

2 Analoges Fernsehen

Beim Analogen Fernsehen gibt es weltweit zwei Grundstandards, nämlich das 625-Zeilensystem mit 50 Hz Bildwechselfrequenz und das 525-Zeilensystem mit 60 Hz Bildwechselfrequenz. Und bezüglich der Farbübertragungsart beim Composite-Videosignal (FBAS=Farb-Bild-Austast-Synchron-Signal, CVBS=Color Video Blanking Signal) unterscheidet man zwischen

- PAL (= Phase Alternating Line)
- SECAM (= Sequentielle a Memoire)
- NTSC (= North American Television System Committee)

PAL, SECAM und NTSC-Farbübertragung ist in 625- und 525-Zeilensystemen möglich; es sind aber nur bestimmte Analog-TV-Standard-Kombinationen weltweit eingesetzt worden. Das geschlossen codierte Videosignal wird einem Träger, dem Bildträger in den meisten Fällen negativ amplitudenmoduliert (AM) aufgeprägt. Lediglich beim Standard L (Frankreich) wurde mit Positiv-Modulation (Sync innen) gearbeitet. Der erste und zweite Tonträger ist üblicherweise ein frequenzmodulierter (FM) Träger, der zweite Tonträger konnte jedoch auch ein digital modulierter NICAM-Träger sein. Die Unterschiede zwischen den in den einzelnen Ländern verwendeten Verfahren liegen zwar meist nur im Detail, ergeben aber in Summe eine Vielzahl von unterschiedlichen nicht untereinander kompatiblen Standards. Die Standards des analogen Fernsehens wurden alphabetisch von A...Z durchnummeriert und beschrieben im wesentlichen die Kanalfrequenzen und Bandbreiten in den Frequenzbändern VHF Band I, III (47...68 MHz, 174 ... 230 MHz), sowie UHF Band IV und V (470 ... 862 MHz); Beispiel: Standard B, G Deutschland: B = 7 MHz VHF, G = 8 MHz UHF.

In der Videokamera wird jedes Teilbild in eine Zeilenstruktur zerlegt (Abb. 2.1.), in 625 bzw. 525 Zeilen. Wegen der endlichen Strahlrücklaufzeit im Fernsehempfänger wurde jedoch eine Vertikal- und Horizontalaustastlücke notwendig. Somit sind nicht alle Zeilen sichtbare Zeilen, sondern Zeilen der Vertikalaustastlücke. Auch innerhalb einer Zeile ist nur ein be-

stimmter Teil tatsächlich sichtbar. Beim 625-Zeilensystem sind 50 Zeilen nicht sichtbar, die Anzahl der sichtbaren Zeilen beträgt hier 575. Beim 525-Zeilensystem fallen zwischen 38 und 42 Zeilen in den Bereich der Vertikalaustastlücke.

Zur Reduzierung des Flimmereffektes wird jedes Vollbild in zwei Halbbilder eingeteilt. Zu Halbbildern sind die geradzahligen bzw. die ungeradzahligen Zeilen zusammengefasst. Die Halbbilder werden abwechselnd übertragen und ergeben zusammen eine Halbbildwechselfrequenz, die doppelt so groß ist wie die Bildwechselfrequenz. Der Beginn einer Zeile ist durch den Horizontal-Synchronimpuls markiert, einem Impuls, der im Videosignal unter Null Volt zu liegen kommt und -300 mV groß ist. Jeder Zeitpunkt im Videosignal ist auf die Sync-Vorderflanke und dort exakt auf den 50%-Wert bezogen. $10\text{ }\mu\text{s}$ nach der Sync-Vorderflanke beginnt beim 625-Zeilensystem der aktive Bildbereich in der Zeile. Der aktive Bildbereich ist hier $52\text{ }\mu\text{s}$ lang.

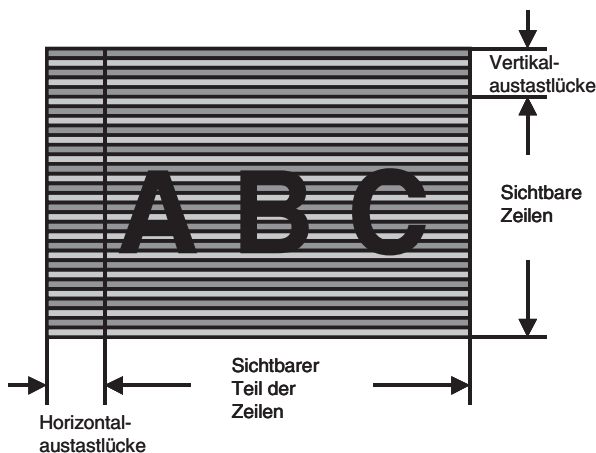


Abb. 2.1. Einteilung eines Bildes in Zeilen

Zunächst wird in der Matrix in der Videokamera das Luminanzsignal (= Y-Signal oder Schwarzweißsignal), das Helligkeitsdichtesignal gewonnen und in ein Signal umgesetzt, das einen Spannungsbereich zwischen 0 Volt (entspricht hierbei Schwarz) und 700 mV (entspricht 100% Weiß) aufweist. Ebenfalls in der Matrix in der Videokamera werden aus Rot, Grün und Blau die Farbdifferenzsignale gewonnen. Man hat sich für Farbdifferenzsignale entschieden, da zum einen die Luminanz aus Kompatibilitätsgründen zum Schwarz-Weiß-Fernsehen getrennt übertragen muss und man andererseits eine möglichst effektive bandbreitensparende Farbübertragung

wählen wollte. Aufgrund des reduzierten Farbauflösungsvermögens des menschlichen Auges kann man nämlich die Bandbreite der Farbinformation im Vergleich zur Luminanz reduzieren.

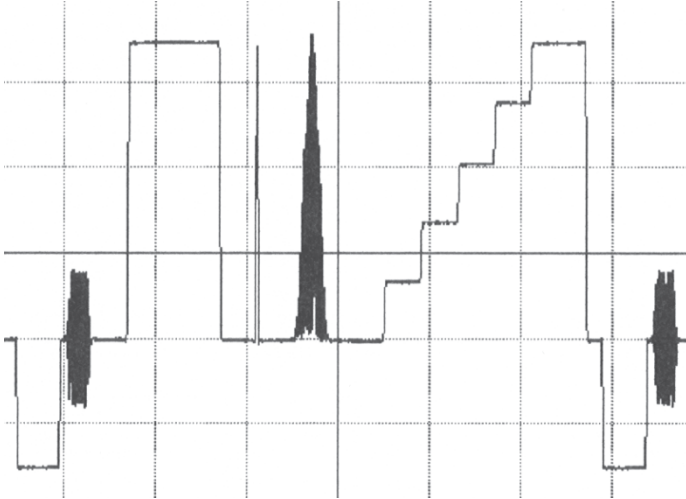


Abb. 2.2. Analoges FBAS-Signal oder Composite-Video Signal (PAL)

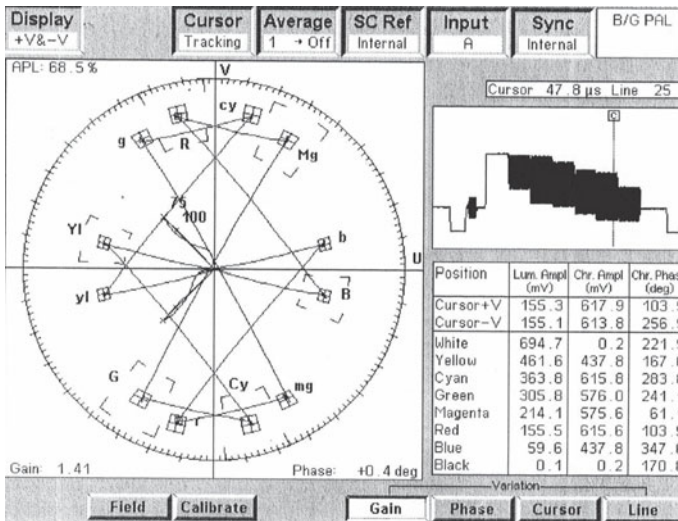


Abb. 2.3. Vektordiagramm eines Composite-Videosignals (PAL)

Tatsächlich wird die Farbbandbreite gegenüber der Luminanzbandbreite deutlich reduziert. Die Luminanzbandbreite liegt zwischen 4.2 MHz (Std.

M), 5 MHz (Std. B/G) und 6 MHz (Std. D/K, L), die Chrominanzbandbreite ist hingegen meist nur 1.3 MHz.

Im Studiobereich arbeitete man noch direkt mit den Farbdifferenzsignalen $U=B-Y$ und $V=R-Y$. Zur Übertragung werden U und V , die Farbdifferenzsignale aber einem Farbträger vektor-moduliert (IQ-moduliert, Abb. 2.3.) aufgeprägt im Falle von PAL und NTSC. Bei SECAM wird die Farbinformation frequenzmoduliert übertragen. PAL, SECAM und NTSC haben aber alle gemeinsam, dass die Farbinformation einem höherfrequenten Farbträger aufmoduliert wird, der im oberen Ende des Videofrequenzbereiches zum Liegen kommt und dem Luminanzsignal einfach durch Addition zugesetzt wird (Abb. 2.2.). Die Frequenz des Farbträgers wurde dabei jeweils so gewählt, dass sie den Luminanzkanal möglichst wenig stört. Oft ist jedoch ein Übersprechen zwischen Luminanz- und Chrominanz und umgekehrt nicht vermeidbar, z.B. wenn ein Nachrichtensprecher einen Nadelstreifenanzug gewählt hat. Die dann sichtbaren farbigen Effekte am Nadelstreifenmuster entstehen durch dieses Übersprechen (Cross-Color-, Cross-Luminanz-Effekte).

Endgeräte können folgende Videoschnittstellen aufweisen:

- FBAS/CCVS 75 Ω , 1V_{ss} (geschlossen kodiertes Videosignal, Abb. 2.2.)
- RGB-Komponenten (Scart)
- Y/C (Luminanz und Chrominanz getrennt geführt zur Vermeidung von Cross-Color/Cross-Luminanz).

Beim digitalen Fernsehen ist bei der Verdrahtung zwischen den Receivern und dem TV-Monitor möglichst eine RGB (Scart) - Verbindung oder eine Y/C - Verbindung zu wählen, um eine optimale Bildqualität zu erreichen.

Beim digitalen Fernsehen werden nur noch Vollbilder übertragen, keine Halbbilder mehr. Erst am Ende der Übertragungsstrecke findet wieder eine Generierung von Halbbildern im Receiver statt. Aber das ursprüngliche Quellmaterial liegt im Zeilensprungverfahren vor. Bei der Kompression muss dies entsprechend berücksichtigt werden (Halbbild-Codierung, Field-Codierung).

2.1 Abtastung einer Schwarz-Weiß-Bildvorlage

Zu Beginn des Zeitalters der Fernsehtechnik war diese nur „Schwarz-Weiß“. Die damals in den 1950er Jahren verfügbare Schaltungstechnik be-

stand aus Röhrenschaltungen, die relativ groß, anfällig und auch ziemlich energieintensiv waren. Der damalige Fernsehtechniker war wirklich noch Reparaturfachmann und kam im Falle einer Störung mit seinem „Röhrenkoffer“ auf Kundenbesuch.

Betrachten wir zunächst, wie sich ein solches Schwarz-Weiß-Signal, ein sog. Luminanzsignal zusammensetzt, bzw. entsteht. Als beispielhafte Bildvorlage soll der Buchstabe „A“ dienen (siehe Abb. 2.4.). Das Bild wird mit einer TV-Kamera erfasst und dabei zeilenförmig von dieser abgetastet. In früheren Zeiten geschah dies durch eine Röhrenkamera, bei der ein Lesestrah (Elektronenstrahl) eine lichtempfindliche Schicht in der Röhre, auf die das Bild durch eine Optik projiziert wurde, zeilenförmig abgetastet hat. Die Ablenkung des Elektronenstrahles erfolgte durch horizontale und vertikale Magnetfelder.

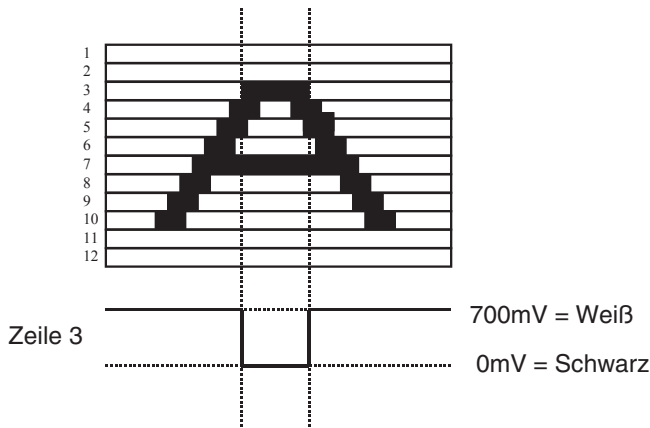


Abb. 2.4. Abtastung einer Schwarz-Weiß-Bildvorlage

Heute werden jedoch ausnahmslos CCD-Sensoren (Charge Coupled Devices = Eimerkettenspeicher) oder CMOS-Sensoren in den Kameras verwendet. Lediglich in den TV-Empfängern ist das Prinzip des abgelenkten Elektronenstrahles in den Bildröhrengeräten noch recht lange erhalten geblieben, auch wenn sich hier die Technik hin zum LCD-Flachbildschirm gewandelt hat. In den Wohnzimmern sind ab etwa 2010 nahezu alle TV-Endgeräte mit Kathodenstrahlröhre verschwunden.

Beim Abtasten der Bildvorlage entsteht das sogenannte Leuchtdichtesignal oder Luminanz-Signal. 100% Schwarz entsprechen hierbei 0 mV und 100% Weiß 700 mV. Die Bildvorlage wird zeilenförmig von oben nach unten abgetastet. Es entstehen die sog. Videozeilen, entweder 625 oder 525 je nach TV-Standard. Es sind aber nicht alle Zeilen sichtbar. Wegen der

endlichen Strahlrücklaufzeit musste eine Vertikalaustastlücke von bis zu 50 Zeilen gewählt werden. Auch innerhalb einer Zeile ist nur ein bestimmter Teil ein sichtbarer Bildinhalt. Grund hierfür war die endliche Strahlrücklaufzeit in den Bildröhren vom rechten zum linken Bildrand, die sog. Horizontalaustastlücke. Abb. 2.4. zeigt die Beispielvorlage und Abb. 2.5. das zugehörige Videosignal.

2.2 Horizontal- und Vertikal-Synchronimpuls

Nun ist es jedoch notwendig, in einem Videosignal den linken und rechten Bildrand, aber auch den oberen und unteren in irgendeiner Form zu markieren. Dies geschieht mit Hilfe der Horizontal- und Vertikal-Synchronimpulse. Beide Impulsarten wurden zu Beginn des Fernsehzeitalters so geschaffen, dass sie vom Empfänger leicht zu erkennen und zu unterscheiden waren – sie liegen im ultraschwarzen, nicht sichtbaren Bereich unter Null Volt.

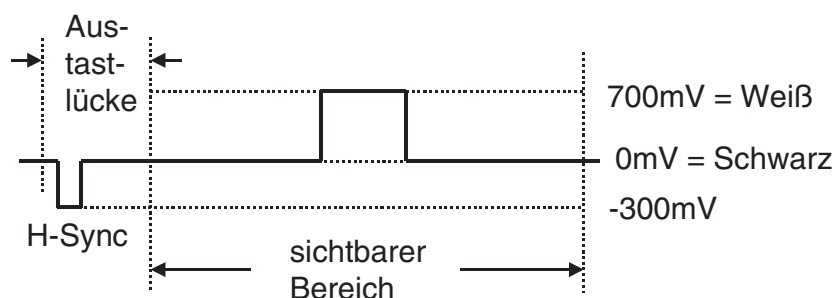


Abb. 2.5. Einfügen des Horizontal-Synchronimpulses

Der Horizontal-Synchronimpuls (Abb. 2.5.) markiert den Beginn einer Zeile. Als Zeilenbeginn gilt der 50%-Wert der Synchronimpuls-Vorderflanke (-150 mV nominal). Auf diesen Zeitpunkt sind alle Zeiten innerhalb einer Zeile bezogen. $10\text{ }\mu\text{s}$ nach der Sync-Vorderflanke beginnt per Definition die aktive Zeile, die $52\text{ }\mu\text{s}$ lang ist. Der Sync-Impuls selbst ist $4,7\text{ }\mu\text{s}$ lang und verharrt während dieser Zeit auf -300 mV .

Zu Beginn der Fernsehtechnik musste man mit den Möglichkeiten der damaligen eingeschränkten, aber immerhin schon erstaunlichen Impuls-Verarbeitungstechnik zurechtkommen. Das spiegelt sich auch in der Beschaffenheit der Synchronimpulse wieder. Der Horizontal-Synchronimpuls (H-Sync) ist als relativ kurzer Impuls (ca. $5\text{ }\mu\text{s}$) ausgelegt worden. Der

Vertikal-Synchronimpuls (V-Sync) ist dagegen 2.5 Zeilen lang (ca. 160 μ s). Die Länge einer Zeile inklusive H-Sync beträgt in einem 625-Zeilensystem 64 μ s. Der V-Sync lässt sich deswegen leicht vom H-Sync unterscheiden. Der V-Sync (Abb. 2.6.) liegt ebenfalls im ultraschwarzen Bereich unter Null Volt und markiert den Beginn eines Bildes bzw. Halbbildes.

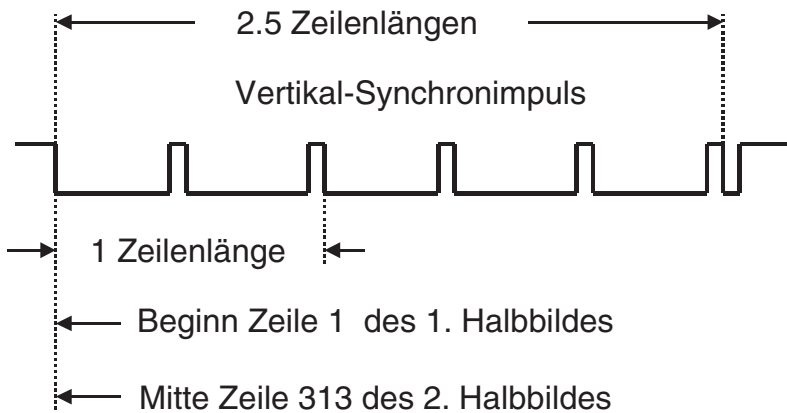


Abb. 2.6. Vertikal-Synchronimpuls

Wie schon erwähnt, wird ein Bild, das in einem 625-Zeilensystem eine Bildwechselfrequenz von 25 Hz = 25 Bilder pro Sekunde aufweist, in zwei Halbbilder (Fields) unterteilt. Dies geschieht deswegen, weil man dann damit die Trägheit des menschlichen Auges bzw. Gehirns überlisten kann und Flimmereffekte weitestgehend unsichtbar machen kann. Ein Halbbild besteht aus den ungeradzahligen Zeilen, das andere aus geradzahligen Zeilen. Die Halbbilder werden abwechselnd übertragen, es ergibt sich somit in einem 625-Zeilensystem eine Halbbildwechselfrequenz von 50 Hz. Ein Vollbild (Beginn des 1. Halbbildes) beginnt dann, wenn genau zu Beginn einer Zeile der V-Sync 2.5 Zeilen lang auf -300 mV Pegel geht. Das zweite Halbbild beginnt, wenn der V-Sync in der Mitte einer Zeile genau gesagt bei Zeile 313 zweieinhalb Zeilen lang auf -300 mV Pegel sinkt.

Das erste und zweite Halbbild wird verkämmt ineinander übertragen und reduziert so den Flimmereffekt. Wegen den eingeschränkten Möglichkeiten der Impulstechnik zu Beginn der Fernsehtechnik hätte ein 2.5 Zeilen langer V-Sync zum Ausrasten des Zeilenoszillators geführt. Deswegen wurde dieser zusätzlich durch sog. Trabanten unterbrochen. Des weiteren wurden auch Vor- und Nachtrabanten vor und nach dem V-Sync eingeta-

stet, die zum heutigen Erscheinungsbild des V-Sync beitragen (Abb. 2.7.). Aus heutiger Sicht der Signalverarbeitungstechnik wären diese aber nicht mehr notwendig.

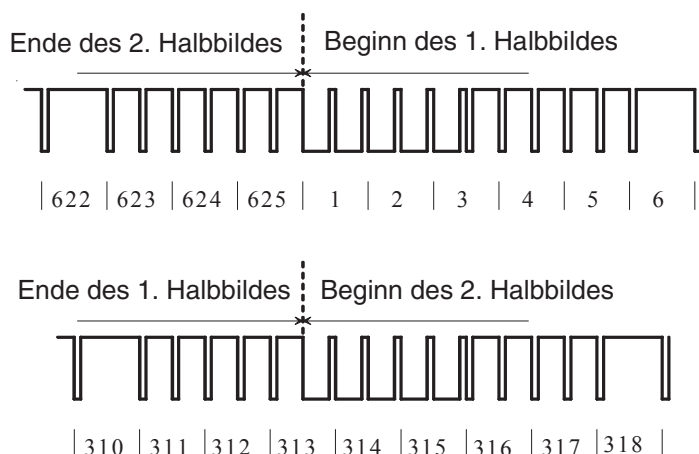


Abb. 2.7. Vertikal-Synchronimpulse mit Vor- und Nachtrabanten beim 625-
Zeilen-System

2.3 Hinzunehmen der Farbinformation

Die Schwarz-Weiß-Technik war deswegen zu Beginn des TV-Zeitalters ausreichend, weil das menschliche Auge sowieso die höchste Auflösung und Empfindlichkeit im Bereich der Helligkeitsunterschiede aufweist und damit das Gehirn die wichtigsten Informationen daraus erhält. Das menschliche Auge hat deutlich mehr S/W-Rezeptoren als Farbrezeptoren in der Netzhaut. Aber genauso wie beim Kino hat die Fernsehtechnik der Begehrlichkeit wegen den Übergang vom Schwarz-Weiß zur Farbe geschafft, heute nennt man das Innovation. Beim Hinzunehmen der Farbinformation in den 1960er Jahren hat man die Kenntnisse über die Anatomie des menschlichen Auges berücksichtigt. Der Farbe (=Chrominanz) wurde deutlich weniger Bandbreite, also Auflösung zugestanden, als der Helligkeitsinformation (=Luminanz). Während die Luminanz mit meist etwa 5 MHz Bandbreite übertragen wird, so sind es bei der Chrominanz nur etwa 1.3 MHz. Hierbei wird die Chrominanz kompatibel in das Luminanzsignal eingebettet, so dass sich ein Schwarz-Weiß-Empfänger ungestört fühlte, ein Farbempfänger aber sowohl Farbe als auch Helligkeitsinformation richtig wiedergeben konnte. Wenn das nicht immer hundertprozentig

funktioniert, so spricht man von Cross-Luminanz- und Cross-Color-Effekten.

Sowohl bei PAL, SECAM, als auch bei NTSC werden die Farbkomponenten Rot, Grün und Blau zunächst in drei separaten Aufnahmesystemen (früher Röhrenkameras, heute CCD- oder CMOS-Chips) erfasst und dann einer Matrix (Abb. 2.8.) zugeführt. In der Matrix erfolgt dann die Bildung des Luminanzsignals als Summe aus $R + G + B$ und die Bildung des Chrominanzsignals. Das Chrominanzsignal besteht aus zwei Signalen, nämlich dem Farbdifferenzsignal Blau minus Luminanz und Rot minus Luminanz. Die Bildung des Luminanzsignals und der Chrominanzsignale muss aber entsprechend der Augenempfindlichkeit richtig mit entsprechenden Bewertungsfaktoren versehen matriziert, also berechnet werden.

Es gilt:

$$Y = 0.3 \cdot R + 0.59 \cdot G + 0.11 \cdot B;$$

$$U = 0.49 \cdot (B - Y) ;$$

$$V = 0.88 \cdot (R - Y) ;$$

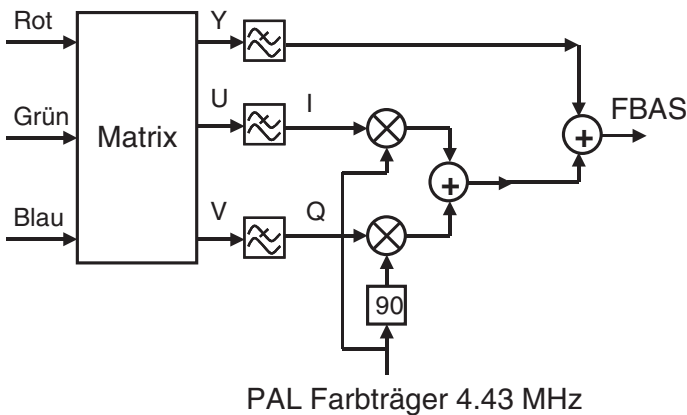


Abb. 2.8. Blockschaltbild eines PAL-Modulators

Das Luminanzsignal Y kann der Schwarz-Weiß-Empfänger direkt zur Wiedergabe verwenden. Die beiden Chrominanz-Signale werden für den Farbempfänger mit übertragen. Aus Y, U und V können R, G und B zurückgerechnet werden (De-Matrizierung). Hierbei ist die Farbinformation dann in entsprechender reduzierter Bandbreite und die Luminanzinformation in größerer Bandbreite verfügbar („Malkastenprinzip“).

Zur Einbettung der Farbinformation in ein zunächst für einen Schwarz-Weiß-Empfänger vorgesehenes BAS-Signal (Bild-Austast-Synchron-Signal) musste eine Methode gefunden werden, die sowohl den Schwarz-Weiß-Empfänger möglichst wenig beeinträchtigt, also die Farbinformation für ihn unsichtbar enthält, als auch alles Nötige für den Farbempfänger beinhaltet.

Man wählte grundsätzlich zwei Methoden, nämlich die Einbettung der Farbinformation entweder über eine analoge Amplituden-Phasenmodulation (IQ-Modulation) wie bei PAL und NTSC oder eine Frequenzmodulation wie bei SECAM.

Bei PAL und NTSC werden die Farbdifferenzsignale mit gegenüber dem Luminanzsignal reduzierter Bandbreite einem IQ-Modulator (Abb. 2.8.) zugeführt. Der IQ-Modulator erzeugt ein Chrominanzsignal als amplituden-phasenmodulierter Farbträger, in dessen Amplitude die Farbsättigung steckt und in dessen Phase die Farbart steckt. Mit Hilfe eines Oszilloskopes wäre deswegen nur erkennbar, ob und wieviel Farbe da wäre, aber die Farbart wäre nicht zu identifizieren. Hierzu benötigt man dann schon ein Vektor-Scope, das beide Informationen liefert (Abb. 2.3.).

Die Farbinformation wird bei PAL (= Phase Alternating Line) und NTSC (= North American Television Committee) einem Farbträger aufmoduliert, der im Frequenzbereich des Luminanzsignals liegt, mit diesem aber spektral so verkämmt ist, dass er im Luminanzkanal nicht sichtbar ist. Dies wird erreicht durch geeignete Wahl der Farbträgerfrequenz.

Die Wahl der Farbträgerfrequenz bei PAL, Europa erfolgte durch folgende Formel:

$$f_{sc} = 283.75 \cdot f_h + 25 \text{ Hz} = 4.43361875 \text{ MHz};$$

Bei SECAM (Sequentielle a Memoire) werden die Farbdifferenzsignale frequenzmoduliert von Zeile zu Zeile wechselnd zwei verschiedenen Farbträgern aufmoduliert (4.41 MHz und 4.25 MHz). Das SECAM-Verfahren wurde noch lange in Frankreich und in französisch-sprachigen Ländern in Nordafrika, sowie in Griechenland verwendet. Frühere Ostblockstaaten wechselten in den 1990er-Jahren nach Ende des „Eisernen Vorhangs“ von SECAM auf PAL.

PAL hat einen großen Vorteil gegenüber NTSC. Es ist wegen der von Zeile zu Zeile wechselnden Phase unempfindlich gegenüber Phasenverzerrungen. Die Farbe kann deshalb durch Phasenverzerrungen auf der Übertragungsstrecke nicht verändert werden. NTSC wurde v.a. in Nordamerika im Bereich des analogen Fernsehens angewendet. Wegen der Farbverzerrungen spotteten manche auch deswegen über „Never The Same Color“ = NTSC. Die NTSC-Farbträgerfrequenz beträgt 3.57954545 MHz.

Digitale Fernseh- und Hörfunktechnik in Theorie und Praxis

MPEG-Quellcodierung und Multiplexbildung, analoge und digitale Hörfunk- und Fernsehstandards, DVB, DAB/DAB+, ATSC, ISDB-T, DTMB, terrestrische, kabelgebundene und Satelliten-Übertragungstechnik, Messtechnik

Fischer, W.

2016, XXIII, 1056 S. 1 Abb. in Farbe., Hardcover

ISBN: 978-3-642-53895-7