

Farbfernseh-Übertragung

(Senderseite, Prinzip)

Fs 11

3 Blätter

1 Unterschied zur Schwarzweiß-Fernsehübertragung

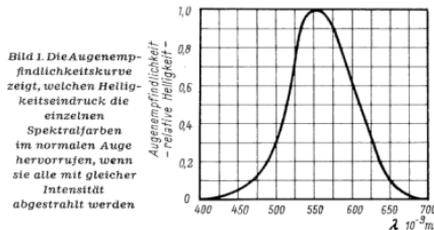
Beim Schwarzweiß-Fernsehen genügt die punktweise Übertragung der Helligkeit. Beim Farbbild dagegen müssen zusätzlich Farbart und Farbsättigung übermittelt werden, denn ein Farbeindruck wird durch Helligkeit, Farbart und Farbsättigung charakterisiert.

2 Die Kompatibilitätsbedingung

Für das Übertragungsverfahren gilt nicht nur die Forderung, diese drei Merkmale: Helligkeit, Farbart und -sättigung zu übertragen. Hinzu kommt die Kompatibilitätsbedingung. Sie besagt: Das Übertragungsverfahren muß so gestaltet sein, daß erstens

ein üblicher Schwarzweiß-Empfänger eine Farbfernsehensendung empfangen und daraus ein einwandfreies Schwarzweiß-Bild aufzeichnen kann und daß zweitens

ein Farbfernsehempfänger auch eine normale Schwarzweiß-Sendung mit guter Qualität wiedergeben soll.



Aus der ersten Teilbedingung entsteht zunächst die Aufgabe bei der Aufnahme eines Farbbildes durch die drei Farbaufnehmeröhren ein Helligkeitssignal, also das Schwarzweiß-Signal, zu erzeugen. Das Verfahren, dieses Helligkeitssignal zu gewinnen, fußt auf folgenden Tatsachen:

2.1 Die Augenempfindlichkeit

Strahlt man die verschiedenen Spektralfarben mit gleicher Energie ab, dann sind die Helligkeitseindrücke, die das menschliche Auge empfindet, je nach Farbart unterschiedlich.

Bild 1 zeigt die Augenempfindlichkeitskurve einer Durchschnittsperson. Es stellt also dar, wie die Helligkeit der verschiedenen Spektralfarben empfunden wird, wenn sie alle mit gleicher Energie abgestrahlt werden. Diese Kurve gilt für das an einen hellen Raum adaptierte Auge.

2.2 Die Farbzerlegung

Aus der Farbenlehre (s. a. FTA Fs 12) ergibt sich, daß man fast jede beliebige Farbe durch Mischen des Lichtes von drei Grundfarben, bei entsprechender Wahl der Intensitäten dieser drei Grund- oder Primärfarben, erzeugen und umgekehrt sie in diese zerlegen kann.

Für das Farbfernsehen hat man dafür folgende drei Spektralfarben festgelegt:

Farbe	rot	grün	blau
Lichtwellenlänge	615	532	470
	$m\mu (10^{-9} m)$		

Demzufolge wird das aufzunehmende Bild mit drei Aufnehmeröhren abgetastet. Vor jede ist ein Farbfilter geschaltet, um auf diese Weise mit der einen Kamera nur die roten Farbkomponenten, mit der zweiten nur die grünen und mit der dritten schließlich nur die blauen Komponenten aufnehmen zu können.

2.3 Das Einpegeln der drei Aufnahme Kanäle

Die drei Kanäle werden so eingepgelt, daß dann, wenn eine weiße Fläche abgetastet wird, die drei Kanalausgangsspannungen U_R , U_G , U_B (der Einfachheit halber schreibt man R , G , B) einander gleich sind. Die drei Farbsignale R , G , B haben also gleiche Maximalwerte. Es ist selbstverständlich, daß auf der Wiedergabeseite durch entsprechende Augenkorrektur die für die drei Primärfarben unterschiedliche Augenempfindlichkeit berücksichtigt werden muß.

2.4 Die Gewinnung des Helligkeitssignals

Das Helligkeitssignal – auch Luminanzsignal genannt – wird nicht durch einfache Addition der drei Farbsignale R , G , B erzeugt. Man muß, wie es Bild 1 zeigt, berücksichtigen, daß das Auge mit gleicher Intensität abgestrahlte Farben mit unterschiedlicher Empfindlichkeit wahrnimmt. Man addiert deshalb die drei Farbsignale, nachdem man sie vorher mit unterschiedlichen Faktoren multipliziert hat. Diese Faktoren werden nach dem relativen Anteil der einzelnen Primärfarben an der Helligkeit bestimmt. Aus dem Farbdreieck s. FTA Fs 12 ergeben sie sich wie folgt:

Farbsignal	R	G	B
Faktor	0,30	0,59	0,11

Somit gilt für das Helligkeitssignal Y (statt U_Y):

$$Y = 0,30 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B \quad (1)$$

Die Schwächung und Zusammensetzung der drei Spannungserfolge in einer Matrix-Schaltung, deren prinzipieller Aufbau in Bild 2 gezeigt ist.

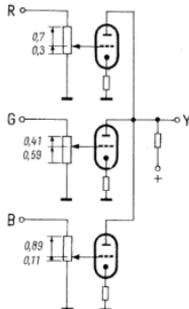


Bild 2. Erzeugung des Helligkeitssignals Y aus den Spannungen R , G und B der drei Farbkäme

Literatur

Mellin, Knox und Dean, Charles E.: Principles of Color Television. John Wiley & Sons, Inc., New York.
 Holm, W. A.: Farbfernsehtechnik ohne Mathematik. Philips Technische Bibliothek.
 Practical Color Television for the service industry. RCA Service Company, Inc. Camden, N. J.
 Boume, Dr. P. J.: Farbe und Farbwahrnehmung. Philips Technische Bibliothek.
 Carni, P. S. und Townsend, G. B.: Color Television, The N.T.S.C. System. Principles and Practice. Hiffe Books Ltd., London.

3 Frequenzverteilung, Bandverschachtelung (frequency interleave)

Dieses Y-Signal muß, eben aus den erwähnten Kompatibilitätsbedingungen, in der gleichen Weise übertragen werden, wie das nach Bild 3 vom Schwarzweiß-Fernsehen her bekannt ist (s. a. FA F5 01). Nun ergibt sich die Aufgabe, in welcher

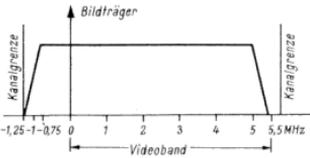


Bild 3. Amplitudencharakteristik des Bildsenders für Kanaltabstand 7 MHz, bei einem Abstand von 5,5 MHz zwischen Bild- und Tonträger

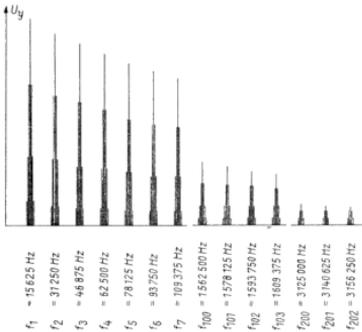


Bild 4. Die Lage der Seitenbandfrequenzen des Helligkeitssignals im Video-Band (dargestellt sind nur drei Frequenzabschnitte)

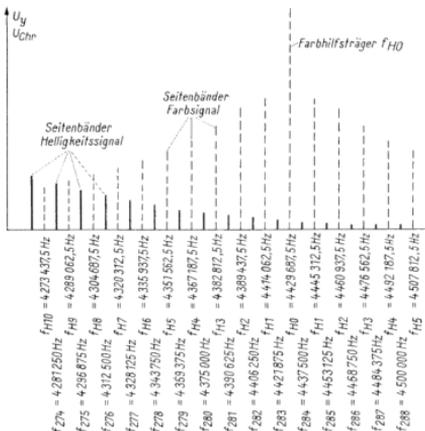


Bild 5. Die Frequenzverschachtelung des Helligkeitssignals und des Farbsignals. (Es ist nur der Frequenzabschnitt in der Nähe des Farbhilfsträgers gezeigt. Die im Abstand 25 Hz, 50 Hz usw. von den Harmonischen der Zeilenfrequenz liegenden Frequenzen [siehe Bild 4] sind hier weggelassen)

Weise die übrigen Merkmale: Farbart und -sättigung übertragen werden können. Hier hilft die Theorie von Mertz und Gray weiter. Sie besagt: Durch das Helligkeitssignal ist das gesamte Videoband nicht in allen Frequenzen, sondern nur in diskreten Teilbereichen besetzt. Bild 4 zeigt, in welcher Weise die Frequenzen des Videobandes durch das Helligkeitssignal in Anspruch genommen werden. Es besteht nämlich aus Harmonischen der Zeilenfrequenzen, um die sich, gleichsam als Seitenbänder, Frequenzen im Abstand von 25 Hz, 50 Hz, 75 Hz usw. gruppieren, z. B.

$$1 \times 15\,825\text{ Hz} = 15\,825\text{ Hz}$$

mit den Seitenbandfrequenzen 25 Hz, 50 Hz, 75 Hz, 100 Hz usw.

$$2 \times 15\,825\text{ Hz} = 31\,250\text{ Hz}$$

mit den Seitenbandfrequenzen 25 Hz, 50 Hz, 75 Hz, 100 Hz usw.

Es bleiben also merkliche Teile des Frequenzbandes unbenutzt. In diese Zonen wird das Chrominanz-Signal, das die Information über Farbart und -sättigung enthält, eingeschaltet. Das geschieht in folgender Weise:

Das Chrominanzsignal wird einem Hilfsträger, dem Farbhilfsträger aufmoduliert. Seine Frequenz wird so gewählt, daß sie genau in der Mitte zwischen zwei Harmonischen der Zeilenfrequenz liegt. Für die europäische Norm wird für die Frequenz f_{H0} dieses Farbhilfsträgers vorgeschlagen

$$f_{H0} = 4\,429\,687,5\text{ Hz}$$

$$= 567 \times \text{halbe Zeilenfrequenz}$$

$$f_{H0} = 567 \times 7812,5\text{ Hz}$$

d. h. der Farbhilfsträger liegt also zwischen der 283. und 284. Harmonischen der Zeilenfrequenz (Bild 5). — In den USA wird dafür die Frequenz von 3,58 MHz benutzt.

Der Farbhilfsträger liegt also im oberen Teil des Videobandes. Bild 5 läßt die Verschachtelung der beiden Signale:

$$\begin{aligned} \text{Helligkeitssignal} &= \text{Luminanzsignal und} \\ \text{Farbsignal} &= \text{Chrominanzsignal} \end{aligned}$$

erkennen.

Nun ist zu untersuchen, ob ein solches Y-Signal, in dessen spektrale Lücken die Chrominanz-Information eingeschaltet ist, trotzdem ein sauberes Schwarzweiß-Bild liefert. Das ist aus folgendem Grund der Fall.

Betrachtet man ein stehendes Bild, so muß zum Zeitpunkt t_0 und $t_0 + 1/25$ sec (d. h. nach Durchlauf eines vollen Fernsehbildes) das Y-Signal genau den gleichen Wert haben. Das bedeutet, daß die Frequenzen von Y durch 25 teilbar sein müssen, damit jede der vielen in Y enthaltenen Frequenzen zum Zeitpunkt $t_0 + 1/25$ sec die gleiche Phasenlage wie zum Zeitpunkt t_0 hat. In Bild 6a auf Blatt 2 ist dies für die Frequenz 31 250 gezeigt. Auf ein volles Fernsehbild entfallen 1250 Schwingungen, das zweite Fernsehbild wird also mit der gleichen Phasenlage begonnen wie das erste (31 250 Hz : 25 Bilder/sec = 1250 Schwingungen/Bild).

Dagegen sind die Frequenzen des Chrominanzsignals nicht durch 25 teilbar. Beispiel: $4\,398\,437,5 : 25 = 175\,937,5$.

In die Zeitdauer von $1/25$ sec fallen also von dieser Frequenz 175 937 volle Schwingungen und eine halbe. Demzufolge beginnt diese Frequenz für Fernsehbild 2 in einer zu Fernsehbild 1 entgegengesetzten Phasenlage.

Wie Bild 6b zeigt, haben also die Schwingungen dieser Frequenz in Fernsehbild 2 die entgegengesetzte Phasenlage zu der von Fernsehbild 1. Da das menschliche Auge zu träge ist, um Vorgänge, die sich im Abstand von $1/25$ sec abspielen, exakt aufnehmen zu können, löschen sich gewissermaßen die durch das Chrominanzsignal erzeugten Helligkeitswerte von Bild zu Bild gegenseitig aus. Eine Beeinträchtigung des Helligkeitssignals durch das eingeschaltete Farbsignal ist demnach nicht zu befürchten.

Bemerket sie noch, daß der Farbhilfsträger in üblicher Weise unterdrückt wird, nicht nur um Sendenergie einzusparen, sondern auch um die Kompatibilitätsforderung gut erfüllen zu können.

4 Doppelmodulation des Farbhilfsträgers

Das Chrominanzsignal enthält zwei Informationen, **Farbart- und Farbsättigung**. Es muß also nach einem Weg gesucht werden, beide Farbkomponenten dem Farbhilfsträger gleichzeitig aufzomodulieren, ohne daß sie sich gegenseitig stören.

Man hat dies mit dem sogenannten Verfahren der **Quadrat-Modulation** bewerkstelligt. In einem Quarz-stabilisierten Oszillator wird die Hilfstägerfrequenz von 4 429 687,5 Hz erzeugt. Ein Teil dieser Spannung wird um genau 90° in der Phase gedreht. So stehen also zwei Farbhilfsträger zur Verfügung, beide von gleicher Frequenz, aber um 90° gegeneinander verschoben.

gesetzt. Die Ausgangsspannung der grünen und blauen Kamera ist Null. Für diesen Fall nimmt das Y-Signal (1) den Wert 0,30 an, denn:

$$\text{im allgemeinen Fall: } Y = 0,30 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B$$

für rotes Signal ($R = 1, G = 0, B = 0$):

$$Y = 0,30 \cdot R + 0,59 \cdot 0 + 0,11 \cdot 0 = 0,30 \quad (2)$$

Man erhält ferner für die beiden Farbdifferenzsignale

$$R - Y = 1 - 0,3 = + 0,7 \quad (3)$$

$$\text{und } B - Y = 0 - 0,3 = - 0,3 \quad (4)$$

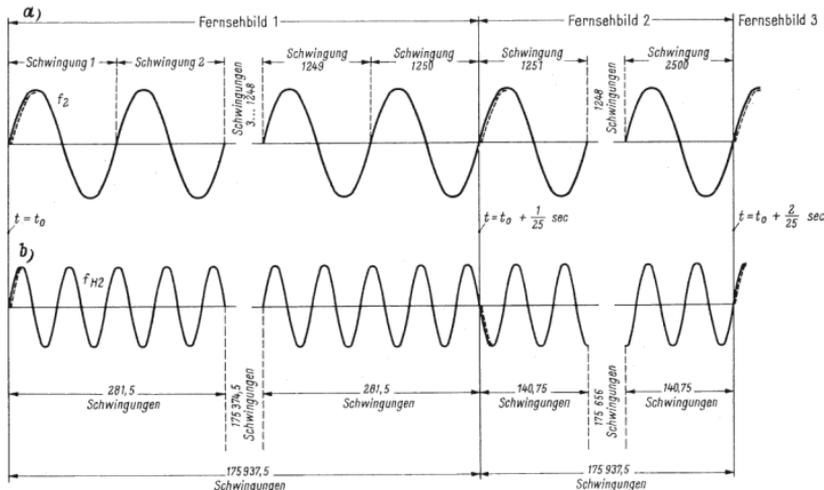


Bild 6a. Die Phasenlage einer Seitenbandfrequenz (f_2) des Helligkeitssignals in aufeinanderfolgenden Fernsehbildern, wenn das abgetastete Fernsehbild sich nicht ändert. Die dick gezeichneten Kurvenäste sollen darauf hinweisen, daß die Schwingung in jedem Teilbild mit gleicher Phasenlage beginnt

Beide Hilfstäger werden nun mit je einer Information amplitudenmoduliert, gleichzeitig wird jeweils der Träger unterdrückt. Dieses Verfahren ist sehr ausführlich in FtA Mo 21/1a beschrieben. Insbesondere ist dort gezeigt, daß an der Stelle des Nulldurchgangs der Modulationsspannung ein 180°-Phasensprung der Trägerfrequenzspannung eintritt. Somit ergibt sich das in Bild 7 dargestellte Frequenzzeigerdiagramm für die beiden Hilfstäger. Beide Hilfstägerspannungen werden nun addiert. Das Ergebnis ist eine phasen- und amplitudenmodulierte Schwingung. Die Tabelle unter Bild 7 zeigt die Lage dieser Summenspannung im Zeigerdiagramm. Sie kann je nach Phasenlage der beiden Modulationsspannungen a und b jede Phasenlage zwischen 0 und 360° einnehmen. Die Amplitude der Summenspannung ergibt sich, wie Bild 7 zeigt, aus der vektoriellen Addition der beiden modulierten Hilfstägerspannungen.

Als Modulationsspannungen benützt man die sogenannten Farbdifferenzsignale $R - Y$ und $B - Y$. Man gewinnt sie in folgender Weise:

Zunächst wird in einer Verstärkerstufe die Phasenlage des Luminanzsignals Y um 180° gedreht, also $-Y$ erzeugt. Dazu wird in einem Fall R (Ausgangsspannung des roten Farbkanales), im anderen B (Ausgangsspannung des blauen Kanals) addiert, also $B - Y$ und $R - Y$ gebildet. Phase und Amplitude dieses Summenvektors haben folgende Bedeutung:

Die Phase gibt Auskunft über die **Farbart**. Das läßt sich, ohne auf die exakten Werte einzugehen, wie folgt zeigen:

Betrachtet man ein **rotes Signal**, dann liefert die rote Aufnahmekamera die volle Signalspannung, dabei wird R gleich 1

Bild 6b. Die Phasenlage einer Seitenbandfrequenz des Farbsignals (f_{H2} ; unteres Seitenband) in aufeinanderfolgenden Fernsehbildern, bei ungeändertem Fernsehbild. Die dick gezeichneten Kurvenäste machen die von Bild zu Bild umgekehrte Phasenlage deutlich. Der Anschaulichkeit halber sind nur einige Schwingungszüge gezeichnet

Für ein grünes Signal gilt entsprechend

$$G = 1 \quad Y = 0,30 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B = 0,59 \quad (5)$$

Die beiden Farbdifferenzsignale betragen

$$R - Y = 0 - 0,59 = - 0,59 \quad (6)$$

$$B - Y = 0 - 0,59 = - 0,59 \quad (7)$$

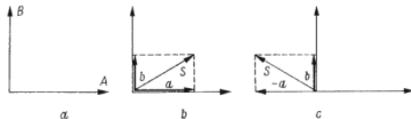


Bild 7. Quadratmodulation mit unterdrücktem Träger
a Lage der beiden Hilfstäger zueinander
b Bildung des Summensignals, wenn beide Hilfstäger ein positives Modulationssignal erhalten,
c Summensignal wenn Hilfstäger B ein positives, und Hilfstäger A ein negatives Modulationssignal erhält
 Lage der Summenspannung S in den vier Quadranten in Abhängigkeit von der Phasenlage der beiden Modulationssignale

Modulationsspannung		Summenspannung S
a	b	liegt in Quadrant
positiv	positiv	I
positiv	negativ	II
negativ	negativ	III
negativ	positiv	IV

Und für ein blaues Signal:

$$B = 1$$

$$Y = 0,30 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B = 0,11 \quad (8)$$

$$R - Y = 0 - 0,11 = -0,11 \quad (9)$$

$$B - Y = 1 - 0,11 = 0,89 \quad (10)$$

Trägt man diese Farbdifferenzsignale als Modulationsspannungen in das Zeigerdiagramm (Bild 8) ein, so liegt der Zeiger für die Summenspannung

für das rote Signal im 2. Quadranten¹⁾

nach Gleichung

$$x\text{-Koordinate } (B - Y) = 0,3; \quad (4)$$

$$y\text{-Koordinate } (R - Y) = 0,7; \quad (3)$$

für das grüne Signal im 3. Quadranten

$$x\text{-Koordinate } (B - Y) = 0,59; \quad (7)$$

$$y\text{-Koordinate } (R - Y) = 0,59; \quad (6)$$

für das blaue Signal im 4. Quadranten

$$x\text{-Koordinate } (B - Y) = 0,89; \quad (10)$$

$$y\text{-Koordinate } (R - Y) = 0,11; \quad (9)$$

Die Phasenlage der Summenspannung aus diesen beiden Farbdifferenzsignalen gibt also die Farbart an.

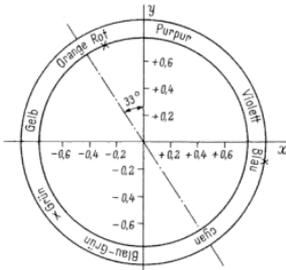


Bild 8. Die Phasenlage der Summenspannung in Abhängigkeit von der Farbart (gesättigte Farben). Die für Rot, Grün, Blau in Abschnitt 4 errechneten Punkte sind durch \times gekennzeichnet

Die Amplitude der Summenspannung dagegen bezeichnet die Farbsättigung. Auch dies ist schnell zu sehen. Der Begriff gesättigte Farbe bedeutet, daß es sich um eine reine Spektralfarbe handelt. Bei Übergang in den ungesättigten Zustand wird die Farbe mit weiß gemischt, sie wird blasser. Zum Beispiel wird aus rot dann rosa. In diesem Fall wird also Y nicht nur durch die R -Komponente wie in Gleichung 2 dargestellt, sondern es tritt noch eine G - und B -Komponente hinzu. Dann wird aber der Wert $R - Y$ kleiner und dementsprechend nimmt auch die Länge des Vektors der Summenspannung ab.

5 Farbsynchronsignal (Burst)

In Abschnitt 4 wurde gezeigt, daß der Farbhilfsträger nicht mit übertragen, sondern unterdrückt wird. Deshalb ist es notwendig, diesen Farbhilfsträger im Empfänger wieder zuzusetzen. Das geschieht durch Einbau eines Hilfsoszillators.

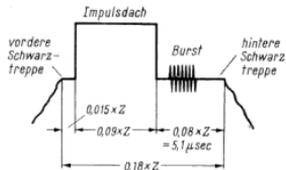


Bild 9. Lage des Farbsynchronsignals (Burst) innerhalb des Zeilenimpulses

¹⁾ Die hier verwendeten x - und y -Koordinaten beziehen sich nur auf die Darstellung in Bild 8. Sie haben nichts mit den Koordinaten x, y einer Farbart im Farbdreieck zu tun.

Gleichzeitig muß aber dieser Hilfsoszillator so synchronisiert werden, daß er nicht nur auf der gleichen Frequenz, sondern auch mit der gleichen Phasenlage wie der Farbhilfsträger schwingt, denn dessen Phasenlage gibt den Bezugspunkt für die die Farbart charakterisierende Phase an. Bereits kleine Phasenunterschiede zwischen Farbhilfsträger und Hilfsoszillator ergeben große Farbverfälschungen.

Zur Synchronisierung dieses Hilfsoszillators wird in das vom Schwarzweiß-Fernsehen her bekannte Synchronsignal ein zusätzliches Farbsynchronsignal (Burst) einblendend. Dieses Synchronsignal besteht aus mindestens acht Schwingungen der Hilfsträgerfrequenz (Bild 9). Es wird während der hinteren Schwarzscherle gesendet. Seine Amplitude wird so klein gehalten, daß der durch den Synchronimpuls gegebene Pegel nicht erreicht wird, denn andernfalls würde die Synchronisation gestört. Auf jeden Fall werden aber im Empfänger vor das Abtrenngitter geeignete Siebmittel zur Fernhaltung der Farbhilfsträgerfrequenz von rund 4,4 MHz gelegt.

Mit diesem kurzen, in jeder Zeile wiederholten Impuls wird im Empfänger durch eine Phasenvergleichsschaltung der Farbhilfsoszillator synchronisiert.

6 Das I- und Q-Signal

Unter I - und Q -Signal versteht man die beiden mit den Farbdifferenzsignalen $[R - Y]$ und $[B - Y]$ modulierten und um 90° gegeneinander verschobenen Farbhilfsträger.

Das „ I “ soll andeuten: in Phase, also Phasenwinkel 0° gegen eine Bezugslage.

Das „ Q “ kommt von Quadratur-Modulation, also Phasenwinkel 90° gegen die gleiche Bezugslage.

Im Abschnitt 4 wurde bereits das prinzipielle Verfahren der Quadratur-Modulation besprochen und die Bedeutung von Phasenwinkel und Amplitude des Summenvektors aus I und Q erwähnt. Wichtig sind aber noch drei Punkte:

- 6.1 Reduzierung von $R - Y$ und $B - Y$, um Übermodulation zu vermeiden.
- 6.2 Die Seitenbandbegrenzung für das I - und Q -Signal.
- 6.3 Verdrehung des Achsenkreuzes der beiden Farbhilfsträger.

6.1 Reduzierung von $R - Y$ und $B - Y$

In FTA Fs 01/1a (Bild 3) ist angegeben, daß der HF-Träger durch das Videosignal in den Grenzen $10\% \dots 75\%$ ausgereicht werden darf. Beim Weißpegel darf die Trägeramplitude nicht kleiner als 10% ihres Maximalwertes sein, beim Schwarzwert darf sie nicht größer als 75% sein. Bezeichnet man die Modulationsamplitude, die den Sender genau zwischen diesen Grenzen aussteuert, mit 1, dann muß also beim Farbfernsehen überprüft werden, ob bei der Summierung des Y -Signals und der Chrominanzsignale dieser Wert 1 überschritten wird.

Auf den ersten Blick erscheint das überflüssig, denn eine Modulationsspannung kann immer so eingestellt werden, daß vorgegebene Modulationsgrenzen eingehalten werden. Hier hat diese Frage aber folgenden Sinn.

Mit Rücksicht auf Kompatibilität soll das Y -Signal den Sender in den genannten Grenzen voll durchsteuern, damit ein Schwarzweiß-Empfänger ein farbig gesendetes Bild mit gleicher Qualität wie ein übliches Schwarzweiß-Bild wiedergibt. Trotz dieser Bedingung soll nun aber bei der Addition von Helligkeits- und Farbsignal der Träger nicht oder nur unwesentlich übersteuert werden. Daß dies aber ohne besondere Gegenmaßnahme eintreten kann, zeigt folgendes Beispiel: Abgetastet werde ein grüner Farbpunkt. Dafür ergibt sich

$$Y = 0,59 \quad (5)$$

$$R - Y = -0,59 \quad (6)$$

$$B - Y = -0,59 \quad (7)$$

Aus den beiden modulierten Farbhilfsträgern wird das Summensignal in geometrischer Addition gebildet, da die beiden Träger um 90° gegeneinander phasenverschoben sind. Also:

$$\sqrt{(R - Y)^2 + (B - Y)^2} = 0,83 \quad (11)$$

(Wird auf Blatt 3 fortgesetzt.)

6.1 Reduzierung von R - Y und B - Y [Forts.]

Nun werden Y-Signal und Summensignal addiert (Bild 10). Dabei vergegenwärtigt man sich, daß das Y-Signal ein niederfrequentes Videosignal ist, während das Summensignal trägerfrequent (4,43 MHz) schwingt. Seine Amplitude ist für das betrachtete Beispiel durch die Gleichung 11 (Blatt 2a) gegeben.

Wird also die Modulationsstufe so eingestellt, daß für ein volles Luminanzsignal $Y = 1$ die Trägerfrequenz des Fernseh-Senders in den zugelassenen Grenzen ausgesteuert wird, dann tritt im Fall dieses Beispiels eine starke Übermodulation (42 %) auf. Für andere Farbarten kann die Übermodulation bis zu 80 % ansteigen.

Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, reduziert man (vor der Quadratur-Modulation) die Farbdifferenz-Signale. Diese Amplitudenverkleinerung muß natürlich im Empfänger wieder rückgängig gemacht werden. Bei der Ermittlung des erforderlichen Reduktionsfaktors für die beiden Spannungen geht man von folgenden Überlegungen aus.

Eine gewisse Übermodulation kann in Kauf genommen werden.

So hohe Übermodulationen, wie vorher angegeben, treten nur auf, wenn gesättigte Farben, reine Spektralfarben übertragen werden.

Aus diesen Gründen hat man festgelegt:

Das Farbdifferenz-Signal $R - Y$ wird mit 0,877 multipliziert,

das Farbdifferenz-Signal $B - Y$ wird mit 0,493 multipliziert.

Unter diesen Umständen bleibt die Übermodulation stets kleiner als 33 %. Im bereits behandelten Fall - Übertragung eines grünen Farbpunktes - ergibt sich:

$$Y = 0,59 \quad \text{nach Gleichung (5)}$$

$$R - Y = -0,59 \quad \text{(6)}$$

multipliziert mit dem Reduktionsfaktor

$$-0,59 \cdot 0,877 = -0,517$$

$$(R - Y)' = -0,517$$

$$B - Y = -0,59 \quad \text{(7)}$$

multipliziert mit dem Reduktionsfaktor

$$(-0,59) \cdot 0,493 = -0,291$$

$$(B - Y)' = -0,291$$

Damit erhält man für das Summensignal - analog zu Gleichung 11

$$\sqrt{0,517^2 + 0,291^2} = 0,593,$$

und für die Summe aus Y und Chrominanzsignal

$$0,59 + 0,593 = 1,183 \text{ (Bild 10a)}$$

Die vorgegebene Grenze von 1,33 wird also eingehalten.

6.2 Die Seitenbandbegrenzung für das I- und Q-Signal

In FTA Fs 02/1a, Absatz 5.1, ist gezeigt, daß die Bildauflösung durch die höchste noch übertragene Frequenz des Videosignals bestimmt wird. Für das I- und Q-Signal gilt das gleiche. Die Farbauflösung ist durch die höchsten Seitenbandfrequenzen des Farbhilfsträgers gegeben. Nun hat man festgestellt, daß das menschliche Auge Farben nur dann unterscheiden kann, wenn die farbigen Flächen eine bestimmte Mindestausdehnung besitzen.

Beweis: Betrachtet man den weiß leuchtenden Schirm einer Schwarzweiß-Bildröhre mit einem Vergrößerungsglas, so sieht man gelbe und blaue Punkte. Das weiße Leuchten entsteht eben dadurch, daß das Auge das Bild nicht so fein auflösen kann, sondern einfach gelb und blau addiert.

Für die Auflösung, d. h. für die Erkennbarkeit, ist der Schirmwinkel maßgebend, also der Winkel, unter dem ein Bildteil vom Auge gesehen wird. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt bei einem Schirmwinkel von 1', für deutliches Sehen benötigt man 2', und für bequemes Sehen 4'.

Geht man von einer Bildröhre A 59-12 W (Zeilenlänge = 489 mm) und einem Betrachtungsabstand von 3 m aus, so erhält man die in Tabelle 1 aufgeführten Werte.

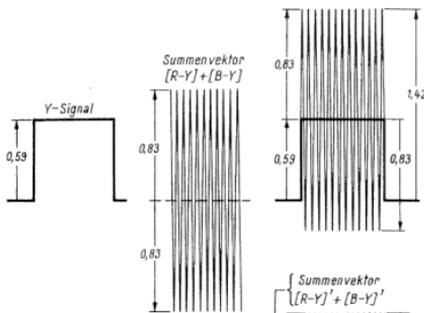


Bild 10. Addition von Helligkeits- und Farbsignal bei Übertragung von Grün - ohne Amplitudenkorrektur der Farbdifferenzsignale

Bild 10a. Wie Bild 10, aber mit Korrektur von (R-Y) und (B-Y)

Tabelle 1. Erkennbarkeit der Bilddetails

benötigter Schwinkel (Bogenminute)	bei einem Betrachtungsabstand von 3 m notwendige Ausdehnung des Bilddetails (mm)	Ausdehnung in Zeilenlänge einer Bildröhre A 59-12 W/2
für Grenze des Auflösungsvermögens	1'	0,67
für deutliches Sehen	2'	1,75
für bequemes Sehen	4'	3,5
		1/550
		1/275
		1/140

Diese Regeln gelten für die Feststellung von Helligkeitsunterschieden. Um auch noch die Farbart unterscheiden zu können, muß der Schwinkel bzw. das Bilddetail größer sein. Wegen des zeilenweisen Abtastens beim Fernsehen interessiert nun nur die Auflösung in der Zeilenrichtung, d. h. es interessiert zu wissen, welche Ausdehnung (in Zeilenrichtung) eine farbige Fläche haben muß, damit das Auge die Farbe bestimmen kann. In der Tabelle 2 auf der folgenden Seite sind diese Bedingungen angegeben.

Die Farbangebe der mittleren Spalte (orange bzw. cyan) will besagen, daß das Auge gerade noch erkennen kann, ob die Farbe der betreffenden Fläche in den langwelligen Teil des Spektrums (also gelb-rot) oder in den kurzwelligen (also blau-grün) einzuordnen ist.

Auf Grund dieser Tatsache hat man festgelegt: Man moduliert den einen Farbhilfsträger Q mit maximal 0,5 MHz, den anderen I mit maximal 1,5 MHz (Bild 11).

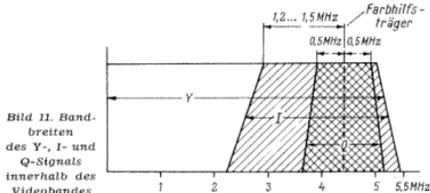


Bild 11. Bandbreiten des Y-, I- und Q-Signals innerhalb des Videobandes

Tabelle 2. Grenzen für die Farbempfindlichkeit

	benötigter Schwinkel (Bogenminute)	bei einem Betrachtungs- abstand von 3 m notwendige Ausdehnung des Bilddetails (mm)	Ausdehnung ausgedrückt in Zeilenlänge einer A 59-12 W/2	Zeit zum (horizon- talen) Abtasten ¹⁾ (µsec)	höchste Modulations- frequenz (MHz)
Farben sind uneingeschränkt wahrnehmbar	12'	10	1/50	1	0,5
nur Unterscheidung möglich zwischen orange (rot-gelb) und cyan (grün-blau)	4'	3,5	1/150	0,33	1,5
nur Helligkeitsunterschiede feststellbar	< 4'	< 3	< 1/150	< 0,33	> 1,5

¹⁾ Eine halbe Schwingung, siehe FTA Fs 02/1a Bild 8.

Das bedeutet, daß man im Fall des Q-Signals die Auflösung gerade soweit treibt, daß die Farbart jedes Flächenteilchens durch das Auge exakt identifiziert werden kann. Für das I-Signal treibt man die Auflösung weiter, so daß, wie in der mittleren Spalte angegeben, auch noch feinere Details, wenigstens grob, nach der Farbart, beurteilt werden können.

6.3 Verdrehung des Achsenkreuzes der beiden Farbhilfsträger

Will man von der Modulation des I-Hilfsträgers den vollen Nutzen haben, dann ist es notwendig, das Koordinatensystem zu drehen. Der I-Farbhilfsträger wird mit größerer Bandbreite übertragen als der Q-Hilfsträger. Mit ersterem lassen sich also feinere Details farblich auflösen. Das Auge kann aber in diesen kleinen Flächen nur Orange und Cyan unterscheiden. Der I-Hilfsträger sollte also in dem Farbkreis nach Bild 8 so liegen, daß er genau in Richtung der beiden Farben Orange/Cyan zeigt. Das hat folgenden Grund: Würde man die Lage des Achsenkreuzes relativ zum Farbkreis, wie in Bild 8 gezeichnet, belassen, dann würde der Informationsinhalt – gegeben durch die hohe Bandbreite und damit bestimmt zur Kenntlichmachung sehr kleiner Details – sich voll bei den Komplementärfarben Purpur/Blaugrün auswirken. Dort liegt aber nicht die günstigste Farbempfindlichkeit des Auges für kleine Bilddetails. Man müßte, um der speziellen Augenempfindlichkeit gerecht zu werden, den Informationsinhalt beider Hilfsträger heranziehen. Nun trägt aber der zweite Hilfsträger wegen der schmalen Modulationsbandbreite nichts zur Bestimmung der feinen Details bei.

Das in Bild 8 gezeichnete Achsenkreuz ist demnach – entgegen dem Uhrzeiger nach Bild 12 um 33° zu drehen. (Vgl. hierzu: Verdrehung des Koordinatensystems in FTA Mv 01/1a, Abschnitt C).

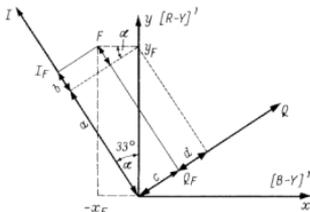


Bild 12. Drehung des Achsenkreuzes der beiden Farbhilfsträger aus der Lage x, y bzw. (B-Y)', (R-Y)' in die Lage Q, I

Der I-Hilfsträger liegt dann genau in Richtung der Cyan/Orange-Linie. Sein Modulationsinhalt kommt in vollem Umfang den beiden Komplementärfarben zugute, die das Auge bei sehr kleinen Flächen noch unterscheiden kann.

Umrechnung für eine Verdrehung des Achsenkreuzes

Die Koordinaten des Punktes F sind
im x, y- oder (R-Y)', (B-Y)'-System: $-x_F, y_F$
im I, Q-System: Q_F, I_F

Nun läßt sich – wie Bild 12 zeigt –
 I_F in y_F und x_F ausdrücken.

$$I_F = a + b$$

$$a = y_F \cdot \cos \alpha$$

$$b = (-x_F) \cdot \sin \alpha$$

$$I_F = y_F \cdot \cos \alpha + (-x_F) \cdot \sin \alpha = y_F \cdot \cos \alpha - x_F \cdot \sin \alpha \quad (12)$$

Ferner gilt:

$$Q_F = c - d$$

$$c = y_F \cdot \sin \alpha$$

$$d = -x_F \cdot \cos \alpha$$

$$Q_F = y_F \cdot \sin \alpha - (-x_F) \cdot \cos \alpha = y_F \cdot \sin \alpha + x_F \cdot \cos \alpha \quad (13)$$

Man erhält also die gewünschte Drehung, wenn die Ausdrücke (R-Y)' und (B-Y)' nach Gleichungen (12) und (13) jeweils mit

$$\cos \alpha = 0,84 \text{ oder}$$

$\sin \alpha = 0,54$ multipliziert und entsprechend addiert werden.

$$I = (R-Y)' \cdot 0,84 - (B-Y)' \cdot 0,54$$

$$Q = (R-Y)' \cdot 0,54 + (B-Y)' \cdot 0,84$$

Mit diesen Signalen I und Q werden die beiden Hilfsträger moduliert. Dabei wird der I-Hilfsträger mit einer maximalen Bandbreite von 1,2-1,5 MHz und der Q-Hilfsträger mit einer Bandbreite von 0,5 MHz moduliert.

7 Zusammenfassung

Der gesamte Vorgang läuft also folgendermaßen ab.

- Aufnahme von Rot, Grün, Blau nach Abschnitt 2.2
- Bildung des Helligkeitssignals Y
 $Y = 0,30 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B$ 2.4
- Bildung der Farbdifferenzsignale
R-Y und B-Y 4
- Multiplikation von
R-Y mit 0,877 = (R-Y)' 6.1
B-Y mit 0,493 = (B-Y)' 6.1
- Erzeugung der Modulationsspannung für den I- und Q-Hilfsträger
 $I = (R-Y)' \cdot 0,84 - (B-Y)' \cdot 0,54$ 6.3
 $Q = (R-Y)' \cdot 0,54 + (B-Y)' \cdot 0,84$ 6.3
- Modulieren der beiden Hilfsträger mit I und Q
dabei I-Träger mit einer maximalen Bandbreite von 1,2 bis 1,5 MHz 6.2
Q-Träger mit einer maximalen Bandbreite von 0,5 MHz 6.2
mit Trägerunterdrückung.
- Addition des I- und Q-Signals = Chrominanzsignal
- Bildung der Synchronsignale einschließlich des Farbsynchronimpulses (Burst)
- Addition von g) und h) = gesamtes Videosignal
- Modulation des HF-Senders mit dem Videosignal.

Literaturhinweise finden sich auf Blatt 1.