

**BIULETYN**

**INFORMACYJNY**

**INSTYTUTU  
ŁĄCZNOŚCI**



**1992**  
**3-4**



**BIULETYN  
INFORMACYJNY  
INSTYTUTU  
ŁĄCZNOŚCI**

ROK 32

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

NR 3-4(296-297)

---

WARSZAWA 1992

**Komitet Redakcyjny**

**Redaktor Naczelny: dr 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 Juszkiewicz**

**Montaż tekstu: Janina Koc, Barbara Skwara**

---

**Instytut Łączności, Dział Ogólnotechniczny  
ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa**

Alina Karwowska-Lamparska

SYSTEMY TELEWIZYJNE O POWIĘKSZONEJ  
ROZDZIELCZOŚCI OBRAZU

SPIS TREŚCI

	str.
1. Wprowadzenie	1
2. Systemy o podwyższonej jakości obrazu	1
3. Analogowo-cyfrowe systemy transmisji składowych sygnału telewizji kolorowej tzw. MAC	11
3.1. Wprowadzenie	11
3.2. Zasada działania systemów transmisji składowych (MAC)	14
3.3. Czynniki wpływające na wybór parametrów sygnałów wizyjnych w systemach C-MAC i D-MAC	20
3.3.1. Szerokości pasm częstotliwości sygnałów luminancji i różnicowych sygnałów kolorowości obrazu	21
3.3.2. Wybór współczynników kompresji sygnałów	22
3.3.3. Szum w systemach z kompresją sygnałów w czasie	23
3.3.4. Kolejność przesyłania sygnałów	25
3.3.5. Rozdzielczość pionowa i pozioma sygnałów luminancji i chrominancji	25
3.3.6. Jakość obrazu	26
3.3.7. Wybrane parametry kodowania obrazu w systemach C-, D- i D <sub>2</sub> -MAC	27
3.4. Transmisja dźwięków w systemach transmisji składowych (MAC)	29
3.5. Struktura ramek cyfrowych w systemach C-, D- i D <sub>2</sub> -MAC	37
3.6. Warunkowy dostęp do systemu (utajnianie)	44
3.7. System B-MAC	47
3.8. Możliwości przyszłościowe systemu MAC	50

str.

3.9. Wybrane rozwiązania układowe urządzeń systemów transmisji składowych sygnału telewizji kolorowej	55
4. Systemy o powiększonej rozdzielczości obrazu	61
Wykaz literatury	64

## SYSTEMY TELEWIZYJNE O POWIĘKSZONEJ ROZDZIELCZOŚCI OBRAZU

### 1. WPROWADZENIE

Eksploatowane obecnie analogowe systemy telewizji kolorowej (NTSC, SECAM i PAL) powstały przed ponad dwudziestu laty przy założeniu ich kompatybilności z przyjętymi standardami istniejących wówczas systemów telewizji monochromatycznej. Odpowiadały one w zasadzie ówczesnemu poziomowi techniki i technologii telewizji. Założenie jednak kompatybilności obu systemów narzuciło szereg ograniczeń na system telewizji kolorowej, a przede wszystkim ograniczenie pasma częstotliwości sygnałów luminancji i chrominancji. Uzyskiwana w związku z tym jakość odtwarzanego obrazu kolorowego stała się dla dzisiejszych widzów już niewystarczająca.

Z drugiej strony, obecny poziom techniki i szybki rozwój technologii pozwala osiągnąć wyższą jakość, zarówno obrazu jak i dźwięku, niż osiągana w obecnych systemach telewizji kolorowej. Stało się to możliwe dzięki wprowadzeniu techniki cyfrowej do obróbki sygnałów telewizyjnych, a także wykorzystaniu układów pamięci linii wybierania i pola obrazu.

Pierwszymi systemami o wyższej jakości odtwarzanych obrazów były tzw. systemy o podwyższonej jakości (enhanced television). Następnie powstały systemy o powiększonej rozdzielczości obrazu (extended definition television), które doprowadziły do koncepcji systemów telewizyjnych o bardzo dużej rozdzielczości obrazu (high definition television)\*).

### 2. SYSTEMY O PODWYŻSZONEJ JAKOŚCI OBRAZU

Przez pojęcie systemów o podwyższonej jakości obrazu są rozumiane systemy 625/50 i 525/60 liniowe, w których dokonuje

---

\*) Biuletyn Informacyjny It, nr 5-7 (298-300), 1992.

się polepszenia jakości obrazu, przy zachowaniu standardowego współczynnika kształtu ekranu 4:3 oraz wykorzystaniu dotychczasowych lub nowych standardów emisji.

Przewiduje się, że powiększanie jakości odtwarzanych obrazów telewizyjnych można uzyskać bądź przez eliminację niekorzystnych procesów stosowanych w konwencjonalnych systemach telewizyjnych, bądź też przez wprowadzenie specjalnej obróbki sygnałów wizyjnych.

Poszukiwania źródeł poprawy jakości obrazu można znaleźć w następujących obecnie powszechnie stosowanych procesach, jak:

- przeplataniu w procesie wybierania,
- zlikwidowaniu intermodulacji sygnałów luminancji i chrominancji,
- możliwości odpowiedniego przekształcania (obróbki) sygnału,
- ograniczeniu powstawania zniekształceń nieliniarnych oraz interferencyjnych w magnetowidach,
- zwiększeniu odporności sygnałów telewizyjnych na zakłócenia transmisyjne,
- polepszeniu sposobów dekodowania sygnałów wizyjnych oraz w metodach odchylenia stosowanych w odbiornikach telewizyjnych.

W konwencjonalnych systemach telewizji kolorowej (NTSC, SECAM i PAL) powiększenie jakości sygnału, a więc i jakości odtwarzanego obrazu kolorowego, można uzyskiwać zarówno po stronie nadawczej (w kamerach telewizyjnych), jak i po stronie odbiorczej (w odbiornikach) [12, 29, 31, 45, 50, 64].

Obecnie spotyka się propozycje wielu metod, umożliwiających powiększenie jakości odtwarzanego obrazu w odbiornikach telewizyjnych, a mianowicie:

- 1) w systemie NTSC (oraz znacznie rzadziej w systemie PAL) zastosowanie filtrów grzebieniowych do zmniejszenia inter-



modulacji sygnałów luminancji i chrominancji oraz zwiększenia rozdzielczości poziomej sygnału luminancji;

- 2) zastosowanie wielowymiarowych filtrów separujących opartych na układach pamięci linii i pola obrazu, umożliwiających znaczne zmniejszenie intermodulacji sygnałów luminancji i chrominancji oraz zwiększenie rozdzielczości poziomej obrazów stałych;
- 3) zastosowanie pamięci obrazu, umożliwiające separację sygnałów luminancji i chrominancji z kompensacją ruchu;
- 4) zastosowanie układów pamięci pola obrazu i podwojenie liczby odtwarzanych linii wybierania drogą interpolacji;
- 5) zastosowanie w odbiornikach cyfrowych ograniczników szumu.

Dodatkowe zwiększenie jakości odtwarzanych obrazów można uzyskać przez wstępną obróbkę sygnałów w kamerze w celu dodatkowego zmniejszenia szkodliwych efektów wybierania międzyliniowego. Przykładami takiej obróbki sygnałów są:

- 1) zastosowanie wybierania kolejnoliniowego w kamerze, dzięki czemu unika się migotania międzyliniowego, zwiększa współczynnik odtwarzania tzw. współczynnik Kella<sup>\*)</sup> i umożliwia trójwymiarową filtrację, a następnie przez zastosowanie układów pamięci pola obrazu przejście na wybieranie międzyliniowe;
- 2) zastosowanie wybierania międzyliniowego z podwójną liczbą linii, zapamiętanie ich, zastosowanie odpowiedniej wielowymiarowej filtracji, a następnie przesyłanie albo podwójnej bądź pojedynczej liczby linii przyjętej w standardzie.

Systemy o podwyższonej jakości, kompatybilne z systemem NTSC, opierają się na założeniu [50], że sygnał NTSC, nie

<sup>\*)</sup> Współczynnikiem Kella nazywamy stosunek efektywnej liczby szczegółów, która może być odtworzona w pionie, do liczby elementów obrazu, na którą dzielimy obraz w kierunku pionowym. Na ogół przyjmuje się ją w granicach 0,6 - 0,8.

jest w pełni wykorzystany jako nośnik informacji, więc istnieją potencjalne możliwości przesłania większej liczby informacji niż wytwarza kamera telewizji kolorowej, z wybieraniem miądyliniowym 525 linii/60 obrazów<sup>\*)</sup>). Mogą być one bądź w pełni kompatybilne z systemem NTSC, bądź quasi-kompatybilne. Pierwsze z nich wykorzystują jeden kanał częstotliwościowy, drugie natomiast - dwa kanały, przy czym w jednym z tych kanałów jest przesyłany sygnał kompatybilny z systemem NTSC.

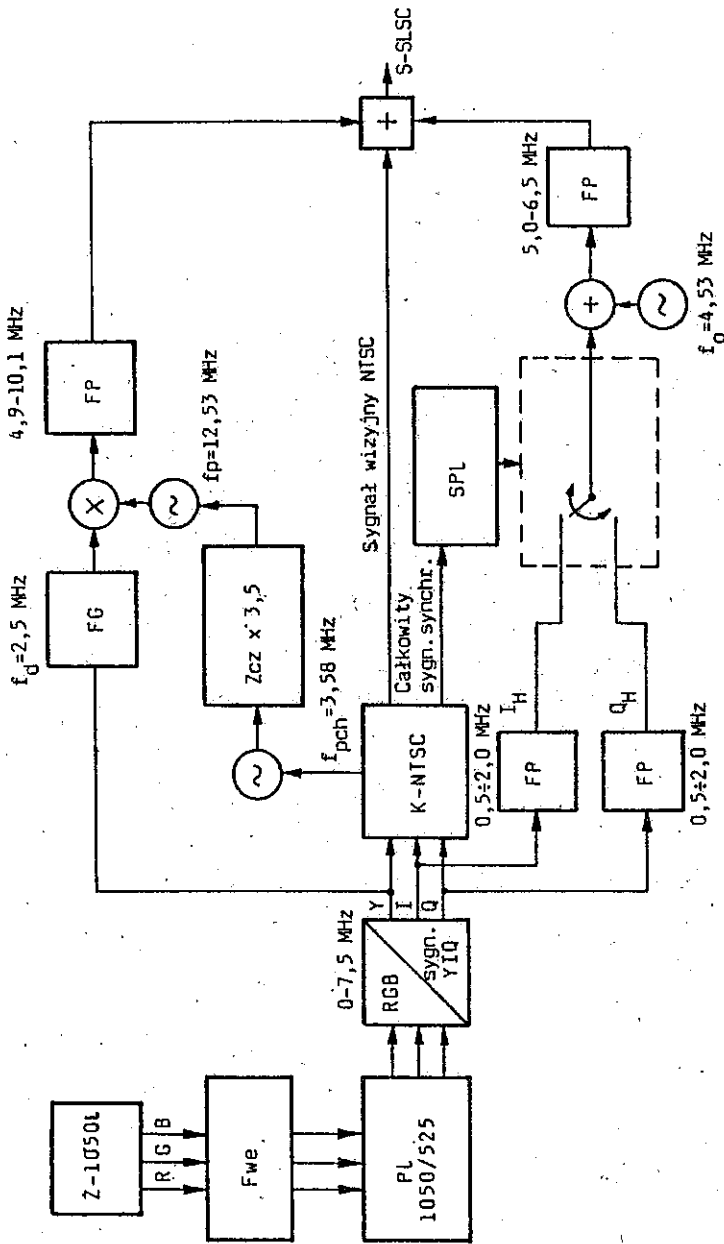
Zaproponowany przez Bell Laboratory [68] system o rozdzielonej luminancji i chrominancji /SLSC/<sup>\*\*)</sup> wykorzystuje źródło o dużej rozdzielczości 1050/59,94/2 i wielowymiarową filtrację dla dwukrotnego zmniejszenia liczby linii. Daje to szerokość pasma częstotliwości równą 7,5 MHz. Każda ze składowych (luminancja i chrominancja) jest następnie dzielona na części o małej i dużej częstotliwości. Części sygnałów o dużej częstotliwości modulują następnie falę nośną z jedną wstęgą boczną. Dzięki temu uzyskuje się w jednym kanale sygnał kompatybilny z sygnałem NTSC, a w drugim - sygnały dodatkowe.

Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy kodera systemu SLSC, a na rys. 2 widmo sygnału SLSC w pasmie podstawowym. Sygnały te, z zastosowaniem techniki analogicznej do procesów przeprowadzanych w systemie NTSC, są wprowadzane w dodatkowy kanał częstotliwościowy wykorzystując kwadraturową modulację amplitudową z tłumioną falą nośną. W rezultacie uzyskuje się sygnał w. cz. zajmujący dwa kanały częstotliwościowe (rys. 3), zwany sygnałem S-SLSC. Po stronie odbiorczej z zastosowaniem dekodera SLSC uzyskuje się obraz o podwyższonej jakości, natomiast stosując dekodery konwencjonalne uzyskujemy obraz o rozdzielczości odpowiadającej 525 liniom wybierania.

Inny system, proponowany przez Institute of Technology [35] wykorzystujący również dwa kanały częstotliwościowe,

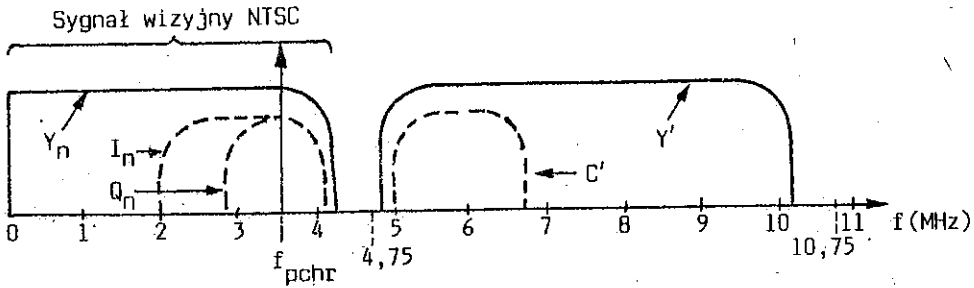
\*) Można by to również adaptować i dla europejskich wersji systemu NTSC 625 linii/50 obrazów.

\*\*\*) SLSC - split luminance/split chrominance.



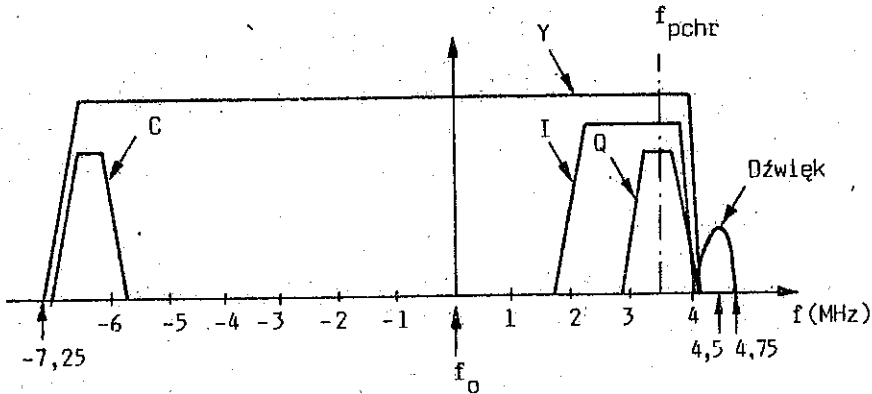
Rys. 1. Schemat blokowy kodera systemu SLSC

Z - 1050L - źródło sygnału dużej rozdzielczości 1050 linii,  $F_{we}$  - filtry wejściowe,  $PL$  - podział linii, RGB - sygnały kolorów podstawowych: czerwony (R), zielony (G), niebieski (B), Y - sygnał luminancji, IQ - sygnały różnicowe kolorowości obrazu,  $FP$  - filtry pasmowe, K-NTSC - koder systemu NTSC, FG - filtr górnoprzepustowy,  $Zczx3,5$  - zwielokrotnienie częstotliwości  $x3,5$ ,  $SPL$  - sterowanie przełączania linii, S-SLSC - sygnał dużej rozdzielczości w pasmie podstawowym



Rys. 2. Widmo sygnału SLSC w pasmie podstawowym

$Y_n$  - sygnał luminancji,  $I_n$ ,  $Q_n$  - sygnały różnicowe kolorowości obrazu,  $f_{pchr}$  - częstotliwość podnośnej chrominancji,  $C'$  - dodatkowy sygnał chrominancji,  $Y'$  - dodatkowy sygnał luminancji



Rys. 3. Widmo w. cz. sygnału S-SLSC

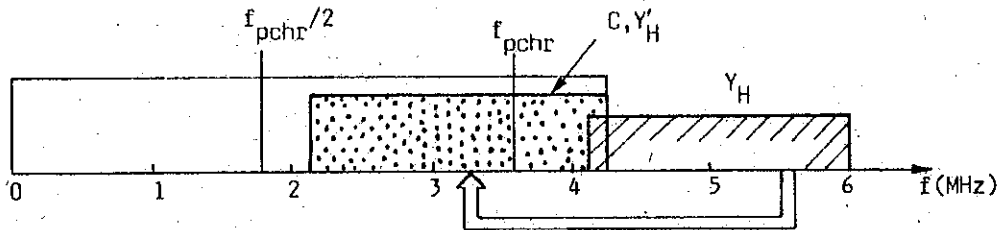
$Y$  - sygnał luminancji,  $f_{pchr}$  - częstotliwość podnośnej chrominancji,  $I$ ,  $Q$  - sygnały różnicowe kolorowości obrazu,  $f_0$  - częstotliwość nośna sygnału w. cz.  $C$  - dodatkowy sygnał chrominancji

opiera się na wynikach badań psychowizualnych. System ten, zwany algorytmem transmisyjnym systemu wizyjnego (VISTA)\*), wykorzystuje zjawisko, że oko przy migotaniu 100 do 200 ms

\*) VISTA - Visual System Transmission Algorithm.

dostosowuje się do odbioru informacji o dużej rozdzielczości. Mogą więc te informacje być nadawane znacznie wolniej (np. z szybkością równą 1/8 szybkości obrazu), w drugim kanale o pasmie częstotliwości równym w przybliżeniu 3 MHz.

Kolejną propozycja [30] sugeruje dodatkowe wypełnienie widma sygnału NTSC. W systemie tym, zwanym E-NTSC, górna część widma sygnału luminancji od 4 MHz do 6 lub 8 MHz ( $Y_H$ ) (są przeprowadzane również próby poszerzenia tego pasma do 10 MHz) moduluje amplitudowo sygnał stłumionej fali nośnej (rys. 4), co powoduje jego przesunięcie w zakres mniejszych częstotliwości.



Rys. 4. Propozycja widma sygnału w systemie E-NTSC

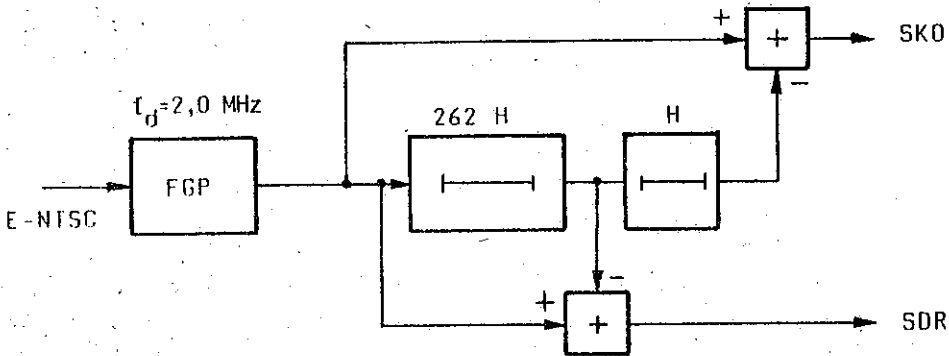
$f_{pchr}$  - częstotliwość podnośnej chrominancji, C - sygnał chrominancji,  $Y_H$  - górna część widma sygnału luminancji

Po stronie odbiorczej (rys. 5) dodatkowy sygnał luminancji jest oddzielany od sygnału chrominancji z zastosowaniem układu pamięci o pojemności pola obrazu (262 i 263 H), przy czym w celu umożliwienia tej separacji faza sygnału nośnej luminancji zmienia się co pole.

Dalszym krokiem powiększenia jakości odtwarzanego obrazu jest niezależne przesyłanie sygnałów składowych całkowitego sygnału koloru, tzn. sygnału luminancji Y oraz sygnałów różnicowych R-Y i B-Y, czy też sygnałów kolorów podstawowych: czerwonego-R, zielonego-G i niebieskiego-B. Pozwala to na:

- uniknięcie intermodulacji sygnałów luminancji i chrominancji oraz zniekształceń różnicowych,

- poszerzenie przenieszonego pasma częstotliwości sygnałów składowych (powiększenie rozdzielczości poziomej obrazu),
- wyeliminowanie szkodliwych wpływów sygnału podnośnej chrominancji o dużej amplitudzie i dużej częstotliwości.



Rys. 5. Układ separacji sygnałów w dekodерze systemu E-NTSC  
 FGP - filtr górnoprzepustowy, SKO - składowe kolorowości obrazu, SDR - składowe dużej rozdzielczości

Składowe sygnały telewizji kolorowej mogą być przesyłane zarówno w postaci analogowej, jak i cyfrowej. Przyjmuje się przy tym, że wykorzystywanie składowych analogowych jest krokiem przejściowym do całkowitej cyfryzacji toru sygnału telewizyjnego i wobec tego takie systemy powinny być kompatybilne z systemami cyfrowymi.

Zastosowanie sygnałów składowych - zamiast całkowitych sygnałów telewizji kolorowej w studio telewizyjnym - ma, jak wiadomo, wiele dodatkowych zalet. Ułatwia ono bowiem przeprowadzanie wielu zachodzących tam procesów (jak np. inkrustację tła kolorowego i obróbkę obrazu). Analogowe sygnały składowe w studio są z reguły rozprowadzone trzema oddzielnymi kablami. Mogą być również rozprowadzane jednym kablem ze zwielokrotnieniem czasowym lub zwielokrotnieniem częstotliwościowym [72]. Obie te metody zwielokrotnienia mają swoje zalety i wady, które przedstawiono w tablicy 1. Jak widać, przesyłanie ze zwielokrotnieniem czasowym ma mniej parametrów krytycznych niż

zwielokrotnienie częstotliwościowe, ponieważ jest mniej wrażliwe na zakłócenia i zniekształcenia toru transmisyjnego. Wymaga ono jednak bardziej kosztownych urządzeń i jest trudniejsze do wprowadzenia.

Tablica 1

Porównanie własności systemów ze zwielokrotnieniem czasowym i częstotliwościowym

Parametr	System ze zwielokrotnieniem czasowym	System ze zwielokrotnieniem częstotliwościowym
Pasma częstotliwości	12 MHz	
Możliwość wykorzystywania istniejących urządzeń	z odpowiednią modyfikacją	
Charakterystyka fazowa	nie krytyczna	krytyczna
Przesłuchy	nie krytyczne	krytyczne
Linearność	krytyczna	
Faza i wzmacnienie różnicowe	nie krytyczne	krytyczne
Miksowanie sygnałów wizyjnych	trudne	mniej trudne
Kontrola sygnałów	trudna	łatwa
Wprowadzenie	trudne	łatwe
Kompatybilność ze standardem studyjnym (Zal. 601)	tak	
Kompatybilność z systemem PAL	nie	tak

Rodzina systemów analogowo-cyfrowych /MAC/, w których analogowe składowe sygnały telewizji kolorowej są przesyłane z kompresją i zwielokrotnieniem w czasie, a sygnały dźwięków i danych - w postaci cyfrowej, jest przewidziana w zasadzie do transmisji sygnałów telewizji kolorowej drogą satelitarną i kablową<sup>\*)</sup>. Ma to, oprócz zalet wynikających z oddzielnego przesyłania składowych, wiele dodatkowych zalet związanych z własnościami torów transmisyjnych. Możliwe są również modyfikacje tego systemu, umożliwiające dalsze powiększenie jakości odtwarzanego obrazu. Systemy MAC omówiono szczegółowo w pkt. 3.

Transmisja analogowych składowych sygnałów telewizji kolorowej znajduje również szerokie zastosowanie w urządzeniach dziennikarstwa telewizyjnego<sup>\*\*)</sup>, zarówno w torach kamerowych jak i w magnetowidach, a także w mikserach telewizyjnych przeznaczonych do współpracy z nimi. Przewiduje się też wprowadzenie tego systemu do wozów transmisyjnych.

Nowoczesne magnetowidy przenośne, zwane Betacam-SP, opracowane przez firmę Sony, oraz magnetofony MII, skonstruowane przez firmę Panasonic, (podobnie jak już ich poprzednia generacja: Betacam i MI), są oparte na dwusieczkowym systemie rejestracji analogowych sygnałów składowych [79] z zastosowaniem zwielokrotniania w czasie skomprimowanych sygnałów chrominancji<sup>\*\*\*)</sup>. To znaczy, że zmodulowany częstotliwościowo sygnał luminancji jest zapisywany na jednej ścieżce, a zmodulowane (również częstotliwościowo) sygnały różnicowe kolorowości obrazu R-Y i B-Y, z kompresją w czasie - na drugiej ścieżce.

---

\*) We Francji powstała również koncepcja transmisji sygnałów systemu oznaczonego D<sub>2</sub>-MAC (z modulacją amplitudową ze szczątkową wstęga boczną) poprzez nadajniki telewizyjne.

\*\*\*) Termin angielski ENG - Electronic News Gathering.

\*\*\*\*) Termin angielski CTCM - Chrominance Time Compressed Multiplexing.



Transmisja analogowych składowych sygnału telewizji kolorowej jest obecnie uważana za etap przejściowy do wprowadzenia systemów cyfrowych, opartych z reguły również na oddzielnej transmisji składowych sygnału i zapewniających wyższą jakość odtwarzanego obrazu aniżeli konwencjonalne systemy - czysto analogowe.

### 3. ANALOGOWO-CYFROWE SYSTEMY TRANSMISJI SKŁADOWYCH SYGNAŁU TELEWIZJI KOLOROWEJ TZW. MAC<sup>\*)</sup>

#### 3.1. Wprowadzenie

Zaproponowany przez Europejską Unię Radiodfyzyjną, w r. 1983, system, a właściwie rodzina systemów MAC, polega na niezależnej transmisji sygnałów składowych telewizji kolorowej z ich kompresją i zwielokrotnieniem w czasie. System ten dotyczył początkowo, przede wszystkim, radiodfuzji satelitarnej, a następnie również rozprowadzania w sieciach telewizji kablowej.

Światowa Konferencja Administracyjna WARC-BS 77 w Genewie przydzieliła rozsiewczej telewizji satelitarnej zakres 12 GHz. Dla Rejonu 1, do którego należy Europa, ustalono zakres 11,7 - 12,5 GHz<sup>\*\*)</sup>.

Każdy kraj tego Rejonu może nadawać programy telewizyjne w pięciu kanałach w. cz. o nominalnej szerokości 27 MHz. Ogólna liczba kanałów w tym zakresie wynosi 40, przy odstępnie pomiędzy kanałami równym 19,18 MHz. Ustalenia ww. konferencji oparto na założeniu stosowania konwencjonalnych systemów

---

\*) MAC - Multiplexed Analogue Components.

\*\*\*) W przyszłości przewiduje się wykorzystywanie również wyższych zakresów częstotliwości (np. ok. 20 GHz, 42 GHz i 85 GHz) szczególnie do nadawania sygnałów telewizyjnych o nowych standardach. Brak jest jednak dotychczas ostatecznych porozumień międzynarodowych w sprawie ich wykorzystywania.

telewizji kolorowej (w Europie SECAM i PAL). Nie wykluczają one jednak stosowania innych systemów pod warunkiem, aby systemy te nie wносиły zakłóceń interferencyjnych większych od wnoszonych przez systemy konwencjonalne.

W analogowych systemach telewizji satelitarnej [4] ze względu na energetycznych jest stosowana modulacja częstotliwości fali nośnej. Ten rodzaj modulacji charakteryzuje się parabolicznym wzrostem gęstości mocy szumu wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału. Powoduje to w przypadku przesyłania całkowitego sygnału telewizji kolorowej systemu SECAM, PAL lub NTSC znacznie większy wpływ szumu - w zakresie częstotliwości sygnałów chrominancji niż w zakresie częstotliwości sygnału luminancji.

W procesie demodulacji widmo sygnału chrominancji, a więc i szum chrominancji, jest przesunięte w zakres małych częstotliwości, przy których szum ten jest bardziej widoczny. Objawia się to bowiem w postaci większego zaszumienia kolorowych fragmentów obrazu. Zaawężalność powstałych zakłóceń zależy zresztą od treści przesyłanych obrazów. Jest ona największa na obrazach zawierających duże powierzchnie o kolorach nasyconych.

Częściowym rozwiązaniem tego problemu [52] jest zastosowanie preemfazy przed procesem modulacji w nadajniku oraz deemfazy w odbiorniku. Jednak pre- i deemfaza dają korzyści jedynie wtedy, gdy sygnał nie zawiera składowych o dużych częstotliwościach i dużych amplitudach. Powodują one bowiem wtedy przemodulowanie nadajnika. Takimi sygnałami (o dużej amplitudzie i częstotliwości) jest właśnie sygnał podnośnej chrominancji i dlatego zakres stosowania pre- i deemfazy jest ograniczony.

Inną cechą transmisji sygnałów telewizyjnych z modulacją częstotliwości drogą satelitarną [52] jest zmiana charakterystyk szumowych, w przypadku gdy system pracuje poniżej progu modulacji \*). Może to być spowodowane bądź warunkami atmo-

\*) Wartość progowa stosunku sygnału do szumu.

sferycznymi, bądź też złym ustawieniem anteny. Powstały wówczas dodatkowy szum jest przez układ deemfazy przekształcony w długie białe i czarne pasy w tle obrazu trudne do zamaskowania. Ponadto, obecność podnośnej kolorowości zmniejsza wartość progu modulacji i może spowodować powstawanie zniekształceń intermodulacyjnych z sygnałami dźwięku i harmonicznymi sygnałów synchronizacji linii wybierania.

Niezależnie od tego, eksploatowane obecnie systemy telewizji kolorowej (NTSC, SECAM i PAL) mają wiele istotnych wad, takich jak:

- ograniczenie rozdzielczości poziomej obrazu, wskutek ograniczenia pasma częstotliwości sygnałów luminancji i chrominancji przez umieszczenie sygnału chrominancji (o ograniczonym pasmie) w górnej części widma sygnału luminancji;
- ograniczenie rozdzielczości pionowej poprzez wybieranie międzyliniowe;
- powstawanie intermodulacji sygnałów luminancji i chrominancji (zależność sygnału luminancji od poziomu sygnału chrominancji i zależność sygnału chrominancji od sygnału luminancji, czyli tzw. zniekształcenia różnicowe).

Powyższych wad można uniknąć w przypadku transmisji sygnałów telewizyjnych metodą cyfrową, w której z reguły sygnały składowe telewizji kolorowej są przesyłane niezależnie. Metoda ta jednak wymaga przesłania znacznie szerszego pasma częstotliwości niż metoda analogowa i przy obecnym poziomie środków technicznych przesłanie obrazu o dobrej jakości w kanale częstotliwościowym przyjętym przez WARC BS 77 jest trudne do praktycznej realizacji.

W związku z tym, dla podwyższenia jakości odtwarzanych obrazów, powstała koncepcja opracowania systemu o niezależnej transmisji sygnałów składowych telewizji kolorowej z ich kompresją i zwielokrotnieniem w czasie.

### 3.2. Zasada działania systemów transmisji składowych (MAC)

Zasada działania systemów MAC polega na niezależnej transmisji składowych telewizji kolorowej, to jest sygnału luminancji i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu, z ich kompresją i zwielokrotnieniem w czasie (z wyjątkiem tzw. systemu A-MAC, w którym jest stosowane zwielokrotnienie częstotliwościowe) zamiast transmisji sygnału całkowitego NTSC, SECAM lub PAL. Sygnały dźwięku i danych są w tych systemach przesyłane w postaci cyfrowej i zwielokrotnione z analogowymi sygnałami wizyjnymi. Zachowano przy tym dotychczasową liniową strukturę sygnału wizyjnego oraz wybieranie międzyliniowe.

Strukturę obrazu w systemach MAC ze zwielokrotnieniem czasowym podano na rys. 6.

Sygnał danych	Wygaszanie pola	
	Skompresowany sygnał różnicowy	Skompresowany sygnał luminancji
	Wygaszanie pola	
	Skompresowany sygnał różnicowy	Skompresowany sygnał luminancji

Rys. 6. Struktura obrazu w systemie MAC

System taki ma w porównaniu z systemami konwencjonalnymi następujące zalety [11]:

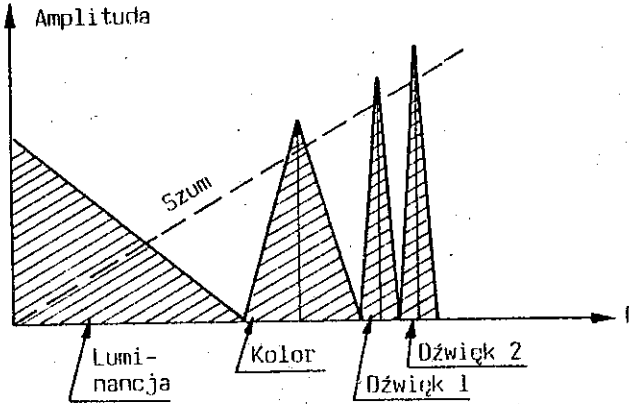
- niewystępowanie intermodulacji sygnałów luminancji i chrominancji;

- niewystępowanie intermodulacji podnośnej chrominancji z sygnałami dźwięku i harmonicznymi sygnałów synchronizacji linii wybierania;
- polepszenie własności szumowych systemu, wskutek przeniesienia sygnału chrominancji w pasmo małych częstotliwości;
- bardziej efektywne wykorzystanie kanału transmisyjnego, dzięki możliwości przesyłania łącznie z sygnałem wizyjnym kilku sygnałów dźwięku oraz sygnałów innych służb (sygnałów danych, teletekstu);
- możliwość zmiany okresów przesyłania sygnałów wizyjnych, dźwięku i danych w granicach linii wybierania;
- możliwość wykorzystywania okresu wygaszania pola obrazu do przesyłania dodatkowych sygnałów;
- możliwość szyfrowania sygnału;
- możliwość uzyskania obrazów o większej rozdzielczości i zwiększonych wymiarach.

Istnieje obecnie kilka wariantów systemu MAC, oznaczonych literami A, B, C i D, tzn. systemów A-MAC, B-MAC, C-MAC, D-MAC oraz  $D_2$ MAC. Ogólna zasada pracy tych wszystkich wariantów jest taka sama. Również taka sama jest zasada transmisji sygnałów wizyjnych. Podstawowe różnice pomiędzy poszczególnymi wariantami leżą w metodzie zwielokrotniania sygnałów wizyjnych z sygnałami dźwięku i danych, modulacji fali nośnej, a także w metodzie kodowania dźwięku.

W systemach A-MAC [62] jest stosowane zwielokrotnianie częstotliwościowe sygnałów wizyjnych z sygnałami dźwięku i danych w pasmie podstawowym. Wszystkie warianty systemów A-MAC wykazują więc zasadnicze niedopasowanie do własności fizycznych transmisyjnego toru satelitarnego. Charakteryzuje się on bowiem niewielką mocą nadawaną oraz szerokim widmem częstotliwości sygnałów zmodulowanych częstotliwościowo. W przypadku modulacji częstotliwościowej napięcie szumu rośnie liniowo wraz ze wzrostem częstotliwości; zatem dla zwielokrotnienia częstotliwościowego niekorzystny wpływ szumu jest szcze-

gólnie duży na sygnały przesyłane na podnośnych (a więc na sygnał chrominancji) oraz na sygnały dźwięków towarzyszących (rys. 7.). Pomiędzy wszystkimi sygnałami mogą również powstać zjawiska intermodulacji.



Rys. 7. Widma sygnałów zwielokrotnionych częstotliwościowo przesyłanych z modulacją częstotliwości

W systemach B-MAC jest stosowane zwielokrotnienie czasowe w pasmie podstawowym analogowych sygnałów wizyjnych z cyfrowymi sygnałami dźwięku i danych. Tak ukształtowane sygnały są następnie przesyłane z modulacją częstotliwościową. System B-MAC został opracowany w dwóch wersjach dla standardów 625/50 oraz 525/60. Obydwie wersje są przystosowane do transmisji satelitarnej w pasmie 12 GHz, z wykorzystaniem kanałów 27 MHz lub 24 MHz. System ten znalazł zastosowanie w Stanach Zjednoczonych, w Kanadzie i w Australii.

W systemie C-MAC jest stosowane zwielokrotnienie czasowe w pasmie częstotliwości pośrednich z zastosowaniem dwóch sygnałów nośnych: jednego modulowanego częstotliwościowo analogowym sygnałem wizyjnym i drugiego modulowanego z 2- lub 4- wartościowym kluczowanym przesuwem fazy ( $2^+4$  PSK)<sup>\*)</sup> cyfrowym sygnałem dźwięków i danych.

\*) Termin angielski - Phase shift keying.

Przesłanie różnych sygnałów dźwięku i danych w postaci jednego strumienia cyfrowego informacji jest możliwe w formie tzw. zwielokrotnienia pakietowego (pkt. 3.4). Stąd więc pochodzi przyjęta obecnie nazwa systemu - pakietowy system C-MAC<sup>\*)</sup>. System ten zaproponowany do rozszerzonej transmisji satelitarnej standardu 625/50 spełnia wszystkie wymagania tego środka transmisji. Zapewnia on także wyższą niż w systemach konwencjonalnych jakość odtwarzanych obrazów oraz dużą przepustowość strumienia cyfrowych sygnałów dźwięków i danych (3 Mbit/s).

Transmisja składowych sygnału telewizji kolorowej jest korzystna dla stosowanej w radiodyfuzji satelitarnej modulacji częstotliwościowej, a pakietowe przesyłanie dźwięku pozwala na efektywne wykorzystanie kanału transmisyjnego. Pakietowy system C-MAC, ze względu na szerokie pasmo przenoszonych częstotliwości nie może być jednak stosowany w torach telewizji kablowej, w których szerokość kanału częstotliwościowego wynosi z reguły 7 - 8 MHz. Jest to zbyt mała szerokość kanału do przeniesienia wszystkich informacji zawartych w sygnale pakietowego systemu C-MAC.

Dalsze badania doprowadziły do nowych wersji systemu tzw. systemów D-MAC (dla standardu 625/50), w których stosuje się zwielokrotnienie czasowe sygnałów w pasmie podstawowym analogowych sygnałów wizyjnych z cyfrowymi sygnałami dźwięku i danych oraz wykorzystuje się specjalne metody kodowania cyfrowego.

Pierwszym z tego rodzaju systemów był pakietowy system D-MAC analogiczny do pakietowego systemu C-MAC z tą różnicą, że dźwięk i dane w tym systemie są kodowane duobinarnie, a zwielokrotnianie następuje w pasmie podstawowym. Jest to system dostosowany do transmisji w sieciach kablowych o szerokości kanału nie mniejszej niż 10,5 MHz. Jednak większość istniejących obecnie sieci telewizji kablowej ma szerokość

---

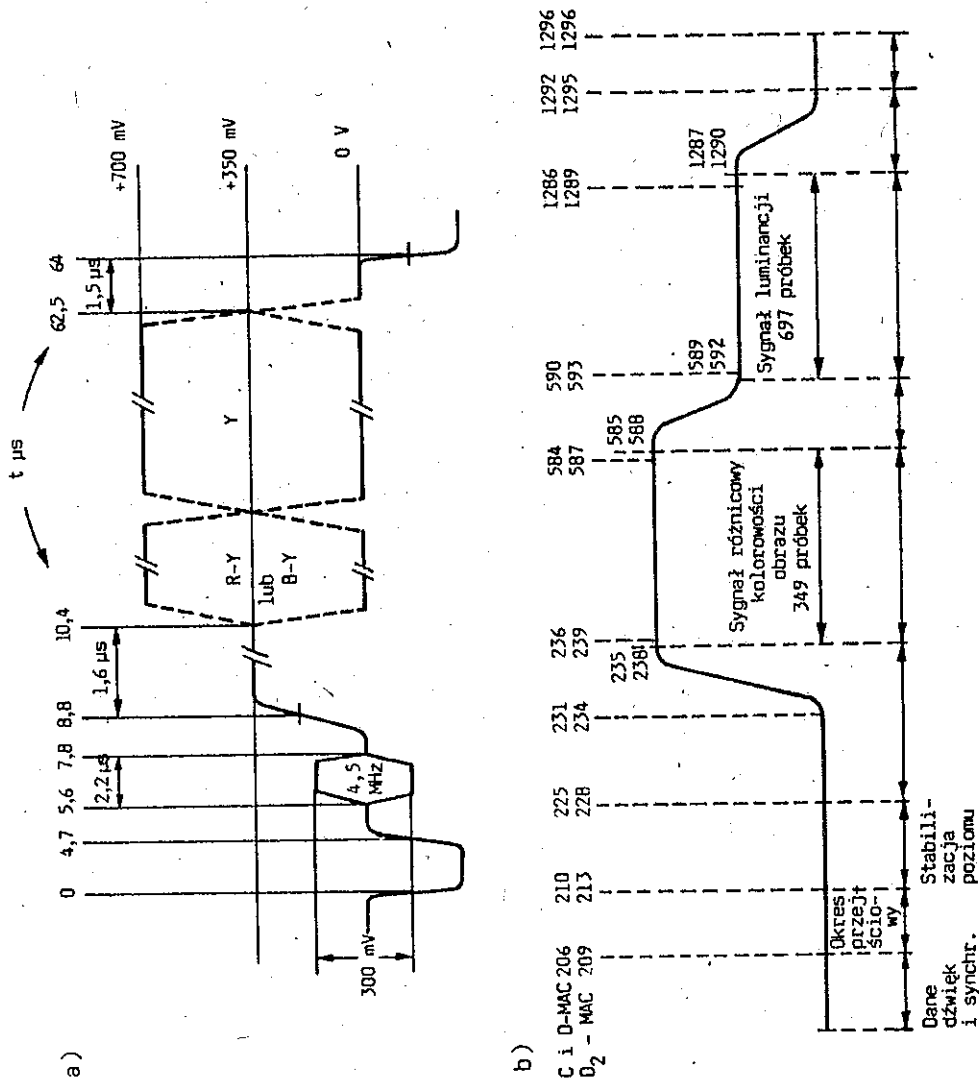
\*) Termin angielski - C/MAC/packet; termin francuski - C/MAC/ paquets.

kanalu równą 7 lub 8 MHz, przy czym pożądanym jest przesyłanie sygnałów satelitarnych bezpośrednio do abonentów bez transkodowania. Powstała więc nowa wersja systemu, tzw. pakietowy system  $D_2$ -MAC, (w zasadzie identyczna do pakietowego systemu D-MAC) z tą jednak różnicą, że prędkość bitowa sygnału cyfrowego została zmniejszona do połowy, wskutek ograniczenia liczby przesyłanych informacji. W systemie tym dla dopasowania go do sieci kablowych, o szerokości kanału transmisyjnego 7 lub 8 MHz, jest również możliwe zawężenie pasm częstotliwości sygnałów składowych telewizji kolorowej. Wpływa to na zmniejszenie rozdzielczości poziomej odtworzonego obrazu.

Sygnały pakietowego systemu  $D_2$ -MAC są przesyłane z reguły z modulacją częstotliwościową. Mogą być również (dla dopasowania się do kanału 7 lub 8 MHz-owego) przesyłane z modulacją amplitudową z częściowo tłumioną jedną wstęgą boczną. System pakietowy  $D_2$ -MAC jest więc dostosowany zarówno do radiodifuzji satelitarnej, jak i sieci telewizji kablowej. Istnieją również koncepcje [63] wykorzystania tego systemu (bez ograniczenia pasm częstotliwości sygnałów składowych) do radiodifuzji naziemnej (siecią nadajników naziemnych) oraz dla nowego typu magnetowidów domowych.

W roku 1988 powstała ponadto koncepcja systemu I-MAC, który jest propozycją wykorzystania zasady transmisji sygnałów składowych telewizji kolorowej (z ich kompresją i zwielokrotnieniem w czasie) do transmisji w urządzeniach reporterskich [44] dla standardu 625/50. Strukturę linii wybierania obrazu w tym systemie podano na rys. 8a; impulsy wygaszania i synchronizacji linii wybierania mają kształt zgodny ze standardami B, G, D i K, przy czym czas trwania impulsu wygaszania linii jest krótszy i wynosi 10,3  $\mu$ s. Środek przedniego zbocza impulsu synchronizacji linii stanowi zerowy punkt odniesienia dla zwielokrotnienia w czasie. Na tylnym zboczu impulsu wygaszania linii (z wyjątkiem linii w okresie wygaszania pola) jest nadawany sygnał odniesienia o czasie trwania 22  $\mu$ s (10 cykli sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 4,5 MHz), a za impulsem wygaszania - zerowy poziom odniesienia sygnału





Rys. 8. Struktura linii wybierania w systemach MAC

- a) w systemie I-MAC;
- b) w systemie C-, D- i D<sub>2</sub>-MAC

chrominancji. Sygnały różnicowe kolorowości obrazu oraz sygnał luminancji są nadawane z kompresją i zwielokrotnieniem w czasie, przy czym sygnały luminancji są nadawane na wszystkich czynnych liniach wybierania obrazu, natomiast sygnały B-Y na liniach nieparzystych, a sygnały R-Y na liniach parzystych.

### 3.3. Czynniki wpływające na wybór parametrów sygnałów wizyjnych w systemach C-MAC i D-MAC

Wybór parametrów sygnału wizyjnego w systemach MAC wynika z wielu przyjętych ustaleń, dotyczących czasu zwielokrotnienia przenoszonych pasm częstotliwości sygnałów itp.

W pracach organizacji międzynarodowych rozważa się przede wszystkim:

- optymalną kolejność przesyłania sygnałów luminancji i różnicowych kolorowości obrazu;
- sposób przesyłania sygnałów chrominancji (na każdej linii wybierania lub co drugą linię),
- optymalne szerokości pasma częstotliwości i amplitudy sygnałów luminancji oraz różnicowych sygnałów kolorowości obrazu, z uwzględnieniem wymaganej rozdzielczości poziomej obrazu i wpływu szumu;
- rozdzielczość pionową;
- współczynniki kompresji sygnałów luminancji i różnicowych sygnałów kolorowości obrazu;
- jakość obrazu;
- charakterystyki pre- i deemfazy;
- możliwości utajniania sygnału;
- zgodność z ustaleniami konferencji WARC BS77;
- możliwości rozwojowe systemów.

### 3.3.1. Szerokości pasm częstotliwości sygnałów luminancji i różnicowych sygnałów kolorowości obrazu

Wymagana szerokość pasma sygnału luminancji jest, jak wiadomo, funkcją wymaganej rozdzielczości poziomej obrazu. Przeprowadzone w wielu krajach [4] badania subiektywne jakości odtwarzanego obrazu wykazały, że jakość zadawalającą uzyskuje się w przypadku szerokości pasma sygnału luminancji równej ok. 6 MHz. Natomiast wymagana szerokość pasma każdego z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu (ze względu na właściwości ludzkiego wzroku, który jest znacznie mniej wrażliwy na zmiany kolorowości niż na zmiany jaskrawości obrazu) może wynosić ok. 1/3 do 1/4 szerokości pasma częstotliwości sygnału luminancji. W odbiorniku po dekompresji jest również konieczne ograniczenie pasma sygnałów różnicowych w celu uniknięcia przerostów sygnału, które powodują silne zakłócenia odtwarzanego obrazu.

Ponadto, w systemach MAC - pomimo przesyłania sygnałów wizyjnych metodami analogowymi - do realizacji kompresji w czasie jest konieczne próbkowanie sygnału (ewentualne przetworzenie go na sygnał cyfrowy), jego zapis w pamięci, odczytywanie go z odpowiednią prędkością i przetworzenie na sygnał analogowy. Jest więc celowe, aby procesy zapisu i odczytu z pamięci były takie same, jak procesy cyfrowego standardu studyjnego 4:2:2. Częstotliwości próbkowania wynoszą wówczas dla luminancji 13,5 MHz, a dla sygnałów różnicowych kolorowości obrazu 6,75 MHz. Maksymalna możliwa szerokość pasma częstotliwości sygnałów jest wtedy równa odpowiednio 6 MHz i 3 MHz.

Przyjęto zatem, że szerokość pasma częstotliwości wejściowego sygnału luminancji jest taka sama, jak w eksploatowanych obecnie standardach telewizyjnych, zaś szerokość pasma sygnałów różnicowych jest równa połowie szerokości pasma sygnału luminancji.

W systemie D<sub>2</sub>MAC dla transmisji sygnałów wąskopasmowych liniami kablowymi (7 - 8 MHz) przewiduje się możliwość zawę-

zenia przesyłanego pasma sygnału luminancji do 3,3 - 4 MHz, a sygnałów różnicowych do 1,6 - 2 MHz.

Proces kompresji sygnałów pociąga za sobą poszerzenie w takim samym stopniu przesyłanego pasma częstotliwości sygnału, to znaczy przy współczynniku kompresji  $k:1$  przesyłane pasmo częstotliwości wzrasta  $k$ -krotnie. Korzystne jest jednak przesyłanie skompresowanych w czasie sygnałów z modulacją częstotliwościową. Szerokość widma sygnału zmodulowanego jest bowiem funkcją zarówno częstotliwości, jak i amplitudy sygnałów w pasmie podstawowym. W przypadku skompresowanych składowych wizyjnych w sygnale nie występuje podnośna kolorowości obrazu, maleje więc dewiacja dla dużych częstotliwości modulujących, co pozwala na wzrost szerokości pasma częstotliwości sygnału wizyjnego w pasmie podstawowym.

### 3.3.2. Wybór współczynników kompresji sygnałów

Przy określeniu współczynników kompresji sygnałów luminancji i różnicowych sygnałów kolorowości obrazu należy znaleźć kompromis pomiędzy: stosunkiem sygnału do szumu, powstawaniem interferencji, odpowiednością ze standardem studyjnym 4:2:2, ekonomicznym i prostym wykorzystaniem aktywnej części linii wybierania (52  $\mu$ s) oraz szerokością pasma częstotliwości sygnału po kompresji. Sygnały różnicowe kolorowości obrazu mogą przy tym być przesyłane następująco: bądź oba sygnały na każdej linii wybierania obrazu, bądź każdy z tych sygnałów co drugą linię wybierania. Oznacza to, że na każdej linii wybierania jest przesyłany tylko jeden sygnał różnicowy kolorowości obrazu.

Dla ułatwienia praktycznej realizacji systemu, częstotliwości odczytu z pamięci skompresowanych sygnałów luminancji i chrominancji powinny być jednakowe. Jest to możliwe jedynie wówczas, gdy stosunek współczynników kompresji sygnału luminancji ( $Y$ ) i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu  $X$  jest równy odwrotności ich częstotliwości próbkowania:

$$\frac{Y}{X} = \frac{f_p \text{ chrom}}{f_p \text{ lum}}$$

Dla standardu studyjnego telewizji cyfrowej stosunek ten jest równy 0,5, a więc:

$$\frac{Y}{X} = 0,5$$

Wówczas skompresowany sygnał luminancji będzie przesyłany w czasie  $\frac{52}{Y}$   $\mu$ s, a każdy ze skompresowanych sygnałów różnicowych kolorowości obrazu  $\frac{52}{X}$   $\mu$ s.

Dla przypadku transmisji jednego sygnału różnicowego na linii wybierania będziemy mieli:

$$\frac{52}{X} + \frac{52}{Y} = 52$$

czyli  $\frac{1}{X} + \frac{1}{Y} = 1$  oraz  $\frac{Y}{X} = 0,5$ , stąd  $X = 3$  i  $Y = 3/2$

Natomiast dla przypadku transmisji dwóch sygnałów różnicowych kolorowości obrazu na jednej linii wybierania mamy:

$$2 \cdot \frac{52}{X} + \frac{52}{Y} = 52$$

czyli  $\frac{2}{X} + \frac{1}{Y} = 1$  oraz  $\frac{Y}{X} = 0,5$ , stąd  $X = 4$ , a  $Y = \frac{4}{2} = 2$

Stopień kompresji sygnałów ma również znaczny wpływ na stosunek sygnału do szumu. Zagadnienie to zostanie omówione w punkcie następnym.

### 3.3.3. Szum w systemach z kompresją sygnałów w czasie

Kompresja sygnałów w czasie pociąga za sobą poszerzenie w takim samym stosunku pasma częstotliwości tych sygnałów. Współczynnik kompresji  $k$  oznacza więc poszerzenie pasma

częstotliwości  $k$ -razy. Dana częstotliwość  $f_1$  jest zatem przesyłana jako  $kf_1$ . Napięcie szumu wzrasta wówczas  $k$ -krotnie, a gęstość mocy szumu  $k^2$ -krotnie. Przy dekompresji sygnału ta gęstość mocy szumu ( $k^2$ -krotnie większa) występuje w pasmie częstotliwości  $k$ -krotnie węższym. Wobec czego, gęstość mocy szumu wzrasta znów  $k$ -krotnie, czyli ostatecznie wartość gęstości mocy szumu wzrasta  $k \cdot k^2 = k^3$  krotnie, a więc z sześcianiem współczynnika kompresji. Stosunek sygnału do szumu maleje wobec tego o  $30 \log k$  [dB]. Jak więc widać, z punktu widzenia właściwości szumowych systemu jest korzystna jak najmniejsza wartość współczynników kompresji.

W przypadku transmisji jednego sygnału różnicowego na linii wybierania stosunek sygnału do szumu dla sygnału luminancji maleje o 5,3 dB, a sygnałów różnicowych kolorowości obrazu o 14,3 dB, natomiast w przypadku transmisji dwóch sygnałów różnicowych na jednej linii wybierania stosunek sygnału do szumu sygnału luminancji maleje o 9 dB, a sygnałów różnicowych kolorowości obrazu o 18 dB [4,52].

Ponadto, przy transmisji powyższych sygnałów z modulacją częstotliwości, dla uniknięcia dodatkowych interferencji wywołanych wzrostem maksymalnej częstotliwości modulującej obu sygnałów różnicowych na jednej linii wybierania należy zmniejszyć dewiację sygnału. Prowadzi to do dalszego zmniejszenia stosunku sygnału do szumu odpowiednio o 2 dB i 4 dB dla sygnału luminancji i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu [4].

Całkowite pogorszenie własności szumowych w przypadku transmisji obu sygnałów różnicowych na jednej linii wybierania jest więc niewspółmiernie duże w porównaniu do osiąganego korzyści (wzrost rozdzielczości pionowej) i dlatego przyjęto w systemie MAC przesyłanie sygnałów różnicowych co drugą linię wybierania.

Z powyższych rozważań wynika, że kompresja sygnału pociąga za sobą zawsze pogorszenie własności szumowych. Jednak, przeniesienie sygnału chrominancji w pasmo małych częstotliwości powoduje, że rozkład szumu dla sygnałów luminancji i chromi-

nancji jest jednakowy, dzięki czemu są one mniej przykre dla ludzkiego oka niż szumy w systemach konwencjonalnych. Ponadto, w przypadku stosowania modulacji częstotliwościowej, system MAC nie wymaga skomplikowanych układów pre- i deemfazy, jak systemy konwencjonalne telewizji satelitarnej. Charakterystyki pre- i deemfazy są dobierane jako kompromis pomiędzy wymaganiami dla minimalnych zakłóceń impulsowych i szumowych, co polepsza również własności szumowe systemu.

#### 3.3.4. Kolejność przesyłania sygnałów

Z punktu widzenia rozwiązania układowego kolejność przesyłania na linii wybierania obrazu sygnałów luminancji i różnicowych sygnałów kolorowości obrazu może być dowolna. Jednak biorąc pod uwagę fakt, że wpływ zakłóceń małej częstotliwości na sygnał luminancji jest znacznie mniej zauważalny niż ich wpływ na sygnał chrominancji, to sygnały różnicowe kolorowości obrazu powinny być przesyłane możliwie najbliżej odcinka czasowego linii, w którym następuje stabilizacja poziomu, a więc na początku linii wybierania.

#### 3.3.5. Rozdzielczość pionowa i pozioma sygnałów luminancji i chrominancji

System przesyłania składowych sygnału wizyjnego z ich kompresją i zwielokrotnieniem w czasie umożliwia zwiększenie rozdzielczości odtwarzanych obrazów w porównaniu z systemami konwencjonalnymi. Rozdzielczość pozioma sygnału jest, jak wiadomo, funkcją przesyłanej szerokości pasma częstotliwości. W systemach konwencjonalnych sygnał chrominancji o ograniczonym pasmie częstotliwości umieszczono w górnej części pasma sygnału luminancji, wskutek czego efektywne pasmo sygnału luminancji jest również ograniczone. Ograniczona jest więc rozdzielczość pozioma obu tych sygnałów (w nieco większym stopniu w systemie SECAM niż w systemie PAL).

Niezależne przesyłanie sygnałów luminancji i różnicowych sygnałów kolorowości obrazu pozwala na przesłanie obu tych sygnałów o znacznie szerszym pasmie częstotliwości (pkt. 3.3.1) ograniczonym głównie możliwościami przepustowymi toru transmisyjnego i własnościami ludzkiego wzroku. Dzięki temu uzyskuje się odpowiednio większą rozdzielczość sygnałów luminancji i chrominancji. Dla zapewnienia tej rozdzielczości po stronie odbiorczej zaleca się, aby odbiornik miał bezpośrednio wejścia sygnałów składowych. Rozdzielczość pionowa sygnału luminancji jest ograniczona wybieraniem międzyliniowym i jest w systemach MAC taka sama, jak w systemach konwencjonalnych. Podobnie rozdzielczość pionowa sygnałów różnicowych, w przypadku przesyłania tych sygnałów co drugą linię wybierania, równa się połowie rozdzielczości pionowej sygnału luminancji i jest taka sama, jak w systemach konwencjonalnych. Przesyłanie obu sygnałów różnicowych na każdej linii wybierania pozwoliłoby na dwukrotne zwiększenie rozdzielczości.

### 3.3.6. Jakość obrazu

Subiektywne badania jakości odtwarzanego obrazu przesyłanego w systemach MAC w odniesieniu do jakości obrazów w konwencjonalnych systemach PAL i SECAM były przeprowadzone przez EBU w roku 1983 [4, 5, 23, 63]: Wejściowe sygnały składowe luminancji i sygnały kolorowości obrazu miały przy tym (dla spadku charakterystyki o 3 dB) pasma częstotliwości wynoszące odpowiednio 5,6 MHz i 2,6 MHz.

Pomiary wykonane dla różnych wartości stosunku sygnału o częstotliwości nośnej do sygnału szumu wykazały, że jakość obrazów uzyskiwanych w systemach MAC jest lepsza niż obrazów przesyłanych w systemach konwencjonalnych. Jednocześnie tylko o 0,1 - 0,2 stopnia bezwzględnej skali jakości jest gorsza od jakości obrazów odtwarzanych z cyfrowego standardu studyjnego 4:2:2. Nawet w przypadku dużych wartości tego stosunku, gdy szum jest zauważalny na silnie nasyconych powierzchniach koloro-



wych, jest on mniej przeszkadzający dla oka w przypadku systemu MAC niż w przypadku systemów PAL i SECAM. Dla małych wartości stosunku sygnału o częstotliwości nośnej do szumu obraz uzyskiwany w systemie MAC jest zawsze lepszy od obrazów uzyskiwanych w systemach konwencjonalnych. Powstające bowiem zakłócenia w postaci poziomych kresiek są znacznie krótsze wskutek mniej skomplikowanego układu deemfazy i krótszych stałych czasu układu, a wobec tego są lepiej akceptowane przez widza.

Przenoszenie ostrych pionowych krawędzi kolorowych w systemie MAC jest zbliżone do przenoszenia w systemie PAL. Jest to skutkiem stosowania filtrów interpolacyjnych dla zmniejszenia zniekształceń przeplatania powstających przy przesyłaniu sygnałów różnicowych co drugą linię wybierania obrazu. W systemie SECAM zniekształcenia przeplatania mogą (przy nadawaniu obrazów elektronowych o ruchu pionowym) stać się bardzo przykre dla oka, jeśli tylko nie zostaną, przez odpowiednie filtry, stłumione do nieznaczącego poziomu.

Przeprowadzone badania subiektywne wykazały, że system MAC spełnia warunki przyjęte przez WARC BS-77, dotyczące wewnątrzkanałowych i międzykanałowych współczynników ochronnych. Wykonane we Francji [62] badania subiektywne jakości obrazu w systemie  $D_2$  MAC (obejmujące wpływ szumu, odbić i ograniczenia pasma częstotliwości) wykazały również przewagę tego systemu nad systemami konwencjonalnymi.

### 3.3.7. Wybrane parametry kodowania obrazu w systemach C-, D- i $D_2$ -MAC

Jak wiadomo, analogowe składowe sygnały telewizji kolorowej (tj. sygnał luminancji i sygnały różnicowe kolorowości obrazu) są kodowane niezależnie i przesyłane kolejno w okresie czynnej linii wybierania obrazu, tj. w okresie 52  $\mu$ s dla standardu 625/50. Aby przesłać w ten sposób wszystkie informacje wizyjne dotyczące linii wybierania, sygnały składowe muszą być (jak już omówiono wyżej) poddane kompresji czasowej

po stronie nadawczej oraz oczywiście dekompresji po stronie odbiorczej. Procesy te wymagają z reguły: zamiany sygnałów analogowych na sygnały cyfrowe, ich zapisu w pamięci, odczytywania z odpowiednio większą prędkością i zamiany odwrotnej sygnałów cyfrowych na analogowe. Jest więc celowe, aby procesy zamiany sygnałów analogowych na cyfrowe i odwrotnie były kompatybilne ze standardem 4:2:2 telewizji cyfrowej dla studia. Przyjmuje się tu również częstotliwości próbkowania (w procesie zapisu przy nadawaniu) równe odpowiednio 13,5 MHz dla sygnału luminancji i 6,25 MHz dla sygnałów różnicowych kolorowości obrazu.

Współczynnik kompresji sygnału luminancji wynosi (jak podano wyżej)  $3/2$ , co pozwala na przesłanie sygnałów o szerokości pasma zgodnej ze standardem studyjnym (5,5 - 6 MHz) w kanale częstotliwościowym o szerokości 8 - 9 MHz. Współczynnik kompresji sygnałów różnicowych kolorowości obrazu jest natomiast równy 3, dzięki czemu w kanale częstotliwościowym 8 - 9 MHz mogą również być przesłane sygnały różnicowe o szerokości pasma zgodnej ze standardem studyjnym ok. 3 MHz.

Podstawowa częstotliwość zegarowa systemu jest równa  $k$ -krotnej częstotliwości próbkowania sygnału, a więc  $3/2$  częstotliwości próbkowania sygnału luminancji dla standardu studyjnego i odpowiednio 3-krotnej częstotliwości próbkowania sygnałów różnicowych. Wynosi więc ona 20,25 MHz. Na każdej linii wybierania znajduje się wówczas 1296 okresów zegarowych, przy czym sygnał luminancji zajmuje 697 okresów zegarowych, a sygnały różnicowe kolorowości obrazu 349 takich okresów. Pozostała część linii wybierania jest przeznaczona na transmisję cyfrowych sygnałów dźwięków, danych, synchronizacji oraz na stabilizację poziomu.

Sygnały różnicowe kolorowości obrazu są przesyłane co drugą linię wybierania, przy czym na liniach nieparzystych są nadawane sygnały B-Y, a na liniach parzystych - sygnały R-Y.

Strukturę linii wybierania w systemach C-MAC, D-MAC i D<sub>2</sub>-MAC podano na rys. 8b (str. 19). Parametry wejściowych sygnałów wizyjnych (R, G, B oraz Y, B-Y i R-Y) są zgodne z użytkowanymi standardami telewizyjnymi.

### 3.4. Transmisja dźwięków w systemach transmisji składowych (MAC)

Sygnaly dźwięków w systemach MAC są przesyłane wyłącznie w postaci cyfrowej. Zapewnia to większą jakość odbieranych dźwięków towarzyszących obrazowi telewizyjnemu, a także umożliwia przesłanie większej ich liczby.

Przyjęto, że podstawowym dźwiękiem przesyłanym w systemach MAC jest dźwięk wysokiej jakości o pasmie częstotliwości równym 15 kHz<sup>\*)</sup>. Zgodnie z Zaleceniami CCIR oraz OIRT sygnały dźwięku wysokiej jakości powinny być próbkowane z częstotliwością 32 kHz, a dla odtworzenia pełnego zakresu dynamiki, kodowane linearnie za pomocą 14 bitów.

W celu umożliwienia przesyłania większej liczby sygnałów dźwięku, lub zwiększenia pojemności kanału dla przesyłania sygnałów innych służb, można zastosować pięciozakresową komanderyzację sygnału dźwięku wysokiej jakości zmniejszającą liczbę bitów do 10. Współczynnik skali jest w tym przypadku określony dla 32 próbek. Kanały dźwięku stwarzają również możliwość łączenia ich w system pracy stereofonicznej. Możliwe jest także przesyłanie zamiennie dźwięków średniej jakości (np. komentatorskiego) o pasmie częstotliwości 7 kHz, próbkowanego z częstotliwością 16 kHz i kodowanego linearnie lub z komanderyzacją.

Ze względu na duże prawdopodobieństwo występowania błędów w torach transmisyjnych systemu MAC zastosowano w nim specjalne dwupoziomowe zabezpieczenie przed błędami (zwane często protekcją) umożliwiające korekcję i maskowanie błędów, które zmniejszą znacznie ich słyszalność. Pierwszy poziom zabezpieczenia wykorzystuje kod parzystości, natomiast drugi poziom - kod Hamminga. Takie zabezpieczenie obejmuje pewną liczbę bardziej znaczących bitów każdej próbki. Pozostałe bity pozostają nie zabezpieczone, gdyż ich przekłamania nie wprowadzają zauważalnego pogorszenia jakości dźwięku.

\*) Przeprowadzone badania [23] wykazały, że zwiększanie szerokości pasma kanału akustycznego powyżej 15 kHz nie daje już zauważalnego wzrostu jakości odbieranego dźwięku.

Pierwszy poziom zabezpieczania przed błędami stanowi prosty sprawdzian parzystości każdej próbki. Przy odbiorze umożliwia to wykrycie błędu oraz maskowanie przekłamaną próbką lub kilku przekłamanymi sąsiednimi próbkami wartością średnią sąsiadujących z nimi próbek odebranych bezbłędnie. W przypadku kodowania linearnego bit parzystości obejmuje 11 najbardziej znaczących bitów w każdej próbce. Bity parzystości odpowiadające 32 kolejnym próbkom każdego z kanałów stereofonicznych są następnie tak modyfikowane, aby niosły informacje o współczynniku skali oraz informacje kontrolne. Przy kodowaniu z komanderyzacją bit parzystości jest określany na podstawie sześciu najbardziej znaczących bitów w każdej próbce. Następnie bity parzystości odpowiadające 32 kolejnym próbkom kanału monofonicznego lub każdego z kanałów stereofonicznych są modyfikowane w taki sposób, aby niosły informacje o współczynniku skali oraz również informacje kontrolne.

Drugi poziom protekcji za pomocą pseudocyklicznego kodu Hamminga pozwala na korekcję błędów pojedynczych i wykrycie błędów podwójnych w bitach objętych ochroną. Zapewnia to dobrą jakość odtwarzania sygnałów dźwięku nawet w przypadku dużej liczby przekłamań. Przy kodowaniu z komanderyzacją 5 bitów protekcyjnych pseudocyklicznego kodu Hamminga (11,6) zabezpiecza 6 bardziej znaczących bitów w każdej próbce. Natomiast w przypadku kodowania linearnego do każdej 14-bitowej próbki jest dodawane 5 bitów protekcyjnych kodu Hamminga (16,11), chroniących 11 bardziej znaczących bitów w każdej próbce. Następnie, dla każdego z 18 kolejnych próbek kanału monofonicznego, lub każdego z kanałów stereofonicznych, modyfikuje się jeden z bitów kodu Hamminga w każdej próbce dźwięku w taki sposób, aby niósł część informacji o współczynniku skali. Pozostała część tej informacji jest przesyłana za pomocą wolnych bitów dostępnych w kodowanym bloku, a informacja kontrolna za pomocą 5 wolnych bitów.

Współczynniki skali przypisywane grupom próbek dźwięku, przyjmują osiem możliwych wartości. Niosą one nie tylko informacje o poziomie amplitudy sygnału i charakterystyce komande-

ryzacji, lecz również informacje zwiększające skuteczność protekcji błędów. Każda odebrana próbka dźwięku jest porównywana, co do wielkości z zakresem sygnalizowanym przez odpowiednią wartość współczynnika skali. Jeśli wskutek występowania błędów transmisyjnych odebrana wartość zakodowanej próbki przekracza granice sygnalizowanego zakresu, to próbkę tę uważa się za przekłamaną i jest ona korygowana bądź maskowana.

Liczba sygnałów dźwięku przesłana w systemach MAC zależy więc od:

- 1) jakości transmitowanych sygnałów dźwiękowych (stereofoniczny, monofoniczny wysokiej jakości, monofoniczny średniej jakości);
- 2) metody kodowania sygnałów dźwięku (linearne, z komanderyzacją);
- 3) metody zabezpieczania przed błędami (stopnia protekcji): bit parzystości, kod Hamminga .

Możliwe jest więc 12 różnych wariantów przesyłania dźwięku, przy czym każdy z tych wariantów ma inną prędkość bitową. I tak np. strumień danych bez sygnałów adresowych jednego toru sygnału dźwięku monofonicznego średniej jakości kodowanego z komanderyzacją i pierwszym poziomem protekcji wynosi 176 kbit/s, dźwięku monofonicznego wysokiej jakości kodowanego linearnie z pierwszym poziomem protekcji - 480 kbit/s, a dźwięku stereofonicznego kodowanego linearnie z drugim poziomem protekcji - 1216 kbit/s. Im mniejsza jest prędkość bitowa przesyłanego sygnału dźwięku, tym oczywiście więcej sygnałów można przesłać w kanale transmisyjnym.

W systemach C, D i D<sub>2</sub>-MAC cyfrowe sygnały dźwięku i synchronizacji są nadawane na każdej czynnej linii wybierania przed sygnałami wizyjnymi i zajmują łącznie 206 lub 209 okresów zegarowych. Pozwala to, przy częstotliwości zegarowej równej 20,25 MHz, na przesłanie (oprócz sygnałów synchronizacji) cyfrowego strumienia dźwięku wynoszącego ponad 3 Mbit/s, a więc maksymalnie 8 niezależnych sygnałów dźwięku wysokiej

jakości. Przy kodowaniu binarnym, przyjętym w systemie C-MAC, transmisja tych sygnałów wymaga stosowania torów przesyłowych o pasmie przenoszonych częstotliwości ok. 15 MHz, a więc znacznie szerszym niż w eksploatowanych torach telewizji kablowej. Pierwszym krokiem mającym na celu dopasowanie satelitarne systemu C-MAC do transmisji kablowych było wprowadzenie kodowania duobinarnego dźwięku i danych (system D-MAC). Umożliwiło to zawężenie wymaganego pasma częstotliwości toru do 10,5 MHz. Ponieważ jednak tory przesyłowe telewizji kablowej dysponują na ogół kanałami częstotliwościowymi o szerokości 7 - 8 MHz, wprowadzono zatem dalsze ograniczenie pasma częstotliwości przez zmniejszenie do połowy liczby przesyłanych informacji, (a więc i cyfrowego strumienia dźwięku) do ok. 1,5 Mbit/s (system  $D_2$ -MAC). Jeden bit przypada wówczas na dwa okresy sygnału zegarowego, a właściwie na jego okres parzysty. W przypadku kodowania duobinarnego sygnał przyjmuje 3 poziomy -1, 0, +1, przy czym logicznemu "0" odpowiada zawsze poziom zerowy, natomiast logicznej "1" poziomy "-1" i "+1". Amplituda sygnału duobinarnego (pomiędzy -1, i +1) wynosi 80% amplitudy obrazu.

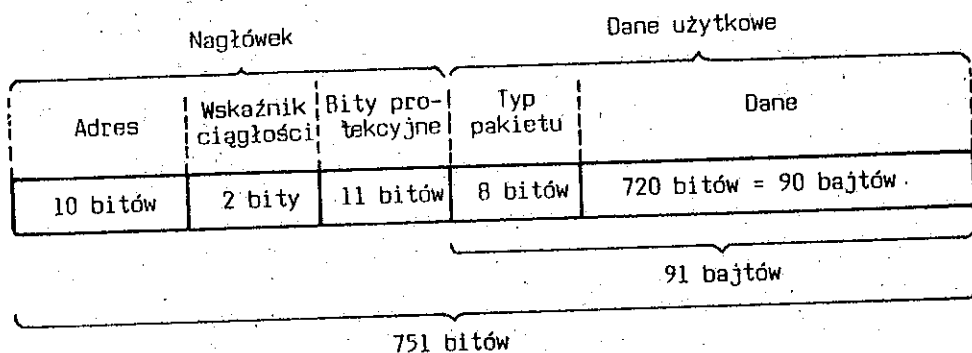
W systemie D-MAC wszystkie próbki (powtarzające się z częstotliwością 20,25 MHz) odpowiadają transmitowanym danym, natomiast w systemie  $D_2$ -MAC próbki parzyste odpowiadają transmitowanym danym, a próbki nieparzyste - przejściom pomiędzy nimi, tak że dane powtarzają się z częstotliwością 10,125 MHz.

Widmo sygnału przy takim sposobie kodowania ma pierwsze miejsce zerowe przy częstotliwości  $f$  równej połowie częstotliwości powtarzania danych, a więc w przypadku systemu D-MAC przy częstotliwości 10,125 MHz, a w systemie  $D_2$ -MAC przy częstotliwości 5,0625 MHz.

Przesłanie kilku sygnałów dźwięku oraz danych w postaci jednego strumienia cyfrowego jest możliwe dzięki zastosowaniu transmisji pakietowej tych sygnałów. Każdy pakiet o określonej długości niesie informacje odpowiadające jednemu sygnałowi dźwiękowemu, przy czym wszystkie pakiety zawierające strumień cyfrowy jednego sygnału dźwięku lub danych są opatrzone tym

samym adresem. Przed umieszczeniem w pakietach dane niosące informacje o dźwięku są organizowane w bloki kodowe dźwięku. Długość tych bloków zależy od rodzaju kodowania i poziomu protekcji. Przyjęto dwie struktury bloków kodowych dźwięku: 90-bajtową i 120-bajtową.

Każdy pakiet zawiera 751 bitów. Struktura pakietu jest identyczna dla wszystkich trzech systemów C-D- i D<sub>2</sub>-MAC (rys. 9). Składa się ona z dwóch części: nagłówka oraz danych użytkowych.



Rys. 9. Struktura pakietu dźwięku i danych w systemach C-, D- i D<sub>2</sub>-MAC

Nagłówek zawiera:

- 10-bitowy adres, umożliwiający określenie 1024 ( $2^{10}$ ) niezależnych usług informatycznych, które są możliwe do zrealizowania;
- 2-bitowy wskaźnik ciągłości, umożliwiający detekcję i maskowanie ewentualnej utraty pakietu, wskutek błędnego rozpoznania adresu, spowodowanego np. występowaniem błędów transmisyjnych;
- 11 bitów protekcyjnych, zapewniających wysoki stopień zabezpieczenia adresu z zastosowaniem kodu Golaya (23, 12), umożliwiającego korekcję do trzech błędów w 23 bitach.

W danych użytkowych znajduje się:

- 8-bitowy sygnał typu pakietu chroniony kodem Hamminga, określający czy dane zawarte w pakiecie mają próbki dźwięku, czy też tzw. bloki interpretacyjne, które zawierają zakodowaną informację o jego naturze (mono, stereo, rodzaj kodowania, sposób zabezpieczenia przed błędami, itp.);
- 720 bitów, czyli 90 bajtów właściwej informacji dźwięku lub danych.

W każdej cyfrowej ramce systemów C- i D-MAC odpowiadającej jednemu obrazowi telewizyjnemu są przesyłane 2x82 pakiety, dając strumień 4100 pakietów na sekundę, czyli 3,07910 Mbit/s. Natomiast w ramce cyfrowej systemu D<sub>2</sub>-MAC są przesyłane 82 pakiety, czyli 2050 pakietów na sekundę, co daje strumień 1,53955 Mbit/s.

Struktura pakietowa umożliwia łatwą zmianę rodzaju przesyłanej informacji oraz umożliwia dowolne ich łączenie i rozdzielanie (np. dwa kanały monofoniczne tworzą tor transmisji stereofonicznej itp.).

W tabl. 2 umieszczono wielkości strumieni cyfrowych (w pakietach na sekundę) dla różnych rodzajów dźwięku, rodzajów kodowania oraz zabezpieczania przed błędami.

Tablica 2

Strumień danych (pakietów/s) dla różnych rodzajów dźwięku

Rodzaj kodowania i zabezpieczenia przed błędami \ Rodzaj dźwięku	Średniej jakości monofoniczny	Wysokiej jakości monofoniczny	Wysokiej jakości stereofoniczny
1	2	3	4
Z kompresją do 10 bitów (bit parzystości)	253	503	1003
Linearne 14-bitowe (bit parzystości)	336,3	669,7	1336,3



od. tablicy 2

1	2	3	4
Z kompresją do 10 bitów (kod Hamminga)	336,3	669,7	1336,3
Linearne 14-bitowe (kod Hamminga)	447,4	891,9	1780,8

W tabl. 3 i 4 podano natomiast przykładowo różne warianty przesyłania dźwięków i danych w systemach C- i D-MAC oraz D<sub>2</sub>-MAC.

Tablica 3

Przykłady możliwości przesyłania dźwięków i danych w systemach C-MAC i D-MAC

Liczba dźwięków, rodzaj kodowania i zabezpieczenia przed błędami	liczba pakietów/s	
	dźwięków	danych dodatkowych
8 dźwięków monofonicznych kodowanych z kompresją i bitem parzystości	4024	76
6 dźwięków monofonicznych kodowanych linearnie z bitem parzystości	4018,2	81,8
4 dźwięki monofoniczne kodowane linearnie z zastosowaniem kodu Hamminga	3567,6	532,4
6 dźwięków monofonicznych kodowanych z kompresją z zastosowaniem kodu Hamminga	4018,2	81,8
1 dźwięk stereofoniczny, 2 dźwięki monofoniczne i 1 dźwięk komentatorski kodowane linearnie z zastosowaniem kodu Hamminga	4012	88

Tablica 4

Przykłady możliwości przesyłania dźwięków i danych  
w systemie D<sub>2</sub>-MAC

Liczba dźwięków, rodzaj kodowania i zabezpieczenia przed błędami	Liczba pakietów/s	
	dźwięków	danych dodatkowych
2 dźwięki stereofoniczne kodowane z kompresją i bitem parzystości	2006	44
4 dźwięki monofoniczne kodowane z kompresją i bitem parzystości	2012	38
3 dźwięki monofoniczne kodowane linearnie z bitem parzystości	2009,1	40,9
2 dźwięki monofoniczne kodowane linearnie z zastosowaniem kodu Hamminga	1783,8	266,2
1 dźwięk stereofoniczny kodowany linearnie z zastosowaniem kodu Hamminga	1780,8	269,2
1 dźwięk stereofoniczny i 1 dźwięk komentatorski kodowane linearnie z bitem parzystości	1672,6	377,4

W celu zmniejszenia wpływu błędów wielokrotnych stosuje się w pakietach przeplatanie bitów<sup>\*)</sup>. W każdym pakiecie bity są transmitowane w następującej kolejności:

1, 95, 189, ... 565, 659,  
2, 96, 190, ... 566, 660

93, 187, 281, ... 657, 751,  
94, 188, 282, ... 658

<sup>\*)</sup> Termin angielski-"bit interleaving".

Przeplatania nie stosuje się dla sygnału danych nadawanych w linii 624 i danych specjalnych w linii 625.

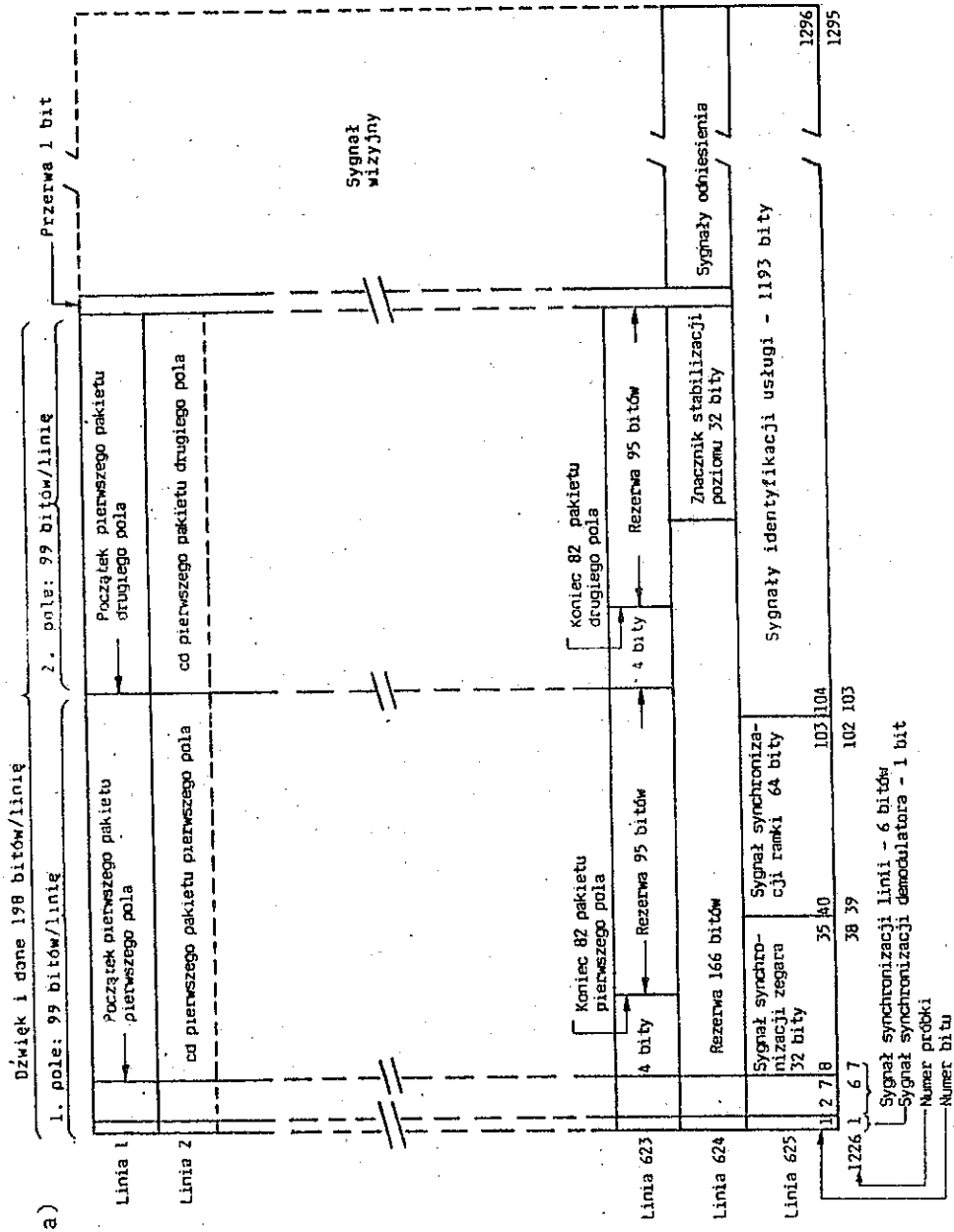
W niektórych przypadkach dla ukształtowania widma sygnału danych stosuje się również szyfrowanie danych<sup>\*)</sup> w sygnale cyfrowym, z wyjątkiem słowa synchronizacji linii (oraz synchronizacji zegara) oraz danych w linii 624 i danych specjalnych w linii 625. Polega ono na dodaniu (modulo 2) do bitów danych sekwencji pseudolosowych wygenerowanych w specjalnym układzie generatora uruchamianym co 625 linii.

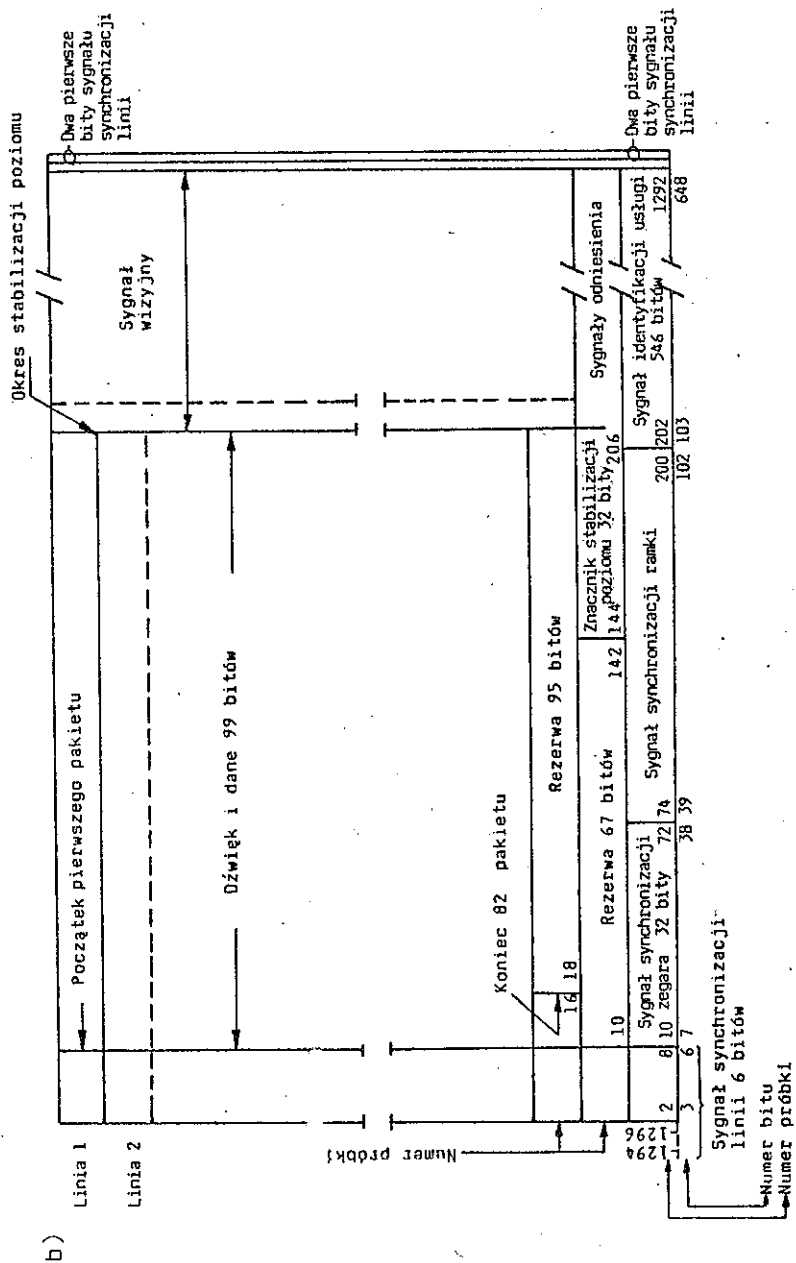
### 3.5. Struktura ramek cyfrowych w systemach C-, D- i $D_2$ -MAC

Systemy C-, D- i  $D_2$ -MAC zostały opracowane dla standardu 625/50. W systemach tych sygnały wizyjne (sygnały różnicowe kolorowości obrazu i luminancji) są nadane na 574 liniach wybierania od 24 do 310 i od 336 do 622 włącznie. Na liniach 23 i 335 są nadawane tylko sygnały różnicowe i sygnał czerni. Na liniach nieparzystych są przy tym nadawane sygnały B-Y, a na liniach parzystych - sygnały R-Y. Sygnały dźwięku i danych (2x99 bitów na linię w systemach C- i D-MAC, a 99 bitów na linię w systemie  $D_2$ -MAC) są nadawane na 623 liniach wybierania (od 1-ej do 623-ej). Linia 624 jest przeznaczona na sygnały odniesienia, a linia 625 - na sygnał synchronizacji pola oraz dane identyfikacji służb. Na pozostałych 47 liniach wybierania można przysyłać sygnały teletekstu, linii kontrolnych, dodatkowe informacje o obrazie lub dodatkowy blok dźwięku albo danych.

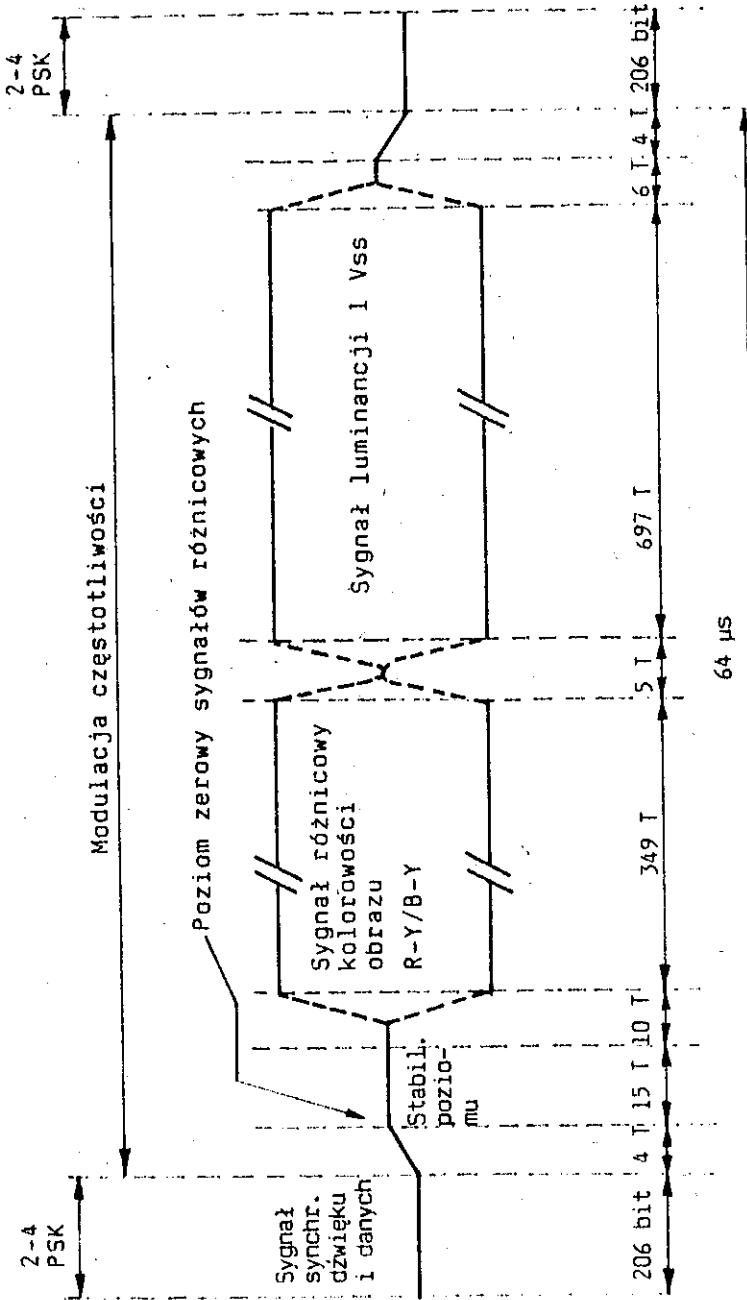
Strukturę ramki w systemach C- i D-MAC podano na rys. 10a, a w systemie  $D_2$ -MAC na rys. 10b. Natomiast strukturę czynnej linii wybierania w systemach C-MAC, D-MAC i  $D_2$ -MAC przedstawiono odpowiednio na rys. 11a, 11b, i 11c.

\*) Termin angielski - "scrambling".

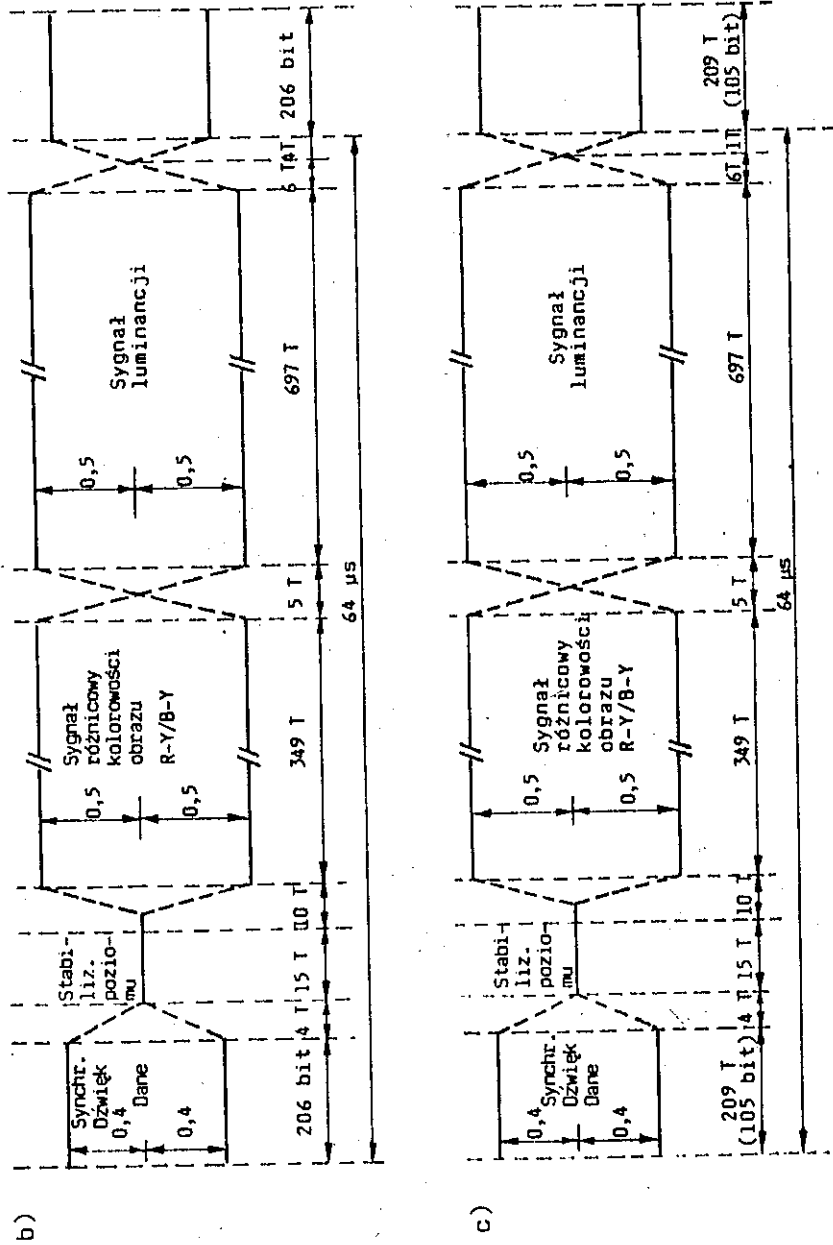




Rys. 10. Struktura ramki cyfrowej a) w systemach C-MAC i D-MAC; b) w systemie D<sub>2</sub>-MAC



a)



Rys. 11. Struktura czynnej linii wybierania  
 a) w systemie C-MAC; b) w systemie D-MAC; c) w systemie D<sub>2</sub>-MAC

Synchronizację w systemach C-MAC, D-MAC i D<sub>2</sub>-MAC otrzymuje się dwiema niezależnymi metodami:

- 1) na początku każdej linii wybierania jest nadawane (zgodnie z tabelicą 5) 6-bitowe słowo synchronizacji linii zapewniające zarówno synchronizację linii, jak i pola obrazu w postaci rzeczywistej:

$$W_1 = (x) 001011$$

lub zanegowanej

$$W_2 = \bar{W}_1 = (x) 110100$$

Tabela 5

Algorytm nadawania sygnałów synchronizacji linii

Nr obrazu	Nr linii	Słowo synchronizacji	Nr obrazu	Nr linii	Słowo synchronizacji
Parzysty	620	W <sub>2</sub>	nieparzysty	620	W <sub>1</sub>
	621	W <sub>1</sub>		621	W <sub>2</sub>
	622	W <sub>2</sub>		622	W <sub>1</sub>
	623	W <sub>2</sub>		623	W <sub>1</sub>
	624	W <sub>1</sub>		624	W <sub>2</sub>
Granica obrazu	625	W <sub>1</sub>	625	W <sub>2</sub>	
	1	W <sub>2</sub>	parzysty	1	W <sub>1</sub>
2	W <sub>1</sub>	2		W <sub>2</sub>	
Nieparzysty	3	W <sub>2</sub>		3	W <sub>1</sub>
	4	W <sub>1</sub>		4	W <sub>2</sub>
	5	W <sub>2</sub>		5	W <sub>1</sub>
	itd.	itd.	itd.	itd.	

- 2) na linii 625, bezpośrednio za sygnałem synchronizacji linii, jest nadawany 96-bitowy sygnał synchronizacji, złożony



z 32-bitowego sygnału synchronizacji zegara i 64-bitowego słowa synchronizacji pola obrazu; sygnał ten jest nadawany w postaci rzeczywistej przed obrazami parzystymi oraz zane-gowanej - przed obrazami nieparzystymi. Zapewnia on bezpo-srednią synchronizację pola obrazu, a synchronizację linii otrzymuje się drogą zliczania.

W systemach C-MAC i D-MAC pierwszy bit nadawany na 623 li-niach jest bitem startu demodulatora, a po nim następuje syg-nał synchronizacji linii. W systemie D<sub>2</sub>MAC natomiast pierwszym nadawanym bitem jest pierwszy bit synchronizacji.

Część wizyjna linii 624 zawiera analogowe i cyfrowe sygna-ły odniesienia, które mogą służyć do:

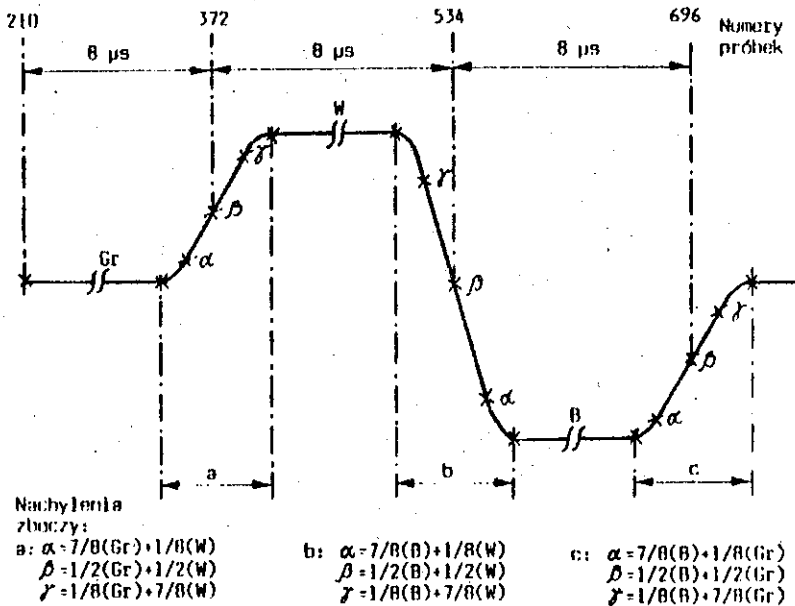
- uproszczenia ustawienia i regulacji poziomu, w przypadkach gdy całkowity sygnał synchronizujący jest niewystarczający do takiej regulacji;
- umożliwienia automatycznej korekcji sygnałów cyfrowych i analogowych, w przypadkach bardzo zakłóconych kanałów transmisyjnych;
- umożliwienia zlokalizowania częstotliwości nośnej odniesie-nia przy koherentnej demodulacji sygnałów MAC.

Przebiegi i kształty sygnałów odniesienia nie są jeszcze ostatecznie ustalone. Przyjęto, że jednym z nich będzie sygnał odniesienia poziomów bieli, szarości i czerni, podany na rys. 12, nadawany następująco:

poziom szarości: od próbki 210 do 372,  
 poziom bieli: od próbki 372 do 534,  
 poziom czerni: od próbki 534 do 696.

Stabilizacja poziomu sygnału nadawanego w systemie MAC nas-tępuje w każdej linii wybierania od 1 do 624 w czasie 15 okre-sów zegarowych transmitowanych za cyfrowym sygnałem dźwięku i danych. Ponadto w linii 624 jest nadawany 32-bitowy znacznik poziomu. W linii 625, bezpośrednio za sygnałem synchronizacji pola obrazu, są nadawane dane specjalne obejmujące informacje

o kanale częstotliwościowym, konfiguracji zwielokrotnienia czasowego oraz identyfikacji służb.



Rys. 12. Sygnał odniesienia nadawany na linii 624

### 3.6. Warunkowy dostęp do systemu\*) (utajnianie)

W systemach C-MAC, D-MAC i D<sub>2</sub>-MAC przewidziano możliwość utajniania przesyłanych wiadomości, poprzez ich szyfrowanie\*\* w taki sposób, aby były one dostępne jedynie dla użytkowników spełniających pewne określone warunki (np. wnoszenie opłat). Szyfrowane mogą być przy tym bądź poszczególne elementy przesyłanego sygnału (sygnał wizyjny, dźwięk, dane), bądź też cały sygnał w sposób pseudoprzypadkowy. Jeśli algorytm szyfrowania jest stały, proces deszyfrowania w odbiorniku może zachodzić bez konieczności przesyłania dodatkowych informacji. W przypadku natomiast zmiennego algorytmu szyfrowania jest konieczne

\*) Termin angielski - "conditional access".

\*\*\*) Termin angielski - "scrambling".

przesłanie dodatkowych informacji do odbiornika. Informacje takie są nadawane w pakietach danych.

Ze względu na różny charakter sygnałów przesyłanych w systemach MAC (dźwięk i dane jako sygnały cyfrowe, sygnał wizyjny jako sygnał analogowy) różne są sposoby ich szyfrowania. Sygnały dźwięku i danych są szyfrowane przez sumowanie (modulo 2) pseudolosowego ciągu binarnego z informacją użyteczną przesyłaną w pakietach. Natomiast sygnały nagłówka (adres, wskaźnik ciągłości i zabezpieczenie przed błędami) oraz sygnał typu pakietu nie są szyfrowane. Przyjmuje się przy tym następującą kolejność kształtowania wyjściowych cyfrowych sygnałów dźwięku i danych:

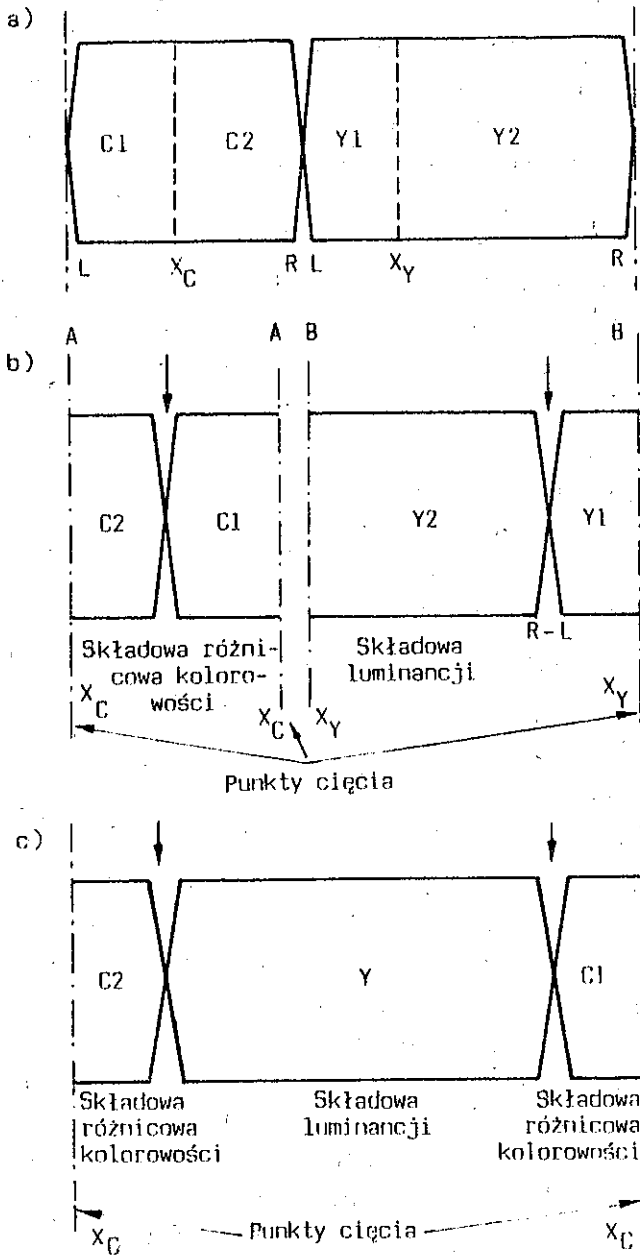
- 1) zabezpieczanie przed błędami,
- 2) szyfrowanie w celu utajnienia,
- 3) przeplatanie bitów,
- 4) kształtowanie widma (szyfrowanie danych).

Szyfrowanie sygnałów wizyjnych jest stosowane jedynie w liniach zawierających sygnały wizyjne. Może ono być realizowane dwiema metodami:

- 1) z podwójnym cięciem składowych,
- 2) z pojedynczym cięciem sygnałów różnicowych.

W przypadku szyfrowania z podwójnym cięciem obydwie skompresowane składowe sygnały wizyjnego w każdej linii wybierania (rys. 13a) są przecinane na dwa segmenty, które zostają następnie przestawione w czasie (rys. 13b). Punkty cięcia zmienia się pseudolosowo co linię, przy czym są one wybierane niezależnie dla sygnału luminancji i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu.

W przypadku szyfrowania z pojedynczym cięciem skompresowane sygnały różnicowe kolorowości obrazu są przecinane na dwa segmenty. Pierwszy segment jest następnie przesunięty w czasie na koniec linii wybierania (rys. 13c). Punkt cięcia zmienia się pseudolosowo co linię.



Rys. 13. Szyfrowanie sygnału wizyjnego

a) kształt sygnału wizyjnego na linii bez szyfrowania; b) szyfrowanie z podwójnymi cięciami; c) szyfrowanie z pojedynczym cięciem

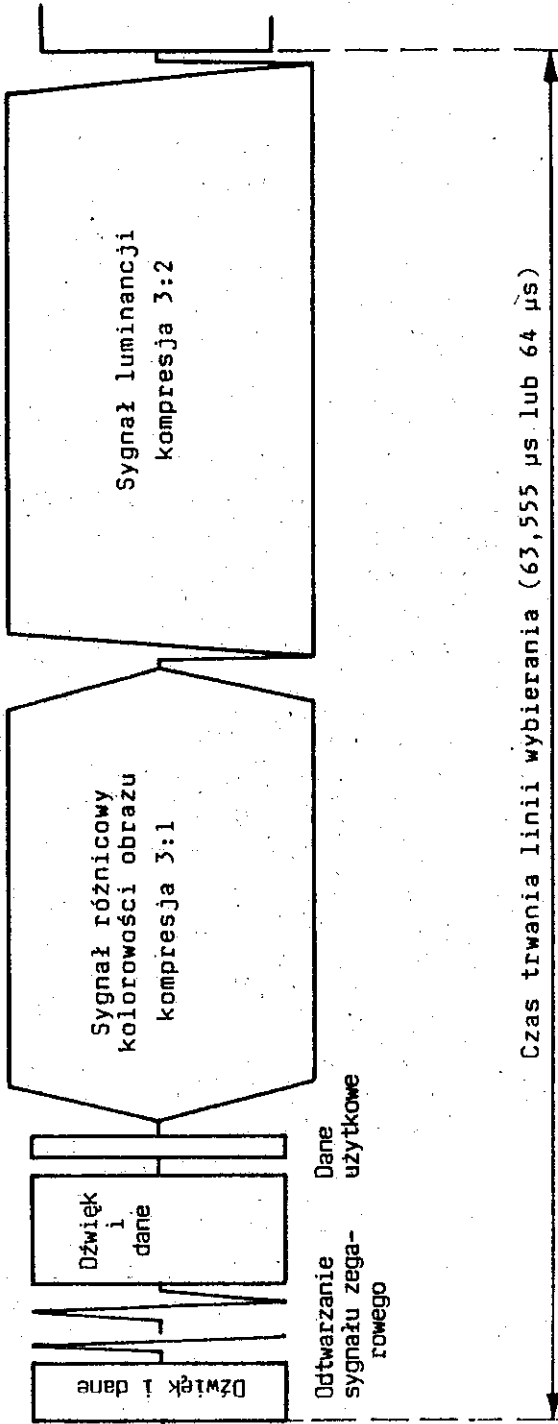
Pierwsza metoda zapewnia lepsze utajnienie informacji, jest jednak bardziej czuła na zakłócenia występujące w torze przesyłowym.

### 3.7. System B-MAC [10, 11]

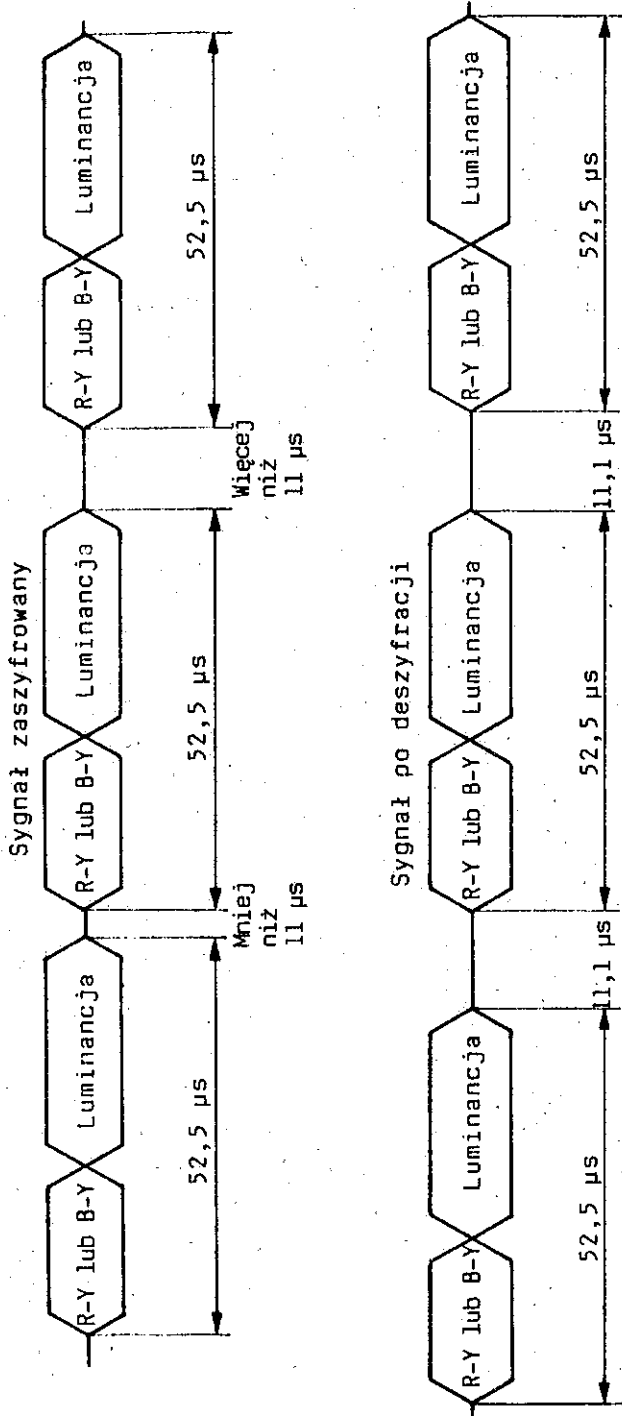
System B-MAC [10, 11] został opracowany w dwóch wersjach. Pierwsza z nich dla standardu 525/60 jest przystosowana do transmisji satelitarnej w przyjętym dla rejonu 2 (Ameryka) kanale częstotliwościowym o szerokości 24 MHz i jest badana w USA oraz w Kanadzie. Druga natomiast opracowana dla standardu 625/50 jest przystosowana do transmisji satelitarnej w kanale częstotliwościowym o szerokości 27 MHz przyjętym dla rejonu 1 (Europa, Azja, Australia) i została przyjęta przez Australię. W systemie tym analogowe sygnały składowych sygnału wizyjnego telewizji kolorowej są zwielokrotnione w czasie z cyfrowymi sygnałami synchronizacji, dźwięku i danych w pasmie podstawowym.

Strukturę linii wybierania w systemie B-MAC podano na rys. 14. Ogólna zasada przesyłania sygnałów wizyjnych jest taka sama, jak w systemach C-MAC i D-MAC. Takie same są też współczynniki kompresji obu sygnałów. Inne natomiast są częstotliwości zegarowe. W obu wersjach systemu B-MAC są one takimi samymi wielokrotnościami odpowiednich częstotliwości linii, dzięki czemu jest możliwe zastosowanie takich samych układów scalonych. Ponadto, w wersji 525-liniowej przyjęto prostą zależność częstotliwości zegarowej i częstotliwości podnośnej w systemie NTSC. Umożliwia to łatwe transkodowanie sygnałów. W związku z tym częstotliwość zegarowa jest równa odpowiednio 21,328 MHz (dla wersji 625-liniowej) i 21,477 MHz (dla wersji 525-liniowej), co daje 1365 okresów zegarowych na linii wybierania.

Nominalna szerokość pasma częstotliwości wejściowego sygnału luminancji wynosi 5 MHz dla wersji 625-liniowej i 4,2 MHz dla wersji 525-liniowej, a częstotliwości próbkowania są odpowiednio równe 14,219 MHz i 14,318 MHz. Natomiast dla sygna-



Rys. 14. Struktura linii wybierania w systemie B-MAC



Rys. 15. Szyfrowanie przez zmianę długości linii

łów różnicowych kolorowości obrazu nominalna szerokość pasma wynosi 2,1 MHz dla obu wersji systemu, a częstotliwości próbkowania są odpowiednio równe 7,109 MHz i 7,159 MHz.

Skompresowane sygnały zajmują pasmo częstotliwości 7,5 MHz i są nadawane na 574 liniach w wersji 625-liniowej i na 483 liniach w wersji 525-liniowej. Sygnały luminancji są przy tym nadawane na każdej czynnej linii wybierania i zajmują 750 okresów zegarowych. Sygnały różnicowe kolorowości obrazu są nadawane co drugą linię wybierania i zajmują 375 okresów zegarowych. Stabilizacja poziomu zajmuje 60 okresów zegarowych.

System B-MAC umożliwia przesłanie strumienia dźwięku i danych z prędkością ok. 1,6 Mbit/s, co pozwala na przesłanie 6 dźwięków wysokiej jakości z zastosowaniem adaptacyjnej (przystosowującej się) modulacji delta (którą cechuje utajnianie błędów) oraz bitu parzystości. Prędkość bitowa każdego kanału dźwięku jest równa ok. 204 kbit/s. Ponadto jest możliwe przesłanie jednego dźwięku lub danych o prędkości ok. 62 kbit/s. Możliwa jest również zamiana każdego z sześciu kanałów dźwięku na kanał danych o prędkości 204 kbit/s.

Na każdej linii wybierania - oprócz sygnałów wizyjnych, dźwięku i danych - w systemie B-MAC jest nadawany również sygnał synchronizacji zegara zawierający 20 symboli (10 cykli). W systemie tym nie stosuje się sygnałów synchronizacji linii. Sygnały synchronizacji pola w postaci 1131 symboli są nadawane w linii 2.

Szyfrowanie sygnałów wizyjnych systemu B-MAC jest oparte na zmianie długości linii wybierania. W metodzie tej długość okresów wygaszania linii zmienia się co linię w sposób pseudoprzypadkowy (rys. 15), przy zachowaniu stałej sumy okresów wygaszania linii w obrazie. Ponadto podlegają szyfrowaniu sygnały dźwięków towarzyszących.

### 3.8. Możliwości przyszłościowe systemu MAC [10, 11]

Przyjęta koncepcja systemu MAC stwarza wiele możliwości powiększenia jakości odtwarzanego obrazu. Niektóre z nich



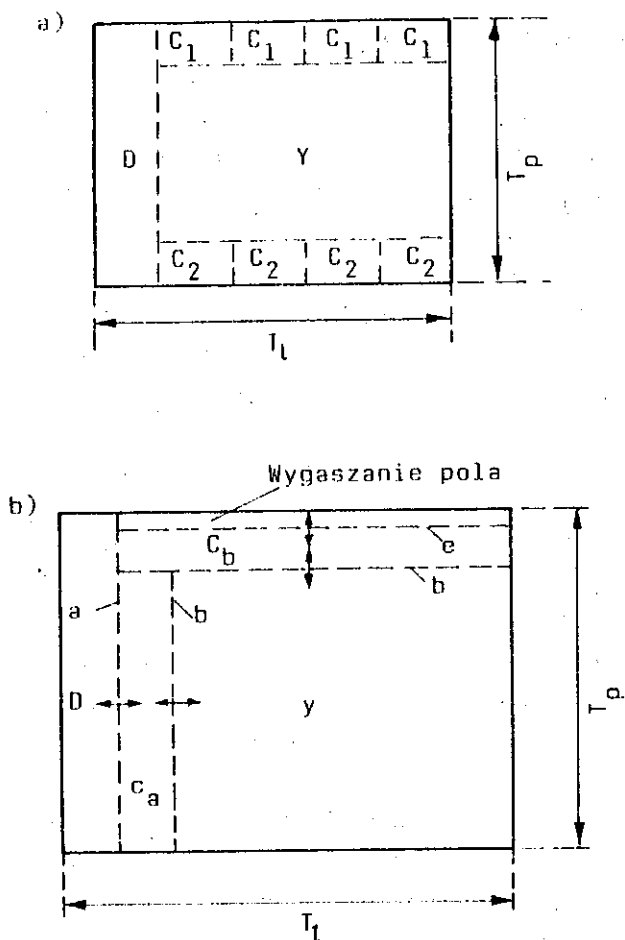
były już zbadane eksperymentalnie. Inne znajdują się w stadium rozważań teoretycznych.

Zastosowanie w systemach MAC sterowanego zwielokrotniania czasowego sygnałów oraz układów pamięci pola w odbiornikach umożliwia zmianę struktury przesyłanych linii wybierania oraz pól obrazu. Jest to np. realizowane przez zastosowanie zwielokrotniania czasowego sygnałów wizyjnych (wyłącznie w okresie pola obrazu) bądź też zarówno w okresach linii wybierania, jak i pola obrazu lub też przez zmianę granic pomiędzy sygnałami wizyjnymi i dźwięku, a także pomiędzy sygnałem luminancji i sygnałami różnicowymi kolorowości obrazu. Pozwala to nie tylko na zwiększenie rozdzielczości poziomej i pionowej odtwarzanych obrazów, powiększenie współczynnika kształtu, lecz również i na przesyłanie sygnałów telewizji o podwyższonej jakości, telewizji stereoskopowej i przejście do telewizji o dużej rozdzielczości (HDTV).

Zasadę zwielokrotniania czasowego sygnałów wizyjnych w okresie pola obrazu podano na rys. 16a. W czasie pewnej liczby linii wybierania jest nadawany wyłącznie sygnał luminancji (Y), natomiast linie pozostałe są przeznaczone do transmisji skompresowanych sygnałów różnicowych kolorowości obrazu. Umożliwia to zwiększenie rozdzielczości poziomej oraz współczynnika kształtu odtworzonego obrazu. Zasadę zwielokrotniania czasowego sygnałów wizyjnych w okresach linii i pola obrazu wyjaśnia rys. 16b, na którym przedział czasowy Y jest zarezerwowany do przesyłania sygnału luminancji. Przedział  $C_a$  może zawierać jeden z sygnałów różnicowych kolorowości obrazu, a przedział  $C_b$  - drugi z nich. Granice pomiędzy tymi przedziałami czasowymi są określone przez linie a, b, d i e.

Zwiększenie rozdzielczości sygnału luminancji i sygnałów różnicowych kolorowości obrazu można osiągnąć poprzez poszerzenie pasma częstotliwości sygnału skompresowanego z 9 MHz do 12 MHz, osiągając w ten sposób wzrost rozdzielczości poziomej o ok. 33%.

Proponowane jest również zastosowanie wstępnej i wyjściowej filtracji w celu przeniesienia dodatkowych informacji



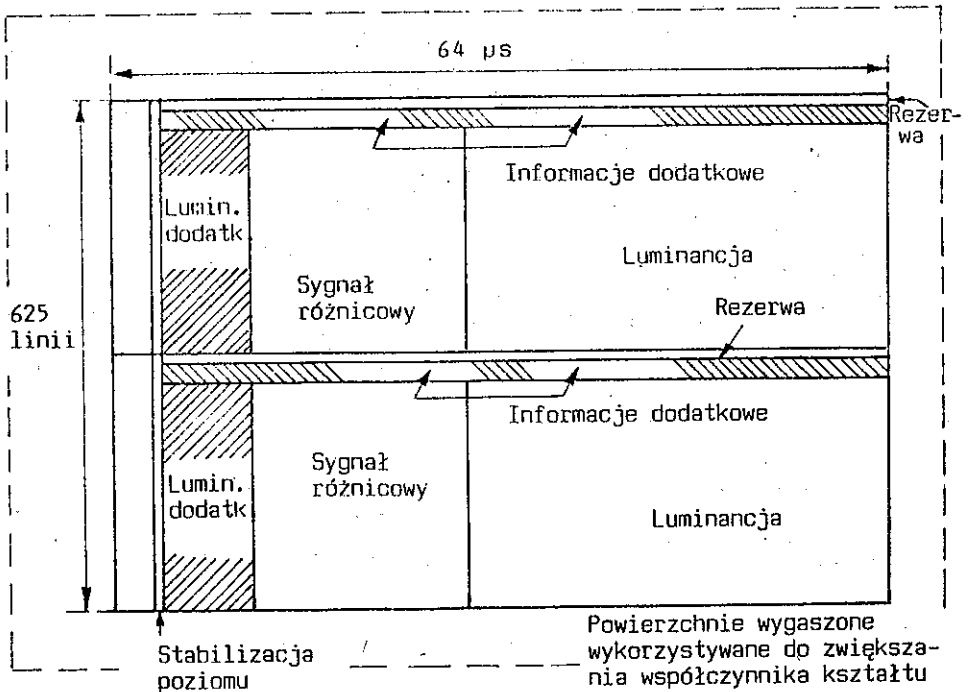
Rys. 16. Inne metody zwielokrotniania czasowego

a) zwielokrotnianie w okresie pola obrazu; b) zwielokrotnianie w okresach linii i pola obrazu

$T_p$  - okres pola obrazu,  $T_l$  - okres linii wybierania, D - dźwięk + dane + synchr., Y - sygnał luminancji,  $C_1$  - pierwszy sygnał różnicowy kolorowości,  $C_2$  - drugi sygnał różnicowy kolorowości,  $C_a$ ,  $C_p$  - sygnały różnicowe kolorowości obrazu, a, b, d, e - granice pomiędzy sygnałami

poziomych bądź pionowych w postaci energii "splęcionej" wewnątrz istniejącego pasma częstotliwości. Wymaga to jednak bardziej skomplikowanej konstrukcji układów odbiorczych z wykorzystaniem układów pamięciowych linii i pola obrazu.

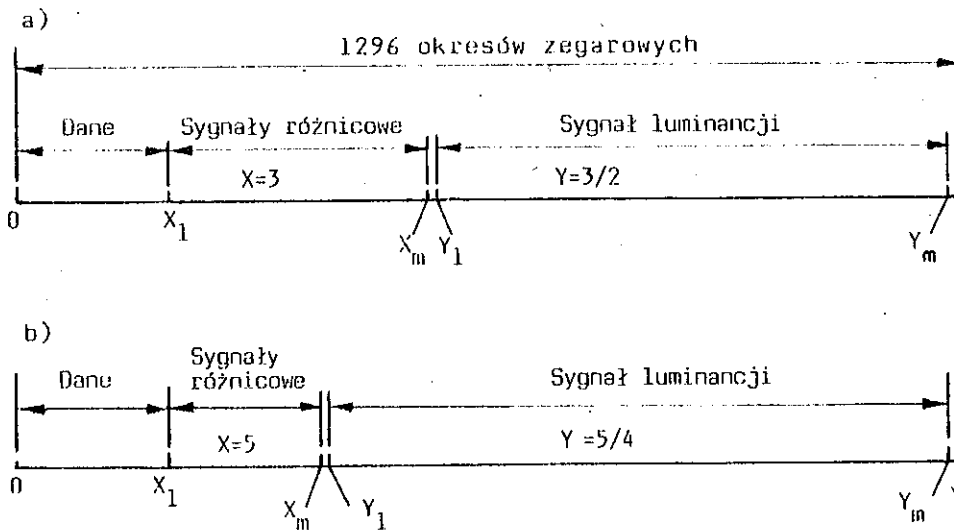
Przyjęta struktura kodowania sygnałów MAC umożliwia zwiększenie współczynnika kształtu, kompatybilne ze stosowanym obecnie współczynnikiem 4:3 np. do 16:9. Można to osiągnąć poprzez zawężanie cyfrowego sygnału dźwięku i danych, np. do szerokości niezbędnej do przesłania tylko jednego sygnału stereofonicznego i przesłanie w tym odcinku czasu linii wybierania dodatkowych sygnałów luminancji umożliwiających zwiększenie współczynnika kształtu. Odpowiednie dodatkowe sygnały chrominancji są wówczas przesłane w okresie wygaszania pola obrazu (rys. 17). Jest to tzw. system E-MAC.



Rys. 17. Struktura ramki systemu MAC o zwiększonym współczynnikiem kształtu

W odbiornikach szerokoekranowych zawierających scalone układy pamięci pola obrazu powyższe informacje dodatkowe zostają przekształcone w sygnały obrazu o zwiększonym współczynniku kształtu, natomiast w odbiornikach konwencjonalnych jest odbierany niezakłócony obraz o współczynniku 4:3.

Inna metoda [4, 63] zwiększenia współczynnika kształtu, również kompatybilnego ze współczynnikiem 4:3, polega na pozostawieniu przesyłanych sygnałów dźwięku i danych bez zmian i zastosowaniu innych wartości współczynników kompresji, np.  $5/4$  i  $5$ , jak na rys. 18. Przy nie zmienionym pasmie częstotliwości pasma postawowego może to pociągnąć za sobą, bądź poszerzenie pasma częstotliwości przenoszonych, bądź też nieznaczne zmniejszenie rozdzielczości obrazu. Istnieje również możliwość zastosowania innych współczynników kompresji, a innych współczynników dekompresji, np. współczynników kompresji odpowiednio  $3$  i  $3/2$ , a dekompresji  $4$  i  $2$ , co pozwala na zmianę współczynnika kształtu z  $4/3$  na  $3,33/3$ .



Rys. 18. Zwiększanie współczynnika kształtu obrazu poprzez różne współczynniki kompresji i dekompresji

a) kompresja; b) dekompresja

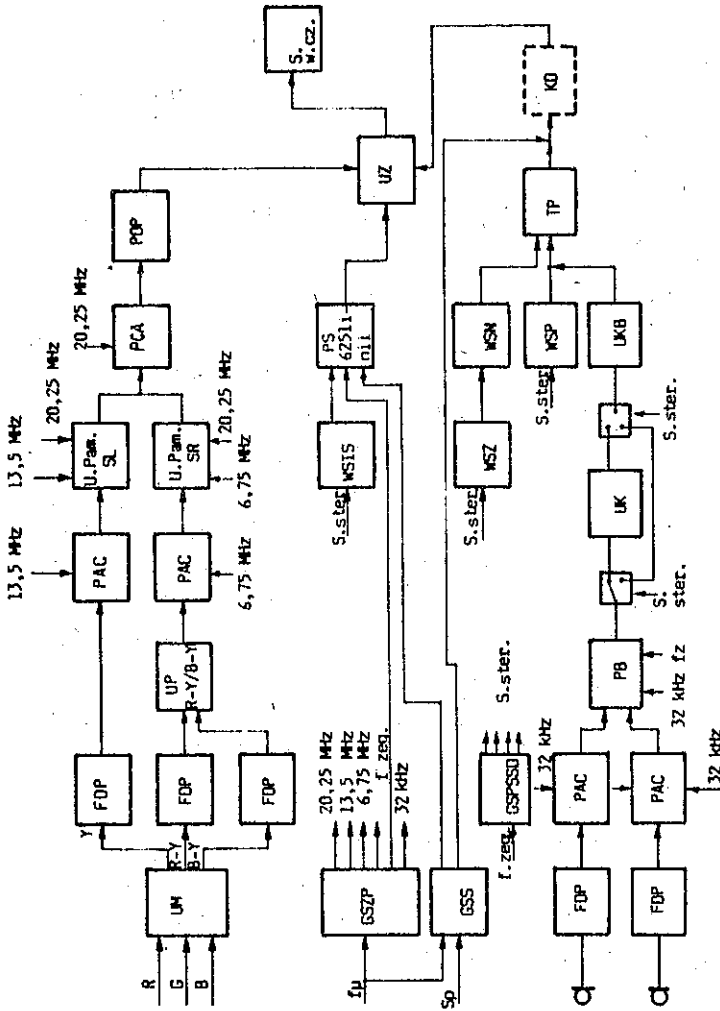
Wykorzystanie systemów MAC w telewizyjnych systemach o dużej rozdzielczości (HD-MAC) zostanie omówione w artykule dotyczącym systemów telewizyjnych o dużej rozdzielczości obrazu.

### 3.9. Wybrane rozwiązania układowe urządzeń systemów transmisji składowych sygnału telewizji kolorowej

Przesłanie sygnałów telewizyjnych systemem MAC wymaga odpowiedniego ukształtowania tego sygnału na wejściu toru transmisyjnego oraz jego zamiany na konwencjonalny sygnał analogowy na jego wyjściu. Urządzenia służące do odpowiedniego ukształtowania sygnałów są to kodery typu MAC, a odpowiednie urządzenia odbiorcze to dekodery typu MAC.

Uproszczony schemat blokowy kodera MAC podano na rys. 19. Składa się on z dwóch podstawowych torów: toru sygnału analogowego (wizyjnego) i toru sygnału cyfrowego. Na wejście toru sygnału analogowego są doprowadzane sygnały kolorów podstawowych R, G, B, z których w konwencjonalnym układzie matrycowym zostają wytworzone sygnały składowych: luminancji Y i różnicowych kolorowości obrazu R-Y i B-Y. Sygnały te są następnie przełączane w taki sposób, że na liniach parzystych występują sygnały R-Y, a na liniach nieparzystych - sygnały B-Y. Podstawowym procesem zachodzącym w torze sygnału analogowego jest kompresja w czasie tych sygnałów. Proces ten jest realizowany poprzez wpisanie sygnałów do pamięci z prędkością mniejszą, natomiast odczytywanie zachodzi z prędkością pomnożoną przez współczynnik kompresji. W zasadzie sygnał można poddawać kompresji bądź jako sygnał analogowy, bądź jako sygnał cyfrowy. W obydwu przypadkach sygnały analogowe podlegają próbkowaniu, przy czym sygnał luminancji z częstotliwością 13,5 MHz, a sygnały różnicowe kolorowości obrazu z częstotliwością 6,75 MHz.

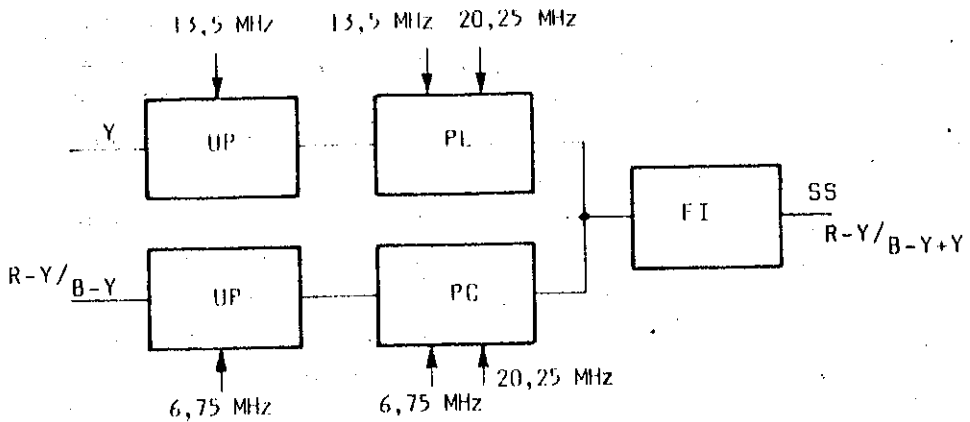
W przypadku zastosowania pamięci analogowych (rys. 20) sygnały próbek są wpisywane do nich z prędkościami równymi ich częstotliwości próbkowania. Odczyt z pamięci następuje



Rys. 19. Schemat blokowy kodera systemu MAC

R, G, B - sygnały kolorów podstawowych; czerwony (R), zielony (G), niebieski (B), UM - układ matrycowy, FDP - filtr dolnoprzepustowy, UP - układ przełączenia, PAC - przetwornik analogowo-cyfrowy, U.Pam.SL - układ pamięci sygnału luminancji, U.Pam.SR - układ pamięci sygnałów różnicowych, PCA - przetwornik cyfrowo-analogowy, GSPSSD - generator sygnałów zegarowych i próbkujących, GSS - wytwarzanie sygnałów synchronizujących, GSPSSD - generator sygnałów próbkujących i sterujących sygnałami dźwięku, PB - pamięć buforowa, S.ster. - sygnał sterujący, WSZ - wytwarzanie sygnałów zapisu, UK - układ kompresji, UKB - tworzenie sygnałów nagłówka, WSP - wytwarzanie sygnałów typu pamięci, UKB - układy korekcji błędów, TP - tworzenie pakietu, KD - koder sygnałów duobinarnych, UZ - układ zwielokrotniający, S.w.cz. - stopnie w.cz.

z prędkością równą 20,25 MHz i w przyjętej w systemie MAC kolejności.



Rys. 20. Schemat kompresji sygnału w układzie analogowym  
 UP - układ próbkujący, PL - pamięć luminancji, PC - pamięć chrominancji, FI - filtr interpolacyjny, SS - sygnał skomprimowany

Na wyjściu układu znajduje się filtr interpolacyjny, który zamienia dyskretny sygnał próbek na sygnał ciągły w czasie. W chwili obecnej pamięci analogowe sygnałów wizyjnych o dużych prędkościach działania są jednak bardzo trudno dostępne i dlatego proces kompresji jest z reguły realizowany w układzie cyfrowym, podanym na rys. 19. W układzie tym sygnały luminancji Y i sygnały różnicowe kolorowości obrazu R-Y/B-Y są zamieniane w układach przetworników analogowo-cyfrowych na 8-bitowe ich odpowiedniki cyfrowe, które z kolei są wpisane do pamięci cyfrowych z szybkościami równymi odpowiednio 13,5 MHz i 6,75 MHz. Sygnały te są odczytywane z pamięci w kolejności przyjętej w systemie MAC z szybkością równą 20,25 MHz. Skomprimowany sygnał cyfrowy jest następnie zamieniony w układzie przetwornika cyfrowo-analogowego na jego odpowiednik analogowy.

Impulsy próbkujące, sygnały zapisu i odczytu oraz sygnały zegarowe, a także sterujące są wytwarzane w generatorze

tych sygnałów, sterowanym sygnałem synchronizacji linii wybierania.

Tor sygnału cyfrowego zawiera przede wszystkim układy kształtowania sygnałów dźwięku, układ wytwarzania cyfrowych sygnałów synchronizacji linii i pola obrazu, sterowany analogowymi impulsami synchronizującymi, oraz układy wytwarzające sygnały identyfikacji usługi nadawane na linii 625 i sygnały odniesienia nadawania na linii 624.

Na wejścia torów sygnałów dźwięku są doprowadzane analogowe sygnały dźwięku monofonicznego (lub stereofonicznego) wysokiej jakości lub dźwięku monofonicznego średniej jakości. Są one następnie w układach przetworników analogowo-cyfrowych zamieniane na 14-bitowe sygnały cyfrowe, przy czym częstotliwości próbkowania wynoszą odpowiednio: 32 kHz dla dźwięków wysokiej jakości i 16 kHz dla dźwięków średniej jakości. Sygnały te podlegają z kolei następującym procesom obróbki:

- ewentualnej kompanderyzacji sygnałów cyfrowych 14/10 bitów,
- zabezpieczenia przed błędami,
- wytwarzania sygnałów adresu i nagłówka,
- wytwarzania sygnałów typu pakietu,
- kompresji sygnałów w czasie i ich pakietowania,
- kodowania duobinarne w przypadku systemu D-MAC i  $D_2$ -MAC.

W systemach D-MAC i  $D_2$ -MAC ukształtowane cyfrowe sygnały dźwięku, synchronizacji, sygnały 624 i 625 linii oraz analogowe sygnały wizyjne są następnie zsumowane, tworząc całkowity sygnał systemu MAC, który steruje układy pośredniej częstotliwości. Natomiast w systemie C-MAC analogowe sygnały wizyjne są modulowane częstotliwościowo, a cyfrowe sygnały dźwięku i synchronizacji modulowane z 2 lub 4 wartościowym kluczowanym przesuwem fazy. Zwielenokrotnianie ich następuje na częstotliwościach pośrednich. Wszystkie procesy zachodzące w koderze są sterowane odpowiednimi impulsami sterującymi, wytworzonymi w generatorze takich impulsów.



W układach dekodatorów systemu MAC (rys. 21) zachodzą procesy odwrotne do procesów realizowanych w koderach systemu. Po demodulacji analogowy, skompresowany sygnał wizyjny zostaje poddany procesowi dekompresji. Proces dekompresji jest realizowany analogicznie do procesu kompresji (analogowo, czy raczej z reguły cyfrowo), przy czym sygnał jest próbkowany i zapisywany w pamięci z prędkością 20,25 MHz. Prędkości odczytu wynoszą natomiast dla sygnału luminancji 13,5 MHz, a dla sygnałów różnicowych kolorowości obrazu 6,75 MHz.

Otrzymane po dekompresji sygnały wizyjne - po odtworzeniu brakujących sygnałów różnicowych - sterują układ matrycowy, na wyjściu którego otrzymuje się sygnały kolorów podstawowych R, G, B. Sygnały o częstotliwościach próbkowania, zapisu i odczytu z pamięci są wytwarzane z odtworzonego sygnału zegarowego.

Przychodzący sygnał cyfrowy w systemach D-MAC i D<sub>2</sub>-MAC zostaje przede wszystkim poddawany dekodowaniu duobinarnemu. Następnie, oddziela się dane użytkowe i sygnał nagłówka, który jest doprowadzany do detektora sygnału adresowego, wytwarzającego odpowiednie sygnały sterujące. Z sygnału danych użytkowych zostają z kolei wydzielone sygnały dźwięku i sygnały typu pakietu, na podstawie których (w odpowiednim układzie detektora) wytwarza się dalsze sygnały sterujące. Sygnały dźwięku natomiast przechodzą przez układy detekcji błędów, w których jest przeprowadzana analiza występowania błędów transmisyjnych i ich korekcja, oraz ewentualnie przez układy ekspansji z 10 bitów na 14 bitów. Następnie, podlegają one dekompresji w czasie oraz przetwarzaniu na sygnały analogowe.

Cyfrowe sygnały synchronizacji linii nadawane na wszystkich liniach wybierania obrazu oraz sygnały synchronizacji pola obrazu nadawane na 625 linii są doprowadzane na wejście generatora sygnałów synchronizujących, na którego wyjściu otrzymuje się analogowe sygnały synchronizujące linii wybierania i pola obrazu.



#### 4. SYSTEMY O POWIĘKSZONEJ ROZDZIELCZOŚCI OBRAZU

Pod pojęciem tym są rozumiane nowe systemy oparte na standardzie 625/50 i 525/60 o większym współczynniku kształtu i większej rozdzielczości odtwarzanego obrazu.

W literaturze [12, 49, 50, 75] można spotkać wiele propozycji takich systemów. Większość z nich stanowi ulepszenie analogowo-cyfrowych systemów transmisji składowych sygnału telewizji kolorowej z kompresją i zwielokrotnieniem w czasie (MAC). Są to tzw. systemy E-MAC, omówione w pkt. 3.8, zapewniające zwiększenie współczynnika kształtu oraz rozdzielczości odtwarzanego obrazu. Na podobnej zasadzie działa również japoński system TCI<sup>\*)</sup>, w którym sygnały luminancji i sygnały różnicowe kolorowości obrazu są skompresowane i zwielokrotnione w czasie, przy czym współczynniki kompresji są inne na liniach parzystych, a inne na nieparzystych. System ten został zaproponowany do transmisji sygnałów o dużej rozdzielczości obrazu, lecz jego koncepcja może być również wykorzystana w systemach o powiększonej rozdzielczości obrazu.

Bardziej skomplikowanym systemem, działającym również na zasadzie kompresji sygnałów, którego filozofia powstała dla systemu o zwiększonej rozdzielczości obrazu, a następnie została rozciągnięta na system o dużej rozdzielczości obrazu, jest zaproponowany przez North American Philips Corporation, system HD NTSC. Ponadto niektóre systemy o podwyższonej jakości obrazu (pkt. 2) umożliwiają stosunkowo łatwe przejście na systemy o zwiększonej definicji obrazu. Należą do nich również systemy kompatybilne z systemem NTSC, jak np. system SLSC, w którym można zwiększyć współczynnik kształtu do 5:3.

Natomiast w systemie VISTA zwiększenie współczynnika kształtu jest możliwe jedynie przy 10-procentowym zmniejszeniu liczby linii i wprowadzeniu dodatkowego sygnału o czasie trwania 4  $\mu$ s w okresie trwania impulsu wygaszania linii.

---

<sup>\*)</sup> TCI - Time Compressed Integration.

W Europie prace nad systemem o podwyższonej jakości obrazu (rozpoczęte w r. 1988) doprowadziły do opracowania systemu PAL Plus, kompatybilnego z systemem PAL, zapewniającego jednocześnie zwiększenie współczynnika kształtu i podwyższoną jakość obrazu [81]. W systemie tym obrazy są wytwarzane dla odbiorników z ekranem o formacie 16:9. Kompatybilność z systemem konwencjonalnym (obserwacja na odbiorniku o formacie 4:3) uzyskuje się tzw. metodą "letterbox" (skrzynka pocztowa), znaną z telewizji przy oglądaniu filmów szerokoekranowych.

Na ekranie 4:3 jest obserwowany cały obraz, ale przekazywany za pomocą mniejszej liczby linii, czyli o zmniejszonej rozdzielczości pionowej. Na dole i u góry ekranu występują zaś czarne pasy. W systemie PAL plus realizuje się to w następujący sposób. Z 575 czynnych linii wybierania (w systemie 625-liniowym) omija się co czwartą linię wybierania, a pozostałe dosuwa się do siebie. Wysokość obrazu zostaje wówczas zmniejszona w stosunku 3/4, co odpowiada przejściu z formatu 16:9 na format 4:3 przy niezmienionej szerokości obrazu. Ze 144 "opuszczonych" linii wybierania 72 linie są przesyłane w wolnej górnej części obrazu a 72 linie - w wolnej dolnej części obrazu. W odpowiednio "inteligentnym" odbiorniku 16:9 następuje wtedy przesunięcie tych linii w ich właściwe położenie i odtworzenie pełnego obrazu. Natomiast odbiornik konwencjonalny odbiera jedynie 431 linii w środku obrazu w formacie "letterbox". Zawartość opuszczonych 144 (2x72) linii wybierania należy tak przesłać, aby nie były one widoczne na ekranach odbiorników 4:3. Proponuje się więc przesyłanie ich w czasie trwania czarnych pasów (u góry i dołu obrazu) w zakresie podczerni z ograniczoną amplitudą.

Podwyższenie jakości obrazu w systemie PAL-Plus, polegające na przekazywaniu większej liczby szczegółów oraz eliminacji prześwitów pomiędzy sygnałami luminancji i chrominancji, uzyskuje się poprzez zastosowanie specjalnych cyfrowych filtrów trójwymiarowych w nadajniku oraz odbiorniku. Umożliwia to rozdzielenie sygnałów luminancji i chrominancji oraz

pozwała na przesyłanie pełnego pasma sygnału luminancji dla obrazów statycznych oraz obrazów z niewielkim ruchem. Dodatkowe informacje o rozdzielczości poziomej są przekazywane również w czasie przesyłania "opuszczonych" 144 linii wielokrotnione czasowo z informacjami przesyłanymi na tych liniach.

## WYKAZ LITERATURY

1. Alard M.: Distribution et diffusion terrestre en D2-MAC/Paquets. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 21, No. 96, 1987.
2. Anus M.M.: La strategie des industriels europeens de la reception pour de nouveaux services de television en Europe. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 21, No. 96, 1987.
3. Baier W.: Warc-Orb 83 erörtert eine Kelsahl von Rundfunksatelliten Problemen. NTZ, Bd. 42, H. 2, 1989.
4. Baldwin J.L.E.: Colour television standards for satellite applications. EBU Renew Technical, No. 197, 1983.
5. Barbieri G.: Sistema C-MAC a pacchetto per la radiodiffusione diretta da satellite. Electronica e Telecomunicazioni, n. 1, 1984.
6. Bourguignat E.: Bases psychovisuelles de l'amélioration des images. Radiodiffusion Télévision, Vol. 19, No. 88, 1985.
7. Cawthorne N.: DBS-A New Era Dawns International Broadcasting Systems and Operations. January 1986.
8. CCIR - Doc. 10-115/164 (period 1982-1986): Television standards for the broadcasting satellite service specification of the C-MAC/packet system. (EBU), 1985.
9. CCIR - Doc. 10-115/165 (period 1982-1986): Methods of conveying C-MAC/packet signals in small and large community antenna and cable networks installation. (EBU), 1985.
10. CCIR - Report 1073: Television standards for the Broadcasting satellite service, Geneva 1986.
11. CCIR - Report 1074: Satellite transmission of multiplexed analogue component (MAC) vision signals. Geneva 1986.
12. CCIR - Report 1077: Enhanced quality television systems. Geneva 1986.

13. Centre Commun d'Etudes de Telediffusion et Telecommunications: Specifications preliminaires du systems D2-MAC-paquets. 1984.
14. Chatel J.: Télévision á qualité améliorée : confinement spatiotemporel des spectres télévisuels. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 19; No. 89, 1985.
15. Colaitis M.J.: Télévision á qualité améliorée: fondements de la television améliorée. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 19, No. 89, 1985
16. Collins R.J., Wilson E.J.: DBS sound and data multiplex-new service possibilities. Tenth International Broadcasting Convention, Conference Publication, No. 240, Brighton 1984 (tium.).
17. Cominetti M., Garazzino G.: Televisione diretta da satellite. Sistema MAC-D a pacchetti. Elettronica e Telecomunicazioni, n. 5, 1987.
18. Deutrich J.: Weiterentwicklung zum Fernsehen erhöhter Bildqualität in Europa. NTZ, Z. 1, H. 7 1988.
19. Dosch C.: C-MAC/Paket-Normvorschlag der europäischen Rundfunkunion für den Satellitenrundfunk. Rundfunktechnische Mitteilungen, Z. 29, H. 1, 1985.
20. Dosch C.: D-und D2-MAC/Paket - die Mitglieder der Mac-Fernsehstandardfamilie mit geschlossener Basisbanddarstellung. Rundfunktechnische Mitteilungen, Z. 29, H. 5, 1985.
21. Dubois D., Giovachini M.: Chaîne de codage D2-MAC-Paquet. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 22, No. 101, 1988.
22. Duvic G., Le Bloch H.: Le système D2-MAC/Paquet chaîne d'émission et codeur d'image. Commutation Transmission, No. 2, 1988.
23. EBU - Com. T. 483: Notes on the choice and the format of the MAC vision coding system for DBS. 1983.

24. Eng K.Y.: Haskell B.G., Schmidt R.L.: Time-Compression Multiplexing (TCM) of Three Broadcast-Quality TV Signals on a Satellite Transponder. The Bell System Technical Journal, Vol.62, part 1, No. 10, 1983.
25. Farjaudon M.T.: Multiplexage temporel de composantes analogiques en production TV. Radiodiffusion-Télévision, Vol.19, No. 88, 1985.
26. Farjaudon T., Seutin R., Desmars M., Cazivassilio D., Gelly A.: T-MAC un systeme de transmission a qualite ameliorée. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 22, No. 101, 1988.
27. Favreau M.: La télévision améliorée: historique et position du problème. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 19, No. 88, 1985.
28. Feldman L.: Advanced television update. Via Satellite, March 1988.
29. Feldman L.: Improved Definition Television. Radio-Electronics, No. 1, 1989.
30. Fukinuki T.: Experiments on proposed extended - definition TV with full NTSC compatibility, SMPTE Journal, Vol. 93, No. 10, 1984.
31. Gaggioni H.P.: The Evolution of Video Technologies. IEEE Communications Magazine, Vol. 25, No. 11, 1987.
32. Gaudrel R.: Valot J.: Evaluation subjective de la qualite d'un signal D2-MAC/paquets en MA-BRL. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 22, No. 101, 1988.
33. Generator signalov sistemy D2-MAC/Packet TR-2064/L 346. Khiradaschtekhnika WNR.
34. Geneve R., Kohrs H.: Radiodiffusion directe de télévision par satellite: le systeme D2-MAC/paquets. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 18, No. 84, 1984.



35. Glenn W.E.: HDTV compatible transmission system. IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 33, 1987.
36. Graf P.H.: Die wichtigsten Eigenschaften der satelliten-Fernsehnorm. NTZ, Z. 39, H. 1, 1986.
37. Hessenmüller H.: Der Weg zu einer einheitlichen Farbfernsehnorm für Rundfunksatelliten in Europa. Der Fernmelde-Ingenieur, Z. 39, H. 8, 1985.
38. IEC - Doc. 126/secretariat/94: Review of the television standards for satellite broadcasting. 1986.
39. Iredale R.J.: A proposed for a new high-definition NTSC broadcast protocol. IEEE transactions on Consumer Electronics, Vol. CE-33, No. 1, 1987.
40. Iredale R.J.: High definition NTSC broadcast protocol. IEEE Transaction on Broadcasting, Vol. 33, 1987.
41. Keccker E.W.: High Definition and High Frame Rate Compatible NTSC. Broadcast Television system. IEEE Transaction on Broadcasting, Vol. 34, No. 3, 1988.
42. Kimura E., Ninomiya Y.: Telewizja podwyższonej rozdzielczości - system MAC. Tenth International Broadcasting Convention, Conference Publication, No. 240, Brighton 1984 (tłum.).
43. Krasilnikov H.H., Krasilnikova O.U.: Effektivnyj metod powyšenija kačestva izobraženij. Technika Kino i Televidenija, N<sup>o</sup> 1, 1989.
44. Lassalle R., Veillard J.: Le systeme D2-MAC/paquet et radiodiffusion par satellite. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 19, No. 89, 1985.
45. Lay R.W.: ABC backs NTSC - compatible improved TV. Light-wave, No. 10, 1988.
46. Leostic J.: Télévision á qualité améliorée: distribution de la télévision améliorée. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 19, No. 89, 1985.

47. Maksakov A.A., Sorokina T.G.: Puti postroenija sovmestimych sistem televidenija povysennoj cetskosti. Technika Kino i Televidenija, nr 10, 1987.
48. Mathieu M.M.: Apport des multiplex sons/donnees aux services de radiodiffusion. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 19, No. 88, 1985.
49. Matzel E., Ziemer A.: PAL plus and television production for new broadcasting standards. EBU Review, Technical, No. 239/240, 1990.
50. Melwig R.: NTSC - compatible approaches to HDTV. EBU Review Technical, No. 232, 1988.
51. Mertens H., Wood D.: Les normes proposees par L'UER pour la radiodiffusion par satellite et la distribution par cables. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 19, No. 90, 1985.
52. Mertens H., Wood D.: The C-MAC/packet system for direct satellite television. EBU Review Technical, No. 200, 1983.
53. Mertens H., Wood D.: The EBU C-MAC/Packet system for Direct Broadcasting by Satellite. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. SAC-3, No. 1, 1985.
54. Nasse D.: Télévision á qualité améliorée: traitement du signal en emagerie haute qualité. Radiodiffusion-Télévision, Vol. 19, No. 89, 1985.
55. Novakovskij S.V.: Problemnye voprosy sozdaniya sistemy vescatel'nogo televidenija potsennoj cetskosti. Technika Kino i Télévidenija, № 2, 1988.
56. Novakovskij S.V., Kotelnikov A.V., Maksakov A.A., Bezrukov V.N.: Osnovnye problemy sozdaniya televidenija povysennoj cetskosti. Technika kino i televidenija, № 1, 1986.
57. OIRT - Doc. TK-III-1951: Sravnenie sistem peredatchi sostavljajuschikh signala cvetnogo televidenija. PNR, 1986.
58. OIRT - Doc. TK-III-1959: Polosa tchastot signala iarkosti

- posle kompressii pri peredatchi sostavljajuschikh. cvetnogo televideniia. PNR, 1986.
59. Olimphant A.: The effect of transmission errors on sound signals in the MAC/packet family. EBU Review Technical, No. 216, 1986.
  60. O'Neil N.J., Avon P.A.: Rozsyłanie sygnału C-MAC w sieciach kablowych. Eleventh International Broadcasting Convention, Conference Publication, No. 286, Brighton 1986 (tłum.).
  61. O'Neil H.J., Avon P.A.: The distribution of C-MAC in cable systems. Cable Television Engineering, Vol. 13, No. 7, 1986.
  62. Pommier D.: Le systeme D2-MAC paquet pour tous les supports de transmission. Radiodiffusion Television, Vol. 18, No. 85, 1984.
  63. Powers K.H.: Kierunki rozwoju telewizji o podwyższonym standardzie w zakresie OBS, telewizji kablowej i innych nowych środków przekazu. Tenth International Broadcasting Convention, Conference Publication, No. 240, Brighton 1984 (tłum.).
  64. Powers E.H.: Techniques for Increasing the Picture Quality of NTSC Transmissions in Direct Satellite Broadcasting. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. SAC-3, No. 1, 1985.
  65. Roberts S.: The development of MAC training packages. Supplement to EBU Review Technical, No. 233, 1989.
  66. Roder H.F., Wellhausen H.W.: Vergleich bandbreitesparender Kanal codierungen für die Übertragung von digitalen Ton-und Datensignalen in Kabel netzen. Rundfunktechnische Mitteilungen, Z. 28, H. 6, 1984.
  67. Rosselević J.A., Ljapunov V.N., Borisov A.A., Korolev A.A., Novakovskij S.V., Bezrukov V.N., Polosin L.I.:

- Perspektivnye parametry sistemy televidenija vysokogo razrešenija. Technika Kino i Televidenija, nr 1, 1987.
68. Rzeszewski T.: Compatible HDTV broadcast systems. IEEE Trans on Broadcasting, Vol. 33, 1987.
  69. Rzeszewski T.: Video coding for EQTV distribution with a rate of approximately 135 Mb/S. IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 34, No. 1, 1988.
  70. Salvadorini R.: Sistema di televisione ad alta definizione compatibile con gli standard NTSC, PAL, SECAM. Elettronica e Telecomunicazioni, n. 3, 1988.
  71. Schönfelder H.: Farbfernsehen erhöhter Bildqualität durch Komponenten-Übertragungstechnik. Frequenz, Z. 41, H. 1/2, 1987.
  72. Scott B.G.: System component w ośrodku telewizyjnym: analogowy czy cyfrowy. Tenth International Broadcasting Convention, Conference Publication, No. 240, Brighton 1984 (tłum.).
  73. Sewter J.B., Wood D.: The evolution of the system for the EBU DBS standard. Tenth International Broadcasting Convention, Conference Publication, No. 240, Brighton 1984 (tłum.).
  74. Shelswell P.: The performance of C-MAC in a hardware simulation of a DBS transmission chain. EBU Review Technical, No. 212, 1985.
  75. Tan S.L., Jackson R.N.: Elastyczne kodowanie i dekodowanie dla telewizji podwyższonej jakości. Tenth International Broadcasting Convention, Conference Publication, No. 240, Brighton 1984 (tłum.).
  76. Tetzner K.: Eine neue Fernsehnorm und ihre Folge. ELO, H. 2, 1988.
  77. Teth A., Teinberg A.: Hierarchical evolution of high definition television. IEEE Transaction on Broadcasting, Vol. BC-33, No. 4, 1987.

78. Un premier programme en D2 MAC/PAQUET au Festival son et Image Video. L'Onde Electrique, Vol. 67, No. 3, 1987.
79. Video Tape Recordarg - cykl artykułów I.B.E., Vol. 17, No. 211, 1986.
80. Windram M.D., Tonge G.J., Hills R.C.: Le systeme d'emission D-MAC/paquets pour la radiodiffusion par satellite britannique. Revue de L'UER, No. 227, 1988.
81. Ziemer A., Matzel E.: PAL plus and television production for new broadcasting standards. EBU Review Technical, No. 239-240, 1990.

