

BIULETYN

INFORMACYJNY

INSTYTUTU

ŁĄCZNOŚCI



1992
5-7

**BIULETYN
INFORMACYJNY
INSTYTUTU
ŁĄCZNOŚCI**

ROK 32

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

NR 5-7(298-300)

WARSZAWA 1992

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny: inż. Krystyn Plewko

Z-ca Redaktora Naczelnego: dr inż. Stanisław Sońta

Redaktorzy Działowi:

doc. dr inż. Włodzimierz Barjasz

doc. dr inż. Alina Karwowska-Lamparska

inż. Maria Łopuszniak

© Copyright by Instytut Łączności, Warszawa 1992

ISSN 0209-1046

Redaktor: mgr Krystyna Juskiewicz

Montaż tekstu: Barbara Skwara

Instytut Łączności, Dział Ogólnotechniczny

ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa

TELEWIZYJNE SYSTEMY O DUŻEJ ROZDZIELCZOŚCI OBRAZU

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wprowadzenie	1
2. Czynniki wpływające na wybór parametrów standardu telewizji o dużej rozdzielczości	5
2.1. Pożądane warunki obserwacji	5
2.2. Podstawowe parametry systemu	6
3. Proponowane podstawowe parametry standardu telewizji o dużej rozdzielczości obrazu dla studio i do wymiany międzynarodowej	24
4. Proponowane obecnie analogowe studyjne systemy o dużej rozdzielczości	28
4.1. System japoński	28
4.1.1. Parametry techniczne	28
4.1.2. Przetwornik standardu 1125/60 na standard 525/59,94 systemu NTSC	34
4.1.3. Przetwornik standardu 1125/60/2:1 na standard 625/50/2:1 systemu PAL	39
4.2. Proponowany system europejski	45
4.3. Propozycja dwustandardowego systemu opartego na "wspólnej części obrazu" (CIP)	56
4.4. Obecny stan prac nad studyjnym standardem HDTV	59
5. Transmisja sygnałów telewizji o dużej rozdzielczości obrazu	59
5.1. Systemy transmisji sygnałów dużej rozdzielczości drogą satelitarną	61
5.1.1. Systemy wąskopasmowe	62
5.1.1.1. Japoński system MUSE	64
5.1.1.2. System europejski HD-MAC	73
5.1.2. Szerokopasmowe systemy transmisji sygnałów HDTV	82

	Str.
5.2. Transmisja naziemna sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu	89
5.3. Transmisja sygnałów telewizji o dużej rozdzielczości obrazu sieciami kablowymi	96
6. Zakończenie	104
Wykaz literatury	105

TELEWIZYJNE SYSTEMY O DUŻEJ ROZDZIELCZOŚCI OBRAZU

1. WPROWADZENIE

Systemy telewizji o powiększonej rozdzielczości i zwiększonych rozmiarach obrazu stanowią pierwszy krok do następnego stopnia rozwoju techniki telewizyjnej, tj. telewizji o dużej rozdzielczości obrazu. Pod tym pojęciem jest rozumiany system, umożliwiający widzom obserwację obrazów o około trzykrotnie większej wysokości i rozdzielczości obrazu zbliżonej do tej, z jaką widz o dobrych warunkach wzrokowych obserwuje oryginalny obraz.

Narzuca to jednak na taki system szereg nowych warunków w porównaniu z warunkami wymaganymi w systemach konwencjonalnych, a mianowicie [12] konieczność uzyskania w obrazie odtwarzanym:

- a) około dwukrotnie większej rozdzielczości przestrzennej w kierunkach poziomym i pionowym, w porównaniu z rozdzielczością, którą zapewniają parametry techniczne podane w Zaleceniu 601 CCIR (parametry kodowania dla cyfrowych studiów telewizyjnych);
- b) znacznie większej rozdzielczości czasowej w porównaniu z rozdzielczością podaną w tym Zaleceniu i to bez znacznego wzrostu kosztów;
- c) większej rozdzielczości dla obiektów kolorowych niezbędnej do uzyskania wysokiej ogólnej jakości obrazu, co wobec większej szerokości pasma częstotliwości sygnału luminancji jest tu spełnione;
- d) lepszego odtwarzania ruchu;
- e) lepszego spostrzegania głębi w obrazie;
- f) niezależnego przesyłania sygnałów luminancji i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu (jest to niezbędne do uzyskania dobrej jakości obrazu);

- g) większego współczynnika kształtu obrazu;
- h) wielokanałowego dźwięku wysokiej jakości.

Parametry techniczne standardu telewizji o dużej rozdzielczości rozważa się obecnie w świecie z dwóch punktów widzenia:

- jako ulepszony system, który ma umożliwić widzom lepszą percepcję obrazu;
- jako uniwersalne narzędzie produkcji nie tylko programów telewizyjnych, ale kaset, płyt oraz filmów telewizyjnych i kinowych.

Wybrane parametry techniczne systemu powinny więc dotyczyć zarówno standardu produkcyjnego, czyli standardu wytwarzania sygnałów o dużej rozdzielczości w studiach telewizyjnych, jak i standardu transmisyjnego, czyli standardu stosowanego przy przesyłaniu sygnałów o dużej rozdzielczości w przypadkach wymiany programów pomiędzy organizacjami telewizyjnymi, jak i przy rozsyłaniu ich do odbiorców indywidualnych.

Prace badawcze nad systemami telewizji o dużej rozdzielczości były od dłuższego już czasu prowadzone przede wszystkim w Japonii, przez organizację radiodifuzyjną NHK (Nippon Hoso Kyokai). Wynikiem tych prac była propozycja podstawowych parametrów standardu takiego systemu dla 60 pól obrazu na sekundę. Została ona przedstawiona do zatwierdzenia przez Zgromadzenie Plenarne CCIR w maju 1986 roku w Dubrowniku jako propozycja standardu światowego. Propozycja ta znalazła poparcie tylko przez kraje, w których obowiązuje obecnie standard telewizyjny 525 linii/60 obrazów na sekundę. W większości jednak krajów europejskich i w Australii zgłoszono wiele zastrzeżeń, dotyczących proponowanego przez Japonię systemu. Najpoważniejszym zastrzeżeniem była obawa, że przy stosowanej w Europie częstotliwości sieci energetycznej 50 Hz może powstawać sygnał zakłócający obraz o częstotliwości 20 Hz, w szczególności przy oświetlaniu sceny nadawanej luminiscencyjnymi źródłami światła. Ponadto, zastrzeżenia budził też brak kompatybilności pomiędzy proponowanym standardem telewizji o dużej rozdzielczości i standardem telewizji cyfrowej, określonym

Zaleceniem 601 CCIR, a poza tym również brak bezpośredniej kompatybilności z eksploatowanym obecnie w wielu krajach systemem SECAM.

W efekcie tych rozbieżności XVI Zgromadzenie Plenarne CCIR odmówiło przyjęcia systemu japońskiego jako systemu światowego.

W związku z tym w r. 1986 powstał - z inicjatywy firm: Bosch, Philips, Thomson i Thorn-Emi - projekt kompatybilnego systemu telewizji o dużej rozdzielczości Eureka 95 oznaczonego jako EU 95, w którego opracowaniu biorą udział 32 firmy z 9 krajów europejskich. Został on pomyślany jako międzynarodowa praca badawcza, której celem jest opracowanie systemu dla 50 pól obrazu na sekundę. Ponadto, amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Filmowych i Telewizyjnych (SMPTE^{*)}) zaproponowało standard studyjny telewizji o dużej rozdzielczości jako standard krajowy dla Stanów Zjednoczonych i Kanady.

W maju 1989 r. odbyło się nadzwyczajne Zebranie 11 Komisji Studiów CCIR, poświęcone telewizji o dużej rozdzielczości obrazu. Nie przyjęto jednak na nim jednolitego systemu. Uzgodniono jedynie tzw. ogólne podejście do zagadnienia^{**)}, co umożliwiło opracowanie:

- projektu Zalecenia [9] określającego 23 wartości z 34 podstawowych parametrów dla telewizyjnego standardu dużej rozdzielczości dla studia i wymiany międzynarodowej;
- projektu Zalecenia określającego metody subiektywnej oceny jakości obrazu o dużej rozdzielczości;
- oraz trzech projektów Zaleceń dotyczących zapisu obrazów o dużej rozdzielczości na 35 milimetrowej taśmie filmowej, rozmiarów obrazów o dużej rozdzielczości wytwarzanych w telekinach i wymiany zapisanych programów, które zostały przyjęte na XVII Zgromadzeniu Plenarnym CCIR w Düsseldorfie w maju 1990 r.

*) SMPTE - Society of Motion Pictures and Television Engineers.

***) Termin angielski - global approach to HDTV.

Obejmowały one jednak tylko część parametrów przyszłego standardu telewizji o dużej rozdzielczości obrazu bez podstawowych parametrów analizy obrazu.

Biorąc pod uwagę argumenty techniczne wysuwane przez autorów obu głównych koncepcji standardu, jak również rywalizację między firmami europejskimi i japońskimi, możliwość szybkiego uzgodnienia jednolitego światowego standardu wydaje się mało prawdopodobna. W związku z tym, w organizacjach międzynarodowych prowadzi się dalsze intensywne prace zmierzające do opracowania tzw. standardu dwusystemowego o możliwie dużej spójności. Ważne jest bowiem, aby jak najwięcej parametrów obu systemów było wspólnych oraz aby było stosunkowo łatwe przejście z jednego systemu na drugi, jak również i na dotychczas eksploatowane systemy telewizji kolorowej.

Należy tu zaznaczyć, że rozpatruje się zarówno standard dla produkcji programów, jak i standardy przesyłowe oraz emisyjne. Choć związane ze sobą, nie będą one jednak takie same.

Zarysowały się wówczas trzy sposoby podejścia do tego problemu:

- a) przyjęcie standardu opartego na tzw. wspólnym "formacie obrazu ^{*)}", tzn. [15] na przyjęciu takiego samego dla obu systemów (50 i 60 pól na sekundę) rozkładu próbek na czynnej powierzchni obrazu (z uwzględnieniem jego współczynnika kształtu); częstotliwości próbkowania i szybkości bitowe sygnałów mogą być wówczas różne;
- b) przyjęcie standardu, opartego na tzw. "wspólnej szybkości danych ^{**)}", [15] takiej samej dla obu systemów (50 i 60 pól na sekundę) częstotliwości próbkowania i szybkości danych (prędkości bitowej); parametry próbkowania czynnej powierzchni obrazu mogą być wówczas różne;
- c) przyjęcie standardu opartego na tzw. "wspólnej części obrazu" (Common Image Part), w którym format obrazu dla systemu 60 Hz jest "wpisany" w format obrazu dla systemu 50 Hz,

^{*)} Termina angielski - Common Image Format.

^{**)} Termin angielski - Common Data Rate.

w taki sposób, że na części wspólnej obu obrazów punkty, w których są pobierane próbki pokrywają się. Obraz dla systemu 60 hercowego ma wówczas 1080 czynnych linii, z których każda zawiera 1920 próbek, a dla systemu 50 Hz 1152 czynnych linii o 2048. czynnych próbkach. Środkowa część obrazu, zawierająca 1920x1080 próbek, jest wspólna dla obu systemów.

2. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE. NA WYBÓR PARAMETRÓW STANDARDU TELEWIZJI O DUŻEJ ROZDZIELCZOŚCI

2.1. Pożądane warunki obserwacji

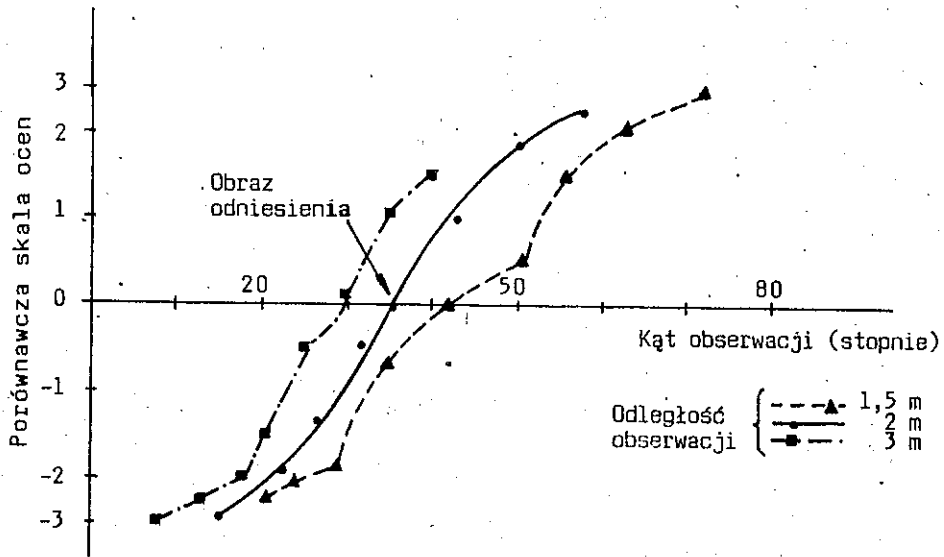
A. Kąt i odległość obserwacji obrazu

Zbliżanie się obserwatorów do ekranu powoduje w ich polu widzenia wzrost powierzchni zajętej przez obraz, co daje wzrost "odczucia realności obrazu". Staje się to widoczne dla kątów obserwacji większych od 20° . Na rys. 1 podano wpływ kąta i odległości obserwacji na "wrażenie realności obrazu".

Badania eksperymentalne wykorzystujące obrazy stałe wykazały, że optymalna odległość obrazów o dużej rozdzielczości jest równa 2 do 3 wysokości obrazu (2H do 3H). Odpowiada to kątowi obserwacji równemu 40° do 30° . W przypadku jednak obrazów ruchomych odległość obserwacji zbliżona do 2H może przy dłuższych obserwacjach wywoływać zawroty głowy obserwatorów i dlatego preferuje się przyjęcie odległości obserwacji równej 2,5H do 3H. Zbyt małe odległości obserwacji powodują również po pewnym czasie zmęczenie oczu obserwatorów, wskutek czego jest pożądane ograniczenie minimalnej odległości obserwacji do 2 m.

B. Rozmiary odtwarzanego obrazu

Badania subiektywne odczucia realności obserwowanego obrazu przeprowadzone dla różnych jego rozmiarów i różnych kątów



Rys. 1. Wyniki badań "wrażenia realności obrazu" w funkcji odległości i kąta obserwacji

obserwacji wykazały, że przy stałym kącie obserwacji obrazy o większych rozmiarach dają większe "odczucie realności" i że dla obrazów o dużej rozdzielczości powierzchnia obrazu powinna być większa od $0,8 \text{ m}^2$. Jako optymalną powierzchnię obrazu w warunkach domowych przyjęto około $0,8 - 1,0 \text{ m}^2$.

C. Kontrast i jaskrawość

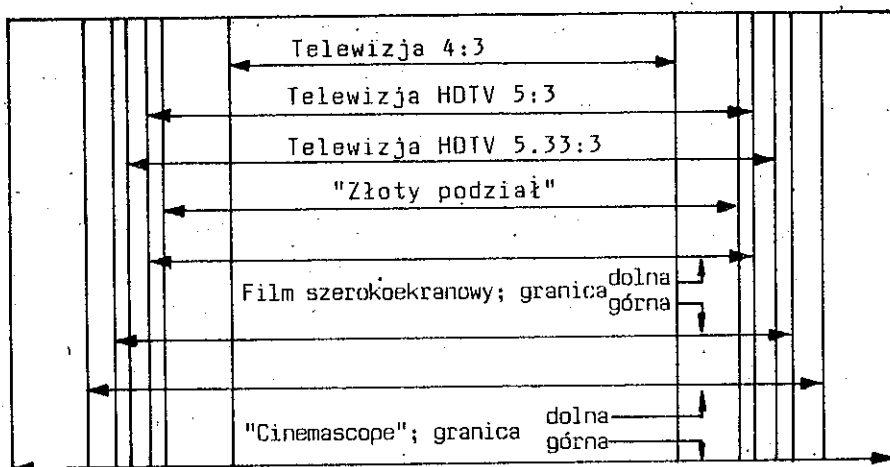
Liczne badania eksperymentalne jakości odbieranych obrazów telewizyjnych wykazały, że dla obrazów o dużej rozdzielczości minimalnej współczynnik kontrastu maksymalnego powinien wynosić 50:1, a ze względu na otaczające oświetlenie szczytowa wartość luminancji - 150 do 250 cd/m^2 .

2.2. Podstawowe parametry systemu

A. Współczynnik kształtu

Zwiększenie współczynnika kształtu pociąga za sobą wzrost zaangażowania widzów oglądającym obrazem. Przeprowadzane badania

psychofizyczne pokazały, że zależnie od rozmiaru obrazu współczynnik kształtu obrazów o dużej rozdzielczości powinien zawierać się w granicach pomiędzy 5:3 /1,67:1/ a 2:1. W proponowanych systemach zakłada się najczęściej współczynnik kształtu równy 16:9 /5,33:3; 1,78:1/, co zapewnia odpowiedniość ze współczynnikiem kształtu większości obrazów filmowych. Rys. 2 podaje porównanie współczynników kształtu proponowanych dla telewizji o dużej rozdzielczości obrazu ze współczynnikami kształtu filmów szerokoekranowych.



Rys. 2. Współczynniki kształtu obrazów

B. Liczba próbek na linii wybierania

Zgodnie z podaną w pkt. 1 definicją telewizji o dużej rozdzielczości obrazu rozdzielczość pozioma takich obrazów powinna być dwukrotnie większa od rozdzielczości obrazów otrzymywanych w obecnych systemach konwencjonalnych. Zalecenia 601 CCIR i 106 TK OIRT podają wymagane liczby próbek na czynnej części linii cyfrowej (dla standardów 625/50 i 525/60) dla sygnału luminancji - 720 i dla sygnałów różnicowych kolorowości obrazu - 360. Dla uzyskania więc dwukrotnie większej rozdzielczości poziomej liczby próbek na czynnej części linii cyfrowej dla współczynnika kształtu 4:3 powinny wynosić odpowiednio

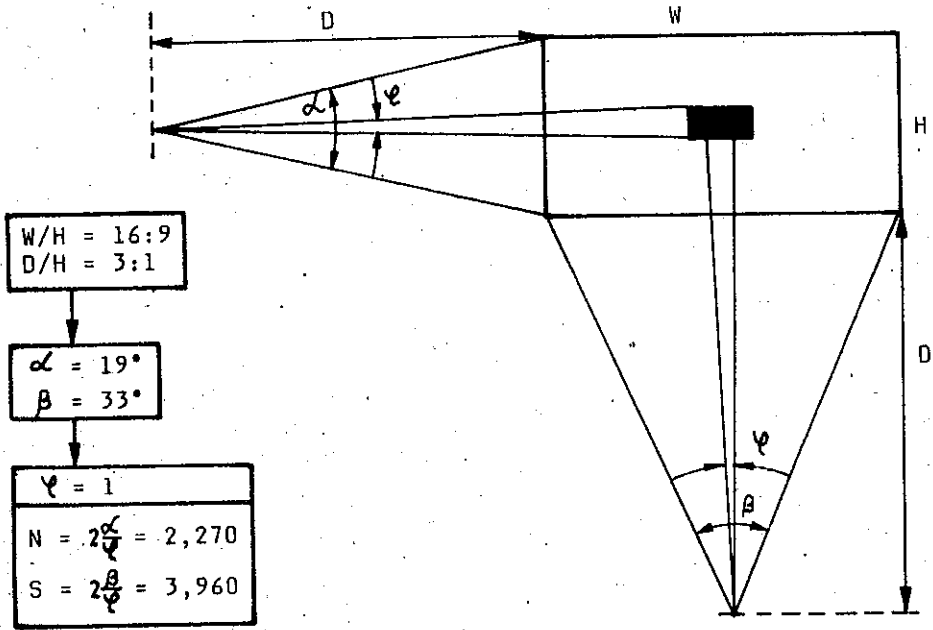
1440 i 720. Dla większych współczynników kształtu powyższe liczby próbek powinny być odpowiednio zwiększone. Na przykład, dla współczynnika kształtu 16:9 odpowiednie liczby próbek na czynnej części linii cyfrowej wynoszą 1920 i 960. Całkowita liczba próbek na linii wybierania pól jest oczywiście większa o liczbę próbek występujących w okresach wygaszania linii.

Ostatnio w CCIR [9] jako parametr przyjmuje się tzw. współczynnik kształtu elementów obrazu^{*)}, czyli kształt figury utworzonej przez próbki w kierunku poziomym (na czynnej części linii wybierania) i pionowym (zależnie od liczby czynnych linii wybierania). Preferowany jest przy tym kształt kwadratowy, tzn. że liczba próbek na czynnej części linii wybierania równa jest liczbie czynnych linii w obrazie.

C. Liczba czynnych linii w obrazie

Jako granicę rozdzielczości szczegółów przyjęto dla oka ludzkiego kąt obserwacji 1° . Przy założeniu współczynnika kształtu 16:9 i odległości widza od ekranu równej $3H$ liczba linii czynnych dla granicy percepcji wizualnej wynosi 2270, a liczba próbek na linii czynnej 3960 (rys. 3). System taki nie jest jednak obecnie możliwy do praktycznej realizacji ze względów technologicznych. Jednakże badania subiektywne jakości obrazu przy różnej liczbie linii wybierania (rys. 4) wykazały, że dla dużych ekranów wyraźną poprawę jakości obrazu daje już wzrost liczby linii wybierania powyżej 1000. Zapewnia to dwukrotnie większą rozdzielczość pionową w stosunku do dzisiejszych standardów wybierania i spełnia wymagania stawiane telewizji o dużej rozdzielczości obrazu (pkt. 2.1) a jednocześnie dostępna realnie technologia umożliwia realizację takiego systemu. Wyniki przeprowadzonych w Japonii badań subiektywnej jakości obrazu w zależności od zauważalności struktury liniowej oraz wrażenia ostrości obrazu podano na rys. 5.

^{*)} Termin angielski - pixel aspect ratio lub pixel shape.



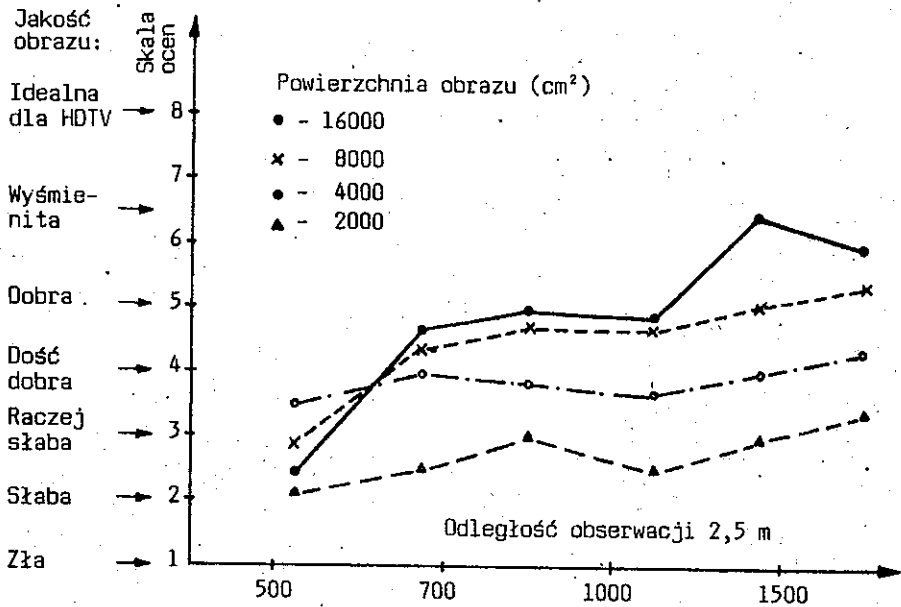
Rys. 3. Liczba linii N : liczba próbek P dla optymalnych warunków telewizji o dużej rozdzielczości

D. Częstotliwość obrazu i pół obrazu

Częstotliwość powtarzania pół obrazu i obrazów określa dynamiczną rozdzielczość czasową obrazów ruchomych. Wpływa ona na:

- prawidłowe odtwarzanie ruchu,
- migotanie dużych powierzchni obrazu,
- migotanie międzyliniowe (w systemach z wybieraniem międzyliniowym).

Płynne odtwarzanie ruchu występuje już w systemach konwencjonalnych, tzn. przy częstotliwości powtarzania pół większej od 45 Hz. Zauważalność migotania dużych powierzchni zależy od odległości widza od ekranu oraz jaskrawości ekranu i rośnie ze zmniejszaniem odległości i wzrostem jaskrawości (rys. 6). Jak wynika z badań



Rys. 4. Wyniki subiektywnej oceny jakości obrazu w funkcji liczby linii wybierania

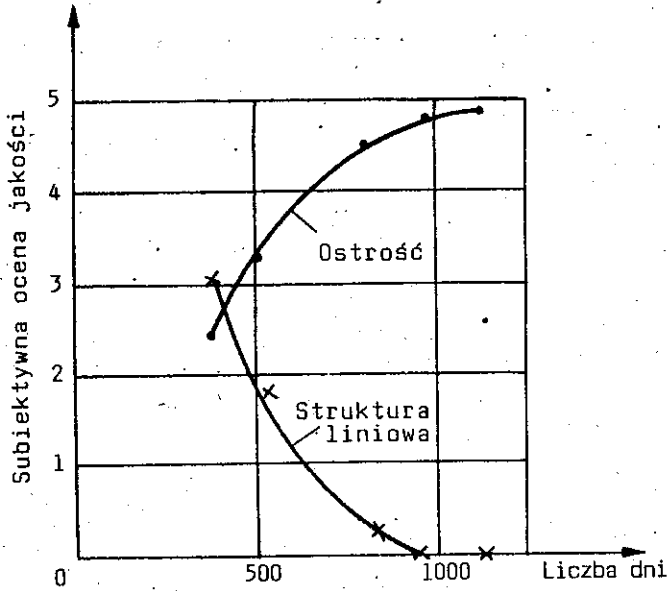
L - liczba równoważnych linii wybierania

subiektywnych^{*)}, częstotliwość powtarzania pól obrazu, przy której efekt migotania staje się niezauważalny, wynosi ok. 80 Hz. Przyjęcie jednak częstotliwości pól obrazu rzędu 80 Hz rozszerza znacznie wymagane pasmo częstotliwości.

Efekt migotania międzyliniowego jest natomiast niezauważalny przy częstotliwości pól obrazu ok. 100 Hz.

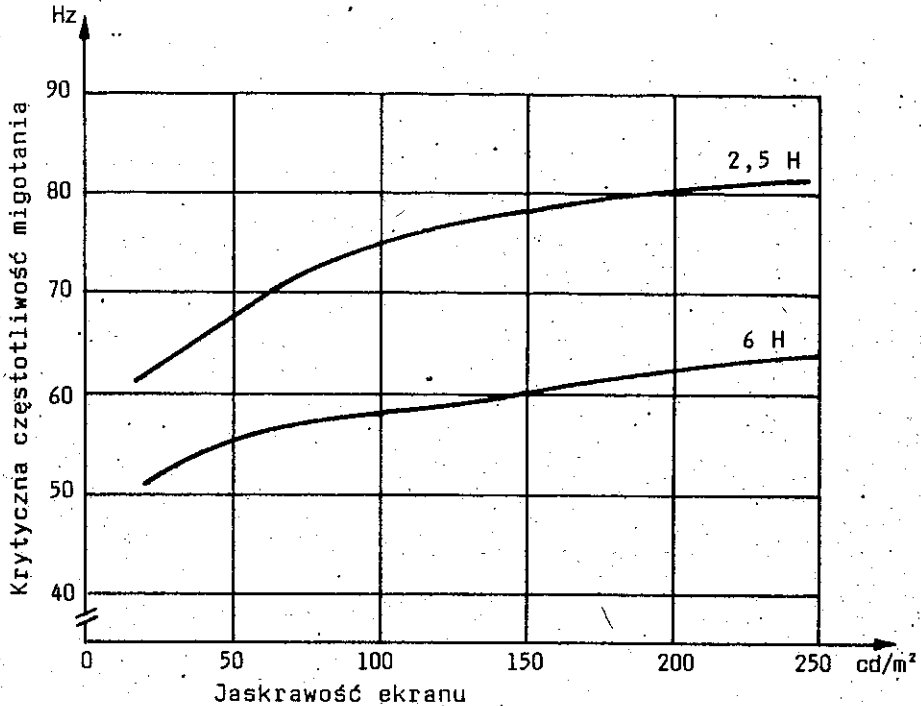
Liczba pól obrazu na sekundę dla systemu telewizji o dużej rozdzielczości obrazu stanowi podstawową różnicę pomiędzy proponowanymi systemami telewizji o dużej rozdzielczości obrazu. Proponowany system japoński przewiduje częstotliwość równą 60 pól obrazu na sekundę, podczas gdy kraje europejskie proponują 50 pól obrazu na sekundę, podobnie jak jest to w systemach obecnie eksploatowanych w Europie.

^{*)} Przeprowadzony w Instytucie CNETT we Francji oraz przez BBC w Anglii.



Rys. 5. Ostrość i zauważalność struktury liniowej w funkcji liczby linii (odległość obserwacji 4H, częstotliwość pola 60 Hz, wybieranie kolejno-liniowe)

Przyjęcie częstotliwości pół obrazu 60 Hz ma pewną przewagę nad systemami przyjmującymi częstotliwości 50 Hz, jeśli dotyczy to jakości obrazu. Jednak wówczas praca urządzeń systemu w krajach o częstotliwości sieci energetycznej 50 Hz może być zakłócona, np. przez oświetlenie. Zakłócenia te mogą objawiać się jako migotanie wynikające z różnicy częstotliwości pół obrazu i częstotliwości sieci energetycznej. Może to zachodzić w szczególności przy oświetlaniu sceny luminiscencyjnymi źródłami światła. Także lampy wyładowcze dają rozbłyski zarówno w dodatniej, jak i ujemnej połowie cyklu napięcia zasilania. Przy pracy z kamerą standardu 60 Hz występuje efekt jakby próbkowania sygnału 100 Hz z częstotliwością 60 Hz. Powstaje wówczas sygnał zakłócający o częstotliwości 20 Hz oraz sygnał różnicowy 40 Hz. W studiach telewizyjnych efekt ten można znacznie zmniejszyć stosując zasilanie trójfazowe,



Rys. 6. Krytyczna częstotliwość migotania dla odległości obserwacji 2,5H i 6H

jednak w przypadku transmisji zewnętrznych nie jest to możliwe. W Japonii opracowano wprawdzie eliminator migotania; jest to jednak urządzenie skomplikowane i nie we wszystkich sytuacjach skuteczne. Przy przyjęciu częstotliwości pół obrazu 60 Hz występuje również problem kompatybilności ze standardem 625/50 i z tym związane trudności występujące przy ewentualnym transkodowaniu.

Ponadto, dla określonego pasma częstotliwości system o częstotliwości pół obrazu 50 Hz umożliwia uzyskanie większej rozdzielczości przestrzennej. Jest on również korzystny przy produkcji filmów i w urządzeniach telekinematograficznych, gdyż różnica częstotliwości obrazu 25 Hz i klatki filmowej 24 klatki/s jest pomijalna.

E. Struktura wybierania (kolejliniowe lub międzyliniowe)

Wybór struktury wybierania jest związany z przyjętą liczbą linii w obrazie. Wybieranie kolejno liniowe zapewnia większą rozdzielczość pionową obrazu i brak zjawiska migotania międzyliniowego. Jak wiadomo, wrażenie wywołwane przez wybieranie międzyliniowe przy określonej liczbie linii jest takie same, jak wywołwane przez wybieranie kolejliniowe przy liczbie linii mniejszej o 40%. Jednak w tym przypadku sygnał wybierany kolejliniowo wymaga pasma częstotliwości o 20% szerszego. W przybliżeniu można przyjąć, że sygnał wybierany kolejliniowo wymaga, przy tej samej liczbie linii, pasma częstotliwości dwukrotnie szerszego. Przy wybieraniu międzyliniowym mogą jednak w pewnych warunkach powstawać na obrazie niepożądane zjawiska, zwane mruganiem linii^{*)} i płynięciem linii^{**)}, zależne zarówno od parametrów źródła i obrazu jak i częstotliwości pola oraz liczby linii w obrazie. Wybieranie międzyliniowe stwarza również problemy przy obróbce sygnału. Przyjęcie jednak w systemach o dużej rozdzielczości obrazu wybierania kolejliniowego pociąga za sobą wzrost wymaganego pasma częstotliwości, co stwarza duże trudności przy konstrukcji większości urządzeń wizyjnych, a w niektórych jak np. w magnetowidach, jest poza zasięgiem dzisiejszych możliwości.

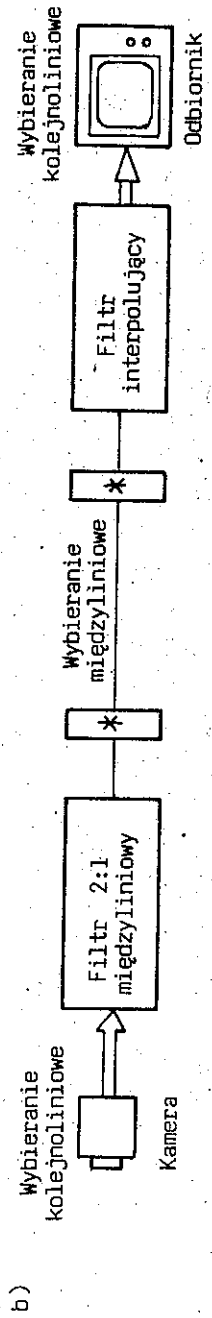
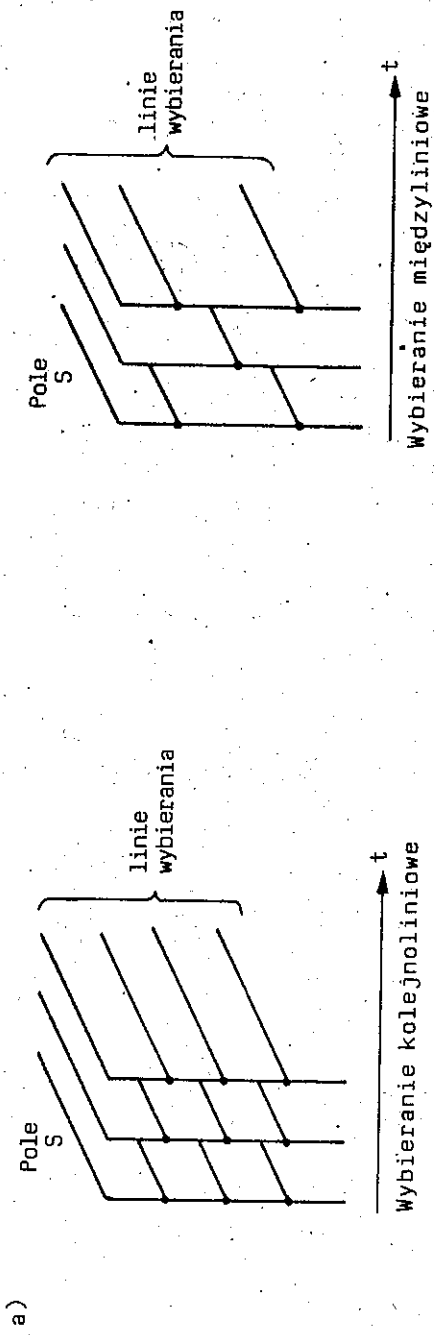
W związku z tym istnieją propozycje kolejnego przejścia z wybierania międzyliniowego na wybieranie kolejliniowe. Jedną z nich polega na przyjęciu wybierania kolejliniowego w studiu i przetworzeniu sygnału na międzyliniowy dla celów transmisji. Po stronie odbiorczej natomiast sygnał ma być ponownie przetwarzany na kolejliniowy drogą interpolacji brakujących linii (rys. 7).

F. Parametry kolorymetryczne [16], [9]

Wybór odpowiednich parametrów kolorymetrycznych dla telewizji o dużej rozdzielczości obrazu ma zasadnicze znaczenie

*) Termin angielski- linterline twitter.

***) Termin angielski- line crawl.



Rys. 7. Przykład przejścia z wybierania kolejnoliniowego na międzyliniowe i odwrotnie.

a) zasada działania; b) schemat blokowy

do uzyskania dużej wierności odtwarzania kolorów. Z drugiej strony, bardzo istotnym problemem jest kompatybilność systemu o dużej rozdzielczości z eksploatowanymi obecnie telewizyjnymi systemami konwencjonalnymi.

Do podstawowych parametrów kolometrycznych systemu należą:

- położenie kolorów podstawowych na wykresie chrominancji (CIR 1931),
- położenie bieli odniesienia na tym wykresie.

Do chwili obecnej nie dokonano jeszcze wyboru położenia kolorów podstawowych. Rozważane są przy tym dwie możliwości:

- a) przyjęcie kolorów podstawowych takich, które można realizować za pomocą istniejących luminoforów (propozycja japońska), to jest kolorów o współrzędnych chrominancji:

czerwony $R \text{ o } x = 0,630, \quad y = 0,340,$

zielony $G \text{ o } x = 0,310, \quad y = 0,595,$

niebieski $B \text{ o } x = 0,155, \quad y = 0,70;$

- b) przyjęcie kolorów podstawowych takich, które niosą informacje o większości kolorów występujących w naturze, nawet jeśli obecnie nie można ich jeszcze realizować za pomocą istniejących luminoforów (propozycja europejska), to znaczy kolorów o współrzędnych chrominancji:

czerwony $R \text{ o } x = 0,6915 \quad y = 0,3083,$

zielony $G \text{ o } x = 0,0000 \quad y = 1,0000,$

niebieski $B \text{ o } x = 0,1440 \quad y = 0,0297.$

Natomiast jako biel odniesienia (równość sygnałów kolorów podstawowych $E_R = E_G = E_B$) przyjęto w obu przypadkach biel D_{65} o współrzędnych $x = 0,3127$ oraz $y = 0,3290$.

Zaakceptowano również stosowanie korekcji wstępnej sygnałów o $\gamma = 0,45$. W propozycji japońskiej przyjmuje się, podobnie jak w eksploatowanych obecnie systemach telewizji kolorowej, korekcję sygnałów podstawowych. Natomiast propozycja europejska sugeruje zastosowanie korekcji sygnałów składowych tele-

wizji kolorowej (za układem matrycowym). Elektrooptyczna charakterystyka przejściowa przed korekcją wstępną jest w tym przypadku linearna, tzn. sygnały podstawowe są wprost proporcjonalne do wejściowych sygnałów świetlnych.

Dyskusyjna jest ponadto sprawa charakterystyki przejściowej całego toru, w tym charakterystyki przejściowej optyczno-elektrycznej. Przy jej wyborze uwzględnia się przede wszystkim czułość systemu na szumy transmisyjne oraz uzyskany zakres kontrastu obrazu. W chwili obecnej są proponowane dwie wartości całkowitego współczynnika "gamma" sygnałów:

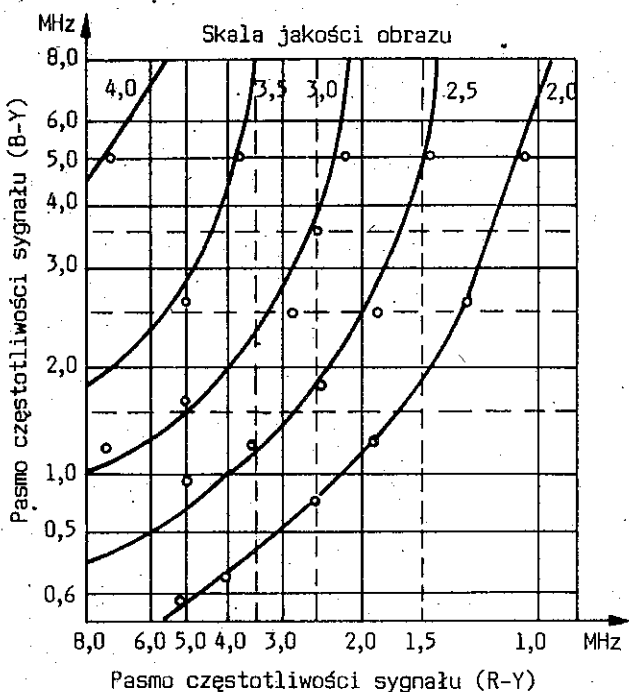
$\gamma = 1$ (propozycja japońska),

$\gamma = 1,27$ (propozycja europejska).

G. Rodzaje transmitowanych sygnałów

Uzyskanie odpowiedniej jakości obrazów o dużej rozdzielczości wymaga przyjęcia innej metody przesyłania informacji o kolorze niż w eksploatowanych obecnie systemach telewizji kolorowej. Przesyłanie szerokopasmowych kolorów podstawowych RGB jest nieekonomiczne i wymaga idealnego zrównoważenia torów przesyłowych. Zmiana bowiem poziomu jednego z sygnałów ma duży wpływ na jakość obrazu. Przyjmuje się więc - podobnie jak w systemach analogowo-cyfrowych oraz systemach o podwyższonej jakości, opisanych w Biuletynie Informacyjnym It, nr 3-4(296-297), 1992 r. - przesyłanie sygnałów składowych telewizji kolorowej, tzn. sygnału luminancji (Y) i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu (R-Y i B-Y). Dąży się poza tym do uzyskania takiej samej rozdzielczości obrazu w kierunku poziomym jak i pionowym, przy założeniu dwukrotnego wzrostu rozdzielczości pionowej (punkt C). Powinno się zatem uzyskać również dwukrotny wzrost rozdzielczości poziomej. Pasmo częstotliwości sygnału luminancji powinno więc być znacznie szersze niż w systemach konwencjonalnych. Według np. propozycji japońskiej przy stosunku boków obrazu 5:3, 1125 liniach wybierania i 60 polach obrazu na sekundę szerokość pasma częstotliwości sygnału luminancji powinna wynosić ok. 20 MHz.

Szerokości pasma częstotliwości sygnałów różnicowych kolorowości obrazu (R-Y i B-Y) mogą być oczywiście węższe niż sygnału luminancji. Badania subiektywnej oceny jakości obrazów (rys. 8) przeprowadzone w Japonii wykazały, że rozdzielczość kolorów czerwono-zielonych powinna być większa niż kolorów Żółto-niebieskich. Stąd proponowana przez Japonię wartość pasma częstotliwości dla sygnału R-Y - 7 MHz, a dla sygnału B-Y - 5,5 MHz.



Rys. 8. Zależność pomiędzy jakością obrazu a szerokością pasma częstotliwości sygnałów różnicowych kolorowości obrazu

W innej propozycji [18] podano wartość szerokości pasma częstotliwości sygnałów podstawowych i sygnału luminancji równe 30 MHz, a sygnałów różnicowych kolorowości obrazu również 30 MHz lub 15 Hz, gdy sygnał jest wytworzony z sygnału cyfrowego. Zależności określające składowe sygnału telewizji kolorowej wynikają z przyjętego położenia kolorów podstawowych

na wykresie chrominancji oraz z przyjętego rodzaju korekcji wstępnej. Stąd też wynikają różnice występujące pomiędzy dwiema omawianymi propozycjami.

Zgodnie więc z propozycją japońską:

$$E_Y^I = 0,212 E_R^I + 0,701 E_G^I + 0,087 E_B^I,$$

$$E_{PR}^I = \frac{E_R^I - E_Y^I}{1,576},$$

$$E_{PB}^I = \frac{E_B^I - E_Y^I}{1,826},$$

a zgodnie z propozycją europejską:

$$E_Y^I = (0,3392 E_R^I + 0,6217 E_G^I + 0,0391 E_B^I),$$

$$E_{C1}^I = 1,8 (E_R^I - E_Y^I),$$

$$E_{C2}^I = 0,8 (E_B^I - E_Y^I).$$

H. Forma analogowa sygnału

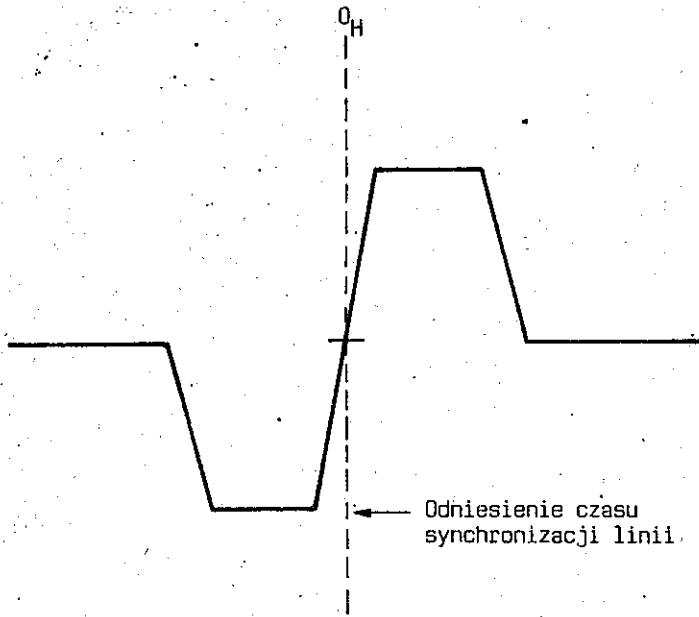
Amplitudy sygnałów składowych telewizji kolorowej dla systemów o dużej rozdzielczości nie są dotychczas jeszcze uzgodnione. Jedynie w obu propozycjach przyjmuje się poziom czerni sygnałów stanowiący odniesienie o wartości 0 mV.

W systemie japońskim [18] proponuje się (podobnie jak w systemach konwencjonalnych) przyjęcie wartości sygnału luminancji zmieniającej się od 0 do 700 mV, a sygnałów różnicowych kolorowości obrazu (dwubiegunowych zmieniających się od 0 do +350 mV).

Natomiast w systemie europejskim [17] proponuje się, aby sygnał luminancji zmieniał się od 0 do 1000 mV (ze względu na uzyskiwanie prostej zależności pomiędzy powyższymi równaniami i sygnałami), a sygnały różnicowe zmieniałyby się od 0 do +650 mV.

Następnym, rozważanym jeszcze problemem jest kształt impulsów synchronizacji i wygaszania linii i pół obrazu. Przyjęto,

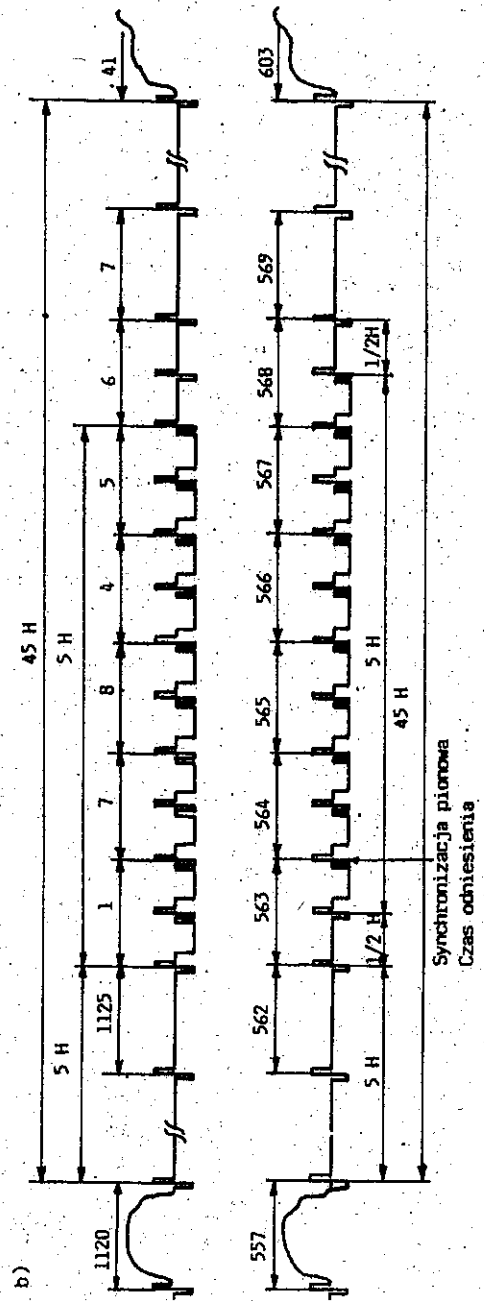
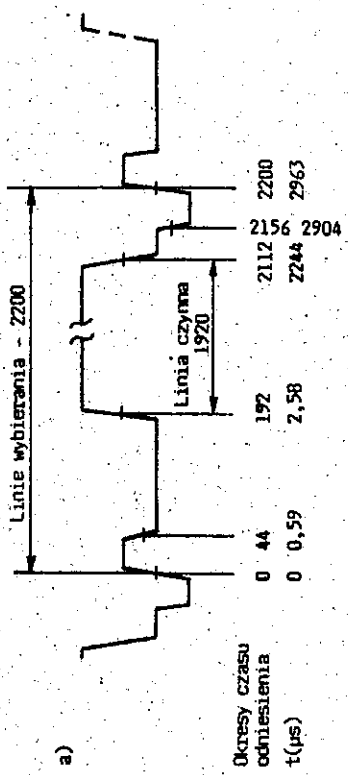
że impulsy synchronizacji linii [9, 17] oraz impulsy odniesienia czasu są dwubięgunowe, trzy poziomowe o przebiegu podanym na rys. 9 i o amplitudzie równej ± 300 mV. Natomiast czasy trwania i kształty impulsów wygaszania linii i pól obrazu znajdują się jeszcze ciągle w stadium badań.

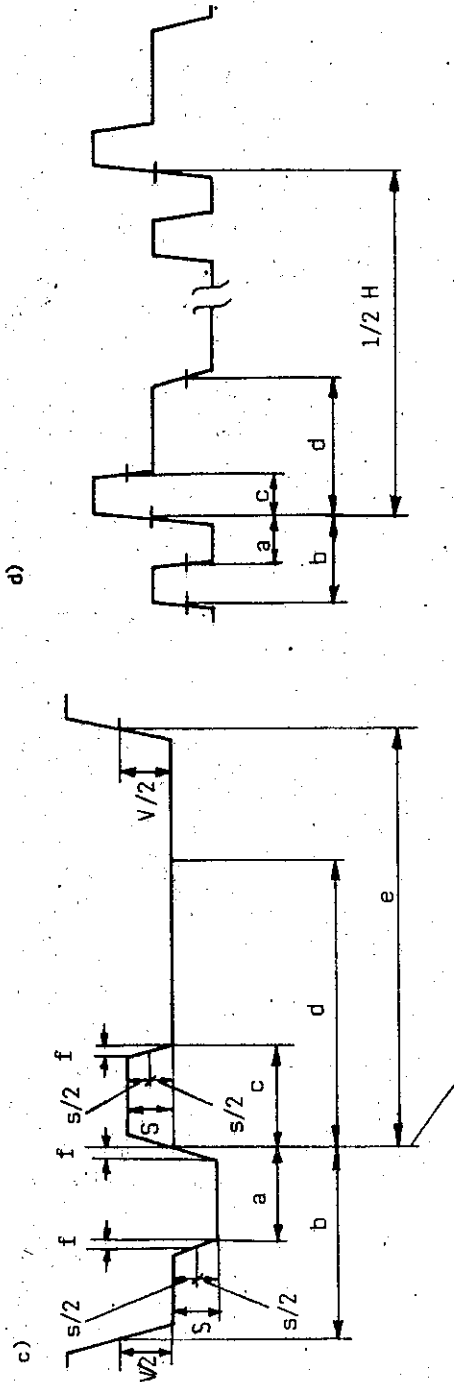


Rys. 9. Kształt sygnału synchronizacji linii i odniesienia czasu

System proponowany przez Japonię [18] przyjmuje:

- czas trwania impulsu wygaszania linii 3,77 μ s,
- czas trwania impulsu wygaszania pola 45 H,
- częstotliwość zegarowa odniesienia (nominalna) 74,25 MHz,
- czas trwania sygnału zegarowego odniesienia $\tau = 13,47$ ns = $\frac{H}{2200}$,
- przebiegi tych sygnałów podano na rys. 10.





Rys. 10. Przebiegi sygnałów synchronizacji i wygaszania w systemie japońskim
a) linia wybierania; b) okres wygaszania pola; c) okres wygaszania linii; d) sygnał synchronizacji pola

V - poziom odniesienia białej, S - poziom synchronizacji, a - 44 okr. (0,593 μ s); b - 88 okr. (1183 μ s); c - 44 okr. (0,593 μ s); d - 132 okr. (1,778 μ s); e - 192 okr. (2,586 μ s); f - 4 okr. (0,054 μ s) - czas narastania impulsów synchronizujących

J. Częstotliwość próbkowania

Częstotliwość próbkowania jest funkcją liczby linii w obrazie, częstotliwości pól obrazu i obrazów oraz liczby próbek na linii wybierania.

Biorąc jednak pod uwagę pożądaną kompatybilność z cyfrowym systemem studyjnym proponuje się, aby była ona wielokrotnością częstotliwości 2,25 MHz, stanowiącej najmniejszą wspólną wielokrotność częstotliwości linii obu rozważanych systemów (50 i 60 pól na sekundę).

K. Kompatybilność systemów z konwencjonalnymi systemami telewizji kolorowej

Kompatybilność z konwencjonalnymi systemami telewizji kolorowej jest bardzo istotna zarówno ze względu na umożliwienie odbioru emitowanych programów o dużej rozdzielczości obrazu widzom posiadającym odbiorniki telewizji konwencjonalnej, jak również w celu umożliwienia przetwarzania programów o dużej rozdzielczości na programy telewizji konwencjonalnej już w ośrodkach telewizyjnych (dla zwiększenia opłacalności produkcji programów o dużej rozdzielczości). Pożądana jest również możliwość przetwarzania programów archiwalnych, wyprodukowanych w systemach konwencjonalnych na programy o dużej rozdzielczości [12].

Przetwarzanie standardów w tym przypadku może obejmować przetwarzanie współczynnika kształtu, liczby linii w obrazie oraz częstotliwości pól obrazu i obrazów. Ten ostatni proces stanowi obecnie poważny problem techniczny.

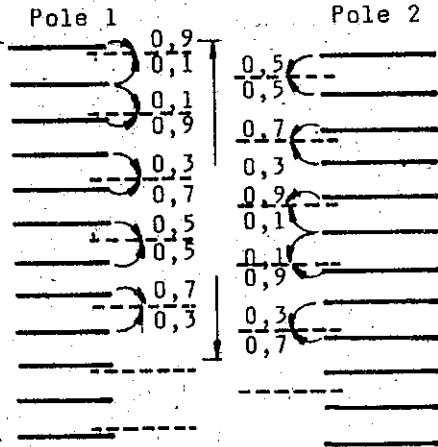
Badania przeprowadzone przez BBC [12] pokazały, że przetwarzanie drogą nieadapttywnej interpolacji sygnałów obrazu o częstotliwości pola 80 Hz na sygnały o częstotliwości pola 50 Hz lub 60 Hz daje dwukrotnie lepszą jakość obrazu niż przetwarzanie sygnałów o częstotliwości pola 60 Hz na sygnały o częstotliwości 50 Hz i odwrotnie.

Przetwarzanie natomiast liczby linii można przeprowadzić w zasadzie drogą interpolacji. Przykład możliwości przetworzenia 1035 linii telewizji o dużej rozdzielczości na liczby

linii telewizyjnych systemów konwencjonalnych drogą prostej interpolacji (obliczanie wartości próbek na linii z dwóch linii sąsiedzkich) podano na rys. 11. Taka prosta interpolacja nie daje jednak zadowalających wyników, należy więc stosować układy znacznie bardziej skomplikowane. Problem oczywiście znacznie upraszcza się przy odpowiednio dobranej liczbie linii w obrazie i liczbie próbek na linii. Uzyskanie jednak jednocześnie prostej zależności dla obu systemów (625)50 i 525(60) nie jest obecnie możliwe.

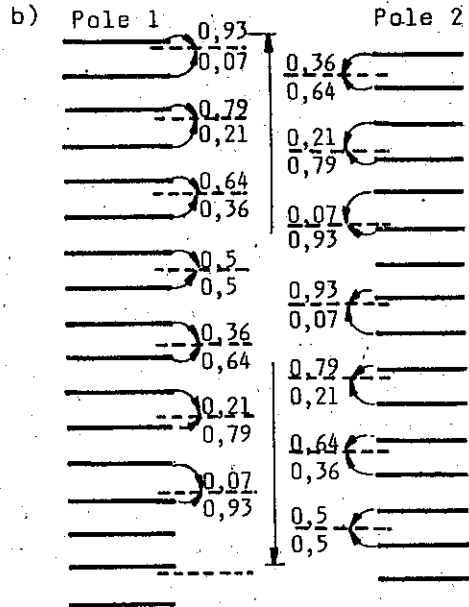
a)

625/50 Hz



1035 → 575 ← 1035
Linie czynne/Wysokość obrazu
9 : 5 : 9

525/60 Hz



1035 → 483 ← 1035
Linie czynne/Wysokość obrazu
15 : 7 : 15

Rys. 11. Przetwarzanie liczby linii
a) na 625 linii; b) na 525 linii

L. Kompatybilność systemów ze studyjnym standardem cyfrowym 4:2:2

Obecnie rozważany standard telewizji o dużej rozdzielczości jest w zasadzie standardem analogowym. Jednak przewiduje się, że wiele fragmentów toru sygnału będzie cyfrowych oraz że obróbka sygnałów będzie również cyfrowa. Dlatego jest bardzo ważne ustalenie podstawowych parametrów sygnału cyfrowego oraz jego kompatybilność z sygnałami cyfrowymi obecnego standardu studyjnego. Dotyczy to zarówno częstotliwości próbkowania, jak i liczby próbek na linii czynnej.

Proponowana, np. w systemie japońskim, liczba próbek na linii czynnej 1920 dla współczynnika kształtu 16:9 odpowiada liczbie próbek 1440 dla odcinka linii czynnej obrazu o współczynniku kształtu 4:3, co stanowi dokładnie dwukrotną liczbę próbek na linii czynnej przyjętą w systemach konwencjonalnych (720).

3. PROPONOWANE PODSTAWOWE PARAMETRY STANDARDU TELEWIZJI O DUŻEJ ROZDZIELCZOŚCI OBRAZU DLA STUDIO I DO WYMIANY MIĘDZYNARODOWEJ [9, 16]

Proponowane obecnie przez CCIR parametry ogólnościowego standardu telewizji o dużej rozdzielczości opierają się przede wszystkim na przeprowadzonych w wielu krajach pracach badawczych. Czynniki wpływające na wybór podstawowych parametrów systemu zostały omówione w pkt. 2. Jak widać, uzgodnienie wartości wielu z nich jest sprawą bardzo trudną i w systemie analogowym raczej obecnie niemożliwą. Dlatego w przyjętym Zaleceniu 709 CCIR podano jedynie wartości tych parametrów, które mogą być już obecnie jednakowe dla obu systemów konwencjonalnych (50 pól na sekundę i 60 pól na sekundę), a więc mogą być przyjęte dla standardu ogólnościowego. Zostały one zgrupowane w tablicach 1 + 6.

Tablica 3

Parametry systemu wybierania

Parametr	Wartość
Kierunek wybierania elementów obrazu	ze strony lewej do prawej i z góry do dołu
Częstotliwość obrazu	wymaga dalszych badań
Struktura wybierania	docelowo - kolejniowa (1:1) przejściowo- międzyliniowa (2:1)

Tablica 4

Kształty sygnałów

Parametr	Wartość
Nielinearna korekcja wstępna sygnałów podstawowych	$\gamma = 0,45$
Równanie sygnału luminancji E'_Y	$E'_Y = 0,2125E'_R + 0,7154E'_C + 0,0721E'_B$
Równania sygnałów różnicowych kolorowości obrazu E'_{PB}, E'_{PR}	$E'_{PR} = 0,6349(E'_R - E'_Y)$ $E'_{PB} = 0,5389(E'_B - E'_Y)$
Równania cyfrowych sygnałów kolorowości obrazu $C_1^*), C_2^*)$	cyfrowa reprezentacja równań sygnałów analogowych
*) C_1, C_2 - sygnały różnicowe kolorowości obrazu	

Tablica 5

Forma analogowa sygnału

Parametr	Wartość
1	2
Nominalne poziomy sygnałów E'_Y, R'_G, E'_R, E'_B	czerń odniesienia 0 mV, biel odniesienia 700 mV (na 75Ω); pozostałe wymagają dalszych badań
Nominalne poziomy sygnałów E'_{PB}, E'_{PR}	± 350 mV (na 75Ω)
Kształt sygnału synchronizacji	sygnały trypoziomowe biopolarne (rys. 9)

cd tablicy 5

1	2
Czas odniesienia	jak na rys. 9
Poziom sygnału synchronizacji	+300 mV (na 75 Ω)
Czas trwania sygnału wygaszania poziomego	wymaga dalszych badań
Czas trwania sygnału wygaszania pionowego	wymaga dalszych badań

Tablica 6

Forma cyfrowa sygnału

Parametr	Wartość
Kodowane sygnały	R, G, B lub Y, C ₁ , C ₂
Częstotliwość próbkowania R, G, B, Y	jest całkowitą wielokrotnością częstotliwości 2,25 MHz
Częstotliwość próbkowania sygnałów C ₁ , C ₂	równa 1/2 częstotliwości próbkowania sygnału luminancji
Liczba próbek na całej linii wybierania sygnałów R, G, B, Y C ₁ , C ₂	wymaga dalszych badań
Struktura próbkowania sygnałów R, G, B, Y	ortogonalna, powtarzająca się co linię i co obraz
Struktura próbkowania sygnałów C ₁ , C ₂	próbki C ₁ i C ₂ powinny być pobierane w tych samych punktach obrazu i pokrywać się z co drugą próbka sygnału luminancji
Kodowanie sygnału	wymaga dalszych badań
Nominalne poziomy sygnałów R, G, B, Y	wymagają dalszych badań
Nominalne poziomy sygnałów C ₁ , C ₂	wymagają dalszych badań
Słowa synchronizacji	wymagają dalszych badań
Przewidywana prędkość bitowa	w systemach obecnie eksploatowanych 0,8+1,2 Gbit/s w systemach przyszłościowych: 2,0-3,0 Gbit/s
Przewidywane ograniczenie szybkości bitowej	do poziomu STM-4 (622,080 Mbit/s) oraz do poziomu STM-1 (155,520 Mbit/s)

4. PROPONOWANE OBECNIE ANALOGOWE STUDYJNE SYSTEMY O DUŻEJ ROZDZIELCZOŚCI

Na podstawie rozważań podanych w pkt. 2 powstało wiele propozycji parametrów systemów o dużej rozdzielczości. Najpoważniej są brane jednak pod uwagę dwa systemy:

- propozycja japońska, oparta na systemie 1125 linii i 60 pól na sekundę;
- propozycja europejska, oparta na systemie 1250 linii i 50 pól obrazu na sekundę.

4.1. System japoński

4.1.1. Parametry techniczne

Wytwarzany w studio sygnał wizyjny o dużej rozdzielczości ma w tym systemie parametry podane w tablicach 7-11.

Tablica 7

Podstawowe parametry systemu japońskiego

Parametr	Wartość
Liczba linii wybierania obrazu	1125
Liczba czynnych linii wybierania obrazu	1035
Wybieranie międzyliniowe	2:1
Współczynnik kształtu (H:V)	16:9
Częstotliwość pól obrazu	60 Hz
Częstotliwość linii wybierania	33750 Hz

Parametry kolorymetryczne w systemie japońskim

Parametr	Wartość
Położenie kolorów podstawowych na wykresie chrominancji (CIE 1931)	$\begin{array}{cc} x & y \\ R & 0,630 \quad 0,340 \\ G & 0,310 \quad 0,595 \\ B & 0,155 \quad 0,070 \end{array}$
Położenie tzw. bieli odniesienia ($E'_R = E'_G = E'_B$) na wykresie chrominancji	światło typu D65
Charakterystyka przejściowa elektro-optyczna dla odbiornika odniesienia	$\begin{array}{cc} x & y \\ 0,3127 & 0,3290 \\ L^* = [(V^* + 0,1115)/1,1115(1/0,45)] \\ \text{dla } V^* \geq 0,0913 \\ L^* = V^* / 4,0 \\ \text{dla } V^* < 0,0913 \end{array}$
Współczynnik δ odtwarzania odniesienia, dla którego realizuje się korekcję wstępną kolorów podstawowych.	ok. 2,2
Charakterystyka przejściowa optoelektroniczna dla kamery odniesienia	$\begin{array}{l} V^* = 1,1115xL(0,45) - 0,1115 \\ \text{dla } L^* \geq 0,0228, \\ V^* = 4,0xL^* \\ \text{dla } L^* < 0,0228 \end{array}$
Przesyłane sygnały ^{**)}	$\begin{bmatrix} E'_G \\ E'_B \\ E'_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,000 & -0,227 & -0,477 \\ 1,000 & 1,826 & 0,000 \\ 1,000 & 0,000 & 1,576 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E'_{YY} \\ E'_{PB} \\ E'_{PR} \end{bmatrix}$
Równania sygnałów różnicowych kolorowości obrazu	$\begin{bmatrix} E'_Y \\ E'_{PB} \\ E'_{PR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,701 & 0,087 & 0,212 \\ -0,384 & 0,500 & -0,116 \\ -0,445 & -0,055 & 0,500 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E'_G \\ E'_B \\ E'_R \end{bmatrix}$ $E'_{PR} = \frac{E'_R - E'_Y}{1,576}, \quad E'_{PB} = \frac{E'_B - E'_Y}{1,826}$
<p>*) L - poziom sygnału świetlnego, V - poziom sygnału wizyjnego.</p> <p>**) E'_R, E'_G, E'_B - sygnały kolorów podstawowych po korekcji wstępnej, E'_Y, E'_{PR}, E'_{PB} - sygnały luminancji i różnicowe kolorowości obrazu wytworzone z sygnałów E'_R, E'_G, E'_B w linearnym układzie macierzowym.</p>	

Reprezentacja analogowa w systemie japońskim*)

Parametr	Wartość
Nominalne poziomy**) sygnałów E_Y i E_G	poziom odniesienia czerni 0 mV
	poziom odniesienia bieli 700 mV
E_R , E_B z sygnałem synchronizacji	poziom synchroni- zacji $+300$ mV***)
Nominalne poziomy**) sygnałów E_{pR} , E_{pB} z sygnałem synchro- nizacji	zerowy poziom odniesienia 0 mV
	szczytowy poziom odniesienia $+350$ mV
	poziom synchro- nizacji $+350$ mV***)
Sz szerokość pasma częstotliwości	sygnałów E_R , E_G , E_B nom. 30 MHz
	sygnału E_Y nom. 30 MHz
	sygnałów E_{pB} , E_{pR} nom. 15/30 MHz****)
<p>*) Obraz jest reprezentowany przez trzy równoległe, współbieżne w czasie sygnały wizyjne. Są to bądź sygnały kolorów podstawowych zielony (E_G), niebieski (E_B) i czerwony (E_R) bądź sygnału luminancji (E_Y) i sygnały różnicowe kolorowości obrazu niebieski (E_{pB}) i czerwony (E_{pR}). Każdy z nich zawiera odpowiednie sygnały synchronizujące.</p> <p>**) na rezystancji 75Ω</p> <p>***) sygnał biopolarny trypoziomowy</p> <p>****) 15 MHz jest stosowane, gdy źródło sygnału jest cyfrowe.</p>	

Tablica 10

Analogowe sygnały synchronizacji i wygaszania
w systemie japońskim

Parametr	Wartość
Kształt sygnału synchronizacji	bipolarny trypoziomowy
Nominalna szerokość impulsu wygaszania linii	3,77 μ s
Szerokość impulsu wygaszania pola	45 H
Częstotliwość zegarowa odniesienia	74,25 MHz \pm 10 ppm
Okres sygnału zegarowego odniesienia	T = 13,47 nsek = H/2200
Czas trwania linii wybierania	29,63 μ s (2200 okresów zegarowych)
Czas trwania czynnej części linii wybierania	25,86 μ s (1920 okresów zegarowych)
Przebiegi sygnałów na linii wybierania	podane na rys. 10a
Przebiegi sygnałów wygaszania pola	podane na rys. 10b
Przebiegi sygnałów wygaszania linii	podane na rys. 10c
Przebiegi sygnałów synchronizacji pola	podane na rys. 10d

Tablica 11

Rezystancja cyfrowa w systemie japońskim

Parametry sygnałów wizyjnych	Wartość
1	2
Sygnały kodowane Y, C_R i C_B	są otrzymywane z sygnałów E'_y , $E'_R - E'_y$ i $E'_B - E'_y$ po korekcji gamma
Liczba próbek na linii wybierania sygnału luminancji (Y)	2200
każdego z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu (C_R , C_B)	1100

1	2
<p>Struktura próbkowania</p> <p>Wzajemne położenie na obrazie próbek sygnałów składowych</p> <p>Częstotliwość próbkowania sygnału luminancji (Y) każdego z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu</p> <p>Rodzaj kodowania</p> <p>Liczba bitów na próbkę</p> <p>Liczba próbek na czynnej części linii wybierania sygnału luminancji (Y) każdego z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu</p> <p>Zakres charakterystyki kwantowania</p> <p>Pozostałe parametry sygnałów cyfrowych, jak zależność czasu pomiędzy sygnałami analogowymi na linii wybierania i sygnałami cyfrowymi oraz określenie poziomów kwantowania sygnału luminancji i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu, wymagają dalszych badań.</p>	<p>ortogonalna, stała, powtarzająca się co linię, co pole i co obraz</p> <p>próbki sygnałów różnicowych C_R i C_B powinny być pobierane w tych samych punktach obrazu i pokrywać się z nieparzystymi (1, 3, 5 itd.) próbkami sygnału luminancji Y w każdej linii wybierania</p> <p>nom. 74,25 MHz</p> <p>nom. 37,125 MHz</p> <p>linearna modulacja impulsowo-kodowa</p> <p>N^{*)} - dla sygnału luminancji i każdego z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu</p> <p>1920</p> <p>960</p> <p>0 do $(2^N - 1)$</p>
<p>*⁾ N - określa żądaną liczbę bitów. Wyznaczenie N wymaga dalszych badań.</p>	

Pomimo że system japoński nie został przyjęty w skali międzynarodowej, przemysł japoński opracował wiele urządzeń studyjnych, które są już produkowane seryjnie. Urządzenia te były demonstrowane w różnych krajach europejskich, między innymi w Polsce, a także na Zebraniu Plenarnym OIRT na Węgrzech, na międzysesyjnym zebraniu 11 Komisji Studiów CCIR w Genewie oraz na wystawie towarzyszącej Sympozjum Telewizyjnemu w Montreaux. W Japonii prowadzi się też stałe (11 godzin dziennie) emisje programów o dużej rozdzielczości. Transmitowane również były do Japonii mistrzostwa świata w piłce nożnej Italia '90.

Do najciekawszych urządzeń studyjnych telewizji o dużej rozdzielczości obrazu, opracowanych w Japonii należą:

- a) kamera przenośna opracowana na jednocalowej lampie Saticon, której warstwa fotoczuła ma dla kanału zielonego czułość 1,5 raza większą niż w lampie konwencjonalnej, a dla kanału czerwonego nawet dwukrotnie większą; kamera ma rozdzielczość 12000 linii, czułość F:4,5 dla 2000 luxów, ciężar 8 kg i pobór mocy 35 W;
- b) ręczna kamera lawinowa HARP^{*)}, opracowana na 2/3 -calowej lampie lawinowej o czułości dziesięciokrotnie większej niż czułość konwencjonalnych kamer telewizji o dużej rozdzielczości (F:2,8 poniżej 200 luxów) z automatycznym dostrajaniem, o wadze 6,5 kg; małoszumny przedwzmacniacz (na tranzystorze FET) zapewnia stosunek sygnału do szumu równy 45 dB. Kamera wytwarza obrazy o dużej jakości nawet w przypadku małego poziomu oświetlenia, np., w teatrach, stadionach sportowych itp;
- c) sensorowa kamera CCD, zawierająca jednocalowy animowany sensor obrazu CCD z dwoma milionami elementów obrazu, o dwa razy większej czułości niż kamery konwencjonalne;
- d) system inktustacji^{**)} wykorzystujący nową technikę produkcji przy syntezie obrazów o dużej rozdzielczości; sygnał

^{*)} HARP - High gain avalanche rushing photoconductor.

^{**)} Termin angielski - video matte.

kluczujący dla syntezy jest wytwarzany za pomocą grafiki komputerowej i odtwarzany na monitorze o dużej rozdzielczości; umożliwia on syntezę dwóch obrazów bez tła niebieskiego, np. przy produkcji filmów;

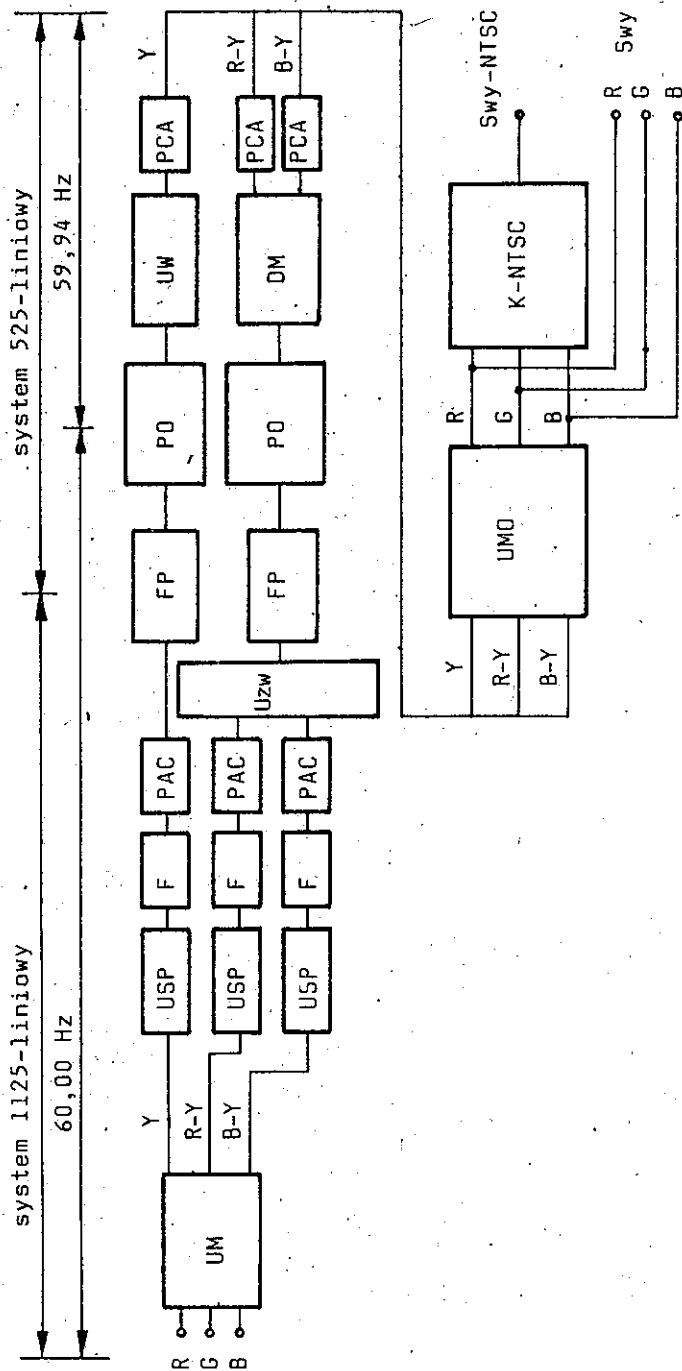
- e) wóz transmisyjny dla telewizji o dużej rozdzielczości wyposażony w trzy kamery połączone z wozem kablami światłowodowymi o długości 1500 m, dwa magnetowidy, analizator przerozry, analogowy przełącznik wizyjny z ośmioma wejściami, układ inkrustacji tła kolorowego, czterokanałowy mikser dźwięku z ośmioma wejściami i nadajnik FPU pracujący na 42 GHz z koderem TCJ sygnału wizyjnego;
- f) przetworniki standardu telewizji o dużej rozdzielczości obrazu na konwencjonalne systemy telewizyjne NTSC i PAL dla umożliwienia przesyłania wytwarzanych w studio sygnałów przez istniejącą sieć nadawczą i transmisyjną.

Proponowany standard telewizji o dużej rozdzielczości 1125/60/2:1 różni się wieloma parametrami od standardów konwencjonalnych 525/59,94/2:1 NTSC i 625/50/2:1 PAL wobec czego przetworniki tych standardów są układami bardzo złożonymi i skomplikowanymi. Dla przykładu zostaną opisane poniżej niektóre procesy zachodzące w tych przetwornikach.

4.1.2. Przetwornik standardu 1125/60 na standard 525/59,94 systemu NTSC

Przetwornik taki składa się z dwóch podstawowych części - pierwszą z nich stanowi przetwornik liczby linii wybierania w obrazie z 1125 na 525, natomiast drugą przetwornik częstotliwości pół obrazu z 60,00 Hz na 59,94 Hz, pracujący na zasadzie pomijania jednego obrazu średnio co 33 psek. Układ blokowy przetwornika standardów telewizji o dużej rozdzielczości na standard systemu NTSC podano na rys. 12.

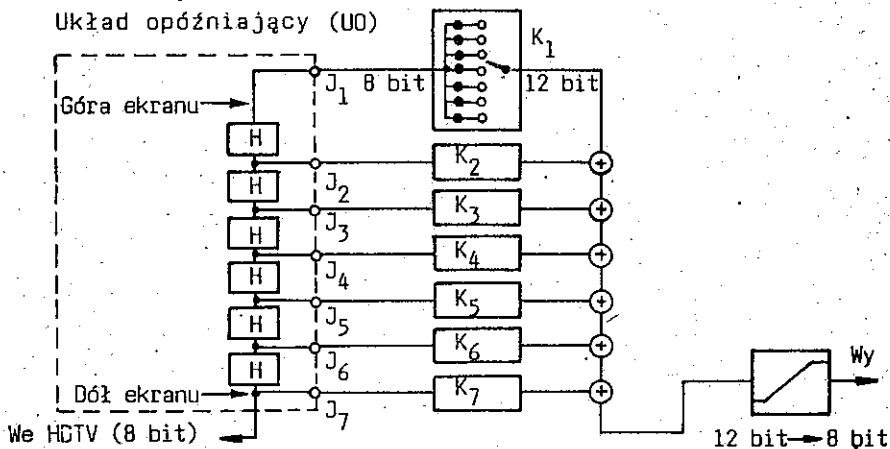
W konwencjonalnym układzie matrycowym wejściowe sygnały R, G, B są zamieniane na sygnały składowe telewizji kolorowej, tzn. na sygnał luminancji (Y) i sygnały różnicowe kolorowości obrazu (R-Y i B-Y). Następnie, sygnały te są przetwarzane na



Rys. 12. Układ blokowy przetwornika standardów japońskiego systemu o dużej rozdzielczości obrazu na NTSC

UM - układ matrycowy, USP - układ stabilizacji poziomu, FD - filtr dolnoprzepustowy, PAC - przetwornik analogowo-cyfrowy, Uzw - układ zwielokrotniający, FP - filtr pionowy, PO - pamięć obrazu, UW - układ uwypuklający, PCA - przetwornik cyfrowo-analogowy, UMO - układ matrycowy odwrotny, K-NTSC koder sygnału NTSC. Swy - sygnał wyjściowy, DM - demultiplekser.

ich odpowiedniki cyfrowe w 8-bitowych przetwornikach analogowo-cyfrowych. Cyfrowe sygnały różnicowe zostają z kolei wielokrotnie w czasie, tworząc tzw. sygnał C, po czym sygnały Y i C podlegają procesowi przetwarzania liczby linii wybierania drogą interpolacji i podpróbkowania w kierunku pionowym. Proces ten jest przeprowadzany w układach tzw. filtrów "pionowych"*) (rys. 13) [16]. Sygnały uzyskane na wyjściu filtrów "pionowych" (525-liniowe) są doprowadzane do układów pamięci pola, w których następuje przetworzenie częstotliwości pół obrazu. Następnie, w układzie uwypuklającym uzyskuje się uwydatnienie zakresu środkowych częstotliwości sygnału luminancji Y w celu zachowania ostrości obrazu po przetworzeniu, a w układzie demultipleksera - rozdział w czasie sygnałów różnicowych. Przetworzone sygnały Y, R-Y i B-Y są w odwrotnym układzie matrycowym zamienione na sygnały kolorów podstawowych RGB, które z kolei sterują konwencjonalny koder NTSC.



Rys. 13. Układ tzw. filtru pionowego

H - opóźnienie 1 H, J_{1-7} - zacisk wyjściowy, K_{1-7} układy "współczynników" mające 7 selektywnych wyjść, \oplus - potencjometr współczynnikowy, \otimes - sumator, WeHDTV - wejście sygnału o dużej rozdzielczości obrazu, Wy - wyjście

*) Termin angielski - vertical filter .

Ogólna zasada przetwarzania liczby linii obrazu opiera się na znalezieniu najmniejszej wspólnej wielokrotności liczby linii na wejściu i wyjściu układu. W omawianym przypadku najmniejszą wspólną wielokrotnością 1125 linii i 525 linii jest 7875 linii, co stanowi podstawę przetwarzania (15:7). Na wejściu układu sygnał użyteczny jest więc przesyłany na jednej linii z każdego siedmiu linii stanowiących podstawę, na wyjściu zaś tylko na jednej linii z każdego piętnastu linii (jest więc jakby podpróbkowany w stosunku 1:15). Otrzymuje się więc:

$$P_n = \sum_1^n h(15n-71)Q_1, \text{ gdzie}$$

- Q_1 - dane na linii wybierania na wejściu (1125 linii),
 l - numer linii wybierania na wejściu,
 P_n - dane na linii wybierania na wyjściu (525 linii),
 n - numer linii wybierania na wyjściu,
 $h(k)$ - charakterystyka impulsowa filtra dolnoprzepustowego 1/15 (7875 linii),
 k - liczba całkowita.

W idealnym przypadku $h(k)$ powinna być charakterystyką ciągłą. Nie może być ona jednak zrealizowana w rzeczywistym układzie. W układach praktycznych zastępuje się ją skończoną liczbą charakterystyk cząstkowych, tak aby otrzymać płaską charakterystykę w pasmie przepustowym i odpowiednie (dla uniknięcia zniekształceń przeplatania) tłumienie w pasmie zaporowym. W układzie podanym na rys. 12 stosuje się 49 współczynników od $h(-24)$ do $h(+24)$.

Na wyjściu każdej linii opóźniającej o jedną linię wybierania (H) znajduje się siedem potencjometrów (tzw. potencjometrów współczynnikowych^{*)}), przełączanych kolejno, a ich wyjścia sumuje się dla uzyskania żądanych informacji. W ten sposób dane nadawane na 1125 liniach są zgromadzone na 525 liniach i są dostępne w sposób nieciągły. Następnie wpisuje się

^{*)} Termin angielski - coefficient potentiometer .

je do pamięci obrazu, skąd są odczytywane w takt sygnałów synchronizacji systemu NTSC. Teoretycznie, wskutek międzyliniowości wybierania przed przetwornikiem liczby linii obrazu powinno umieścić się tzw. przetwornik obrazu^{*)}, w którym nastąpiłaby zamiana wybierania międzyliniowego na kolejno liniowe. Układy takie działają poprawnie dla obrazów stałych, dla obrazów ruchomych mogą jednak wprowadzać szereg zakłóceń związanych z ruchem, których uniknięcie bardzo komplikuje układ i zwiększa jego rozmiary. Zastosowanie natomiast przetwarzania linii obrazu w ramach jednego pola obrazu daje prawidłowe odtwarzanie obrazów ruchomych, a dla obrazów stałych mogą wystąpić jedynie słabo zauważalne zakłócenia interferencyjne.

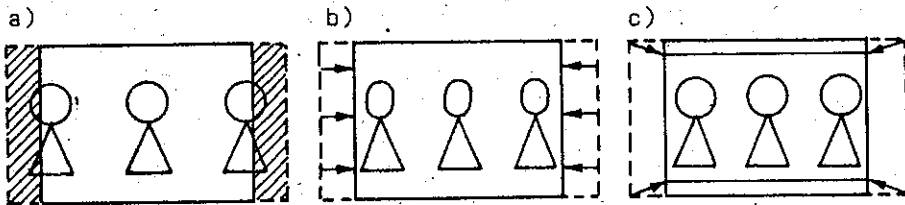
Zasada zastosowania w przetworniku standardów metody przetwarzania częstotliwości pól obrazu jest taka sama, jak zasada pracy stosowanych w eksploatacji cyfrowych synchronizatorów obrazu. Wykorzystuje ona układy pamięciowe o minimalnej pojemności czterech pól. Kolejne obrazy są wprowadzane do pamięci z częstotliwością pola 60 Hz, a odczytywane z niej z częstotliwością 59,94 Hz. Różnica pomiędzy tymi częstotliwościami jest absorbowana przez gromadzenie informacji w pamięci. Jest to możliwe jednak jedynie do momentu przeładowania pamięci. Gdy to nastąpi, jest niezbędne pominięcie jednego obrazu. W opracowanym przetworniku przyjęto pominięcie obrazu średnio co 33 sekundy. Sygnały dźwięku towarzyszącego muszą przy tym mieć również odpowiednie stałe opóźnienie.

Zwiększenie pojemności pamięci pozwala oczywiście wydłużyć okres pomiędzy kolejnymi pominięciami obrazu. I tak przy zastosowaniu pamięci o pojemności 36 obrazów pominięcie obrazu następuje średnio co 20 minut.

Przejęcie z systemu o dużej rozdzielczości obrazu na systemy konwencjonalne wymaga, poza zmianą liczby linii wybierania oraz częstotliwości pól obrazu, również zmiany współczynnika kształtu obrazu. Przejęcie ze współczynnika kształtu 16:9 na

*) Termin angielski - frame converter .

współczynnik 4:3 może być zrealizowane trzema metodami, podanymi na rys. 14. W metodzie A następuje obcięcie pasów bocznych obrazu o wymiarach 16:9 przed ich przetworzeniem na sygnał NTSC. W metodzie B obraz jest skompresowany w kierunku poziomym, przez co następuje pozorne wydłużenie w kierunku pionowym. W metodzie C natomiast, aby otrzymać obraz o rozmiarach 16:9 na ekranie o rozmiarach 4:3 liczba poziomych linii wybiegania jest zamieniana z 1125 na 393, tak że na obrazie oryginalnym powstają czarne pasy na dole i na górze obrazu. Metoda ta jest stosowana najczęściej w układach przetworników, ze względu na łatwość zrealizowania takiej samej kompozycji obrazu zarówno w systemie konwencjonalnym, jak w systemie o dużej rozdzielczości obrazu. Metoda B nie jest dotychczas stosowana. W praktyce natomiast metodę A stosuje się z zamiarem przejścia na system NTSC.

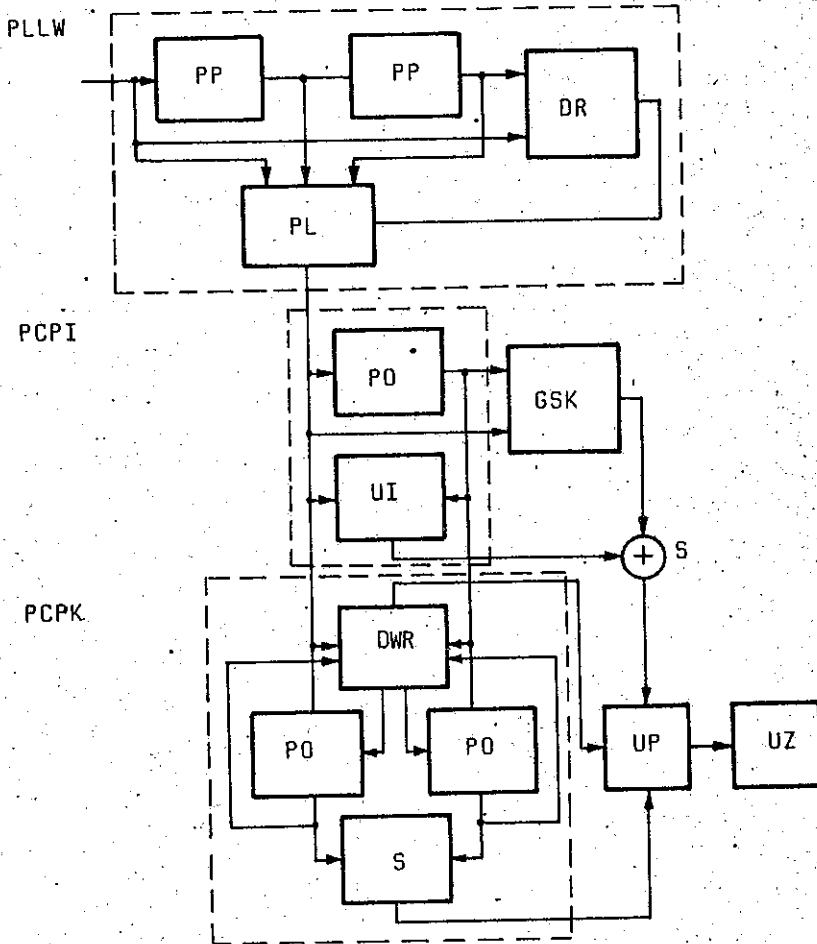


Rys. 14. Zmiana współczynnika kształtu

a) metoda A - pasy lewy i prawy są obcięte; możliwe przejście obrazu w kierunku poziomym do wymiarów 4:3; b) metoda B - kompersja obrazu w kierunku poziomym; c) - metoda C - kompersja w obu kierunkach (poziomym i pionowym)

4.1.3. Przetwornik standardu 1125/60/2:1 na standard 625/50/2:1 systemu PAL [39, 71, 16]

W przetworniku tym [16, 39, 71] różnica ruchu w kolejnych dwóch obrazach jest przedstawiona jako wektor ruchu (odzworowujący odległość i kierunek ruchu) i elementy dwóch obrazów są przesuwane zgodnie z tym wektorem, tworząc obraz zinterpolowany. Schemat blokowy takiego przetwornika podano na rys. 15.



Rys. 15. Schemat blokowy przetwornika standardów japońskiego systemu o dużej rozdzielczości na PAL 625/50/2:1

PL,W - przetwornik liczby linii i rodzaju wybierania, PP - pamięć pola, DR - detektor ruchu, PL - przetwornik liczby linii, PCPI - przetwornik częstotliwości pól obrazu z linearną interpolacją, PO - pamięć obrazu, UI - układ interpolacji, GSK - generator sygnału konturów, PCPK - przetwornik częstotliwości pól obrazu z korekcją ruchu, DWR - detektor wektora ruchu, PO - pamięć obrazu, S - sumator, UP - układ przełączający, UZ - układ zmiany sygnału na międzyliniowy

Zachodzą tu kolejno następujące procesy:

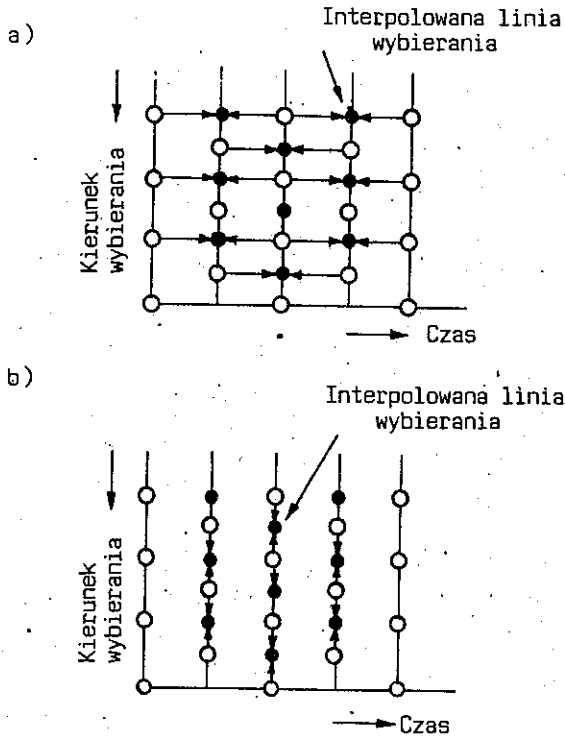
- przetworzenie standardów z 1125/60 na 625/60 oraz wybieranie kolejnoliniowe,
- przetworzenie z systemu 625/60 na system 625/50.

W celu zachowania początkowej rozdzielczości pionowej obrazu, obraz z wybieraniem międzyliniowym jest przed przetwarzaniem liczby linii wybierania zamieniany na obraz z wybieraniem kolejnoliniowym.

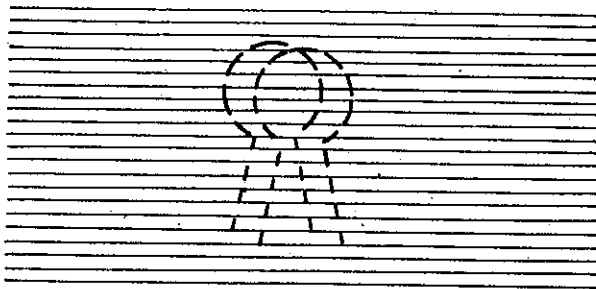
Zasada pracy przetwornika rodzaju wybierania jest przy tym inna dla obrazów stałych, a inna dla ruchomych. W przypadku obrazów stałych są dodawane linie wybierania drogą międzypolowej interpolacji, przy zastosowaniu dwóch układów pamięci pola (rys. 16a). W przypadku obrazów ruchomych (rys. 16b) ruch w obrazie powoduje powstawanie podwójnych obrazów, jak to pokazano na rys. 17. Aby tego uniknąć, stosuje się interpolację wewnątrzpolową, z wykorzystaniem dwóch kolejnych (w danym polu) linii wybierania. Przełączanie pomiędzy powyższymi dwiema metodami pracy jest realizowane przez układ detekcji ruchu, w którym następuje oddzielenie stałych i ruchomych części obrazu. Przetwornik liczby linii z 1125 na 625 (9:5) działa na zasadzie opisanej uprzednio z zastosowaniem filtrów pionowych (rys. 18).

Przetwornik częstotliwości pól obrazu składa się z dwóch części: przetwornika pracującego z linearną interpolacją dla obrazów stałych i obrazów zawierających mało elementów ruchu oraz przetwornika z korekcją ruchu w obrazie dla części obrazów zawierających dużo elementów ruchu.

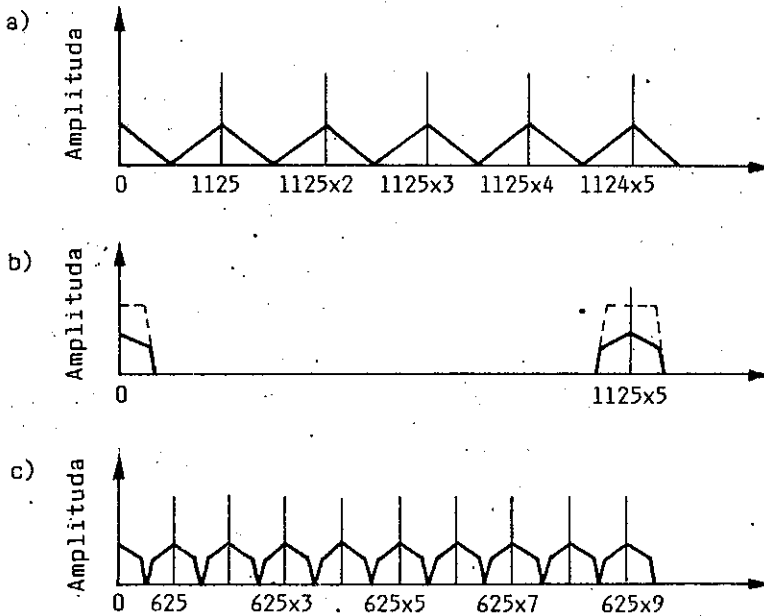
Linearny układ interpolacji pracuje na tej samej zasadzie jak konwencjonalne przetworniki standardów z wykorzystaniem pamięci obrazu przez obliczenie średniej wagowej elementów położonych w poprzednich i następnych obrazach proporcjonalnie do ich położenia w czasie w stosunku do obrazu interpolowanego. Ponadto przez wyciągnięcie konturów obrazów ruchomych i dodanie ich do wyjściowego sygnału zinterpolowanego uwypukla się kontury obrazów ruchomych i unika śnieżenia.



Rys. 16. Interpolacja linii przy przejściu z wybierania międzyliniowego na kolejnoliniowe
 a) dla obrazów stałych; b) dla obrazów ruchomych.

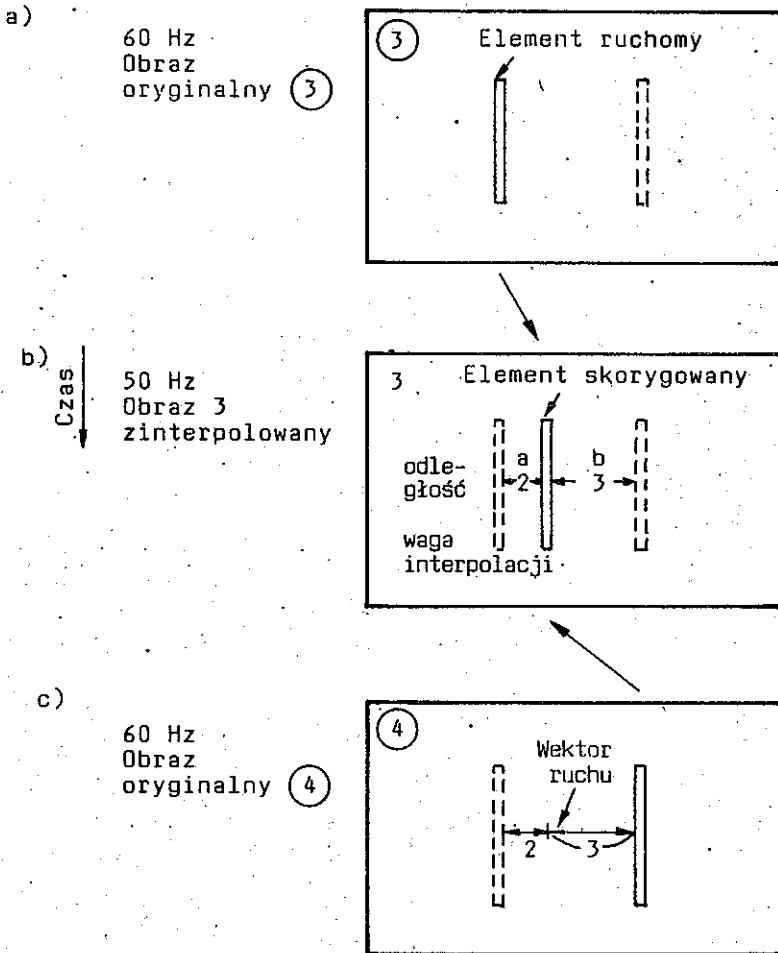


Rys. 17. Podwójny obraz powstający przy międzypolowej interpolacji przy wybieraniu międzyliniowych obiektów ruchomych



Rys. 18. Przetworzenie liczby linii wybierania z 1165 na 625
 a) widmo sygnału wizyjnego 1125 liniowego; b) charakterystyka częstotliwościowa filtra pionowego; c) widmo sygnału wizyjnego 625 liniowego po przetworzeniu

Interpolator z korekcją ruchu zawiera przede wszystkim detektor wektora ruchu, w którym się porównuje poprzednie i obecne obrazy oraz określa wielkość i kierunek ruchu. Wektor ruchu jest wytwarzany przez podział obrazu na szereg bloków, ich analizę oraz wydzielenie części ruchomych ze stałych elementów obrazu. Sygnały dwóch kolejnych obrazów są gromadzone odpowiednio w dwóch pamięciach obrazu. Jak podano na rys. 19 położenie elementów obrazu w każdym z obrazów jest zmieniane zgodnie z długością i kierunkiem wektora ruchu proporcjonalnego do odstępów w czasie (a, b) występowania obrazów oryginalnych oraz obrazu wytworzonego drogą interpolacji. Sygnały te są następnie dodawane ze współczynnikami wagowym 1/2, dając sygnał obrazu zinterpolowany z korekcją ruchu.



Rys. 19. Interpolacja wewnątrzpolowa poprzez korekcję ruchu

Sygnaly z linearnego układu interpolacji i układu interpolacji z korekcją ruchu są selektywnie przełączone w układzie sterowanym ruchem obrazu, aby otrzymać minimalną różnicę pomiędzy obrazami.

Wytworzony w ten sposób sygnał kolejnoliniowy 625/50 jest następnie zamieniany drogą próbkowania i rozciągnięcia w czasie linii wybierania na sygnał międzyliniowy oraz doprowadzany na wejście konwencjonalnego kodera systemu PAL.

4.2. Proponowany system europejski [12, 14, 15, 16, 18]

Grupa Eureka EU 95 zaproponowała studyjny standard o dużej rozdzielczości obrazu stanowiący rozszerzenie cyfrowego standardu studyjnego, opartego na Zaleceniu 601 CCIR. Opracowano przy tym dwa podstawowe warianty tego systemu. Jako system docelowy jest proponowany system oparty na wybieraniu kolejnoliniowym. Pozwala to na uzyskanie większej rozdzielczości pionowej obrazu niż w przypadku wybierania międzyliniowego, uniknięcie zniekształceń wywołanych przeplataniem pól oraz ułatwia przeprowadzenie obróbki sygnałów obrazu o dużej jakości. Wymaga jednak bardzo szerokiego pasma częstotliwości sygnałów analogowych oraz bardzo dużych prędkości bitowych sygnałów cyfrowych.

Proponowane obecnie parametry tego systemu podano w tablicach 12, 13, 14, 15, 16. Jest to tzw. standard HDP*) - system telewizji o dużej rozdzielczości z wybieraniem kolejnoliniowym.

Spotyka się również inną wersję reprezentacji cyfrowej systemu kolejnoliniowego o mniejszej prędkości bitowej [15]. Wersja ta różni się o podanej powyżej strukturą oraz częstotliwością próbkowania sygnałów składowych. Przyjęto w niej:

- strukturę próbkowania
 - sygnału luminancji
 - sygnałów różnicowych
 - częstotliwość próbkowania
 - sygnału luminancji
 - każdego z sygnałów różnicowych,
 - uzyskując całkowitą prędkość bitową
 - równą
- quincunx linii,
ortogonalną;
- 72 MHz,
36 MHz,
1152 Mbit/s.

Jest to tzw. standard HDQ**) - kolejnoliniowy format telewizji o dużej rozdzielczości. Sygnały tego systemu można uzyskać z sygnałów HDP przez wstępną filtrację w kierunku przekątnej

*) HDP - High - definition progressive scan .

**) HDQ - high definition progressive format.

sygnału luminancji, dzięki czemu uzyskuje się strukturę próbkowania typu quincunx oraz przez filtrację wstępną w kierunku pionowym sygnałów różnicowych kolorowości obrazu, co daje strukturę ortogonalną. Prędkość bitowa sygnału HDQ jest równa połowie prędkości bitowej sygnału HDP.

Na okres przejściowy, od telewizji konwencjonalnej do systemów o dużej rozdzielczości obrazu, projekt Eureka EU95 proponuje drugi wariant systemu 1250 linii/50 pól obrazu, zwany systemem niższego poziomu lub też systemem o ograniczonym pasmie częstotliwości. Jest to system z wybieraniem międzyliniowym. Podstawowe parametry tego systemu [14, 15] podano w tabelicy 17.

Tabelica 12

Parametry wybierania w systemie europejskim

Parametr	Wartość
Liczba linii wybierania w obrazie	1250
Liczba czynnych linii wybierania w obrazie	1152
Wybieranie	kolejneliniowe 1:1
Współczynnik kształtu	16:9
Częstotliwość pól obrazu	50 Hz
Częstotliwość linii wybierania	62,5 kHz

Tabelica 13

Parametry kolorymetryczne w systemie europejskim

Parametr /	Wartość	
Położenie kolorów podstawowych na wykresie chrominancji *)	X	Y
	R 0,6915	0,3083
	G 0,0000	1,0000
	B 0,1440	0,0297
Położenie bieli odniesienia na wykresie chrominancji	światło typu D65	
	x	y
	0,3127	0,3290
*) Czerwony i niebieski są rzeczywistymi kolorami monochromatycznymi o długości fali 620 nm i 460 nm. "Zielony" nie jest kolorem rzeczywistym, a tylko umownym.		

Tablica 14

Charakterystyki przejściowe w systemie europejskim

Parametr	Wartość
Charakterystyka optyczno-elektroniczna źródła odniesienia	linearna $\gamma = 1$
Charakterystyka elektro-optyczny całego toru telewizyjnego o dużej rozdzielczości	$\gamma = 1,26^*)$
Nieliniarna preemfaza sygnałów kolorów podstawowych i sygnału luminancji w studiu	$\gamma = 0,45$
*) Przyjmuje się konwencjonalną lampę obrazową o $\gamma = 2,8$ i sygnały źródła z korekcją wstępną (preemfazą) o $\gamma = 0,45$	

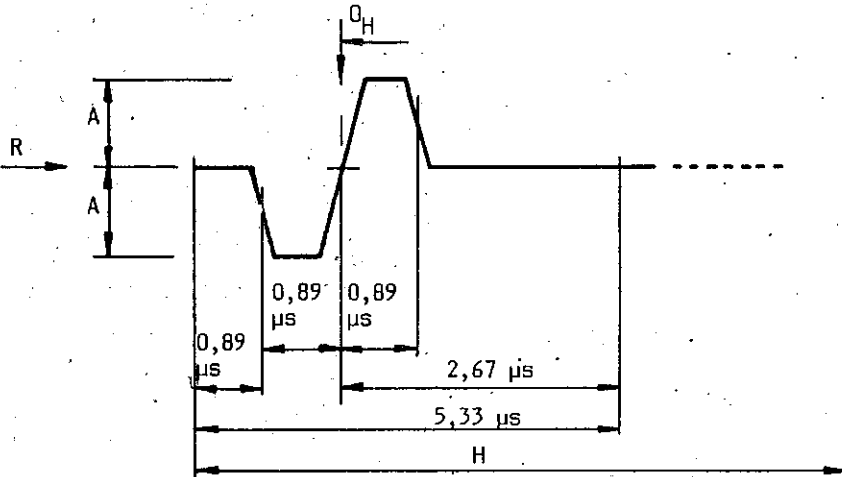
Tablica 15

Reprezentacja analogowa w systemie europejskim *)

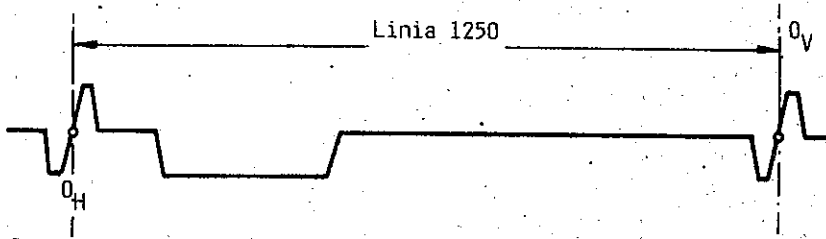
Parametr	Wartość
1	2
Równania preemfazy kolorów podstawowych	$E'_R = E_R^{0,45} \quad /V/$ $E'_G = E_G^{0,45} \quad /V/$ $E'_B = E_B^{0,45} \quad /V/$
Równanie sygnału luminancji	$E'_Y = (0,3392 E_R + 0,6217 E_G + 0,0391 E_B)^{0,45}$ gdzie E_R, E_G i E_B zmieniają się od 0,0 do 1,0
Równania sygnałów różnicowych kolorowości obrazu	$E'_{C_1} = 1,8 (E'_R - E'_Y)$ $E'_{C_2} = 0,8 (E'_B - E'_Y)$

1	2
Nominalne poziomy sygnałów ^{**)} E_Y, E_R, E_G i E_B	poziom odniesienia czerni 0 mV poziom odniesienia bieli 1000 mV
Nominalne poziomy sygnałów ^{***)} E_{C_1} i E_{C_2}	poziom odniesienia achromatyczny 0 mV szczytowy poziom odniesienia +650 mV
Nominalna szerokość pasma częstotliwości	sygnałów E_R, E_G, E_B i R_Y 60 MHz sygnałów E_{C_1} i E_{C_2} 30 MHz
Analogowe sygnały synchronizacji	
Kształt sygnału synchronizacji linii	bipolarny, trójpoziomowy (rys. 20)
Amplituda sygnału synchronizacji linii (A)	±300 mV [*])
Częstotliwość zegarowa odniesienia	2,25 MHz
Czas trwania linii wybierania (H)	16 μs (36 okresów zegarowych)
Czas trwania impulsu wygaszania linii	2,667 μs (6 okresów zegarowych)
Odległość pomiędzy znacznikiem czasu odniesienia (O_H) i tylnym zboczem impulsu wygaszania linii	1,778 μs (4 okresy zegarowe)
Przedni próg impulsu wygaszania linii	0,889 μs (2 okresy zegarowe)
Czas trwania impulsu synchronizacji linii	0,444 μs (1 okres zegarowy)
Okres pola obrazu	20 ms (1250 linii wybierania)

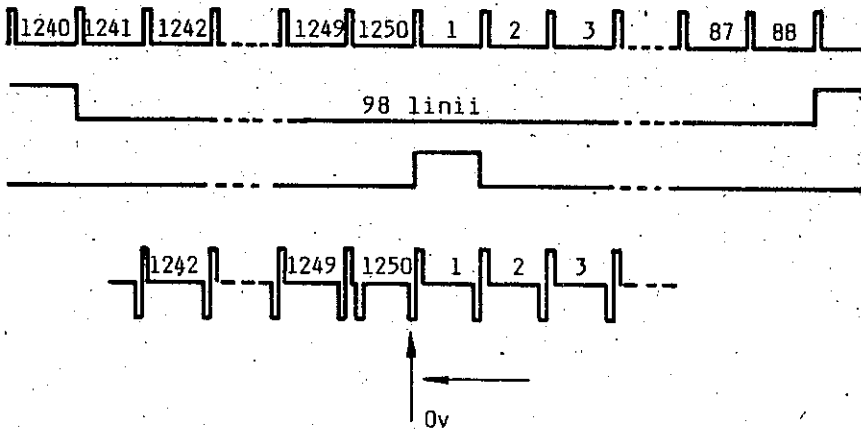
1	2
Czas trwania impulsu wygaszania pola	1,568 ms (98 linii wybierania)
Czas trwania impulsów synchronizacji pola	8 μ s (1/2 linii wybierania)
Przebieg impulsu synchronizacji pola	jak na rys. 21
Przebieg impulsu wygaszania pionowego	jak na rys. 22
<p>*) Analogowy sygnał obrazu jest reprezentowany przez trzy równoległe współbieżne w czasie sygnały wizyjne. Są to bądź sygnały kolorów podstawowych - czerwony (E_R), zielony (E_G) i niebieski (E_B), lub sygnał luminancji (E_Y)^{**} i sygnały różnicowe kolorowości obrazu czerwony (E_{C1})^{**} i niebieski (E_{C2})^{**}</p> <p>***) Indeks oznacza, że sygnały linearne (kolorów podstawowych lub luminancji) zostały poddane nieliniarnej preemfazie.</p> <p>***) na rezystancji 75 Ω.</p>	



Rys.20. Sygnał synchronizacji w systemie europejskim



Rys. 21. Sygnał synchronizacji pola



Rys. 22. Sygnał wygaszania pionowego

Tablica 16

Reprezentacja cyfrowa w systemie europejskim *)

Parametr	Wartość
1	2
Rodzaj kodowania	Linearna modulacja impulsowo-kodowa,
Liczba bitów na próbkę	co najmniej 8 dla sygnału luminancji i każdego z sygnałów różnicowych.
Struktura próbkowania sygnału luminancji	ortogonalna powtarzająca się co linię i co obraz,

1	2
<p>sygnałów różnicowych kolorowości obrazu</p> <p>Liczba próbek na czynnej części linii wybierania dla sygnału luminancji dla każdego z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu</p> <p>Liczba próbek na linii wybierania sygnału luminancji każdego z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu</p> <p>Częstotliwość próbkowania sygnału luminancji każdego z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu</p> <p>Całkowita prędkość bitowa</p>	<p>quincunx**) linii, przetwarzające się co pole; próbki sygnałów różnicowych C1 i C2 powinny być pobierane w tych samych punktach obrazu i pokrywać się z nieparzystymi próbkami sygnału luminancji Y w liniach nieparzystych i z parzystymi próbkami sygnału luminancji w liniach parzystych</p> <p>1920</p> <p>960</p> <p>2304</p> <p>1152</p> <p>144 MHz</p> <p>72 MHz</p> <p>2304 Mbit/s</p>
<p>*) W chwili obecnej przewiduje się cyfryzację jedynie sygnałów składowych telewizji kolorowej (E_Y, E_{C1} i E_{C2}). Cyfryzacja sygnałów kolorów podstawowych znajduje się w stadium badań</p> <p>**) Quincunx (z łaciny) pojęcie matematyczne określające rozmieszczenie czterech punktów w rogach prostokąta i piątego znajdującego się na przecięciach przekątnych prostokąta (jak piątka w kartach do gry). W strukturze quincunx linii próbki położone na kolejnych liniach wybierania tego samego pola są przesunięte względem siebie o pół okresu próbkowania, a próbki położone na linii wybierania jednego pola są przesunięte o pół okresu próbkowania względem próbek położonych na następnej linii wybierania, umieszczonej w następnym polu.</p>	
<p>Pozostałe parametry sygnałów cyfrowych, jak zależność czasowa pomiędzy sygnałami analogowymi na linii wybierania i sygnałami cyfrowymi, zakres charakterystyki kwantowania, określenie poziomów kwantowania sygnałów oraz długości słowa kodowego wymagają dalszych badań.</p>	

Podstawowe parametry międzyliniowego systemu europejskiego

Parametr	Wartość
Liczba linii wybierania w obrazie	1250
Liczba czynnych linii wybierania w obrazie	1152
Rodzaj wybierania	międzyliniowe 2:1
Współczynnik kształtu	16:9
Częstotliwość pól obrazu	50 Hz
Częstotliwość linii wybierania	31,250 kHz
Struktura próbkowania sygnału luminancji	ortogonalna powtarzająca się co linię i co obraz,
sygnałów różnicowych kolorowości obrazu	ortogonalna, powtarzająca się co linię i co obraz próbki sygnałów różnicowych powinny być pobierane w tych samych punktach obrazu i pokrywać się z nieparzystymi próbkami sygnału luminancji
Liczba próbek na czynnej części linii wybierania sygnału luminancji	1920
każdego z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu	960
Liczba próbek na całkowitej linii wybierania sygnału luminancji	2304
każdego z sygnałów różnicowych	1152
Częstotliwość próbkowania sygnału luminancji	72 MHz
sygnałów różnicowych	36 MHz
Całkowita prędkość bitowa	1152 Mbit/s ^{*)}
^{*)} przy 8 bitach na próbkę.	

Jest to tzw. system HDI^{*)} - międzyliniowy format telewizji o dużej rozdzielczości [15], w którym częstotliwości próbkowania i prędkość bitowa są takie same, jak w systemie HDQ. Rozdzielczość pionowa (nominalna) jest zmniejszona przez współczynnik międzyliniowości (ok. 0,6), w wyniku czego rzeczywista rozdzielczość czasowa jest równa połowie rozdzielczości w systemie HDQ.

Realizacja systemu w formie cyfrowej jest w takim samym stopniu skomplikowana jak realizacja systemu HDQ, natomiast realizacja w formie analogowej jest znacznie łatwiejsza, co stanowi jego zaletę w pierwszym okresie wprowadzania telewizji o dużej rozdzielczości obrazu.

Dla opisanych wyżej różnych wersji systemu europejskiego, opracowanego przez grupę Eureka EU95, zostało już również opracowanych wiele urządzeń studyjnych. Nie są one jeszcze produkowane masowo, lecz ich prototypy były z zadawalającymi wynikami demonstrowane na wystawach towarzyszących Międzynarodowym sympozjum telewizji o dużej rozdzielczości w Montreaux (1987), Brighton (IBC 88) i innych. Przeprowadzono również transmisję z Italia 90. Należy się więc spodziewać, że w najbliższym czasie zostanie podjęta produkcja tych urządzeń na skalę przemysłową.

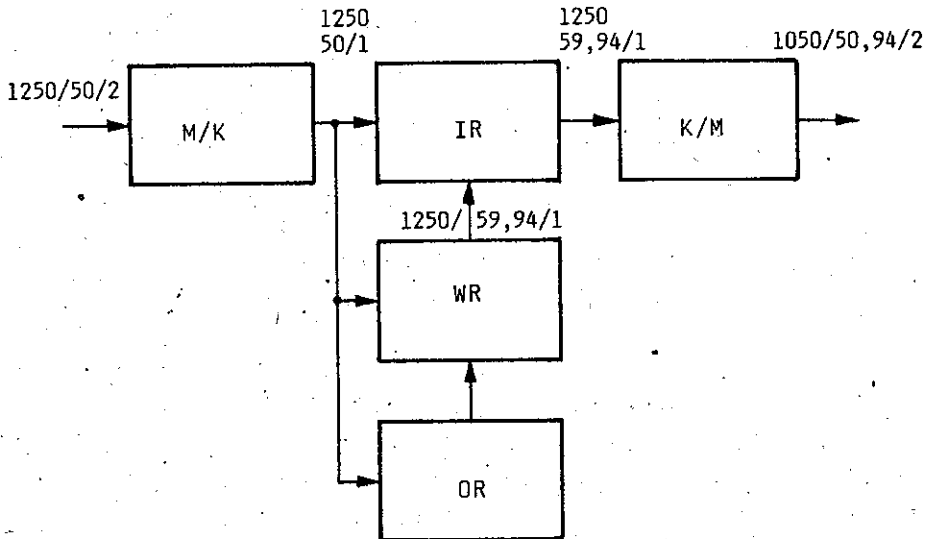
Do najbardziej interesujących prototypowych urządzeń studyjnych systemu europejskiego dla wybierania kolejnoliniowego można zaliczyć:

- a) kamerę monochromatyczną z wybieraniem kolejnoliniowym;
- b) duże kamery kolorowe z wybieraniem kolejnoliniowym o różnych obiektywach i jednocalową lampą typu Saticon o czułości zbliżonej do czułości kamery z wybieraniem międzyliniowym i równoważnym stosunku sygnału do szumu ważonego; kamery te mają cyfrową korekcję apertury, pracującą z częstotliwością 144 MHz, kwantowaniem 8-bitowym i polem korygowanym^{**)} o wymiarach 3 linii x 5 elementów obrazu;

*) HDI - high definition interlace format.

***) Termin angielski - convolution mask.

- c) przetwórniki analogowo-cyfrowy i cyfrowo-analogowy, pracujące z częstotliwością 144 MHz;
- d) przetwórniki standardów próbkowania HDP/HDQ i HDQ/HDP zawierające odpowiednie filtry i układy interpolacyjne; przetwórniki, te składają się z oddzielnych układów dla sygnału luminancji i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu; układ sygnału luminancji jest dwuwymiarowym filtrem działającym w kierunku przekątnym, który umożliwia następnie podpróbkowanie w strukturze quincunx; układ sygnałów kolorowości obrazu jest filtrem działającym w kierunku pionowym, który umożliwia podpróbkowanie pionowe; na wyjściu filtru, próbki luminancji są przeplatane między sobą oraz zostaje przeprowadzona zmiana czasu trwania linii z 16 na 32 μ s;
- e) do połączenia urządzeń studyjnych i z liniami łączącymi studia pomiędzy sobą do transmisji sygnałów kolorów podstawowych o standardzie 1250/50/1:1 w formie analogowej wykorzystuje się urządzenia o pasmie częstotliwości 60 MHz.
Do wybierania międzyliniowego (HDI) opracowano:
 - 1) kamery pracujące na jednocalowej lampie Saticon wyposażone w dwuwymiarową korekcję apertury i przenoszenia zboczy sygnałów, czułość i stosunek sygnału do szumu mają wartości odpowiadające obecnemu stanowi techniki;
 - 2) przełączniki i miksery analogowych składowych sygnału kolorowego o prostej budowie; w opracowaniu znajduje się również nowa wersja mikserów z układami inkrustacji tła kolorowego;
 - 3) telekino na taśmę 35 mm i przy 25 obrazach na sekundę z programowaną korekcją kolorowości;
 - 4) magnetowid formatu B z rejestracją składowych sygnału telewizji kolorowej luminancji o pasmie częstotliwości 20 MHz i sygnałów różnicowych o pasmie 10 MHz; błąd czasowy w oknie 20 μ s wynosi $\pm 3,5$ μ s; stosunek sygnału do szumu nieważonego jest nie mniejszy niż 40 dB;



Rys. 23. Schemat blokowy przetwornika systemu 1250/50/2:1 na system 1050/59.94/2:1.

M/K - zmiana sygnału międzyliniowego na kolejnoliniowy, IR - układ interpolacji z kompensacją ruchu, WR - wytwarzanie wektorów ruchu, OR - oszacowanie ruchu K/M - zmiana sygnału kolejnoliniowego na sygnał międzyliniowy.

- 5) rzutnik przezroczy pracujący na sensorze CCD z 2048 elementami obrazu na linii; sygnały RGB są kwantowane z dokładnością 12 bitów; rzutnik zawiera cyfrową korekcję gamma, a także możliwość zapamiętywania informacji oraz obróbki kolorymetrycznej, pracujące z częstotliwością 72 MHz;
- 6) wozy transmisyjne wyposażone w powyższe kamery, miksery, magnetowidy, rzutniki przezroczy i telekina;
- 7) przetwornik systemu europejskiego 1250/50/2:1 na system japoński 1050/59,94/2:1; w przetworniku tym następuje zamiana liczby pól obrazu z 50 na 59,94 drogą interpolacji z kompensacją ruchu (poprzez oszacowanie ruchu, wytworzenie wektorów ruchu i interpolacją z kompensacją ruchu, tzn. od punktu do punktu w kierunku wskazanym przez wektor ruchu); proces ten zachodzi dla sygnału kolejnoliniowego,

dlatego na wejściu przetwornika następuje zamiana sygnału międzyliniowego (1250 linii) na kolejnoliniowy (1250 linii), a na jego wyjściu zamiana sygnału kolejnoliniowego (1250 linii) na międzyliniowy (1050 linii), schemat blokowy przetwornika podano na rys. 23.

4.3. Propozycja dwustandardowego systemu opartego na "wspólnej części obrazu" (CIP)

W propozycji tej [9, 25] format obrazu dla systemu 60 Hz jest wpisany w format obrazu dla systemu 50 Hz w taki sposób, że na wspólnej części obu obrazów punkty, w których są pobierane próbki, pokrywają się. Wówczas rozdzielczość w kierunkach poziomym i pionowym w systemie 50 Hz jest o 6,7% większa niż w systemie 60 Hz. Czynna prędkość bitowa jest natomiast większa w systemie 60 Hz o 5,36%. Różnica ta jest jednak stosunkowo mała i może łatwo być wyrównana w okresach wygaszania. Częstotliwość próbkowania może być równa 74,25 MHz bądź 81 MHz.

Proponowane parametry systemu które różnią się od parametrów przyjętych w Zaleceniu CCIR [9] podano w tablicach 18, 19, 20 i 21.

Różnice pomiędzy proponowanym systemem dwustandardowym*) a odpowiednimi systemami japońskim i europejskim są w zasadzie niewielkie i polegają przede wszystkim na różnicy częstotliwości próbkowania i liczby próbek na czynnej części linii wybierania.

Wymiana międzynarodowa programów pomiędzy krajami eksploatującymi systemy 60 Hz i 50 Hz jest w przypadku stosowania powyższego systemu również możliwa, choć wymaga stosowania dodatkowej obróbki.

Jeśli źródłem programu jest kraj eksploatujący system 50 Hz, wykorzystanie tego programu w kraju eksploatującym system 60 Hz jest możliwe bądź przez pominięcie granicznych części obrazu, bądź przez zastosowania poziomej i pionowej interpolacji.

*) Termin angielski - dual-mode.

Jeśli natomiast program jest wygenerowany w systemie 60 Hz, wykorzystanie go w systemie 50 Hz jest możliwe bądź przez pozostawienie pustej ramki wokół obrazu, bądź też przez odtworzenie brakujących elementów drogą interpolacji.

Tablica 18

Parametry techniczne odtwarzanego obrazu w systemie CIP

Parametr	Wartość
Liczba elementów obrazu (próbek) na czynnej części linii wybierania	
dla systemu 60 Hz	1920
dla systemu 50 Hz	2048
Struktura rozkładu elementów obrazu (próbek)	ortogonalna, przy czym na środkowej części obrazu o rozmiarach 1920x1080 próbek, próbki pobierane w obu systemach pokrywają się
Współczynnik kształtu elementów obrazu	kwadrat
Liczba linii czynnych w obrazie	
dla systemu 60 Hz	1080
dla systemu 50 Hz	1152

Tablica 19

Parametry wybierania w systemie CIP

Parametr	Wartość
Algorytm wybierania	1:2, międzyliniowe
Częstotliwość obrazu	
dla systemu 60 Hz	60 Hz
dla systemu 50 Hz	50 Hz
Całkowita liczba linii w obrazie	
dla systemu 60 Hz	1125
dla systemu 50 Hz	1250
Częstotliwość wybierania linii	
dla systemu 60 Hz	33750 Hz
dla systemu 50 Hz	31250 Hz

Tablica 20

Forma analogowa sygnału w systemie CIP

Parametr	Wartość
Czas trwania wygaszania poziomego	
dla systemu 60 Hz	3,77 μ S-przy $f_p=74,25$ kHz
	lub 5,93 μ S-przy $f_p=81$ MHz
dla systemu 50 Hz	4,41 μ S-przy $f_p=74,25$ MHz
	6,72 μ S-przy $f_p=81$ MHz
Czas trwania wygaszania pionowego	
dla systemu 60 Hz	22/23 linii wybierania
dla systemu 50 Hz	49/49 linii wybierania

Tablica 21

Forma cyfrowa sygnału w systemie CIP

Parametr	Wartość
Częstotliwość próbkowania sygnałów R, G, B, Y	74,25 MHz
	lub 81 MHz
Liczba próbek sygnałów R, G, B, Y na całej linii wybierania	
dla systemu 60 Hz	2200 przy $f_p=74,25$ MHz
	2400 przy $f_p=81$ MHz
dla systemu 50 Hz	2376 przy $f_p=74,25$ MHz
	2592 przy $f_p=81$ MHz
Częstotliwość próbkowania sygnałów C_1, C_2	1/2 częstotliwości próbkowania sygnału luminancji
Liczba bitów na próbkę	8
Całkowita prędkość bitowa	
przy $f_p=74,25$ MHz	1188 Mbit/s
przy $f_p=81$ MHz	1296 Mbit/s
Czynna prędkość bitowa (dla czynnych części obrazu)	
dla systemu 60 Hz	995,3 Mbit/s
dla systemu 50 Hz	943,9 Mbit/s

4.4. Obecny stan prac nad studyjnym standardem HDTV

Prowadzone w organizacjach międzynarodowych prace nad opracowaniem dwustandardowego systemu HDTV mają jak dotychczas charakter teoretyczny i eksperymentalny. Biorąc pod uwagę obecny stan prac nad standardami japońskimi (1125/60) i europejskimi (1250/50) oraz stanowiska reprezentowane przez poszczególne administracje możliwość opracowania jednolitego ogólnosiwiatowego systemu analogowego wydaje się mało prawdopodobna.

Niezależnie więc od prowadzonych prac nad opracowaniami systemu dwustandardowego wiele administracji i organizacji telewizyjnych domaga się standaryzacji parametrów technicznych obu tych systemów w celu zapewnienia kompatybilności produkowanych urządzeń. Na ostatnim Zebraniu Grup Roboczych 11 Komisji Studiów CCIR zaproponowano więc uzupełnienie Zalecenia 709 załącznikiem, zawierającym wszystkie parametry techniczne obu systemów. Ponadto EBU^{*)} zamierza opracować swoje Zalecenie dotyczące parametrów systemu studyjnego 1250/50.

5. TRANSMISJA SYGNAŁÓW TELEWIZJI O DUŻEJ ROZDZIELCZOŚCI OBRAZU [51, 52, 53]

Niezależnie od opracowania standardu do produkcji sygnałów telewizji o dużej rozdzielczości obrazu prowadzone w organizacjach międzynarodowych prace obejmują standardy przesyłowe i emisyjne tych sygnałów. Choć związane ze sobą, nie są one jednak takie same.

Standard transmisyjny powinien możliwie wiernie odtwarzać sygnały wytworzone w studio. Do transmisji sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu można w zasadzie stosować wszystkie środki transmisyjne wykorzystywane w telewizji konwencjonalnej, jak: nadajniki telewizyjne, radiodifuzję satelitarną

^{*)} European Broadcasting Union - Europejska Unia Radiofoniczna.

oraz kable (współosiowe, a przede wszystkim światłowodowe). Jednakże sygnały te zajmują widmo częstotliwości o szerokości znacznie przekraczającej szerokość kanału telewizyjnego, stosowanego obecnie do transmisji sygnałów telewizyjnych. Każdy z możliwych środków transmisyjnych ma inne możliwości pasmowe, wprowadza inne zniekształcenia transmisyjne i wymaga stosowania innego rodzaju modulacji sygnałów dla uzyskania jak największej jakości odtwarzanego obrazu.

Zagadnienie transmisji tych sygnałów może być rozpatrywane w zależności od rodzaju transmisji. Pierwszy z nich obejmuje transmisję pomiędzy ośrodkami telewizyjnymi oraz pomiędzy ośrodkami wytwarzającymi program i stacjami nadawczymi. Wymaga to bardzo wysokiej jakości przesyłanych obrazów, dopuszczając dość szerokie pasmo przenoszonych częstotliwości. Do transmisji tego typu przewiduje się wykorzystywanie przede wszystkim linii radiowych oraz kabli światłowodowych.

Drugi rodzaj transmisji stanowi rozsyłanie sygnałów o dużej rozdzielczości do odbiorców telewizyjnych, wymagający jak najwęższego pasma przesyłanych częstotliwości. do tego celu przewiduje się wykorzystywanie przede wszystkim radiodifuzji satelitarnej, a także łączy światłowodowych telewizji kablowej. Prowadzone są również próby (szczególnie w USA) transmisji sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu przez nadajniki telewizyjne. Trzeci wreszcie rodzaj transmisji to wymiana międzynarodowa programów telewizyjnych o dużej rozdzielczości obrazu. Do transmisji tego typu przewiduje się przede wszystkim wykorzystywanie radiodifuzji satelitarnej, a także linii radiowych oraz doprowadzających torów kablowych. We wszystkich powyższych przypadkach przesyłanie sygnałów o dużej rozdzielczości - zarówno metodami analogowymi, jak i cyfrowymi - wymaga jednak zawężenia pasma przesyłanych częstotliwości. Prowadzone są więc intensywne prace nad metodami ograniczenia widma tych sygnałów oraz nad metodami oszczędnego ich kodowania.

5.1. Systemy transmisji sygnałów dużej rozdzielczości drogą satelitarną

Systemy radiodifuzji satelitarnej stwarzają w zasadzie sprzyjające warunki do przesyłania sygnałów telewizji o dużej rozdzielczości obrazu. Jak wiadomo, zgodnie z postanowieniami Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego (UIT) w Rejonie 1 (Europa, Afryka i częściowo Azja) do dyspozycji systemów radiodifuzji satelitarnej są przewidziane następujące zakresy częstotliwości:

- 11,7 do 12,5 GHz, z którym przyjęto szerokość kanału radiowego równą 27 MHz,
- 41 do 43 GHz i 84 do 86 GHz, dla których nie przeprowadzono jeszcze podziałów na kanały radiowe.

Z porównania parametrów systemów radiodifuzji satelitarnej dla różnych zakresów częstotliwości wynika, że:

- zakres częstotliwości około 85 GHz jest obecnie nieatrakcyjny z punktu widzenia praktycznego jego wykorzystywania ze względu na duże zaniki propagacyjne, wymagane duże moce nadawania i małe rozmiary anten;
- dla danej rozdzielczości obrazu wymagana moc nadawana jest tym większa, im wyższy jest zakres częstotliwości pracy systemu; wymagana moc może być w przyszłości osiągnięta co najwyżej dla zakresu częstotliwości 23 lub 42 GHz;
- w zakresie ok. 42 GHz dla Rejonu 1 można teoretycznie zapewnić docelowo dwa lub trzy programy o dużej rozdzielczości dla każdego kraju; jest to więc rozwiązanie najbardziej perspektywiczne, ale technicznie odległe w czasie;
- w chwili obecnej do transmisji sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu jest w praktyce wykorzystywany jedynie zakres częstotliwości ok. 12 GHz.

Przesyłanie jednak tych sygnałów w pasmie 12 GHz wymaga znacznego ograniczenia ich pasma częstotliwości. Istniały

wprowadzić propozycje przesyłania sygnału telewizji o dużej rozdzielczości obrazu dwoma kanałami satelitarnymi, np. w jednym kanale sygnału konwencjonalnego, a w drugim uzupełniającego do dużej rozdzielczości obrazu, uznano to jednak za nie-realne ze względu na trudności uzyskania współbieżności obu tych sygnałów. Prowadzone badania różnych metod transmisji sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu w ograniczonym pasmie częstotliwości doprowadziły do opracowania systemów wąskopasmowych, które są obecnie stosowane przy transmisjach eksperymentalnych. Uzyskiwana wówczas jakość odtwarzanych na ekranach odbiorników telewizyjnych obrazów mimo, że znacznie większe od jakości obrazów konwencjonalnych jest jednak dla systemów o dużej rozdzielczości obrazu nie wystarczające. Powstała więc koncepcja systemu transmisyjnego szerokopasmowego cyfrowego o prędkości bitowej 140 Mbit/s. Przesłanie sygnałów w tym systemie wymaga szerokości kanału radiowego równej 100 MHz. Jest to możliwe jedynie w nowym nie wykorzystywanym dotychczas zakresie częstotliwości, w którym nie przeprowadzono jeszcze podziałów na kanały radiowe. Biorąc pod uwagę warunki propagacyjne oraz wymaganą moc nadawania EBU zaproponowało na ostatniej konferencji WARC (luty '92) wykorzystywanie do tego celu zakresu około 20 GHz. Ustalenia tej konferencji przyznały dla Rejonu 1 zakres od 21,6 GHz do 22 GHz.

5.1.1. Systemy wąskopasmowe

Opracowanie wąskopasmowe systemy transmisji sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu opierają się przede wszystkim na wykorzystywaniu dwóch technik:

- techniki tzw. próbkowania^{*)}, czyli zmniejszenia liczby przesyłanych próbek sygnału;
- technik dotyczących systemów uzupełnianych cyfrowo (DATV)^{**)}.

*) Termin angielski - subsampling .

***) DATV - Digitally Assisted Television.

Próbkowanie w kierunku poziomym polega na przesyłaniu mniejszej (niż wynika to z podwójnej częstotliwości Nyquista) liczby próbek na linii wybierania. Jest ono zwane również próbkowaniem podnyquistowskim^{*)}. Ważną rolę odgrywa przy tym wybór odpowiedniej struktury próbkowania, czyli odpowiedni wybór przesyłanych próbek, a także zastosowanie odpowiednich filtrów wejściowych i wyjściowych.

Technika podpróbkowania może być również wykorzystywana w kierunku pionowym. Typowym przykładem podpróbkowania w kierunku pionowym jest wybieranie międzyliniowe. Ponadto przy dostatecznie dużym stopniu podpróbkowania poziomego dwie kolejne linie mogą być przesyłane jako jedna linia przez przeplatanie na niej próbek z obu linii. W metodzie tej, zwanej tasowaniem linii^{**)}, próbki muszą być rozdzielone na końcu odbiorczym. Pozwala ona na przekazywanie torem 625-liniowym informacji zawartych w systemie 1250-liniowym z pogorszeniem rozdzielczości obrazu zależnym od charakterystyk filtrów wejściowych i wyjściowych. Podobną zasadę można przyjąć również w dziedzinie czasu, powodując jednak znaczne rozbudowanie układu.

Zasada pracy systemów uzupełnianych cyfrowo polega na przesyłaniu tym samym torem dwóch rodzajów sygnałów:

- informacji analogowej, stanowiącej sygnał obrazu po odpowiedniej obróbce wstępnej;
- dodatkowej informacji cyfrowej, która może być wykorzystywana przez przystosowane do tego celu odbiorniki do wyświetlania obrazu o dużej rozdzielczości.

W systemie tym podstawowa obróbka obrazu następuje po stronie nadawczej, tam też można stosować najnowocześniejsze metody obróbki, a także skomplikowane metody określania, np. wektorów ruchu czy wydzielania ruchomych powierzchni. Prędkość bitowa dodatkowych informacji cyfrowych wynosi od kilkuset kbit/s do kilku Mbit/s. Informacje te mogą być wykorzystywane

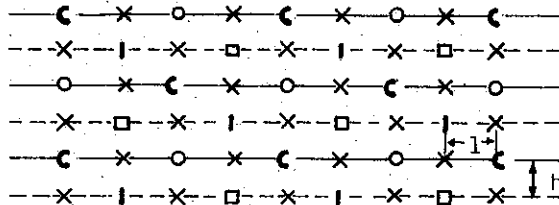
*) Termin angielski - Sub-Nyquist sampling .

***) Termin angielski - shuffling technique .

w odbiorniku bądź w pełni, bądź w ograniczonym stopniu, zależnie od stopnia złożoności odbiornika. Mogą też być w ogóle nie stosowane w przypadku odbiorników systemów konwencjonalnych. Opracowane obecnie systemy transmisji sygnałów o dużej rozdzielczości wykorzystują w zasadzie obydwie powyższe techniki.

5.1.1.1. Japoński system MUSE^{*)} [6, 16, 51, 53]

Zasada pracy tego systemu jest oparta na przesyłaniu sygnałów składowych telewizji kolorowej z ich kompresją izwielokrotnieniem w czasie oraz próbkowania podnyquistowskiego (podpróbkowania) 4:1 z przesunięciem międzypolowym i międzyobrazowym. Położenia próbek na powierzchni obrazu są przesunięte w czasie pomiędzy kolejnymi liniami oraz kolejnymi polami obrazu i powtarzają się co czwarte pole (rys. 24). W ten sposób element wybrany w pierwszym polu zostaje ponownie wybrany dopiero w polu piątym. Powstałe elementy obrazu są odtwarzane po stronie odbiorczej. Dla obrazów stałych można przy tym odtworzyć wszystkie elementy obrazu, pobierając je z czterech



Rys. 24. Struktura próbkowania w systemie MUSE

$l = \frac{1}{64,8} \text{ MHz}$ odległość pomiędzy próbkami w kierunku poziomym,
 h - odległość pomiędzy próbkami w kierunku pionowym, C - punkt wybierany w polu 1, \square - punkt wybierany w polu 2, O - punkt wybierany w polu 3, I - punkt wybierany w polu 4, X - punkt zinterpolowany

^{*)} MUSE-Multiple-Sub-Nyquist-Sampling Encoding (wielokrotne kodowanie podnyquistowskiego próbkowania).

kolejnych pól obrazu. Natomiast dla obrazów ruchomych poszczególne elementy obrazu należy interpolować jedynie na podstawie elementów położonych na sąsiednich liniach wybierania. Przy wykorzystaniu bowiem do interpolacji elementów dwóch lub więcej pól obrazu powstaje zjawisko smużenia, pogarszające jakość odtwarzanego obrazu. (Należy przy tym zwrócić uwagę, że subiektywne wrażenie ostrości, odczuwane przez oko ludzkie, maleje ze wzrostem występowania ruchu w obrazie. Natomiast, bardziej zauważalne są smużenia powstałe w czasie ruchu kamery /tzw. panoramowanie/). Aby temu zapobiec, wprowadzono kompensację ruchu.

Po stronie nadawczej oblicza się wektory reprezentujące ruch w każdym polu obrazu. Wektory te są przesyłane do odbiornika w okresie wygaszania pola. Po stronie odbiorczej położenie próbek elementów obrazu poprzedniego pola jest zmieniane zgodnie z wektorem ruchu.

W systemie MUSE sygnał luminancji Y i dwa sygnały różnicowe C_W i C_N są przesyłane ze zwielokrotnieniem czasowym, przy czym sygnały różnicowe kolorowości obrazu są komprimowane w stosunku 4:1 i przesyłane co drugą linię wybierania, w okresie wygaszania linii (rys. 25). Sygnał synchronizacji składa się z sygnałów sterujących linią^{*)} i sygnałów synchronizacji pola (rys. 26). W okresie wygaszania pola są przesyłane ponadto sygnały pomocnicze, jak np. sygnały wektorów ruchu oraz sygnały dźwięków towarzyszących. Sygnały pomocnicze są zwielokrotniane z sygnałem wizyjnym w paśmie podstawowym, natomiast cyfrowe sygnały dźwięków towarzyszących (dwóch lub czterech) w paśmie częstotliwości pośredniej.

Kształtowanie sygnałów wizyjnych w systemie MUSE odbywa się cyfrowo, lecz same sygnały wizyjne są przesyłane analogowo z modulacją częstotliwościową. Natomiast sygnały dźwięku i danych są przesyłane w postaci cyfrowej z różnicową modulacją impulsowo-kodową (DPCM) kodem trójkowym^{**)}.

*) Termin angielski - horizontal driving (HD)

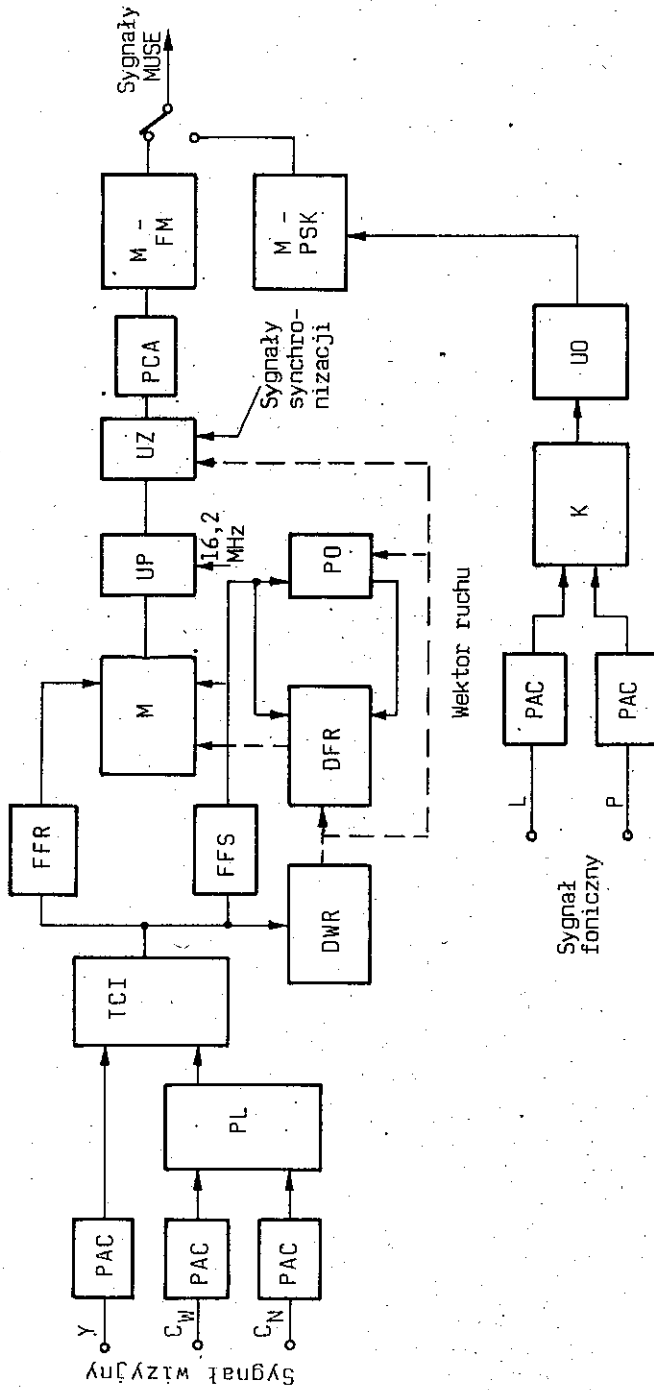
***) Termin angielski - ternary.

na ich odpowiedniki cyfrowe i zwielokrotnione w czasie. Sygnały różnicowe kolorowości obrazu są skompresowane w stosunku 4:1. Przesyłane co drugą linię wybierania. Sygnał zwielokrotniony przechodzi następnie przez filtry dolnoprzepustowe ograniczające jego pasmo częstotliwości, przy czym górne częstotliwości graniczne filtrów zależą od tego, czy dany fragment obrazu jest statyczny, czy ruchomy. Jednocześnie w układzie złożonym z pamięci obrazu detektora fragmentów ruchomych i detektora wektorów ruchu jest obliczany wektor ruchu. Sygnały wyjściowe z filtrów dolnoprzepustowych są następnie doprowadzane, poprzez mieszacz w proporcjach odpowiadających ilości ruchu w obrazie, do układu próbkującego z częstotliwością podnyquistowską 16,2 MHz, zgodnie ze strukturą próbkowania podaną na rys. 24 oraz zamienione na postać analogową. Wraz z sygnałem wizyjnym zostają zwielokrotnione sygnały sterujące linii wybierania synchronizujące pola obrazu i sygnały pomocnicze (wektora ruchu), a także po modulacji częstotliwościowej zostają dodane cyfrowe sygnały dźwięku kodowane z czterowartościowym kluczowanym przesuwem fazy (QPSK).

Odbiornik sygnału MUSE przedstawiono na rys. 28. Sygnał wejściowy zostaje tu przede wszystkim poddany demodulacji częstotliwościowej, a następnie po wydzieleniu sygnałów sterujących i synchronizujących oraz przetworzeniu na postać cyfrową doprowadzony do tzw. układów interpolacji przestrzennej i interpolacji czasowej, w których następuje odtworzenie brakujących elementów obrazu. Sygnały wyjściowe z tych układów w proporcjach określanych przez detektor fragmentów ruchomych sterują układ rozdziału w czasie i dekompresji sygnałów składowych telewizji kolorowej. Niezależne sygnały luminancji Y i chrominancji C_N i C_W są następnie zamieniane na postać analogową.

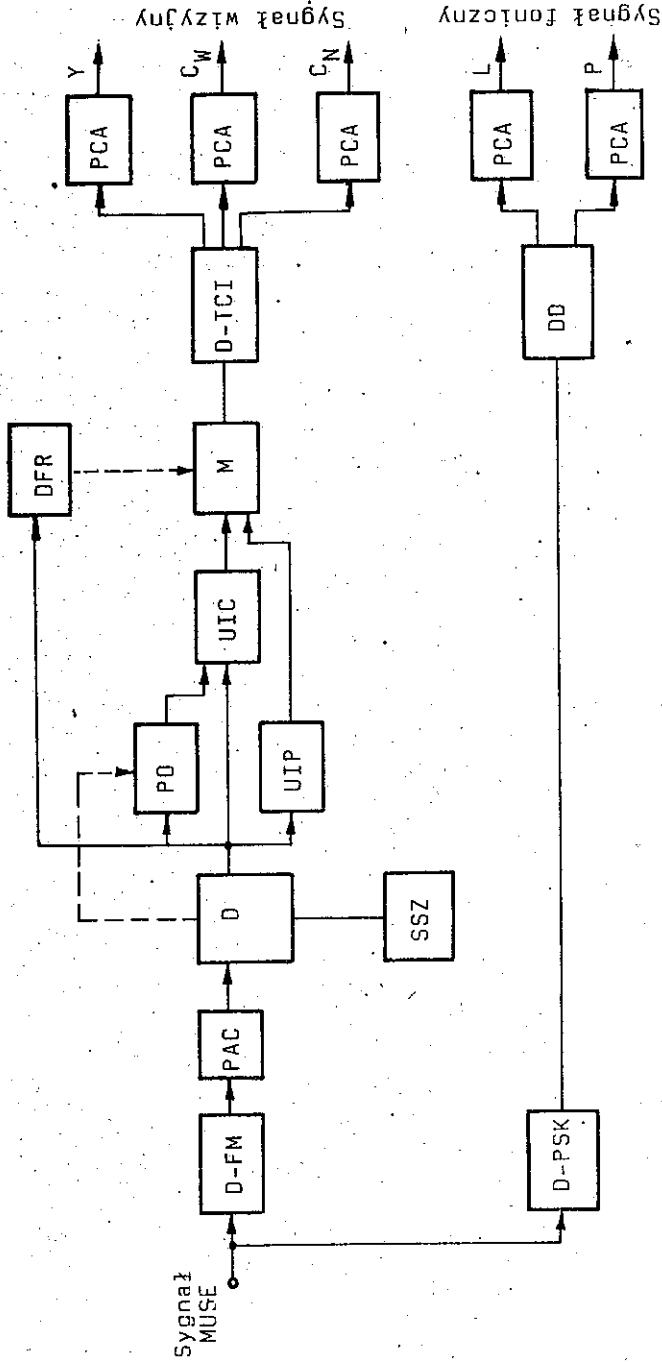
Podstawowe parametry systemu MUSE podano w tablicy 22.

Wadą systemu MUSE jest brak kompatybilności z eksploatowanymi obecnie systemami telewizyjnymi. W celu umożliwienia odbioru sygnałów transmitowanych w systemie MUSE na standardowym odbiorniku telewizyjnym został opracowany w Japonii przetwornik



Rys. 27. Schemat blokowy nadajnika systemu MUSE

PAC - przetwornik analogowo-cyfrowy, PL - przełącznik linii, TCJ - koder TCJ, FFR - filtr fragmentów ruchomych, FFS - filtr fragmentów stałych, DWR - detektor wektorów ruchu, DFR - detektor fragmentów ruchomych, M - mieszacz, UP - układ próbkujący, UZ - układ zwielokrotniający, PO - pamięć obrazu, PCA - przetwornik cyfrowo-analogowy, M-FM - modulator FM, M-PŞK - modulator PSK, U0 - układ opóźniający, K - kompresor



Rys. 28. Schemat blokowy odbiornika systemu MUSE

D-FM - demodulator FM, D-PSK - demodulator PSK, PAC - przetwornik analogowo-cyfrowy, PO - pamięć obrazu, VIP - układ interpolacji przestrzennej, VIC - układ interpolacji czasowej, DFR - detektor fragmentów ruchomych, M - mieszacz, D-ICI - dekodek ICI, DD - dekodek dzwięku, PCA - przetwornik cyfrowo-analogowy, D - demultiplexer, Ssz - separator sygnału zegarowego

Podstawowe parametry techniczne systemu MUSE

Parametr	Wartość
1	2
Wizyjny sygnał wejściowy	sygnał o dużej rozdzielczości obrazu systemu japońskiego 1125/60/2:1
Współczynnik kształtu obrazu	16:9
Podstawowa częstotliwość próbkowania	64,8 MHz
Rodzaj transmisji	analogowa
Metoda zawężania pasma częstotliwości	próbkowanie podnyquistowskie z kompensacją ruchu
Maksymalne pasmo częstotliwości sygnałów odtworzonych	
sygnału luminancji	22 MHz (dla ruchomych części obrazu może obniżyć się do min. 12,5 MHz)
sygnałów różnicowych	7 MHz (dla ruchomych części obrazu może obniżyć się do min. 3,1 MHz)
Podpróbkowanie w kierunku poziomym	
sygnału luminancji	2:1
sygnałów różnicowych	2:1
Podpróbkowanie w kierunku pionowym sygnałów różnicowych	2:1
Kompresja	
sygnału luminancji	1:1
sygnałów różnicowych	4:1
Pasmo częstotliwości sygnału transmitowanego	8,1 MHz (-6 dB)
Częstotliwość próbkowania (zegarowa)	16,2 MHz

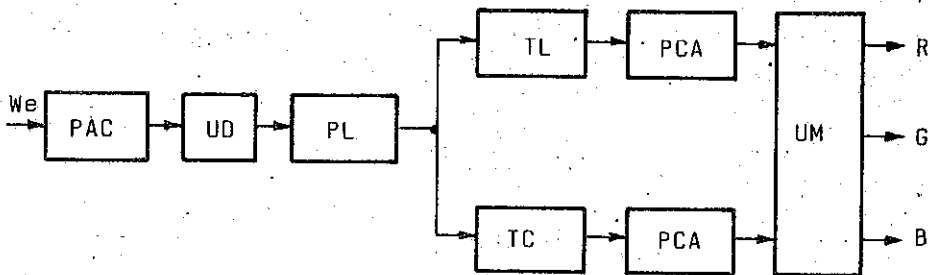
1	2
Synchronizacja	polaryzacja pozytywna w stosunku do polaryzacji sygnału wizyjnego
Liczba kanałów dźwięku	2 lub 4
Pasma częstotliwości wejściowego sygnału dźwięku	20 lub 15 (kHz)
Częstotliwość próbkowania dźwięku	48 lub 32 (kHz)
Metoda kodowania	DPCM / trójkowa
Charakterystyka komandyzacji	15 do 8 (8 zakresów) 16 do 11 (6 zakresów)
Prędkość bitowa sygnału dźwięku i danych	1,35 Mbit/s
Kompresja sygnału cyfrowego	13,5:1
Rodzaj modulacji p.c.z.	częstotliwościowa
Dewiacja częstotliwości	10,2 MHz
Wymagane pasmo częstotliwości pośredniej	27/24 MHz

systemu MUSE na system 525-liniowy. W przetworniku tym [16] zachodzą dwa podstawowe procesy. Pierwszy z nich to zamiana sygnałów MUSE na sygnały o dużej rozdzielczości obrazu, natomiast drugi - to przetworzenie standardów 1125/60 na 525/59,94. Praktyczna realizacja pierwszego procesu jest możliwa trzema metodami. W metodzie pierwszej stosuje się, podobnie jak w odbiorniku systemu MUSE, interpolację przestrzenną i czasową, w metodzie drugiej - jedynie interpolację wewnątrzpolową, a w trzeciej - w ogóle nie stosuje się interpolacji. Metoda pierwsza wymaga zastosowania szeregu skomplikowanych układów, nie jest więc w praktyce stosowana w przetworniku standardów. Brak interpo-

lacji w metodzie trzeciej powoduje jednak powstawanie silnych zniekształceń przeplatania, obniżających znacznie jakość odtwarzanego obrazu. Z tego względu stosuje się z reguły metodę drugą. Pasma częstotliwości sygnału w tej metodzie wynosi ok. 13 MHz. Przy tej metodzie mogą w zasadzie powstawać drżenia krawędzi, wywoływane przeplataniem spowodowanym przesunięciem próbek pomiędzy kolejnymi polami obrazu. Jednak w zakresie częstotliwości od 0 do 4 MHz nie występują w systemie MUSE zniekształcenia przeplatania, w związku z czym powstające drżenie krawędzi jest mniej zauważalne niż zakłócenia wywołane interferencjami pomiędzy sygnałami różnicowymi kolorowości obrazu w systemie NTSC.

Przetworzenie współczynnika kształtu obrazu i liczby linii odbywa się w sposób następujący: z sygnału 1125-liniowego wydziela się 1050 linii i zamienia współczynnik kształtu obrazu na 4:3, a następnie obniża się liczbę linii do 525. Metoda taka upraszcza konstrukcję filtrów w kierunku pionowym^{*)}, tzw. filtrów pionowych.

Schemat blokowy układu przetwornika podano na rys. 29. Sygnał wejściowy MUSE zamieniony na sygnał cyfrowy po przejściu



Rys. 29. Schemat blokowy przetwornika systemu MUSE na system 525-liniowy

PAC - przetwornik analogowo-cyfrowy, UD - układ deemfazy, PL - przetwornik linii na 1050 i współczynnika kształtu, TL - tor luminancji (układ interpolacji i filtr pionowy), TC - tor chrominancji (układ interpolacji i filtr pionowy), PCA - przetwornik cyfrowo-analogowy, UM - układ matrycowy.

^{*)} Termin angielski - vertical filter.

przez układ deemfazy jest doprowadzany do układu zamiany liczby linii z 1125 na 1050 oraz współczynnika kształtu obrazu z 16:9 na 4:3, a następnie wprowadza się go do dwóch torów sygnałów składowych. Tor sygnału luminancji zawiera filtr (spełniający dwie role: filtru w kierunku pionowym zamieniającego liczbę linii z 1050 na 525 oraz filtru interpolacji wewnątrzpolowej), a następnie przetwornik cyfrowo-analogowy. Tor sygnału chrominancji zawiera układ dekompresji sygnałów chrominancji, analogiczny filtr zamieniający liczbę linii z 1050 na 525 łącznie z wewnątrzpolową interpolacją oraz przetwornik cyfrowo-analogowy. Sygnały wyjściowe z przetworników są w układzie matrycowym zamieniane na sygnały kolorów podstawowych R.G.B.

5.1.1.2. System europejski HD-MAC

Proponowany przez grupę Eureka EU95 system transmisji sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu wykorzystuje technikę próbkowania podnyquistowskiego, detekcję ruchu oraz splatanie widma przenoszonych częstotliwości. Zasada jego pracy jest taka sama, jak praca systemów analogowo-cyfrowych transmisji sygnałów składowych telewizji kolorowej z ich kompresją i zwielokrotnieniem w czasie (tzw. MAC)*).

Pierwszą propozycja tego systemu charakteryzowała się niezależnymi metodami zwiększania rozdzielczości poziomej i pionowej obrazu. W celu zwiększenia rozdzielczości poziomej zastosowano "splatanie widma", a do zwiększenia rozdzielczości pionowej - "powiększanie współczynnika Kella". W metodzie tej nie wykorzystywano techniki uzupełniania cyfrowego. Uzyskana rozdzielczość pozioma wynosiła 520 cykli na aktywną szerokość obrazu dla obrazów stałych i ruchomych, a rozdzielczość pionowa dla obrazów stałych 260 cykli na aktywną wysokość obrazu i dla obrazów ruchomych 140 cykli na aktywną wysokość obrazu, co było niewystarczające.

*) Por. Biuletyn Informacyjny IŁ, nr 3-4 (296-297), 1992.

W celu zwiększenia rozdzielczości odbieranych obrazów zastosowano następnie technikę uzupełniania cyfrowego do transmisji sygnałów detekcji ruchu oraz kompensacji wektorów ruchu, wykorzystując jednocześnie splatanie widma i technikę podprób-kowania.

Dodatkowe sygnały cyfrowe w systemach pakietowych MAC mogą być przesyłane na 21 liniach w okresie wygaszania pola. Koncepcja tych systemów umożliwia przesłanie strumienia dodatkowych informacji 1,1 Mbit/s z prędkością 20,25 Mbit/s. Zaproponowano przy tym dwie wersje systemu pakietowego MAC: dla dużej rozdzielczości obrazu, opartą na systemie pakietowym D/MAC oraz wersję opartą na systemie pakietowym D2/MAC.

Obydwie wersje systemu umożliwiają transmisję sygnałów o dużej rozdzielczości przez satelity radiokomunikacyjne, a także innymi torami transmisyjnymi, zapewniającymi przenoszenie sygnału o pasmie częstotliwości równym 11 MHz.

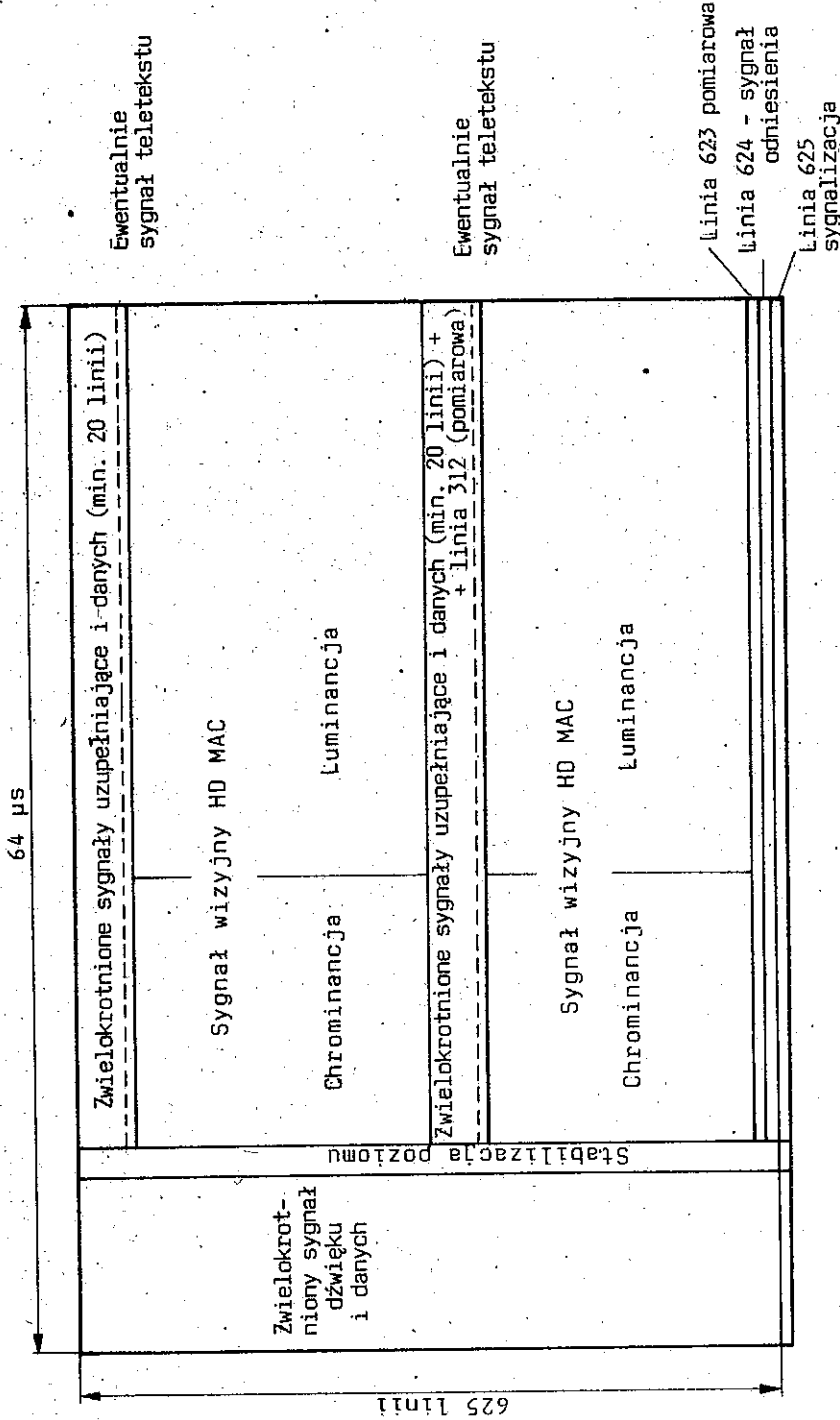
Struktura przesyłanego sygnału jest tu oparta na 40 ms ramce cyfrowej, która zawiera 625 linii o czasie trwania 64 μ s.

Sygnał ramki składa się z trzech podstawowych składowych (rys. 30):

- sygnału wizyjnego HD-MAC;
- sygnału danych nadawanych w okresie wygaszania linii, zawierających wielokrotnione sygnały danych i dźwięków;
- sygnału danych przesyłanych w okresie wygaszania pola, zawierającego sygnały danych wielokrotnione z sygnałami uzupełniania cyfrowego.

Liczba i rodzaj przesyłanych dźwięków oraz metody ich kodowania, zabezpieczenia przed błędami i wielokrotnienia w czasie są identyczne, jak w odpowiednich systemach pakietowych D-MAC i D2-MAC^{*)}. Taka sama jest też zasada przesyłania sygnałów teletekstu. Podstawowa różnica pomiędzy pakietowymi systemami MAC dla konwencjonalnej rozdzielczości obrazu i dla dużej

*) Por. Biuletyn Informacyjny It, nr 3-4(296-297), 1992.



Rys. 30. Struktura ramki w systemie pakietowym HD-MAC

rozdzielczości obrazu leży w metodzie przesyłania sygnałów wizyjnych. Przesłanie sygnału o dużej rozdzielczości obrazu wymaga umieszczenia w kanale transmisyjnym około czterokrotnie większej liczby informacji niż w systemach konwencjonalnych. Powoduje to zastosowanie specjalnych metod zawężania przenieszonego pasma częstotliwości, polegających na wykorzystaniu przestrzenno-czasowych struktur próbkowania w koderze oraz interpolacji w dekoderze.

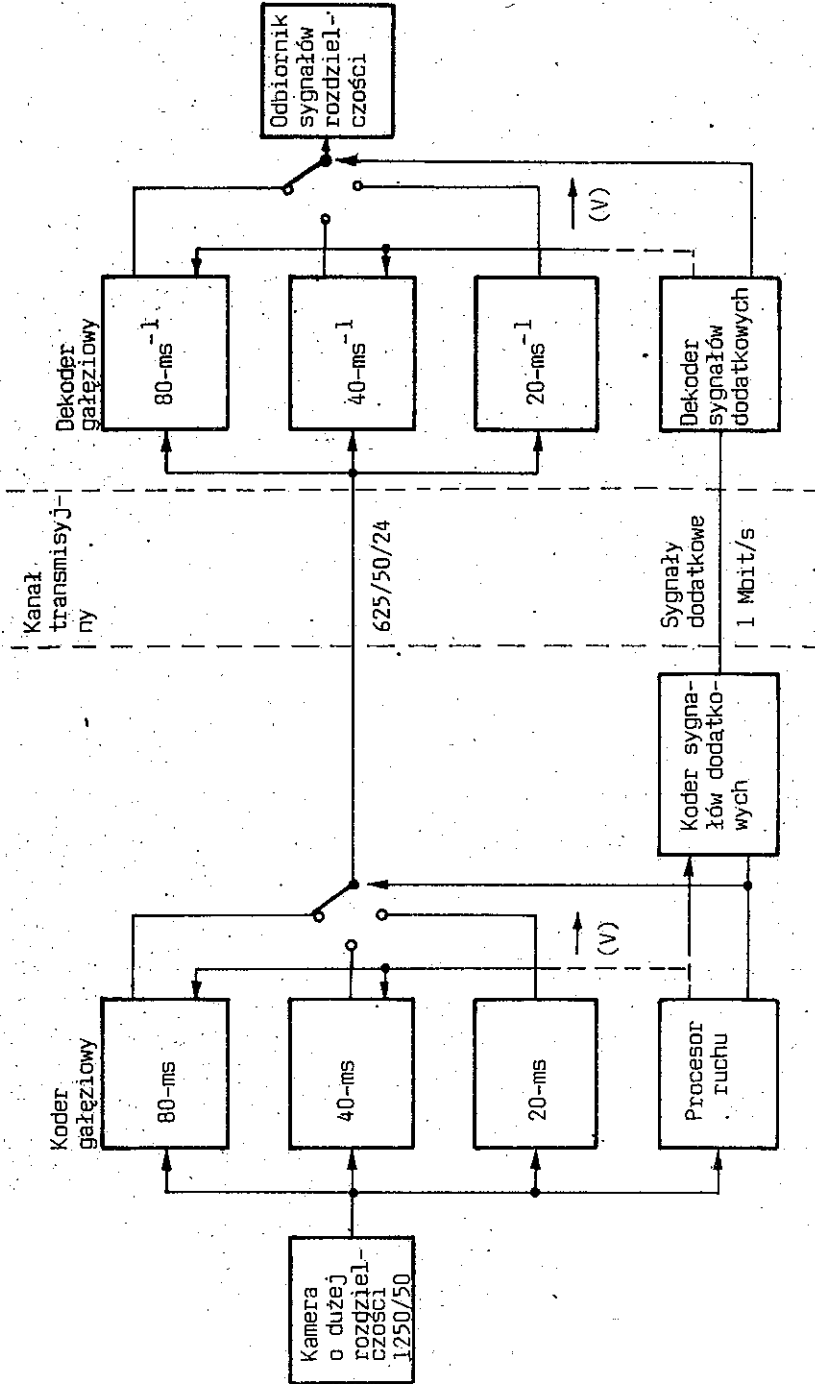
W celu ograniczenia pasma częstotliwości sygnałów luminancji i chrominancji przyjęto tzw. kodowanie wielogałęziowe^{*)}. Polega ono na podziale obrazu na kilka podobrazów w zależności od występowania ruchu i niezależnym kodowaniu tych podobrazów w oddzielnych "gałęziach kodera". W każdej z tych gałęzi mogą być stosowane inne techniki obróbki i przetwarzania sygnału, jak np. inne struktury próbkowania, oszacowanie bądź kompensacja ruchu. Wybór gałęzi, w której koduje się dany podobraz, jest oparty na sygnale wejściowym (sygnale źródła) (tzw. decyzja "a priori") bądź na symulowanym sygnale wyjściowym (decyzja "a posteriori"), a odpowiednia informacja jest przesyłana do dekodera w kanale uzupełniania cyfrowego.

W systemie HD-MAC przyjęto zastosowanie w koderze trzech gałęzi sygnału luminancji (rys. 31):

- 1) 80-msekundowa gałąź o dużej rozdzielczości dla podobrazów stałych;
- 2) 40-msekundowa gałąź z kompensacją ruchu dla podobrazów ruchomych o szybkości 12 próbek na 40 msekundę;
- 3) 20-msekundowa gałąź dla podobrazów zawierających szybki ruch i gwałtowne zmiany treści (z wyjątkiem obrazów filmowych zmieniających się z prędkością 25 obrazów/sekundę).

We wszystkich tych gałęziach zastosowano strukturę próbkowania typu quincunx, przy czym w gałęziach 80-msekundowej i 20-msekundowej strukturę quincunx pola, a w gałęzi 40-msekundowej

^{*)} Termin angielski - multi-branch coding .



Rys. 31. Schemat blokowy 3-gałęziowego kodera sygnału luminancji

quincunx linii. Sygnał w gałęzi 80-msekundowej podzielono na cztery elementarne pola, a próbki pobierane w poszczególnych polach przesunięto w czasie. Po stronie odbiorczej próbki z 4 pól są zwielokrotnione, a próbki pominięte zostają odtworzone drogą interpolacji.

W celu przesłania informacji zawartych na 1250 liniach systemu o dużej rozdzielczości kanałem częstotliwościowym pakietowego systemu 625 liniowego MAC zastosowano technikę tasowania linii^{*)}. Po zawężeniu pasma częstotliwości zawartość dwóch linii danego pola prześle się jako jedną linię systemu pakietowego MAC, poprzez przeplatanie próbek (rys. 32).

W gałęzi 40-msekundowej przeprowadza się kompensację ruchu. Dla każdego bloku 16 próbek na 16 linii jest wysyłany jeden wektor ruchu poprzez kanał uzupełniania cyfrowego.

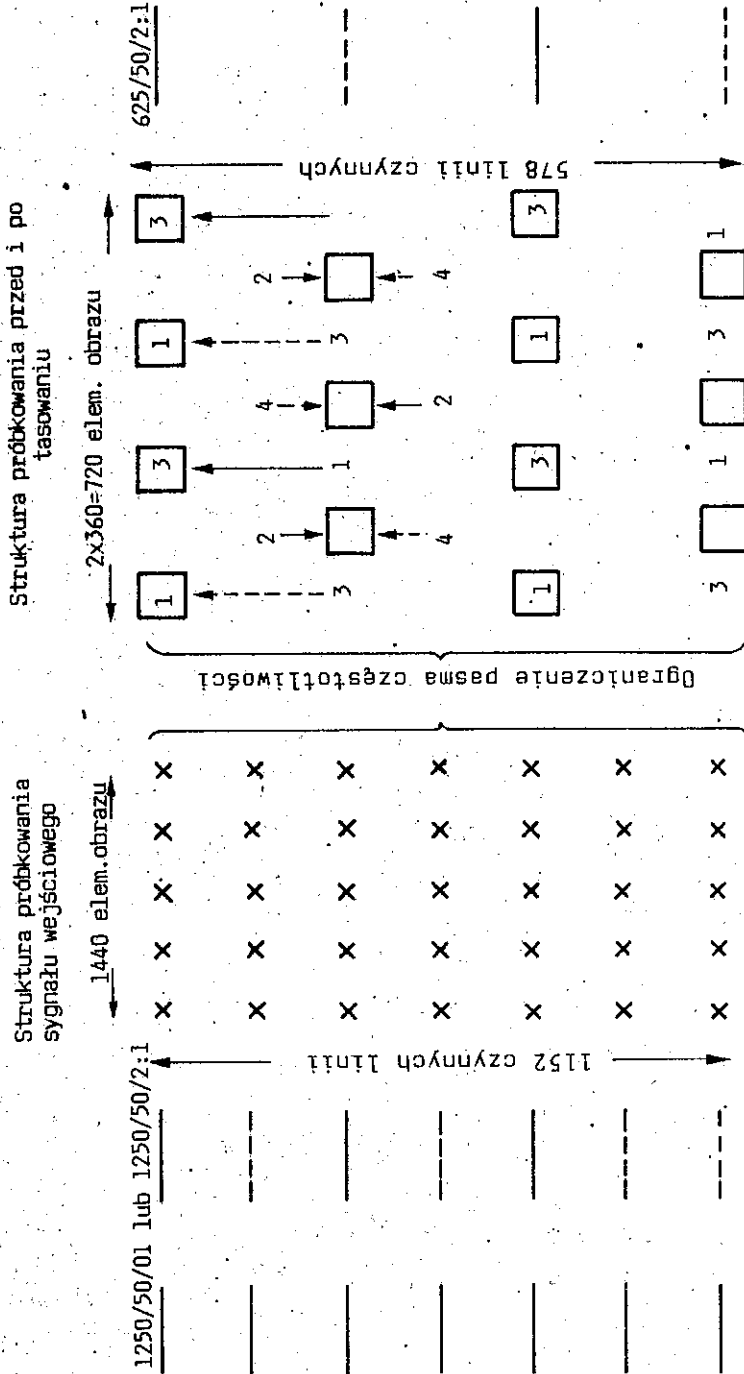
Do kodowania sygnałów różnicowych kolorowości obrazu zastosowano również trzy gałęzie:

- 1) 80-msekundową gałąź o dużej rozdzielczości dla podobrazów stałych;
- 2) 40-msekundową gałąź dla podobrazów zawierających szybki ruch i gwałtowne zmiany treści;
- 3) 20-msekundową gałąź dla podobrazów zawierających szybki ruch i gwałtowne zmiany treści (z wyjątkiem obrazów filmowych zmieniających się z prędkością 25 obrazów/sekundę).

W pierwszej i trzeciej gałęzi zastosowano strukturę quincunx pola, a w gałęzi drugiej - ortogonalną. W celu przesłania informacji zawartych na 1250 liniach na 625 liniach zastosowano wewnątrzpolowe tasowanie linii w gałęziach 80-msekundowej i 20-msekundowej oraz międzypolowe tasowanie linii w gałęzi 40-msekundowej.

W przypadku przesyłania materiałów filmowych wykorzystuje się jedynie gałęzie 80-msekundową i 40-msekundową. Informacje dotyczące rodzaju obrazu wejściowego są wówczas uzyskiwane z częstotliwości sygnału wejściowego (25 obrazów/sekundę).

^{*)} Termin angielski - line shuffling .



Rys. 32. Struktura próbkowania i tasowanie linii sygnału luminancji w gałęzi 80-ms systemu HD MAC

□ - położenie próbek przeszytych; 1 (lub 2, 3, 4); struktura podpróbkowania w tym polu (lub drugim, trzecim, czwartym)

Dodatkowe informacje cyfrowe przesyłane w kanale uzupełniania cyfrowego, zawierające sygnał przełączania gałęzi, pozwalają na 1700 możliwości. Są one kodowane za pomocą słów 11-bitowych, dając w okresie 80-msekund prędkość bitową 891 kbit/s. Informacje o przełączeniu gałęzi sygnałów różnicowych kolorowości obrazu uzyskuje się z odpowiednich sygnałów cyfrowych dotyczących sygnału luminancji.

Podstawowe parametry techniczne systemu HD-MAC podano w tablicy 23. System HD-MAC jest kompatybilny z systemami analogowo-cyfrowymi MAC, a także z telewizyjnym systemem cyfrowym dla studia, określonym Zaleceniem CCIR nr 601-2. System ten, przewidziany przede wszystkim dla transmisji satelitarnej, może być również wykorzystywany do wszystkich innych środków transmisji, takich jak, np. linie radiowe, nadajniki telewizyjne czy sieci kablowe.

Obydwa powyższe wąskopasmowe systemy transmisyjne były już wykorzystywane przy transmisjach eksperymentalnych. W celu standaryzacji tych systemów na ostatnim zebraniu Grup Roboczych 11 Komisji Studiów CCIR powstały projekty dwóch nowych Zaleceń. Pierwsze zalecenie dotyczy systemu MUSE, a drugie - systemu HD-MAC. W załącznikach do tych zaleceń umieszczono parametry techniczne powyższych systemów.

Tablica 23

Podstawowe parametry techniczne systemu HD-MAC

Parametr	Wartość
1	2
Sygnał wejściowy	sygnały składowe telewizji kolorowej o dużej rozdzielczości obrazu systemu europejskiego 1250/50/2:1
Współczynnik kształtu obrazu	16:9
Rodzaj transmisji	analogowa
Metoda zawężania pasma częstotliwości	próbkowanie podnyquistowskie z kompensacją ruchu
Maksymalne pasmo częstotliwości sygnałów odtworzonych:	

1	2
sygnału luminancji	21 MHz
sygnałów różnicowych	10,5 MHz
Podpróbkowanie w kierunku poziomym:	\
sygnału luminancji	2:1
sygnałów różnicowych	2:1
Podpróbkowanie w kierunku pionowym sygnałów różnicowych	2:1
Kompresja	
sygnału luminancji	3:2
sygnałów różnicowych	3:1
Pasma częstotliwości sygnału transmitowanego	ok. 11 MHz/10,125 MHz/
Częstotliwość próbkowania (zegarowa)	20,25 MHz
Dodatkowy sygnał cyfrowy	1 - 2 Mbit/s
Rozdzielczość sygnału pozioma:	
obrazów stałych i o małym ruchu	620 cykli/czynną szerokość obrazu
obrazów o dużym ruchu	310 cykli/czynną szerokość obrazu
pionowa:	
obrazów stałych	400 cykli/czynną wysokość obrazu
obrazów ruchomych	200 cykli/czynną wysokość obrazu
Odbiór kompatybilny 625/50:	
liczba próbek na czynnej części linii:	
sygnału luminancji	697
sygnałów różnicowych	349
Liczba kanałów dźwięku	2/4 lub 4/8

1	2
Pasma częstotliwości wejściowego sygnału dźwięku	15 kHz
Częstotliwość próbkowania (dźwięku)	32 kHz
Metoda kodowania	PCM/duobinarne
Charakterystyka kompresji	linearna 14-bitowa(10-14) NICAM
Prędkość bitowa sygnału dźwięku i danych	10,125 MHz
Kompresja sygnału cyfrowego	6,6:1
Rodzaj modulacji p.cz.	częstotliwościowa
Dewiacja częstotliwości	9,55 MHz
Wymagane pasmo częstotliwości pośredniej	27 MHz

5.1.2. Szerokopasmowe systemy transmisji sygnałów HDTV

Systemy MUSE i HD-MAC są systemami wąskopasmowymi znajdującymi zastosowanie w pasmie częstotliwości 12 GHz, nie zapewniającymi jednak pełnej jakości odtwarzanego obrazu telewizji o dużej rozdzielczości uzyskiwanej w studio.

Powstała więc koncepcja opracowania systemu szerokopasmowego, umożliwiającego uzyskanie jakości obrazu zbliżonej do jakości obrazu oryginalnego (przy obserwacji obrazu z odległości 3 H, w warunkach zgodnych z Zaleceniem 500 CCIR, jakość obrazu odtwarzanego powinna być gorsza mniej niż 12% od obrazu oryginalnego z zastosowaniem dwubodźcowej ciągłej skali jakości). System ten powinien być przezroczysty w stosunku do standardu studyjnego. Powinien również mieć możliwie dużo parametrów (jak, np.: parametry kolorymetryczne, charakterystyki przejściowe i elementy obróbki) identycznych jak systemy wąsko-

pasmowe, co umożliwi zmniejszenie kosztów i skomplikowania układów odbiornika. Ponadto parametry systemu powinny umożliwiać wykorzystywanie go zarówno do transmisji satelitarnych oraz transmisji sieciami zintegrowanymi i liniami światłowodowymi, jak i do zapisu magnetycznego oraz optycznego. Przewiduje się, że będzie to system cyfrowy.

Wytworzone w studio sygnały o dużej rozdzielczości obrazu zajmują w postaci cyfrowej strumień około 900 Mbit/s przy wybieraniu międzyliniowym, a około 1800 Mbit/s - przy wybieraniu kolejnoliniowym. Przesłanie takiego strumienia informacji, zarówno drogą satelitarną jak i siecią zintegrowaną, jest oczywiście niemożliwe. Badania wykazały jednak, że określona powyżej jakość obrazu odtwarzanego uzyskać można już przy prędkości bitowej równej około 140 Mbit/s i pasmie podstawowym sygnału luminancji równym ok. 30 MHz.

Prowadzone w różnych krajach prace badawcze doprowadziły do opracowania wielu systemów szerokopasmowych, które mogą być wykorzystywane zarówno do transmisji satelitarnych, jak i kablowych (sieciami zintegrowanymi oraz liniami światłowodowymi). We wszystkich tych systemach zastosowano złożone metody zmniejszenia prędkości bitowej, oparte zarówno na adaptatywnej (przystosowującej się) dyskretnej transformacji kosinusoidalnej różnic pomiędzy daną próbką i jej prognozą, obliczanych z czasową kompensacją ruchu, jak i na kodowaniu subpasmowym, a następnie kodowaniu z uwzględnieniem entropii (kodowanie ze zmienną długością słowa). Celem przesunięcia tych sygnałów w pasmo wysokich częstotliwości stosuje się cztero- lub ośmiowartościową modulację z kluczowanym przesuwem fazy. Szerokopasmowy system transmisji satelitarnej został opracowany w ramach prac programu EU.256 europejskiej Grupy EUREKA i demonstrowany w Torremolinos w Hiszpanii w czasie obrad konferencji WARC 1992 pod patronatem EBU. Uzyskana jakość obrazu o dużej rozdzielczości odtwarzanego po przejściu przez układ symulatora satelity była równoważna jakości obrazu HDTV wykorzystywanego w studiu.

W tablicy 24 podano zestawienie parametrów technicznych proponowanych w CCIR systemów transmisji sygnałów o dużej

Tablica 24

Parametry proponowanych systemów transmisji sygnałów
o dużej rozdzielczości obrazu drogą satelitarną

Parametr	System					
	1 MUSE	2 HD-MAC	3	4	5	6
Współczynnik kształtu	16:9	16:9	16:9	16:9	16:9	16:9
Częstotliwość obrazu [Hz]	30	25	25	30	25	30
Liczba czynnych linii w obrazie	1032	1152	1152	1035	1152	1035
Podstawowa częstotliwość próbkowania [MHz]						
luminancja Y	44,55	54	54/72	59,4	72	74,25
chrominancja C	14,85			29,7		37,125
Liczba czynnych próbek na linii luminancji	1122	1440	1440/ /1920	1536	1920	1920
sygnałów różnicowych	376	720	720/ /960	768	960	960
Rodzaj transmisji	analog.	analog.	analog. z możl. uzupeł. cyfr.	analog.	cyfr.	cyfr.
Metoda kompresji	← adaptacja ruchu → ← podpróbkowanie → ← kompensacja ruchu → *) **)					
	*) kodowanie transformacyjne z adaptacyjnym prognozowaniem o zmiennej długości, **) kodowanie z adaptacyjnym prognozowaniem, dyskretna transformacja kosinusoidalna, zmienna długość bloków					
Maksymalne pasmo częstotliwości sygnałów luminancji [MHz]	20	21	21/24	27	21-24	30
Maksymalne pasmo częstotliwości sygnałów różnicowych [MHz]	7	10,5	10,5/ /12	13,5	10,5- -12	15

Parametr	System					
	1 MUSE	2 HD-MAC	3	4	5	6
Podpróbkowanie sygnału luminancji (poziome)	3:1	2:1	2:1	2:1	3:2	-
Podpróbkowanie sygnałów różnicowych (poziome)	4:1	2:1	2:1	4:1	3:1	-
Podpróbkowanie sygnałów różnicowych (pionowe)	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	-
Kompresja sygnałów luminancji	12:1	3:2	3:2	25:22	8:3	8:1,33
Kompresja sygnałów różnicowych	48:11	3:1	3:1	50:11	8:2	8:2,67
Przesyłanie pasma podstawowego [MHz]	8:1	10,125	18	16,875	-	-
Uzupełnianie cyfrowe [Mbit/s]	-	1-2	do 8	-	włącz.do prędk. bitowej	-
Prędkość bitowa cyfrowego sygnału wizyjnego [Mbit/s]	-	-	-	-	127- -147	120
Dźwięk cyfrowy [Mbit/s]	1,35	1,5/3	1 do 4	2,7	2,5	3,072
Pasma sygnałów dźwięku [kHz]	20/15	15	≥ 15	20/15		20
Częstotliwość próbkowania dźwięku [kHz]	48/32	32	≥ 32	48/32		48
Liczba kanałów dźwięku	2/4	2/4 4/8	-	4		4
Metoda kodowania	DPCM trójk.	PCM duobin.	$\geq 2/4$	DPCM /PCM/ trójkowa		PCM

cd. tablicy 24

Parametr	System					
	1 MUSE	2 HD-MAC	3	4	5	6
Prawo komanderyzacji	16-11/ 6 zakr. 15-8/ 8 zakr.	linearne 14/14-10 NICAM		16-12/ /16		-
Cyfrowa kompresja czasu	13,5:1	6,6:1	6,6/ /6:1	13,5:1	-	-
Kodowanie protekcyjne	← włączone powyżej →				10,5	ok. 12 Mbit/s
Chwilowa prędkość bitowa [Mbit/s]	-	10,125 /20,25	54 lub 72	-	140- -160	135
Rodzaj modulacji i dewiacji ΔF_L [MHz]	FM 10,2	FM 9,55	FM/ FM+4. PSK 9,55-18	FM 12-31	cyfrowa a) 4 PSK b) 8 PSK c) 16 QAM	
Wymagane pasmo częstotliwości w.cz. [MHz]	21-24	27	45-54	41-54	a)105- -120 b)70- -80 c)52,5 -60	a) 81 b) 54 c) 17

rozdzielczości obrazu drogą satelitarną. Systemy 1 i 2 zostały omówione w pkt. 5.1.2. Systemy 3,4 wymagają szerszego pasma częstotliwości, a systemy 5 i 6 to systemy szerokopasmowe.

System 3 jest ulepszonym systemem HD-MAC wymagającym dwukrotnie szerszego pasma częstotliwości pośrednich. Proponowane są dwie wersje tego systemu. Pierwsza z nich, oparta na częstotliwości próbkowania 54 MHz, jest kompatybilna z systemem HD-MAC, natomiast druga, oparta na częstotliwości próbkowania 72 MHz, zapewnia większą jakość odtwarzanych informacji (wymaga jednak szerszego pasma częstotliwości sygnału luminancji, tzn. 24 MHz i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu - 12 MHz). Wykorzystuje ona w większym stopniu kanał dodatkowych danych

cyfrowych (do 8 Mbit/s), nie jest jednak w pełni kompatybilna z systemem HD-MAC.

System 4 jest niekompatybilnym systemem, opartym na częstotliwości powtarzania obrazów 60 Hz, wykorzystujący te same struktury próbkowania co system MUSE, lecz powtarzające się co 2° (a nie co 4) pola. Uzyskana rozdzielczość pozioma i pionowa obrazów stałych jest taka sama jak w systemie MUSE, a rozdzielczość obrazów ruchomych jest większa.

System 5 jest w pełni cyfrowy i kompatybilny z systemem studyjnym dla standardu 625-liniowym, określonym Zaleceniem 601 CCIR i Zaleceniem 96 ITU DIRT. Nie jest natomiast kompatybilny z systemami MAC. System ten z zastosowaniem czterwartościowej modulacji z komutowanym przesuwem fazy wymaga pasma częstotliwości pośrednich równego 120 MHz. Zastosowanie natomiast 16-wartościowej kwadraturowej modulacji amplitudowej (16 QAM) pozwala zawęzić to pasmo do 50-60 MHz.

System 6 jest systemem całkowicie cyfrowym, opartym na połączeniu kodowania różnicowego z dyskretną transformacją kosinusoidalną wytworzonych w studio sygnałów systemu 1125/60. Całkowita prędkość bitowa w tym systemie wynosi 135 Mbit/s. Z zastosowaniem cztero- lub ośmiowartościowej modulacji z kluczowanym przesuwem fazy wymagane pasmo częstotliwości pośrednich jest równe odpowiednio: 81 MHz i 51 MHz. Natomiast zastosowanie 16-wartościowej kwadraturowej modulacji amplitudowej (16 QAM) pozwala zawęzić to pasmo do 40 MHz. Do transmisji sygnałów w tym systemie można wykorzystywać również kanały H₄ sieci zintegrowanej.

Oprócz podanych w tablicy 24 systemów transmisji sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu drogą satelitarną w literaturze można spotkać wiele innych propozycji. Niektóre z nich omówiono poniżej.

a) Tzw. system HDS-NA

Stanowi on jedną z odmian systemów transmisji sygnałów składowych telewizji kolorowej ze zwielokrotnieniem w czasie. Na poszczególnych liniach wybierania nadaje się:

- rozciągnięty w czasie sygnał luminancji o pasmie częstotliwości równym 16,8 MHz;

- sygnał luminancji, bez kompresji o pasmie częstotliwości ograniczonym do 9,5 MHz;
- dwa sygnały różnicowe linii, utworzone przez odjęcie od sygnału luminancji średnich wartości sygnału nadawanego na linii poprzedniej i linii następnej;
- dwa sygnały chrominancji o ograniczonym pasmie częstotliwości nadawane co drugą linię wybierania z kompresją równą odpowiednio 2:1 i 4:1;
- sygnał cyfrowy foniczny, zawierający dwa sygnały stereofoniczne kodowane dwupoziomowo.

Rodzaj sygnałów nadawanych na poszczególnych liniach wybierania powtarza się co 4 linie. Pasmo częstotliwości podstawowych w tym systemie wynosi 9,5 MHz, a w pasmo pośredniej częstotliwości 27 MHz przy dewiacji $12 \text{ MHz}/V_{SS}$. Uzyskiwana rozdzielczość pionowa jest równa 480 linii na wysokość obrazu, a pozioma 495 linii na szerokość obrazu.

b) System HD-B-MAC

Jest to system przeznaczony do transmisji drogą satelitarną kompatybilny z systemem B-MAC. Sygnały wizyjne po filtracji są próbkowane podnyquistowsko, przy czym próbki na jednej linii wybierania są przesunięte w czasie w stosunku do próbek na następnej linii wybierania. Sygnał luminancji jest przesyłany z kompresją 3:1, a sygnały chrominancji - z kompresją 3:2. Splatanie widma umożliwia uzyskanie zwiększonej rozdzielczości sygnału luminancji poziomej do 954 linii na szerokości obrazu i pionowej do 480 linii na wysokości obrazu przy podstawowym pasmie częstotliwości sygnału zawężonym do 10,7 MHz.

c) System o kompatybilnym widmie częstotliwości [12, 16]

System ten, zaproponowany dla sygnału kolejnoliniowego 787,5/59,94, polega na przesłaniu 262,5 par składowych o czasie trwania 63,5 μs zwielokrotnionych w czasie w pasmie częstotliwości 6 MHz. Dodatkowy sygnał danych cyfrowych nadawany w okresie wygaszania pola w systemie NTSC zawiera: składową sygnału wizyjnego o małej częstotliwości ($< 200 \text{ kHz}$), sygnał

synchronizujący i sygnał dźwięku stereofonicznego. Sygnał luminancji jest przetwarzany w czterech pasmach przestrzenno-czasowych od częstotliwości pola 59,94 Hz dla małych częstotliwości do 11,988 MHz dla dużych częstotliwości. Sygnały różnicowe kolorowości obrazu są odtwarzane na częstotliwości 11,988 MHz i dla 1/3 rozdzielczości poziomej i pionowej sygnału luminancji. System zapewnia rozdzielczość pionową 720 linii na wysokość obrazu i poziomą 1020 linii na szerokość obrazu.

System ten może być również stosowany dla transmisji naziemnej, przy której przesyła się dwie pary składowych o pasmie częstotliwości 3 MHz oraz sygnał danych.

5.2. Transmisja naziemna sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu [12, 13, 16]

Większość istniejących obecnie odbiorców programów telewizyjnych odbiera ten program bądź bezpośrednio z nadajników telewizyjnych (nawet jeśli część toru sygnału tworzy odcinek satelitarny), bądź też z sieci telewizji kablowej. Dlatego też rozpowszechnienie telewizji o dużej rozdzielczości zależy w dużym stopniu od opracowania odpowiednich systemów transmisji naziemnej tych sygnałów. Ogólne wymagania dotyczące tych systemów są następujące:

- liczba systemów emisyjnych przyjętych w świecie powinna być bardzo ograniczona;
- ze względu na oszczędność widma przesyłanych częstotliwości jest pożądane stosowanie modulacji amplitudowej ze szczątkową jedną wstęgą boczną;
- jest pożądane, aby systemy o dużej rozdzielczości obrazu do emisji przez nadajniki telewizyjne i do transmisji w sieci kablowej były podobne;
- przy projektowaniu systemów telewizji o dużej rozdzielczości należy brać pod uwagę całą drogę transmisyjną - od studia poprzez satelitę i nadajnik telewizyjny do odbiornika;

- jest pożądana kompatybilność odbiorników, kanałów transmisyjnych i sieci kablowej;
- wprowadzenie telewizji o dużej rozdzielczości nie powinno oddziaływać ujemnie na istniejącą już sieć transmisyjną.

Obecnie systemy emisji sygnałów telewizyjnych o dużej rozdzielczości były proponowane przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych [12, 16]. Są to systemy wąskopasmowe kompatybilne ze standardem NTSC (525/60). Przedstawione propozycje w większości przypadków wykorzystują pasmo częstotliwości sygnału wizyjnego 6 MHz, w niektórych przypadkach uzupełnione dodatkowymi sygnałami o pasmie częstotliwości 3 MHz lub 6 MHz. Systemy te wykorzystują technikę tzw. telewizji ulepszonej (ATV)*).

Spotykane są cztery wersje tych systemów:

- a) wersja wykorzystująca pojedynczy kanał 6 MHz, kompatybilna z NTSC;
- b) wersja wykorzystująca pojedynczy kanał 6 MHz, kompatybilna z NTSC, i dodatkowy kanał 3 MHz (niekoniecznie sąsiedni) do przesyłania informacji uzupełniających informacje kanału podstawowego;
- c) wersja B, zawierająca kanał dodatkowy o szerokości 6 MHz;
- d) wersja C, przy której w każdym nadajniku naziemnym przewiduje się inny dodatkowy kanał o szerokości 6 MHz do transmisji niekompatybilnego sygnału ATV.

Zestawienie proponowanych systemów ATV podano w tablicy 25. Systemy powyższe nie są jeszcze eksploatowane przez stacje nadawcze. Przeprowadzono natomiast ich symulację komputerową do określenia warunków propagacyjnych, współczynników ochronnych oraz planu stacji nadawczych dla poszczególnych wersji systemu. Wykorzystując powyższą technikę zaproponowano wiele systemów transmisji sygnałów telewizji o dużej rozdzielczości obrazu. Dla przykładu można tu podać:

*) Termin angielski - Advanced Television.

Proponowane systemy ATV

Wymagana szerokość pasma częstotliwości	Rodzaj sygnału	Uwagi
6 MHz	kompatybilny NTSC	Odbiorniki NTSC odbierają sygnały ATV jako sygnały NTSC. Odbiorniki ATV będą odbierały albo programy ATV, albo NTSC.
9 MHz	standardowy NTSC oraz dodatkowy o pasmie częstotliwości 3 MHz	Odbiorniki NTSC odbierają standardową część sygnału. Odbiorniki ATV będą odbierały albo programy systemu ATV, albo systemu NTSC.
	niekompatybilny (nie dozwolony dla emisji programów)	Odbiorniki NTSC wymagają zastosowania przetworników do odbioru programów ATV. Odbiorniki ATV będą odbierały albo programy ATV, albo NTSC.
12 MHz	standardowy NTSC oraz dodatkowy o pasmie częstotliwości 6 MHz	Odbiorniki NTSC odbierają tylko standardową część sygnału. Odbiorniki ATV będą odbierały albo programy ATV, albo NTSC.
	"SIMULCAST" standardowy NTSC oraz niekompatybilny sygnał o pasmie częstotliwości 6 MHz	Odbiorniki NTSC odbierają tylko program NTSC. Odbiorniki ATV mogą odbierać programy ATV i programy NTSC.

a) System HD NTSC

System ten wykorzystuje kanał częstotliwości 6 MHz, kompatybilny z NTSC, oraz dodatkowy kanał o szerokości 6 MHz. Zasada jego pracy została opracowana dla sygnału wejściowego kolejnoliniowego o 525 liniach i częstotliwości pół obrazu równej 59,94. System zapewnia duży wzrost rozdzielczości poziomej i pionowej oraz współczynnik kształtu 16:9.

Może on jednak być również wykorzystywany do przesyłania obrazów 1050 i 1125-liniowych. W przypadku obrazów 1050 i 1125-liniowych stosuje się wybieranie w sekwencji 6 pól. Wybierane trójki elementów określa się za pomocą struktury quincunx, przy czym są one wybierane tylko w trzech polach (podobnych) z trzech kolejnych obrazów.

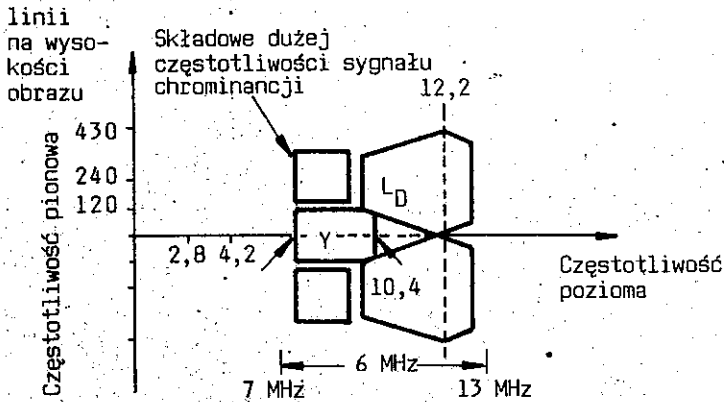
Pierwszym etapem formowania sygnału jest wydzielenie z całego sygnału części obrazu odpowiadającej współczynnikowi kształtu 4:3 i jego dekompresja w stosunku 8/3 tak, aby zajmował całą czynną część linii wybierania. Następnie, tworzy się sygnał NTSC zawierający sygnał luminancji dla 525 linii i sygnały chrominancji: I o pasmie 4 MHz i Q o pasmie 1,6 MHz. W dodatkowym kanale przesyła się pakiet dodatkowych informacji (ASP)^{*)} w postaci zwielokrotnionych czasowo rozciągniętych w czasie sygnałów, odpowiadających bocznym pasmom obrazu (19,3 μ s), cyfrowych sygnałów dźwięku i danych (5,2 μ s) oraz sygnałów powiększenia rozdzielczości obrazu, nadawanych na częstotliwości nośnej 6,2 MHz; zawierających duże częstotliwości sygnału luminancji, rozciągnięte w czasie 3:2, i sygnał różnicy linii nadawany na nośnej 12,2 MHz oraz duże częstotliwości sygnału chrominancji, modulowane jednowstęgowo i nadawane na co drugiej linii wybierania (kanał dodatkowy o szerokości 6 MHz zajmuje pasmo częstotliwości od 7 MHz do 13 MHz (rys. 33)).

b) System ACTV^{**)}

Podstawowym sygnałem wejściowym jest sygnał kolejnoliniowy o 525 liniach i 59,94 polach obrazu. Mogą być również stosowane sygnały 1050 lub 1125-liniowe, wybierane międzyliniowo. System wykorzystuje jedynie kanał częstotliwości o szerokości 6 MHz.

*) Termin angielski - Augmentation Signal Package.

***) ACTV - Advanced Compatible Television (ulepszony sygnał kompatybilny).

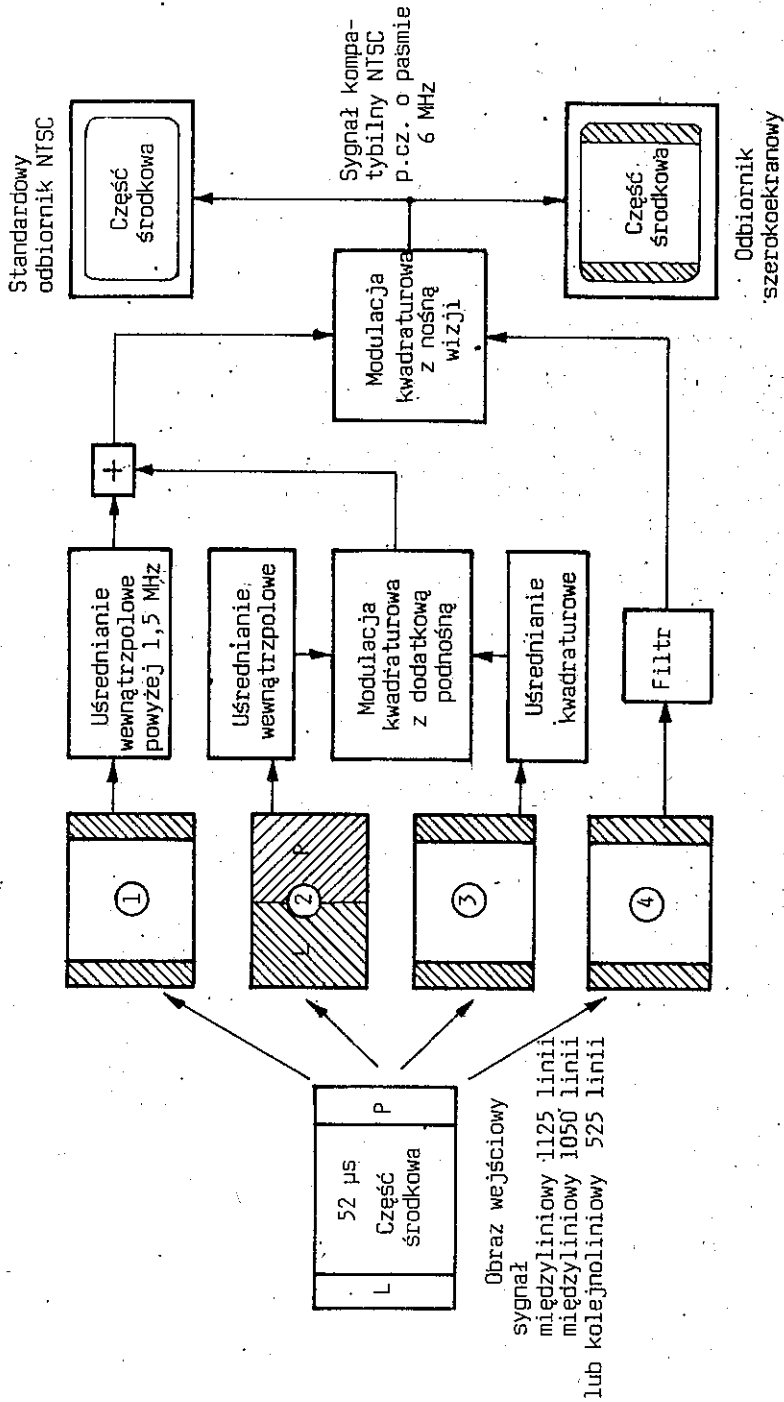


Rys. 33. Struktura pakietu dodatkowych informacji w systemie HD NTSC

Sygnał ACTV jest utworzony z czterech składowych (rys. 34):

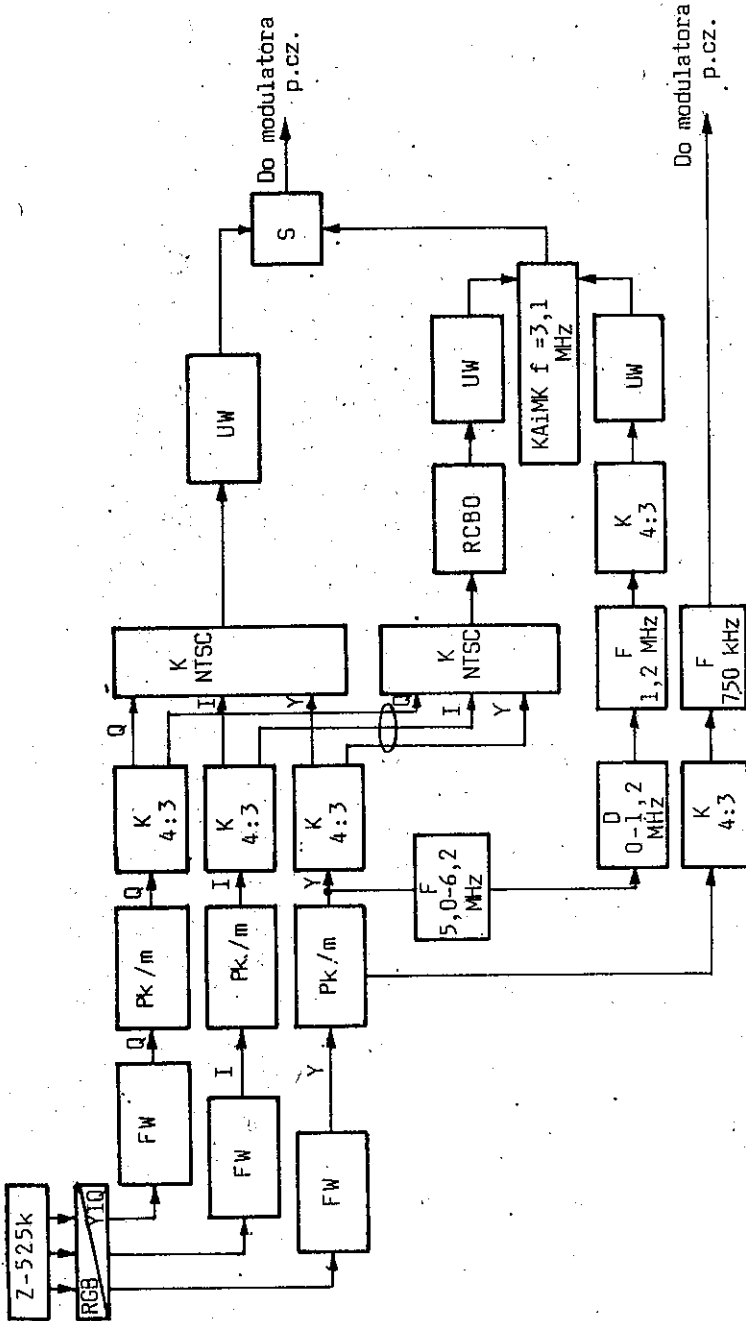
- sygnału NTSC, wypełniającego centralną część odtworzonego obrazu o współczynniku kształtu 4:3, zajmującego 50 μ s na czynnej linii wybierania;
- rozciągniętych w czasie składowych, odpowiedzialnych za boczne części obrazu (zakodowanych odpowiednio do standardu NTSC) i zajmujących czynną linię wybierania;
- sygnału odpowiadającego dodatkowym szczegółom w kierunku poziomym, stanowiącego część sygnału luminancji zawartą w pasmie od 5 do 6,2 MHz, oraz nadawanego w zakresie 0 - 1,2 MHz;
- sygnału odpowiadającego dodatkowym szczegółom w kierunku pionowym (tzw. sygnału pomocniczego)*), zawierającego różnice pomiędzy liniami opuszczonymi (przy przejściu na wybieranie międzyliniowe) a ich odpowiednikami, odtworzonymi drogą interpolacji. Pasma częstotliwości tego sygnału wynosi 750 kHz.

*) Termin angielski - helper.



Rys. 34. Zasada kodowania w systemie ACTV

1 - podstawowy sygnał NTSC 525 linii, współ. kształtu 2:1, 2 - rozciągnięte w czasie składowe odpowiedzialne za boczne części obrazu zakodowane, wg NTSC, 3 - sygnał odpowiadający dodatkowym szczegółom w kierunku poziomym sygnału luminancji w paśmie 5,0 ÷ ±6,2 MHz, 4 - sygnał "pomocniczy" odpowiadający dodatkowym szczegółom w kierunku pionowym.



Rys. 35. Schemat blokowy układu nadawczego systemu ACTV ~

Z - 525 K - źródło sygnału 525 kolejnoliniowego, FW - filtracja wstępna, Pk/m - przetworzenie kolejnoliniowe na międzyliniowe, K 4:3 - kodowanie do 4:3, F 5,0 ÷ 6,2 MHz - filtr 5,0 ÷ 6,2 MHz, D - zdudnienie 0 ÷ 1,2 MHz, K NTSC - koder NTSC, F 1,2 MHz - filtr 1,2 MHz, F 750 kHz - filtr 750 kHz, RCBO - rozciągnięcie czasowe bloków obrazu, UW - uśrednianie wewnętrzne, KAI MK - kompresja amplitudy i modulacja kwadratową, S - sumator

Sygnały ② i ③, uśredniane wewnątrz pola obrazu, modyfikują kwadraturowo drugą podnośną o częstotliwości 3,1 MHz (podnośna kolorowości obrazu w systemie NTSC wynosi 3,57 MHz), a następnie są one zsumowane w pasmie podstawowym z sygnałem ①. Natomiast sygnał pomocniczy ④ jest dodawany do pozostałych na częstotliwości pośredniej. Schemat blokowy układu nadawczego systemu ACTV podano na rys. 35.

Propozycje systemów emisji sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu powstawały - oprócz Stanów Zjednoczonych - również w Europie. Należy do nich przede wszystkim propozycja emisji systemu HD MAC, kompatybilnego z systemami pakietowymi D2 MAC lub D MAC ze szczątkową wstęgą boczną w kanale częstotliwościowym o szerokości 12 MHz.

5.3. Transmisja sygnałów telewizji o dużej rozdzielczości obrazu sieciami kablowymi

Zagadnienie transmisji tych sygnałów sieciami kablowymi może być rozpatrywane w zależności od rodzaju transmisji. Pierwszej z nich dotyczy transmisja pomiędzy ośrodkami telewizyjnymi oraz ośrodkami wytwarzającymi program i stacjami nadawczymi, a także rozprowadzania programów siecią z integracją usług (ISDN). Wymaga to bardzo wysokiej jakości przesyłanych obrazów, dopuszczając dość szerokie pasmo przenoszonych częstotliwości. Do transmisji tego typu przewiduje się wykorzystywanie kabli światłowodowych oraz szerokopasmowych systemów transmisji sygnałów.

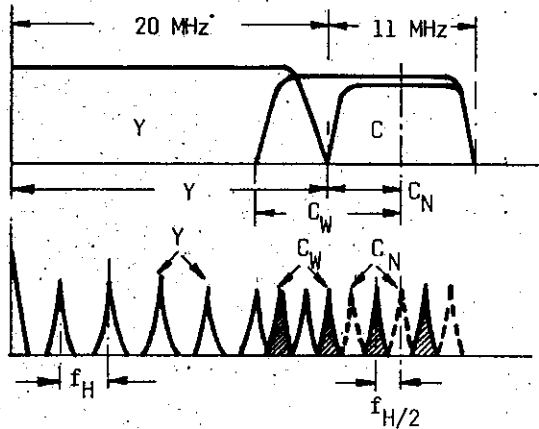
Drugi rodzaj transmisji stanowi rozsyłanie sygnałów o dużej rozdzielczości do odbiorców telewizyjnych; wymaga on jak najwęższego pasma przesyłanych częstotliwości. Do tego celu przewiduje się wykorzystywanie światłowodowych łączy telewizji kablowej i wąskopasmowych systemów transmisji sygnałów.

Początkowe propozycje systemów transmisji sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu opierały się przede wszystkim na transmisji analogowej z cyfrową obróbką sygnałów; nowoczesne systemy są systemami całkowicie cyfrowymi.

W literaturze [12, 15, 18, 51] można spotkać wiele propozycji systemów zarówno analogowych, jak i cyfrowych. Poniżej podano przykłady niektórych takich systemów:

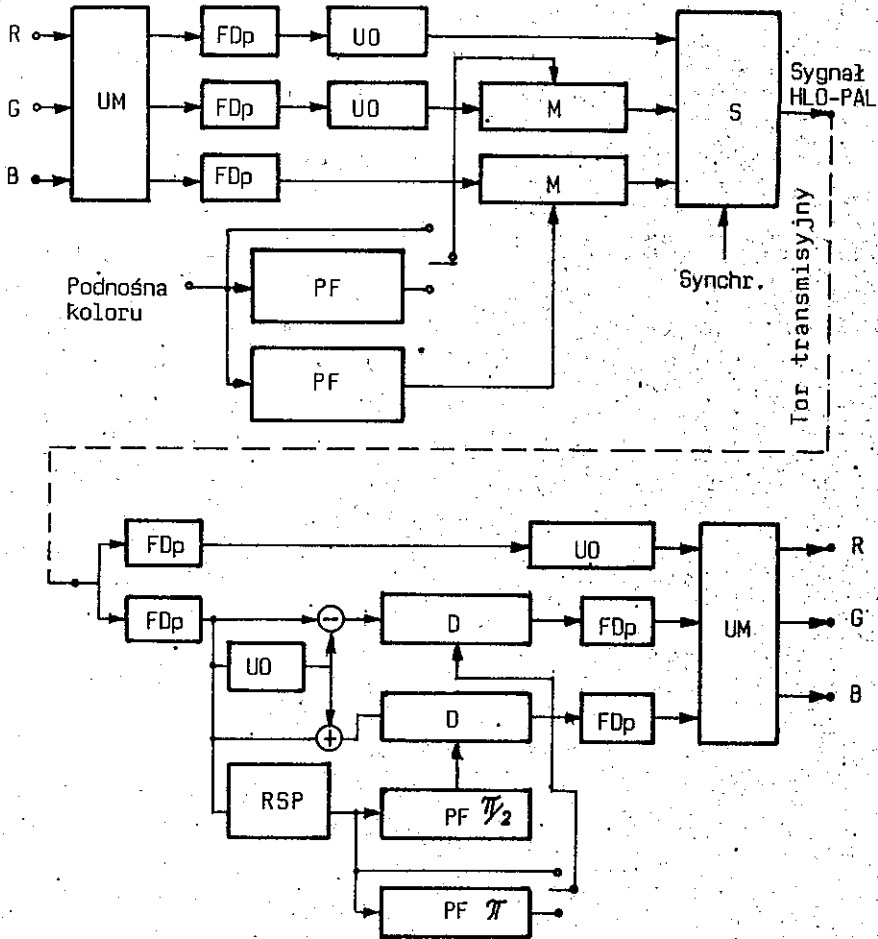
a) System ze zwielokrotnieniem częstotliwościowym HLC-PAL^{*)} [51] (japoński)

W tym systemie sygnał chrominancji jest przesyłany w pasmie częstotliwości znajdującym się powyżej pasma sygnału luminancji lub częściowo się z nim pokrywającym (rys. 36). Całkowite pasmo częstotliwości sygnału HLO-PAL zajmuje ok. 30 MHz. Faza sygnału chrominancji jest zmieniana co linię. Schemat blokowy kodera i dekodera systemu przedstawiono na rys. 37. System HLO-PAL jest systemem czysto analogowym, pracującym z modulacją amplitudową fali nośnej, przeznaczonym przede wszystkim do transmisji liniami radiowymi.



Rys. 36. Widmo częstotliwości sygnału HLO-PAL

^{*)} HLO-PAL-Half-line Offset PAL (system PAL z półliniowym przesuwem częstotliwości).



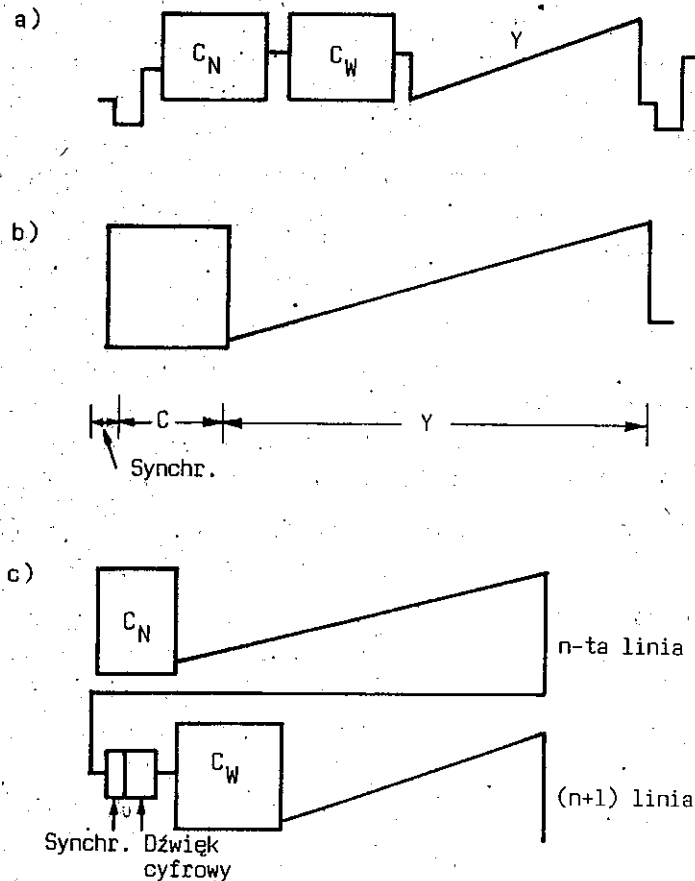
Rys. 37. Układ blokowy kodera i dekodera systemu HLO-PAL
 UM - układ matrycowy, FDp - filtr dolnoprzepustowy, UO - układ opóźniający, PF - przesuwnik fazowy, M - modulator, S - sumator, RSP - regenerator sygnału podnośnej, D - demodulator

b) System z kompresją sygnałów i ich zwielokrotnieniem w czasie TCI^{*)} (japoński) [51]

W tym systemie sygnały luminancji i chrominancji są przesyłane ze zwielokrotnieniem czasowym. Istnieje kilka wersji tego

*) TCI - Time-compressed Intergration.

systemu. W pierwszej z nich na każdej linii wybierania nadaje się sygnał luminancji i obydwa sygnały chrominancji (rys. 38) skompresowane w czasie odpowiednio 2- i 4- krotnie. Pasma częstotliwości sygnału luminancji wynosi 20 MHz, natomiast pasmo całego sygnału TCI wynosi 40 MHz, jest więc zbyt szerokie do transmisji liniami radiowymi. Ta wersja systemu TCI może być zatem stosowana przy przesyłaniu sygnałów wewnątrz studio i pomiędzy ośrodkami studyjnymi.



Rys. 38. Przykłady sygnałów z kompresją i zwielokrotnieniem w czasie

a) wersja pierwsza; b) wersja druga; c) wersja trzecia

W drugiej wersji systemu TCI każdy z sygnałów chrominancji jest nadawany co drugą linię wybierania obrazu (rys. 38b), przy czym sygnał chrominancji jest przesyłany w okresie wygaszania linii wybierania obrazu. Pasmo częstotliwości sygnału luminancji wynosi w tym przypadku 20 MHz, a pasmo częstotliwości sygnałów różnicowych przed kompresją odpowiednio: 7 MHz i 5,5 MHz. Wersja ta może być już stosowana w torach transmisyjnych.

Trzecia wersja systemu jest przystosowana do transmisji liniami radiowymi o 60 MHz-owym pasmie częstotliwości pośrednich. W wersji tej na jednej linii wybierania (rys. 38c) jest przesyłany sygnał luminancji o pasmie 20 MHz i skompresowany (w stosunku 1:4) sygnał różnicowy C_N . Na drugiej linii natomiast jest przesyłany sygnał luminancji, skompresowany w stosunku 2:3, z ograniczonym pasmem częstotliwości do 13,5 MHz, sygnał różnicowy C_W , skompresowany w stosunku 1:3, oraz sygnał synchronizacji i sygnały dźwięku.

W koderach i dekoderach sygnału TCI zachodzą procesy kompresji i zwielokrotniania w czasie sygnałów luminancji i chrominancji, które są przeprowadzane metodami cyfrowymi. System TCI jest więc systemem analogowo-cyfrowym, pracującym z modulacją częstotliwościową fali nośnej.

c) System japoński oznaczony jako "oddzielna Y-C"* (niezależne nadawanie sygnałów luminancji i chrominancji)

W tym systemie przesyłane niezależnie sygnały luminancji i chrominancji modułują dwa sygnały o różnych częstotliwościach nośnych. Pasmo podstawowe sygnału luminancji wynosi 20 MHz, a sygnału chrominancji 6,5 MHz, zaś szerokości kanałów radiowych wynoszą odpowiednio 80 MHz i 25 MHz.

d) System japoński tzw. FC FE**)

W tym systemie po stronie odbiorczej następuje zmiana wybierania międzyliniowego na wybieranie kolejnoliniowe. Wyko-

*) Termin angielski - separate Y-C

**) FC FE - Frame Conversion Fineness Enhance.

rzystuje się tu fakt, że rozdzielczość pionowa obrazu w przypadku wybierania międzyliniowego jest równa rozdzielczości pionowej obrazu przy wybieraniu kolejnoliniowym, lecz zawierającego mniej o około 35% linii wybierania. Pozwala to na 35% ograniczenie szerokości pasma częstotliwości kanału radiowego. Wybierany międzyliniowo sygnał 1125-liniowy jest więc przetworzony na sygnał zawierający 35% mniej linii i przesyłany w kanale o szerokości 38 MHz.

Po stronie odbiorczej, na skutek zastosowania pamięci obrazu, sygnał wybierany międzyliniowo jest zamieniany na sygnał kolejnoliniowy, dzięki czemu uzyskuje się obraz o jakości obrazu 1125-liniowego.

e) System cyfrowy o prędkości bitowej 864 Mbit/s [18]

W tym systemie sygnał luminancji jest próbkowany z częstotliwością 54 MHz, a każdy z sygnałów chrominancji z częstotliwością 27 MHz. Sygnały systemu 1250/60/2:1 kodowane z dokładnością 8 bitów są następnie łącznie z sygnałami protekcji błędów i sygnałami dźwięku stereofonicznego przesyłane torem światłowodowym.

f) System transmisji analogowej

System ten jest przeznaczony do przesyłania sygnałów systemu 1200/50/1:1 wewnątrz ośrodków studyjnych [18]. Wykorzystuje on trzy równoległe tory o pasmach częstotliwości przenoszonych 60 MHz do transmisji sygnałów RGB.

g) System proponowany przez Niemcy o prędkości bitowej 565 Mbit/s

W systemie tym, opartym na kodowaniu różnicowym DPCM z ukształtowaniem szumu, przyjęto częstotliwość próbkowania sygnału luminancji równą 72 MHz, a każdego z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu - 36 MHz. Całkowity strumień informacji 1152 Mbit/s zostaje zmniejszony do połowy przez zastosowanie modulacji różnicowej z dwuelementowym prognozowaniem, stałej charakterystyki kwantowania i kodowanie sygnału luminancji za pomocą 5 bitów, a sygnałów różnicowych za pomocą 4 bitów.

h) System proponowany przez Japonię o prędkości bitowej 120/140 Mbit/s

Wykorzystuje on:

- próbkowanie-podnyquistowskie z przesunięciem co linię^{*)},
- okresy wygaszania i przesyłania sygnałów różnicowych co drugą linię wybierania,
- wewnątrzpolową modulację impulsowo-kodową (DPCM) z adaptywnym filtrem kształtującym szum i adaptywnym kwantowaniem.

i) Propozycja angielska przesyłania sygnałów HD MAC z prędkością 140 Mbit/s

Opiera się ona na wykorzystaniu modulacji hybrydowej: 8-bitowej modulacji linearnej PCM i 5-bitowej modulacji różnicowej DPCM z układem kwantującym o charakterystyce symetrycznej względem początku układu^{**)}.

j) Propozycja niemiecka

Stanowi ona alternatywę systemu HD MAC, polegającą na rozdzieleniu sygnału MAC na sygnały wizyjne i foniczne z danymi i oddzielnym kodowaniu tych sygnałów. Sygnał wizyjny jest kodowany za pomocą modulacji DPCM z kwantowaniem wykorzystującym technikę Van Buul'a i charakterystykę "zagiętą"^{***)}. W celu zmniejszenia wrażliwości sygnałów na błędy transmisyjne, 7-bitowe słowo kodowe dla każdej co dziesiątej próbki jest zamienione przez 8-bitowe wejściowe słowo kodowe. Sygnały dźwięku i danych są kodowane binarnie (1-bitowo), zamiast kodowania duobinarnego. Sygnały te są następnie zwielokrotniane w czasie i przesyłane.

k) Propozycja japońska transmisji cyfrowej sygnałów MUSE

Wykorzystuje ona linearne kodowanie PCM lub różnicowe kodowanie DPCM. Pozwala też na uzyskanie prędkości bitowej równej

*) Termin angielski - line offset structure

***) Termin angielski - reflected

****) Termin angielski - folded.

odpowiednio 135 Mbit/s (w przypadku PCM) i 100 Mbit/s (w przypadku DPCM).

1) Propozycja japońska o prędkości bitowej 97,728 Mbit/s dla systemu 1125/60

Wykorzystuje ona adaptacyjną filtrację wstępną (w celu ograniczenia szumu), ekstrapolacyjne i interpolacyjne kodowanie z prognozowaniem adaptacyjnym wewnątrz i międzypolowym oraz kodowanie o zmiennej długości słowa. Sygnałami wejściowymi są w tym przypadku sygnały składowe telewizji kolorowej o pasmie częstotliwości równym 20 MHz dla sygnału luminancji oraz 7 MHz dla każdego z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu.

Powyższe systemy znajdują się w większości przypadków w stadium badań eksperymentalnych nie były one stosowane w praktyce, a jedynie przeprowadzono ich symulację komputerową.

Docelowo przewiduje się, zarówno do transmisji pomiędzy ośrodkami telewizyjnymi jak i do przesyłania sygnałów do odbiorców telewizyjnych, stosowanie cyfrowych metod transmisji oraz zmniejszenie (w stosunku do studyjnej) prędkości bitowej. Prowadzone są więc intensywne prace nad metodami oszczędnego kodowania. Jako konkurencyjną do proponowanej w opisanych poprzednio szerokopasmowych systemach transmisji sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu drogą satelitarną metody kodowania z wykorzystaniem dyskretnej transformacji kosinusoidalnej proponuje się metodę kodowania wektorowego, a przede wszystkim kodowania subpasmowego. W tym ostatnim przypadku cały zakres przenoszonych częstotliwości jest podzielony na kilka subpasm, przetwarzanych równolegle; przy czym w każdym subpasmie można zastosować inny optymalny dla danego subpasma algorytm kodowania.

Opierając się na technice kodowania subpasmowego zaproponowano dwie szerokopasmowe metody transmisji sygnałów telewizji o dużej rozdzielczości obrazu. W pierwszej z nich sygnał został podzielony na 4 subpasma, do każdego z których zastosowano różnicową modulację kodowo-impulsową (DPCM) oraz kodowanie o zmiennej długości słowa, otrzymując prędkość bitową równą

ok. 600 Mbit/s. W drugiej metodzie również podzielono sygnał na 4 subpasma, z których dwa kodowano linearnie (PCM), jedno różnicowo (DPCM), a w czwartym zastosowano adaptacyjną dyskretną transformację kosinusoidalną z kompensacją ruchu. Dla zmniejszenia prędkości bitowej do ok. 155 Mbit/s zastosowano również kodowanie ze zmienną długością słowa. Obydwie powyższe metody nie były dotychczas eksploatowane, lecz przeprowadzono ich symulację komputerową.

6. ZAKOŃCZENIE

Telewizja o dużej rozdzielczości obrazu została wynaleziona przede wszystkim w celu powiększenia jakości odbieranych obrazów telewizyjnych. Prowadzone prace normalizacyjne idą więc przede wszystkim w kierunku ustalenia parametrów standardu studyjnego i standardów transmisyjnych systemu. Jednakże duża jakość obrazu uzyskiwana w tych systemach pozwala na wykorzystywanie telewizji o dużej rozdzielczości obrazu również do innych celów. Staje się ona uniwersalnym narzędziem produkcji nie tylko programów telewizyjnych, ale również kaset płyt i filmów, zarówno telewizyjnych jak i kinowych. Telewizja o dużej rozdzielczości obrazu znajduje zastosowanie w edukacji, medycynie, telekonferencjach, popularyzacji sztuki, fotografii, przemyśle poligraficznym, wojskowości, lotnictwie, badaniach naukowych, technice komputerowej i itp.

Szeroki wachlarz możliwych zastosowań telewizji o dużej rozdzielczości obrazu stale się powiększa i trudno powiedzieć, które z tych zastosowań będzie najszybciej się rozwijało w najbliższych latach. Ważne jest jednak dla uniknięcia dublowania prac badawczych oraz powstania zbyt wielu równoległych standardów aby odpowiednie standardy dla poszczególnych zastosowań były ze sobą szarmonizowane. Zagadnienie to stanowi przedmiot dodatkowych badań Komisji Studiów 11 CCIRR.

WYKAZ LITERATURY

1. Advanced techniques for satellite broadcasting of digital HDTV at frequencies around 20 GHz - Collected papers on concepts of wide-band digital HDTV satellite broadcasting into the 21st century. EBU, 1992.
2. Annegarn M.J.J.C., Arragon J.P., Jackson R.N.: Wysokiej rozdzielczości system HD-MAC: kompatybilna droga do telewizji wysokiej jakości. Eleventh International Broadcasting Convention Conference Publication, No. 268, Anglia Brighton 1986 (tłum.).
3. Boyer R.: Évolution compatible vers la télévision haute définition. Radiodiffusion Télévision, Vol. 29, No. 105, 1989.
4. Cadot E., Bauchar P.Y.: Cinema et TVHD: Quelles relations demain. Radiodiffusion Télévision, Vol. 22, No. 103, 1988.
5. Cappuccini F., Krivocheev M.: The Global approach to HDTV standardization. Rivista Telettra Review, Vol. 45, No. 1, 1990.
6. CCIR-Doc 10/11S/Temp/18: Draft new recommendation MUSE(-E) system for HDTV broadcasting - satellite services, Geneva 1991.
7. CCIR-Doc. 10-11S/Temp/19: Draft new recommendation 1250/50 based HDTV system for broadcasting - satellite services compatible with MAC/packet systems, Geneva 1991.
8. CCIR-Doc.TG 11-1/Temp/23: Signal parameter values for the 1125/60/2:1 System and the 1250/50/2:1 System, Geneva 1991.
9. CCIR-Draft Recommendation 709: Basic parameter Values for the HDTV Standard for the Studio, and for the international programme exchange. Düsseldorf, 1990.
10. CCIR-Report 1217 (Mod F): Future development of HDTV. Düsseldorf, 1990.
11. CCIR-Report. 1224: HDTV Standards harmonization. Düsseldorf, 1990.

12. CCIR-Report 801-3: The present state of high - definition television Düsseldorf, 1990.
13. CCIR - Zbiór dokumentów roboczych IWP 11/6 z okresu 1982-1986.
14. CCIR - Zbiór dokumentów roboczych JWP 11/6 z okresu 1986-1990.
15. CCIR - Zbiór dokumentów roboczych JWP 11/7 z okresu 1986-1990.
16. CCIR - Zbiór dokumentów roboczych Komisji Studiów 11 z okresu 1986-1990.
17. CCIR - Zbiór dokumentów roboczych Komisji Studiów 11 z okresu 1982-1986.
18. CCIR - Zbiór dokumentów końcowych Międzysesyjnego Posiedzenia Komisji Studiów 11 dotyczącego HDTV, Genewa 1987.
19. Childs I., Melwing R.: HDTV Standard-setting on psychophysical bases. EBU Review Technical, No. 219, 1986.
20. Childs J., Roberts A.: Kompatybilność źródeł i monitorów HDTV z dzisiejszymi systemami telewizyjnymi. Tenth International Broadcasting Conversion. Conference Publication, No. 240, Anglia Brighton 1984. (tłum.).
21. Clarification and explanation of the position taken by German public broadcasters ARD and ZDF in the discussion on The future HDTV production standard. EBU Review Technical, No. 221, 1987.
22. D'Amato P.: The origination of HDTV programmes. EBU Review Technical, No. 219, 1986.
23. EBU-GT VI/HDTV 578 app. 4: Progress report on wide RF band HDTV (W-HDTV) emission systems.
24. EBU: Recent discussions in IWP 11/7 on HDTV, November 1988.
25. EBU-VI/HDTV Temp 5: The Common Image part (CIP) proposal. Lisbona, September 1990.

26. Fleischer P.E., Lau R.C., Lukacs M.E.: Digital Transport of HDTV on Optical Fiber. IEEE Communications Magazine, Vol. 29, No. 8, 1991.
27. Fujio T.: Future broadcasting and high-definition television, MHK Technical Monograph, No. 32, 1982.
28. Fujio T.: High - Definition Television Systems. Proceedings of the IEEE, Vol. 73, No. 4, 1985.
29. Fujio T.: Introduction to High Definition Television. IPAB NHK High Definition Engineering Seminar, April 1985.
30. Glenn W., Glenn K.: High definition compatible transmission system, IEEE Transaction on Broadcasting, Vol. BC-33, No.4, 1987.
31. Grimaldi J.L.: Analyseur d'images fixes haute définition. Radiodiffusion Télévision, Vol. 22, No. 103, 1988.
32. Grüneberg K., Hahn M., Höfker U., Klein H., Makai B., Schamel G., Stamminitz P., Zier D.: Digitales HDTV - Experimentalsystem. NTZ, Bd. 42, H. 3, 1989.
33. Haan de G., Grooijmans W.: Technika podpróbkowania dla systemu MAC wysokiej rozdzielczości. Eleventh International Broadcasting Convention. Conference Publication, No. 268, Anglia Brighton 1986 (tłum.).
34. Hara K.: Programme Production for High Definition Television, IPAB NHK High Definition Engineering Seminar, April 1985.
35. Haskell B.G.: High Definition Television (HDTV) - Compatibility and distribution. IEEE Trans on Communications, Vol. COM-31, No. 12, 1983.
36. Haskell B.G.: Semicompatible High Definition Television Using Field Differential Signals. IEEE Trans on Communications, Vol. COM-34, No. 10, 1986.

37. Hessarschund U., Sabatier J.: HDTV przegląd możliwości i wydajności systemu .15th International TV symposium and Technical Exhibition, Szwajcaria Montreaux, 1987. (tłum.).
38. Hurault J.P., Marie G.: La programme Eureka 95. Radiodiffusion Television, Vol. 22, No. 103, 1988.
39. Ishida J.: High Definition Television to conventional television Standard Converter. IPAB NHK High Definition Television Engineering Seminar, April 1985.
40. Jurgen R.K.: High - definition television update. IEEE Spectrum, 1985.
41. Karwowska-Lamparska A.: Analiza systemów i światowy stan prac nad telewizją o dużej rozdzielczości obrazu. KST '91, t.D.
42. Kido T., Kondo T.: Picture display system for High Definition Television. IPAB NHK High Definition Engineering Seminar, April 1985.
43. Kido T., Taksuchi Y.: High Definition Television Camora. IPAB NHK High Definition Engineering Seminar, April 1985.
44. Kimura K., Ninomiya Y.: Telewizja dużej rozdzielczości przez satelitę. Tenth International Broadcasting Convention. Conference Publication, No 240, Brighton 1984.
45. Kishimoto R., Yamashita I.: HDTV Communications Systems in Broadband Communication Networks. IEEE Communications Magazine, Vol. 29, No. 8, 1991.
46. Kishimoto R., Yoshino K., Ikeda N.: Fiber-Optic Digital Video Distribution System for High - Definition Television Signals Using Laser Diode Optical Switch. IEEE Journal on Selected Areas in Conumunications, Vol. 6, No. 7, 1988.
47. Long R.: Telewizyjny syntetyzer grafiki i napisów w telewizji o dużej rozdzielczości HDTV. 15th International TV Symposium and Technical Exhibition, Szwajcaria Montreaux, 1987. (tłum.).

48. Long T., Stanger L.: The broadcasting of HDTV programmes. EBU Review Technical, No. 219, 1986.
49. Melwig R.: Numérique ou haute définition. Revue de Radiodiffusion Télévision, Vol. 20, No. 95, 1986.
50. Melwig R.: The day after tomorrow: high definition pictures. L'echo des Recherches, 1987, English issue.
51. Ninomiya Y.: A single Channel HDTV broadcast system - the MUSE. NHK Laboratories Note, No 304, 1984.
52. Ninomiya Y.: HDTV Broadcasting Systems. IEEE Communications Magazine, Vol. 29, No. 8, 1991.
53. Ninomiya Y.: Transmission and broadcasting systems for high definition television. IPAB NHK High Definition Television Engineering Seminar, April 1985.
54. Pauchen B.: La TVHD synthèse des aspects opérationnels et économiques en vue d'une normalisation à l'échelle mondiale. Radiodiffusion Télévision, Vol. 22, No. 103, 1988.
55. Pasarci M., Lo Cicero J.: A matched - resolution wide aspect ratio HDTV system. IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 34, No. 1, 1988.
56. Philips G.J., Harvery R.V.: High-definition television for satellite broadcasting. EBU Review, No. 170, 1978.
57. Riviere M.: Les signaux en télévision haute définition dans le projet européen Eureka 95. Radiodiffusion Télévision, Vol. 29, No. 105, 1989.
58. Rzeszewski T., Pazara M., Lo Cicero J.: Compatible high definition television broadcast systems. IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. BC-33, No. 4, 1987.
59. Sabatier J.: Bezpieczna droga do HDTV. Eleventh International Broadcasting Convention. Conference Publication, No 268, Anglia Brighton 1986. (tłum.).

60. Sandbank C.P., Childs I.: The evolution towards High-Definition Television. Proceedings of the IEEE, Vol. 73, No. 4, 1985.
 61. Saraga P.: Compatible high-definition television. Electronics Communication Engineering Journal, Jan./Febr. 1989.
 62. Schäfer R., Kauff P.: HDTV colorimetry and gamma considering the visibility of noise and quantisation errors. SMPTE Journal, Vol. 96, No. 9, 1987.
 63. Schamel G.: Mehrdimensionale Verfilterung, Reduktion der abstrakte und Interpolation von HDTV-Signalen. Frequenz, teil 1 - Vol. 42, No. 10, 1988; teil 2 - Vol. 42, No. 11/12, 1988.
 64. Schamel G.: Pre-and Post filtering of HDTV signals for sampling rate and display up - conversion. IEEE Transactions on Circuits and systems, Vol. CAS-34, No. 11, 1987.
 65. Schönfelder H: Probleme eines HDTV. Fernsehstudies NTZ, Bd. 42, H. 9, 1989.
 66. Schröder H., Huerkamp G.: System - und Schaltungsstrukturen für eine HDTV - Bildwiedergabe mit 100-Hz Bildwchselfrequenz ITG.Fachberich, H. 103.
-
67. Shelswell P: Satellite broadcasting of HDTV: Some basic considerations. EBU Review Technical, No. 219, 1986.
 68. Streeter R.: An update on the television and film aspect of HDTV. SMPTE Journal, Vol. 98, No. 11, 1987.
 69. Tadokore Y.: High Definition Television Toward a Worldwide Standard. IPAB NHK High Definition Engineering Seminar, April, 1985.
 70. Tchen H., Parot D.: Quels systemes de visualisation pour la television a haute definition. Radiodiffusion Television, Vol. 22, No. 103, 1988.
 71. The HDTV Standard and the Present State of the Development. NHK Science Technical Research Laboratories, September 1985.

72. Thomas G.: HDTV bandwidth reduction by adaptive subsampling and motion - compensation DATV techniques. SMPTE Journal, Vol. 96, No. 5, 1987.
73. Thomas G.A.: Informacja cyfrowa transmitowana dla doskonalenia telewizji wysokiej rozdzielczości o zredukowanym pasmie. 15th International TV Symposium and Technical Exhibition, Szwajcaria Montreaux, 1987. (tłum.).
74. Tenge G.J.: Image processing for higher definition television. IEEE Transaction on Circuits and systems, Vol. CAS-34, No. 11, 1987.
75. Trzebunia - Siwicka W.: Telewizja o dużej rozdzielczości-HDTV i problemy związane z jej rozsyłaniem. Przegląd Telekomunikacyjny, nr 6, 1986.
76. Wood D.: Images of the future - The EBU's part to date in HDTV system standardisation. EBU Review-Technical, No. 219, 1986.
77. Wood D., Haberman W.: Wkład EBU w ogólnoświatowe badania HDTV. Eleventh International Broadcasting Convention. Conference Publication, No. 268, Anglia Brighton 1986. (tłum.).
78. Yashima Y., Sawada K.: A highly efficient coding method for HDTV signals. International Conference on Communications, Washington 1987.

