlich nur in einem Seitenband übertragen. Für sie ergibt sich also hinter dem Demodulator nur die halbe Ausgangsspannung;

- um die Laufzeit in den Verstärkern hinter dem Demodulator für das I- und Q-Signal auszugleichen, denn das Q-Signal mit seiner kleineren Bandbreite hat eine höhere Laufzeit als das breitbandige I-Signal.

(R - Y)- und (B - Y)-Achsen

Wenn man das I-Signal mit der gleichen Bandbreite wie das Q-Signal überträgt, also auf die Farbinformationen verzichtet, die in den höheren Seitenbandfrequenzen des I-Signals enthalten sind, arbeitet man mit einem Äquiband-Empfänger. Dann können beliebige Demodulationsachsen gewählt und dabei Gesichtspunkte vereinfachter bzw. stabiler Empfängerschaltungen berücksichtigt werden.

Bei der Demodulation nach (R - Y) und (B - Y) erhält man die reduzierten Signale

$$\text{und } \begin{aligned} (R - Y)' &= (R - Y) \cdot 0,877 \\ (B - Y)' &= (B - Y) \cdot 0,493 \end{aligned} \quad \text{s. FtA Fs 11, Abschnitt 6.1}$$

Diese Reduktion muß zunächst rückgängig gemacht werden, um (R - Y) und (B - Y) im ursprünglichen Wert zu erhalten. Anschließend gewinnt man in einer Matrixschaltung das dritte Farbdifferenzsignal (G - Y).

X- und Z-Achsen

Die Lage der beiden Achsen ist durch die Darstellung im Bild 15 beschrieben. Auch hier werden zwei Detektoren benötigt. Jedem der beiden wird außer dem (Äquiband) Chrominanzsignal ein Referenzträger zugesetzt. Die Phasenlage dieser beiden Hilfsschwingungen muß zum Farbsynchronsignal (burst) eine starre Beziehung haben. Sie ist durch die nachfolgende Matrixschaltung und die zulässigen Übersprechfehler bestimmt.

Es ist klar, daß im Ausgang eines jeden der beiden Synchronmodulatoren sowohl (R - Y) wie (B - Y) mit bestimmten Anteilen enthalten sind. Der Wert (G - Y) wird in einfacher Matrixschaltung gewonnen.

(R - Y)-, (G - Y)- und (B - Y)-Achsen

In diesem Fall sind also drei Demodulatoren notwendig. Das Bild 16 zeigt, welche Phasendifferenz dabei zwischen den Schwingungen der drei Referenz-Oszillatoren und dem Farbsynchron-Signal bestehen muß.

3.3.5 Vorteile und Nachteile der verschiedenen Demodulierungsmöglichkeiten

Die Demodulation nach I und Q bringt die volle vom Sender ausgestrahlte Farbinformation. Dabei sind jedoch folgende Bedingungen zu erfüllen:

- Maßnahmen zur Vermeidung des Übersprechens vom I-Seitenband (für die höheren Modulationsfrequenzen) in das Q-Signal,
- eine komplizierte Matrix, um aus I und Q die Werte R, G, B zu erhalten,
- eine zusätzliche Verzögerung im I-Kanal, um den Laufzeitunterschied – bedingt durch unterschiedliche Bandbreite – gegenüber dem Q-Signal auszugleichen.

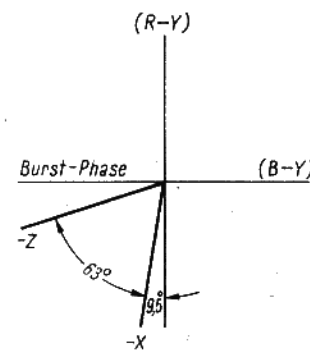


Bild 15. Die Lage der X- und Z-Achsen, bezogen auf die Phasenlage des Farbsynchronsignals (burst)

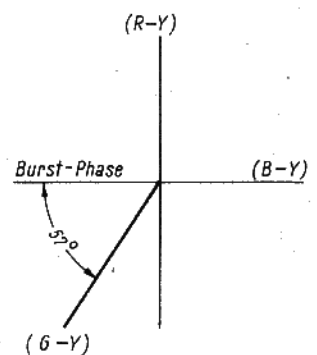


Bild 16. Die Lage der (R - Y), (B - Y) und (G - Y)-Achsen, bezogen auf die Phasenlage des Farbsynchronsignals

Nachteilig ist bei diesem Verfahren ein verstärktes Übersprechen zwischen dem Helligkeitssignal und dem Chrominanzsignal im Vergleich zum Äquiband-Empfänger.

Der Farbverstärker erfaßt nicht nur die Seitenbandfrequenzen zum Farbträger, sondern auch die in sein Durchlaßband fallenden Seitenbandfrequenzen des Helligkeitssignals, d. h. diese Teilspannungen des Helligkeitssignals beeinflussen das Farbsignal. Man bezeichnet das mit *cross-color*. Die Störung ist naturgemäß um so größer, je breiter die Durchlaßkurve des Farbverstärkers ist.

Reduziert wird dieses Übersprechen durch zwei Eigenschaften des NTSC-Systems. Das Farbträgersignal ist Null für weiß und sehr klein für die meist vorkommenden ungesättigten Farben.

Hinzu kommt die bereits in FtA Fs 11, Abschnitt 3, beschriebene Tatsache, daß die Frequenzen des Chrominanzsignals nicht durch 25 teilbar sind. Die durch die Chrominanzseitenbänder erzeugten Helligkeitswerte löschen sich von Bild zu Bild aus.

Das gleiche gilt für den umgekehrten Fall, nämlich das Einwirken der Spannungen des Helligkeitsseitenbandes auf das Chrominanzsignal. Betrachten wir in FtA Fs 11, Bild 5, z. B. die Seitenbandfrequenz des Chrominanzsignals

$f_{H2} = 4\,398\,437,5$ Hz bezogen auf den Farbträger mit $f_{H0} = 4\,429\,687,5$ Hz, so ergibt sich eine Modulationsfrequenz von $31\,250,0$ Hz, diese ist aber durch 25 teilbar.

Vergleichen wir damit die Seitenbandfrequenz $f_{281} = 4\,390\,625$ Hz,

dann erhalten wir nach der Demodulation mit dem Farbträger ($f_{H0} = 4\,429\,687,5$ Hz) die Modulationsfrequenz von $39\,062,5$ Hz. Diese ist aber nicht durch 25 teilbar. Das bedeutet, daß in einem gut synchronisierten Empfänger Störungen dieser Art klein sind.

Bei dem I/Q-Demodulationsverfahren muß man aber, wie in Abschnitt 3.3.4 bereits angegeben, im I-Kanal die Höhen anheben, um den Spannungsverlust durch Wegfall des einen Seitenbandes bei den höheren Frequenzen auszugleichen. Das bedeutet natürlich eine Verschärfung der Übersprechgefahr.

Solange der Farbträger seine Soll-Phasenlage genau einhält, ist das Übersprechen bei der I/Q-Demodulation zu vernachlässigen, insbesondere, wenn die geforderten Maßnahmen im Empfänger verwirklicht sind. Dagegen wird diese Störung bei Synchronisationsfehlern kritisch.

Die Demodulation nach (R-Y), (G-Y) und (B-Y) verlangt drei Synchrondemodulatoren, liefert aber direkt die drei wichtigen Farbdifferenzsignale, die für die drei Elektrodensysteme der Farbbildröhre gebraucht werden.

Die Demodulation nach (R-Y) und (B-Y) oder (R-Y) und (G-Y) erfordert nur zwei Synchrondemodulatoren. Dafür ist aber zusätzlich eine Matrix, allerdings eine einfache, zur Gewinnung des dritten Farbdifferenzsignals erforderlich.

Für die Dimensionierung der Matrix ist die Gleichung $0,59(G-Y) = -0,30(R-Y) - 0,11(B-Y)$ oder $0,11(B-Y) = -0,30(R-Y) - 0,59(G-Y)$ maßgebend.

Die XZ-Demodulation benötigt zwei Synchrondemodulatoren. Ihre Achsen sind so gewählt, daß sich durch eine recht einfache und sehr stabil arbeitende Matrix-Schaltung das dritte Farbdifferenzsignal ergibt (Bild 17).

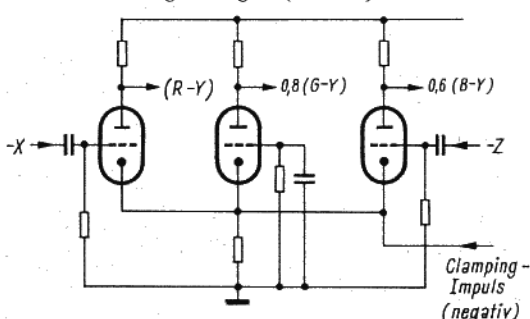


Bild 17. Matrix-Schaltung zur Gewinnung von (R-Y), (B-Y) und (G-Y) aus X und Z

3.3.6 Schaltungen für die Synchrondemodulatoren

Hierzu seien hier zwei Schaltungen erwähnt: Demodulation mit Doppelsteuerröhre, Demodulation mit einer Dioden-Brückenschaltung.

Die Demodulation mit einer Doppelsteuerröhre ist bereits in Abschnitt 3.3.1 im Prinzip beschrieben. Eine angewendete Schaltung zeigt Bild 18.

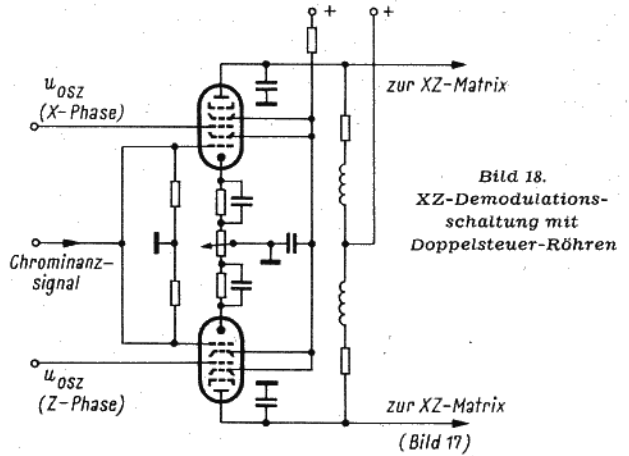


Bild 18. XZ-Demodulations-schaltung mit Doppelsteuer-Röhren

Die Demodulation mit einer Dioden-Brückenschaltung bringt Bild 19. Das Chrominanzsignal wird der Primärseite des Gegendakt-Übertragers zugeführt, und die Oszillatorspannung wird – in der gewünschten Phasenlage – in den Mittenabgriff der Sekundärseite eingespeist.

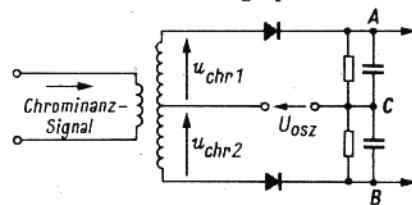


Bild 19. Demodulation mit Dioden-Brückenschaltung. Je nach Demodulationsart sind zwei oder drei solcher Brücken erforderlich

Im Scheitelwert der Spannung U_{0sz} werden beide Diodenstrecken stromführend. Dann liegen

| zwischen den Punkten | die Spannungen |
|----------------------|---|
| C und A | $U_{0sz} + u_{chr1}$ |
| C und B | $U_{0sz} - u_{chr2}$ |
| B und A | $-U_{0sz} + u_{chr2} + U_{0sz} + u_{chr1}$ $= u_{chr1} + u_{chr2} = 2 u_{chr}$ |

Bei guter Symmetrie der beiden Brückenarme ist also die Brückenausgangsspannung frei von Oszillatorspannung. Dabei ist u_{chr} der Momentanwert der Spannung des Chrominanzsignals, die Werte u_{chr1} und u_{chr2} sollen einander gleich sein.

Auch bei diesem Verfahren kann also durch geeignete Wahl der Phasenlage des Referenz-Oszillators jeder beliebige Punkt der Chrominanz-Spannungskurve abgetastet werden. Für jeden Demodulationsvorgang benötigt man eine solche Brückenschaltung, d. h. für eine XZ-Demodulation sind zwei Diodenbrücken erforderlich.

3.4 Aussteuerung der Bildröhre

Die verschiedenen Demodulationsverfahren, zusammen mit ihren Matrixschaltungen, liefern zunächst die Farbdifferenzsignale (R-Y), (G-Y), (B-Y). Um für die Aussteuerung der Bildröhre die Werte R, G, B zu erhalten, gibt es zwei Möglichkeiten.

Man führt je eins der Differenzsignale je einem der drei Wehneltzylinder zu und steuert gleichzeitig die Katode mit dem Y-Signal (Bild 20). Da der Elektronenstrom abhängig von der Potential-Differenz zwischen Steuergitter- und Katodenspannung ist,

$$I_a = f(U_g - U_k)$$

muß die Katode mit -Y angesteuert werden. Dann ist z. B. beim Strahlensystem für Rot

$$U_g - U_k = (R - Y) - (-Y) = R.$$

3.4 Aussteuerung der Bildröhre (Fortsetzung)

Die andere Möglichkeit besteht darin, in der Matrixschaltung bereits Y zuzusetzen und dort R, G, B zu erzeugen. In diesem Fall muß man aber darauf achten, daß diese Matrixschaltungen auch die höchsten Frequenzen des Helligkeitssignals verarbeiten können. Bei dem zuerst genannten Verfahren – Bildung von R, G, B direkt in der Bildröhre – brauchen die Matrixschaltungen nur für eine Bandbreite von etwa 1 MHz ausgelegt zu sein.

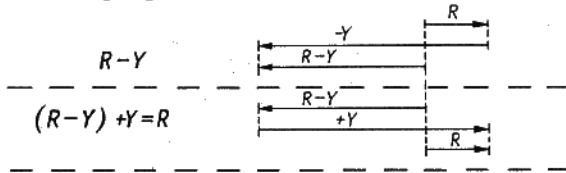
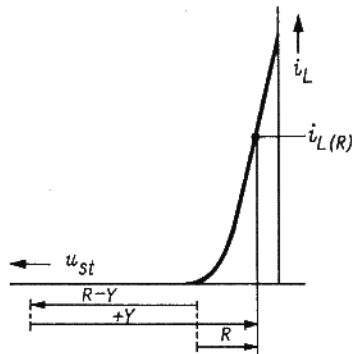


Bild 20. Aussteuerung der Bildröhre mit dem Differenzsignal am Wehneltzylinder und dem Y-Signal an der Katode.

Obere Zeile: Bildung des Differenzsignals, mittlere Zeile: Rückbildung des Farbsignals, beispielsweise R, durch Addition von Y, untere Zeile: Aussteuerung eines Elektroden Systems der Farbbildröhre, z. B. System für Rot (R), $i_L =$ Strahlstrom, $i_L(R) =$ Strahlstrom für R, $u_{st} =$ Steuerspannung.



Da eine Potentialerhöhung am Steuergitter (Wehneltzylinder) eine Stromerhöhung verursacht, während eine Potentialerhöhung an der Katode das Gegenteil bewirkt, muß der Katode nicht +Y, sondern -Y zugeführt werden

3.5 Der Referenz-Oszillator

In Abschnitt 3.3 wurde gezeigt, daß zur Farbdemodulation zwei oder drei Oszillatorspannungen erforderlich sind. Ihre Frequenz und Phase müssen mit denen des Farbträgers im Sender genau übereinstimmen. Ihre einmal durch die Empfängerschaltung festgelegte Phasenlage gegenüber einer Bezugsphase muß exakt eingehalten werden. Denn jede Abweichung bedeutet im Bild Fehler in der Farbart.

In FtA Fs 11 ist ausführlich gezeigt, daß durch die Phasenlage des Chrominanzsignals die Farbart gekennzeichnet wird. Daher sind folgende Bauteile im Empfänger notwendig:

- ein sehr stabiler (quarz-stabilisierter) Oszillator der Farbträgerfrequenz,
- phasendrehende Schaltmittel, um aus der einen Oszillatorspannung zwei oder drei Spannungen mit zueinander festgelegten Phasendifferenzen erzeugen zu können,
- eine Nachstimmerschaltung, die durch Phasenvergleich zwischen Referenz-Oszillator und dem Farbsynchronsignal bei Phasenabweichungen eine Regelspannung erzeugt und mit ihr den Referenz-Oszillator auf den Sollwert nachstellt,
- ein Handeinstellknopf (Farbton-Einstellknopf), um statische Fehler auszugleichen,
- eine Verstärkerschaltung, die das Farbsynchronsignal aus dem Videosignal aussiebt, heraufastet und hinreichend verstärkt.

3.6 Verstärkung und Austastung des Farbsynchronsignals (burst)

Das Burst- oder Farbsynchronsignal besteht aus wenigen Schwingungen der Farbhilfsträgerfrequenz (siehe auch FtA Fs 11, Bild 9). Dieses Signal wird innerhalb der hinteren Schwarzscher des Zeilensynchronsignals gesendet.

Im Empfänger sind also zwei Vorgänge notwendig: eine genügende Verstärkung des Farbsynchronsignals, damit es mit der erforderlichen Spannung für die Phasenvergleichschaltung zur Verfügung steht, eine Austastung des Farbsynchronsignals aus dem Chrominanzsignal.

Eine frequenz-selektive Auskopplung des Farbsynchronsignals ist unmöglich, da es die gleiche Frequenz wie der Farbhilfsträger hat, der mit seinen Seitenbändern die Farb-

information übermittelt. Die beiden frequenzgleichen Spannungen müssen also in anderer Weise voneinander getrennt werden. Das geschieht dadurch, daß der Farbsynchronverstärker durch ein Austastsignal nur während des Zeilenrücklaufes geöffnet ist (Bild 21). In jedem Fall muß dieser Verstärker nach Ablauf des vollständigen Zeilenaustastimpulses gesperrt sein. Auf diese Weise kann der Farbhilfsträger mit seiner je nach Farbart unterschiedlichen Phasenlage den exakten Synchronisationsvorgang des Referenz-Oszillators nicht störend beeinflussen. Die für das Öffnen und Schließen des Farbsynchronverstärkers notwendige Schaltspannung kann dem Ausgangstransformator der Zeilen-Endstufe entnommen werden.

3.7 Sperren des Chrominanz-Verstärkers (color-killer)

Wird ein Schwarzweiß-Bild gesendet und von einem Farbempfänger aufgezeichnet, ist es notwendig, den Chrominanzverstärker abzuschalten. Man muß vermeiden, daß Störspannungen über den Farbkanal auf die Bildröhre kommen. Diese können durch Rauschen, aber auch durch Komponenten des Helligkeitssignals, die in das Chrominanzband fallen, bedingt sein. Sie erzeugen auf dem Bildschirm im Schwarzweiß-Bild farbige Störungen. Da das Farbbild stets vom Farbsynchronsignal begleitet ist, dieses jedoch beim Schwarzweiß-Bild fehlt, könnte man das Farbsynchronsignal direkt als Indikator für das An- bzw. Abschalten des Chrominanzteils benutzen.

Man möchte aber den Chrominanzteil auch dann totlegen, wenn zwar ein Farbbild gesendet, das Farbsynchronsignal also vorhanden ist, aber seine Spannung nicht ausreicht; um den Referenzträger-Oszillator einwandfrei zu synchronisieren. Denn in solchem Fall ändert sich dauernd die Phasenbeziehung zwischen dem Farbsynchronsignal und der Oszillatorfrequenz. Da aber – wie eingehend besprochen – durch die Phase des Farbträgers bzw. des im Empfänger wieder

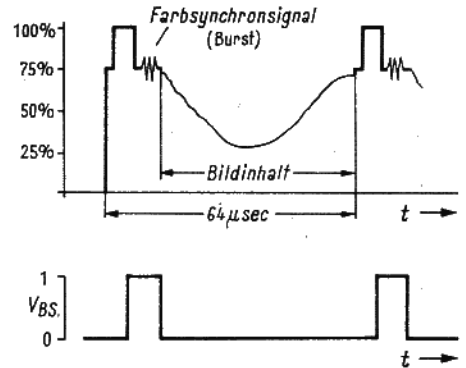


Bild 21. Austastung des Farbsynchronsignals, $V_{BS} =$ Verstärkung für das Burst-Signal

zugeetzten Referenzträgers die Farbart bestimmt wird, ändert sich in solchem Fall dauernd die Farbtönung des Bildes. Aus diesem Grund erzeugt man die Spannung, die notwendig ist, um den Chrominanz-Verstärker abzuschalten, nicht direkt aus dem Farbsynchronsignal, sondern aus der Phasenbeziehung zwischen Referenzträger und Farbsynchronsignal. Man führt beide Spannungen einer Phasenbrücke zu.

Besteht zwischen beiden Spannungen eine feste Phasenbeziehung, so kann am Ausgang der Brücke eine Gleichspannung abgenommen, verstärkt und zum Offenhalten des Chrominanz-Verstärkers benutzt werden. Bei fehlender Synchronisierung, also ständig wechselnder Phasenbeziehung zwischen Burst und Referenzträger, entsteht nur eine Wechselspannung, die abgesiebt wird, aber keine Gleichspannung. In diesem Fall wird der Chrominanz-Verstärker gesperrt.

4 Gamma-Entzerrung

4.1 Aufgabe der Gamma-Entzerrung

Von jedem Übertragungssystem wird zunächst verlangt, daß die Amplitudenbeziehung zwischen Eingangs- und Ausgangssignal linear ist, d. h. zum Beispiel eine Verdopplung des Eingangssignals an einem Mikrophon im Studio muß eine Verdopplung der Lautstärke am Lautsprecher des Empfängers ergeben.

Bei einem Fernsehempfänger stößt die Erfüllung dieser Bedingung zunächst bei der Fernsehbildröhre, in gewissem

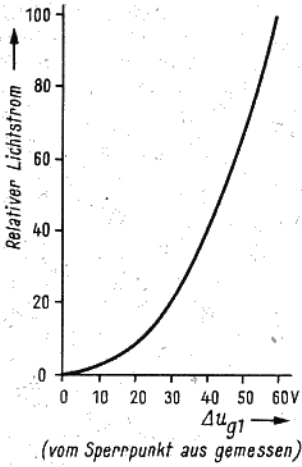


Bild 22. Bildröhrenkennlinie: abgestrahlter Lichtstrom als Funktion der Steuerspannung (nach [1] auf Blatt FS 13/2a)

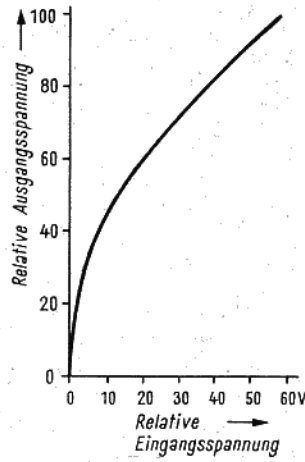


Bild 23. Kennlinie des γ -Korrektors, für $\gamma = 2,2$ (nach [1])

Umfang auch bei der Fernsehaufnahmeröhre, auf Schwierigkeiten. Bei der Bildröhre ist nämlich die Kurve: $i_L = f(\Delta u_{g1})$ (ausgestrahlter Lichtstrom über Steuerspannung) keine Gerade (Bild 22). Die erwähnte Linearitätsforderung wird also – ohne besondere Maßnahmen – nicht erfüllt. Die Gamma-Entzerrung hat demnach die Aufgabe solche Nichtlinearitäten im Zuge des gesamten Übertragungsweges zu kompensieren.

4.2 Die Charakteristik der Wiedergabe-Bildröhre

Für eine Mittelwerts-Bildröhre ist die Beziehung zwischen Lichtstrom und Steuerspannung zu ermitteln und durch eine möglichst einfache Formel darzustellen. Ausgehend von der Anodenstrom / Gitterspannungs- Beziehung, gültig für den Raumladungsbetrieb von Elektronenröhren ($u^{3/2}$ -Gesetz), hat man bei Bildröhren die Gleichung:

$$b = k (\Delta u_g)^\gamma \text{ aufgestellt.}$$

Darin ist:

- b = Helligkeit, ausgedrückt in Lichtstrom,
- k = Proportionalitäts-Konstante,
- Δu_g = Spannungsdifferenz zwischen einem betrachteten Kennlinienpunkt und dem Sperrpunkt der Bildröhren-Kennlinie,
- γ = Kennlinien-Exponent.

Gewöhnlich stellt man die Gleichung nicht für den Lichtstrom, sondern für den Elektronenstrom der Bildröhre auf. Im letzteren Fall darf man aber dafür nicht den Katodenstrom einsetzen, sondern man muß den Strahlstrom zu Grunde legen, denn nur ein Teil des Katodenstroms geht zum Leuchtschirm.

Für γ wird im NTSC-System der Wert 2,2 eingesetzt, d. h. die Form einer solchen Kennlinie liegt zwischen der einer quadratischen Parabel ($y = x^2$) und der einer kubischen Parabel ($y = x^3$).

4.3 Die Einschaltung des Gamma-Korrektors

Im Prinzip ist es gleichgültig, an welcher Stelle der Übertragungskette (Aufnahmekamera – Wiedergabe-Bildröhre) eine Amplitudenkorrektur vorgenommen wird. Man könnte eine solche Korrekturschaltung in der Nähe der Bildröhre, also im Empfänger, anbringen, um auf diese Weise die Kompensation exakt für die eingebaute Bildröhre vornehmen zu können. Aus wichtigen Gründen verlegt man aber die γ -Korrektorschaltung in die Aufnahmekamera.

Hat die Bildröhre eine Kennlinie mit einem γ von 2,2, so muß die Korrekturschaltung ein γ von 1/2,2 haben (Bild 23), um für den gesamten Übertragungsweg auf den verlangten γ -Wert von 1 zu kommen.

Bei der Bildröhre werden also die dunklen Graustufen komprimiert und die hellen Lichter betont, und umgekehrt werden im Korrektor die hellen Stufen komprimiert. Dadurch entsteht aber eine – sehr erwünschte – Unterdrückung von Rauschstörungen. Denn kleine Helligkeitsschwankungen, wie sie durch Rauschspannungen erzeugt werden, machen sich

subjektiv viel stärker für das menschliche Auge in dunklen Bildstellen als in hellen bemerkbar. Das Auge ist für relative gleiche Intensitätsschwankungen angenähert gleich empfindlich.

Für die dunklen Bildstellen ist aber die Verstärkerempfindlichkeit wegen der geringen Steilheit der Bildröhrenkennlinie im unteren Kennlinienteil sehr viel kleiner. Das bedeutet eben eine Unterdrückung der bei diesen Helligkeitswerten besonders gut sichtbaren Rauschstörungen. Eine Parallele dazu bildet das Verfahren der Preemphasis und Deemphasis bei UKW-FM-Übertragungen, siehe FtA GI 22/1a.

Aus diesen genannten Gründen wird die γ -Korrektur in jedem der drei Kamera-Aufnahmekanäle durchgeführt. Zur Kennzeichnung, daß eine γ -Korrektur vorgenommen ist, werden die Signalspannungen durch gekennzeichnet, also R', G', B' .

In FtA Fs 11, wie auch im vorliegenden Arbeitsblatt, ist diese Tatsache und die Kennzeichnung unberücksichtigt geblieben, da die γ -Entzerrung für das Prinzip der Fernsehübertragung nicht von primärer Bedeutung ist.

4.4 Einfluß mangelnder Gamma-Entzerrung auf die Farbart

Daß eine ungenügende γ -Entzerrung nicht nur Gradationsverzerrungen, sondern auch Farbartverschiebungen bringt, zeigt anschaulich Bild 24. In Bild 24a ist die ideale Übertragung dargestellt, absolut linearer Zusammenhang zwischen

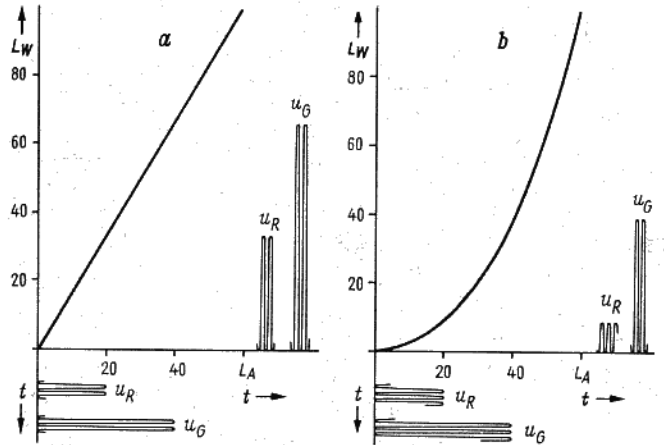


Bild 24. Lineare Übertragung von der Aufnahmekamera bis zur Bildröhre (a), das Spannungsverhältnis zwischen dem roten Signal u_R und dem grünen u_G von 1:2 bleibt erhalten; keine Farbartänderung; b = nichtlineare Übertragung infolge einer gekrümmten Bildröhrenkennlinie. Das Verhältnis $u_R : u_G$ erscheint am Ausgang mit 1:4, das bedeutet eine Farbartänderung

dem Lichtstrom, der auf die Aufnahmekamera trifft (L_A), und dem Lichtstrom der Wiedergabe-Bildröhre (L_W). Das Verhältnis der roten und grünen Farbkomponenten zueinander bleibt ungeändert.

In Bild 24b ist die γ -Entzerrung ausgeschaltet. Man sieht, daß sich das Verhältnis der beiden Farbkomponenten zueinander – zugunsten der grünen – stark verschiebt.

Anhang

Ermittlung von A_3 und α für die Summenspannung u_3 (Abschnitt 3.3.2 auf Blatt 2a)

$$u_1 + u_2 = u_3$$

$$A_1 \cdot \sin \omega_H t + A_2 \cdot \sin (\omega_H t + \varphi) = A_3 \cdot \sin (\omega_H t + \alpha)$$

Nach FtA Mth 21/1 folgt:

$$\begin{aligned} A_1 \cdot \sin \omega_H t + [A_2 \sin \omega_H t \cdot \cos \varphi + A_2 \cos \omega_H t \cdot \sin \varphi] &= [A_3 \sin \omega_H t \cdot \cos \alpha + A_3 \cos \omega_H t \cdot \sin \alpha] \\ [A_1 + A_2 \cdot \cos \varphi] \cdot \sin \omega_H t + [A_2 \cdot \sin \varphi] \cdot \cos \omega_H t &= [A_3 \cos \alpha] \cdot \sin \omega_H t + [A_3 \sin \alpha] \cos \omega_H t \end{aligned}$$

Durch Koeffizientenvergleich ergibt sich:

$$A_1 + A_2 \cos \varphi = A_3 \cos \alpha \tag{a}$$

$$A_2 \sin \varphi = A_3 \sin \alpha \tag{b}$$

Durch Division von (a) und (b): $\frac{A_1 + A_2 \cos \varphi}{A_2 \cdot \sin \varphi} = \cotg \alpha$

für $\varphi = 90^\circ$: $\text{arc cotg } \alpha = A_1/A_2$

Durch Quadrieren von (a) und (b) und Summieren:

$$[A_1 + A_2 \cos \varphi]^2 + [A_2 \sin \varphi]^2 = A_3^2$$

ergibt sich für $\varphi = 90^\circ$ der Wert $A_3 = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}$