

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
WARSZAWA-MIEDZESZYN

**PROBLEMY**

**ŁĄCZNOŚCI**

**132**

**1975**

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

---

# PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 15

WARSZAWA 1975

NR 132

---

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
Branżowy Ośrodek  
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

**Redakcja Problemów tączności**

---

**Redaktor Naczelny - mgr inż. Jerzy Rutkowski**

**Redaktorzy działów:**

**mgr inż. Władysław Cetner, doc. mgr inż. Adam Moniuszko**

**mgr inż. Józef Możejko**

**Adres Redakcji:**

**Instytut tączności**

**Branżowy Ośrodek**

**Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej**

**Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1**

**NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO**

**Redaktor: J. Borkowska**

**Montaż tekstu: B. Drabik**

---

**Dział Wydawniczy Instytutu tączności  
Format B5. Nakład 572. Wpłynęło do  
Działu Wydawniczego 12.02.1975 r.  
Druk ukończono w kwietniu 1975 r.**

# PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Lesław Kędzierski, Andrzej Kiełkiewicz

## KIERUNKI POSTĘPU TECHNICZNEGO W TELEWIZJI

### SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Telewizja bardzo wysokiej jakości	3
2.1. Rozważania ogólne	3
2.2. Określenie podstawowych parametrów systemu telewizji bardzo wysokiej jakości	6
2.3. Rozmiary i format obrazu	7
2.4. Analiza i synteza obrazu telewizyjnego bardzo wysokiej jakości	7
2.5. Transmisja sygnałów telewizji bardzo wysokiej jakości	13
2.6. Perspektywy rozwoju telewizji wysokiej jakości	14
3. Zastosowanie systemów cyfrowych w telewizji	14
3.1. Podstawowe cechy systemu cyfrowego	14
3.2. Transmisja sygnału wizyjnego systemem cyfrowym	18
3.3. Obecne zastosowania systemów cyfrowych w technice telewizyjnej	22
4. Satelitarna radiodyfuzja sygnałów telewizyjnych	27
4.1. Wykorzystywanie satelitarnej służby radiodyfuzyjnej	29
4.2. Zagadnienia techniczne satelitarnej radiodyfuzji sygnałów telewizyjnych	31
Wykaz literatury	43

## KIERUNKI POSTĘPU TECHNICZNEGO W TELEWIZJI

### 1. WSTĘP

Postęp techniczny w tak szybko rozwijającej się dziedzinie jak telekomunikacja, a w szczególności jak telewizja - może mieć na ogół dwojaki charakter.

Z jednej strony może to być postęp niejako "naturalny", wynikający przede wszystkim z szybkiego rozwoju elektroniki wprowadzającej ciągle nowe materiały, podzespoły czy elementy. Pozwala to na opracowywanie bardziej nowoczesnych konstrukcji o lepszych parametrach technicznych, które bądź ułatwiają procesy eksploatacyjne, bądź też podnoszą jakość usługi świadczonej obecnie przez telewizję.

Wykorzystywanie w telewizji postępu technicznego w elektronice pozwoliło na przykład wprowadzić odbiorniki telewizyjne drugiej generacji, oparte na dyskretnych elementach półprzewodnikowych, które wkrótce zostaną zastąpione przez odbiorniki trzeciej generacji oparte prawie całkowicie na obwodach scalonych.

Podobnie - pozytywne wyniki badań własności materiałów półprzewodnikowych pozwalają przewidywać wprowadzenie wkrótce na przykład nowych typów przetworników zarówno optyczno-elektrycznych, które zastąpią obecnie rozwiązania lamp analizujących, jak i elektryczno-optycznych zastępujących dzisiejsze kineskopy przez płaskie ekrany.

Wszystkie jednak tego rodzaju skutki postępu technicznego w dziedzinie telewizji nie zmieniają w zasadzie charakteru i rodzaju świadczonej usługi. Podstawowe bowiem cechy tej usługi, takie na przykład jak graniczna jakość odbieranego obrazu, która jest warunkowana eksploatowanym standardem telewizyjnym, rodzaj odtwarza-

nego obrazu czy też zasadnicze sposoby realizacji usługi pozostają najczęściej bez istotnych zmian.

Można jednak mówić i o innych kierunkach postępu technicznego w telewizji takich na przykład, które będą dotyczyły bądź zmiany rodzaju świadczonej usługi /np. wprowadzenie obrazów przestrzennych lub obrazów o bardzo wysokiej jakości nieosiągalnej w systemach obecnie eksploatowanych/ bądź też zasadniczej zmiany sposobów jej realizacji /a więc innych sposobów transmisji czy dyfuzji sygnałów telewizyjnych/.

Szczegółowe jednak omówienie obu wymienionych wyżej kierunków postępu techniki w dziedzinie telewizji nie jest raczej możliwe w ramach jednego, nawet większego artykułu. Ze względu na ograniczenie objętości nie wydaje się również celowe omawianie takich ewentualnych kierunków postępu techniki w telewizji, które mogą być zrealizowane dopiero w dalekiej perspektywie. Dotyczy to na przykład wykorzystania w telewizji holografii w celu uzyskania obrazów przestrzennych. Choć holografią zajmuje się obecnie bardzo wiele ośrodków badawczych w świecie, a właściwie nie ma prawie kraju nawet o średnim poziomie technicznym, w którym nie zajmowano by się tym zagadnieniem, to jednak badania idą głównie bądź w kierunku poznawczym, bądź też w kierunku jej zastosowań poza telewizyjnych. Wykorzystanie natomiast holografii w celu uzyskiwania przestrzennych obrazów telewizyjnych może nastąpić, zgodnie z obecną opinią specjalistów, dopiero w początkach XXI wieku lub najwcześniej w ostatnich latach obecnego wieku.

Dokonując więc wyboru kierunków postępu technicznego w telewizji, które będzie celowe omówić w niniejszym artykule, wydaje się, że należy ograniczyć się do takich zagadnień, które znajdują zastosowanie w eksploatacji telewizji programowej stosunkowo szybko /w okresie najwyżej kilkunastu lat/ oraz mają charakter zmieniający bądź rodzaj, bądź też dzisiejszy sposób realizacji usługi, zwanej telewizją.

Przyjmując takie założenia będzie więc niewątpliwie najlepiej oprzeć się na kierunkach postępu technicznego w telewizji, które zostały wprowadzone do tematyki badań wyspecjalizowanych organizacji międzynarodowych, a przede wszystkim do tematyki badań CCIR<sup>x/</sup> organu UIT<sup>xx/</sup>. W ramach 11 Komisji Studiów /Telewizja/ tej organizacji utworzono ostatnio nowe Programy Studiów, które dotyczą:

- a/ systemów telewizji bardzo wysokiej jakości,
- b/ telewizyjnych systemów cyfrowych,
- c/ systemów telewizji kablowej

oraz kilka lat wcześniej

- d/ systemów satelitarnej radiodifuzji sygnałów telewizyjnych.

Te właśnie kierunki postępu technicznego w telewizji /z wyjątkiem systemów telewizji kablowej, którym poświęcono osobny artykuł/ zostaną szerzej omówione w niniejszym artykule.

## 2. TELEWIZJA BARDZO WYSOKIEJ JAKOŚCI

### 2.1. Rozważania ogólne

Od nadania pierwszego, regularnego programu telewizyjnego upłynęło już około 40 lat, przy czym w tym okresie telewizja opanowała już praktycznie cały świat, stając się niezbędnym czynnikiem współczesnego życia.

Szybki rozwój telewizji datuje się od czasu wyprodukowania w latach trzydziestych naszego stulecia ikonoskopu - pierwszej telewizyjnej lampy analizującej. Ikonoskop umożliwił realizację systemów telewizyjnych całkowicie elektronowych, dzięki którym uzyskiwano obraz

---

<sup>x/</sup> Międzynarodowy Radiokomunikacyjny Komitet Doradczy /Comité Consultatif International des Radiocommunications/.

<sup>xx/</sup> Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny /Union Internationale des Télécommunications/.



o znacznie wyższej jakości od tej, jaką można było osiągnąć za pomocą stosowanych dotychczas mechanicznych urządzeń analizujących. W tym okresie szereg państw, jak Wielka Brytania, Francja, USA, Związek Radziecki i Niemcy podejmują nadawanie regularnych programów telewizyjnych.

Przerwane wybuchem drugiej wojny światowej prace nad rozwojem telewizji nabierają rozmachu zaraz po jej zakończeniu, zawdzięczając to wielkiemu postępowi w dziedzinie elektroniki i radiotechniki w okresie wojennym. W latach pięćdziesiątych następuje więc przyjęcie nowych, znacznie wyższych norm telewizyjnych: w USA zostaje ustalony standard 525-liniowy, a w Związku Radzieckim - 625-liniowy, który z niewielkimi modyfikacjami przyjmuje się powszechnie w całej Europie. Jedynie w Anglii utrzymuje się ustalony już przed wojną standard 405-liniowy, Francja zaś wprowadza standard 819-liniowy.

Ponieważ zarówno w W. Brytanii jak i we Francji przyjęto od 1967 r. standard 625-liniowy do nadawania programów telewizji kolorowej, ostatecznie więc ustabilizowały się na świecie praktycznie dwa standardy telewizyjne: 525-liniowy oraz 625-liniowy.

Po ustaleniu tych standardów obserwuje się w okresie ostatnich 20 lat bardzo szybki rozwój telewizji programowej. Rozbudowuje się sieci transmisyjne i nadawcze oraz produkuje się miliony odbiorników telewizyjnych. W chwili obecnej w wielu krajach, a zwłaszcza w krajach wysoko rozwiniętych, zakończono już budowę sieci nadawczych jednego lub dwóch programów telewizyjnych, uzyskując możliwości odbioru tych programów praktycznie na całym terenie danego kraju. W niektórych krajach realizuje się nawet sieć trzeciego i dalszych programów telewizyjnych.

Jednocześnie z rozbudową sieci nadawczej oraz wzrostem liczby odbiorców szybko postępują prace nad udoskonalaniem aparatury telewizyjnej. Zastosowanie w telewizji półprzewodników i układów scalonych oraz techniki obwodów drukowanych pozwoliło uzyskać urządzenia o bardzo wysokich parametrach jakościowych, odznaczające się przy tym dużą stabilnością i niezawodnością. Poprawa jakości technicznej



urządzeń telewizyjnych umożliwia stopniowe zaostrzanie wymagań na dopuszczalne zniekształcenia obrazu telewizyjnego, zarówno czarno-białego, jak i kolorowego. Można powiedzieć, że w chwili obecnej jakość obrazu telewizyjnego, jaką można uzyskać w dobrych warunkach nadawania i odbioru jest już bardzo zbliżona do granicy, jaką określają parametry przyjętych standardów telewizyjnych. Przez dalsze udoskonalanie aparatury nie uzyska się już raczej wyraźnie odczuwalnej poprawy jakości obrazu.

Wraz z rozpowszechnianiem się telewizji oraz poprawą jakości technicznej urządzeń nadawczych, transmisyjnych i odbiorczych występuje jako naturalny proces wzrost wymagań widza odnoszących się do jakości obrazu telewizyjnego. Przy obecnie stosowanych standardach telewizyjnych jakość obrazu, jaką można osiągnąć w warunkach praktycznych odpowiada jakości filmu amatorskiego 8 mm, jeśli idzie o ostrość obrazu, czyli zdolność odtwarzania drobnych jego szczegółów, a także krawędzi przedmiotów.

Wobec współczesnych wymagań, jak również w porównaniu z jakością dźwięku w radiofonii wysokiej jakości /Hi-Fi/, jakość obrazu telewizyjnego jest uznawana jako niewystarczająca zarówno dla programów szkoleniowych, jak i rozrywkowych. Obecnie zaczyna panować pogląd, że społeczeństwa w bliskiej przyszłości będą się domagać wprowadzenia systemu telewizyjnego, który umożliwi uzyskiwanie obrazu o jakości porównywalnej z jakością filmu 35 mm lub jakością odbitki fotograficznej. Uważa się również, że celem, który powinno się osiągnąć w dalszej przyszłości będzie wprowadzenie do eksploatacji systemu kolorowej telewizji przestrzennej.

Obecny stan techniki nie pozwala zresztą jeszcze na realizację systemu telewizji przestrzennej. Istniejące obecnie systemy telewizji stereoskopowej, zmuszające najczęściej do używania specjalnych okularów, nie mogą być uznane za nadające się do powszechnego zastosowania i zakres ich zastosowań jest ograniczony do celów specjalnych. Jako etap przejściowy do systemu kolorowej telewizji prze-

strzennej został więc uznany system telewizji bardzo wysokiej jakości z odtwarzaniem obrazu na ekranach o dużych rozmiarach.

## 2.2. Określenie podstawowych parametrów systemu telewizji bardzo wysokiej jakości

Rozdzielczość systemu telewizyjnego określająca maksymalną liczbę elementów obrazu telewizyjnego, jaką można uzyskać, jest głównie uzależniona od dwu podstawowych jego parametrów: liczby linii analizy obrazu oraz szerokości pasma częstotliwości wizyjnych. Odpowiednikiem tych parametrów w fotografii może być liczba linii na milimetr, przy której charakterystyka przenoszenia kontrastów spada do połowy swojej wartości maksymalnej. Jak potwierdzają liczne badania, jest to prawidłowy sposób oceny ostrości obrazu. Wyniki tych badań pozwalają stwierdzić, że obraz fotograficzny jest pod względem ostrości określany jako dobry, jeśli liczba linii na milimetr zawiera się w granicach od 8 do 22 /mierzone na przezroczu pozytywowym o rozmiarach 24 x 36 mm/.

Przyjmując te dane za podstawę określenia parametrów systemu telewizyjnego wysokiej jakości dochodzi się do wniosku, że powinien to być system o liczbie linii wybierania obrazu co najmniej 700 ± 900, a pożądana byłaby liczba rzędu 1500 ± 1800. Bardziej precyzyjne określenie wymagań wiąże się z przeprowadzeniem szczegółowych badań ostrości obrazu telewizyjnego, która nie zależy wyłącznie od liczby linii wybierania, ale również i od maksymalnego kontrastu obrazu, przebiegu charakterystyki przenoszenia kontrastów oraz struktury liniowej obrazu.

Zwiększenie ostrości obrazu, czyli zwiększenie liczby odtwarzanych jego elementów oznacza nie tylko wzrost liczby linii wybierania, ale też odpowiednie zwiększenie szerokości pasma częstotliwości wizyjnych. Ponieważ pomiędzy liczbą linii i odpowiadającą jej szerokością pasma częstotliwości występuje zależność kwadratowa,

więc szerokość pasma częstotliwości wymagana w systemie telewizyjnym bardzo wysokiej jakości będzie znacznie większa niż w obecnie stosowanych systemach. Istotnie w systemie 900-liniowym pasmo częstotliwości wizyjnych powinno wynosić około 12 MHz, zaś w systemie 1800-liniowym nawet 50 MHz.

### 2.3. Rozmiary i format obrazu

Jednym z założeń koncepcji systemu telewizji bardzo wysokiej jakości jest stworzenie warunków obserwacji obrazu podobnych do tych, które występują w kinie lub przy oglądaniu przezroczy za pomocą domowego rzutnika. W celu określenia optymalnych rozmiarów obrazu i jego formatu przeprowadzono badania warunków obserwacji obrazu z rzutnika przezroczy [1]. Przy badaniach tych ustalono odległość obserwacji na 2,5 m, co odpowiada przeciętnym warunkom mieszkaniowym. Wyniki badań wykazały, że najbardziej pożądanym jest stosunek szerokości do wysokości obrazu w granicach od  $5/3$  do  $2/1$ , przy wysokości obrazu od 0,5 do 1 m. Obserwacja obrazu w takich warunkach daje widzowi wrażenia wizualne bardziej realistyczne i o większym wyczuciu przestrzeni, niż to można osiągnąć na ekranach kineskopów stosowanych dotychczas.

### 2.4. Analiza i synteza obrazu telewizyjnego bardzo wysokiej jakości

Z przeprowadzonych wyżej rozważań wynika, że praktyczna realizacja systemu telewizji bardzo wysokiej jakości wiąże się z koniecznością rozwiązania wielu trudnych zagadnień technicznych. Pojawiają się tu bowiem zagadnienia analizy i syntezy obrazu o bardzo wysokiej definicji, a także zagadnienia transmisji sygnału wizyjnego o bardzo szerokim pasmie częstotliwości. Wyniki prowadzonych obecnie prac eksperymentalnych dają jednak nadzieję uzyskania zadowalających rozwiązań i wskazują kierunki, w jakich dalsze prace powinny być prowadzone.

Jeśli idzie o analizę obrazu zgodnie z parametrami znacznie przekraczającymi obecnie przyjęte, to występują tu dwa główne kierunki badań. Jednym z nich jest dążenie do osiągnięcia istotnej poprawy zdolności rozdzielczej lamp analizujących. Jak wiadomo, w obecnie stosowanych lampach analizujących zdolność rozdzielcza nie przekracza w najlepszych warunkach 600-800 linii. Jest to oczywiście za mało do osiągnięcia obrazu o jakości dorównującej jakości obrazu fotograficznego. Z ostatnich, skąpych zresztą, doniesień prasy technicznej wynika jednak, że udało się skonstruować lampę analizującą typu superortikon z wtórnym przewodnictwem elektronów, której zdolność rozdzielcza dochodzi do 1500-1800 linii. Eksperymentalna kamera telewizyjna wyposażona w taką lampę została zastosowana do zdjęć topograficznych, przy których jest wymagana wyjątkowo duża ostrość obrazu. Wyniki osiągnięte za pomocą tej kamery wydają się potwierdzać wysokie walory nowego typu lampy analizującej. Brak jednak dotychczas potwierdzeń o zastosowaniu tej lampy w telewizji programowej.

Drugim kierunkiem prac badawczych w tej dziedzinie jest wykorzystanie promienia laserowego do wybierania obrazu telewizyjnego. Badania są prowadzone zarówno nad zastosowaniem lasera do analizy obrazu, jak i do jego odtwarzania na ekranie o dużych rozmiarach. Lasery mają pod tym względem szereg interesujących zalet, a w szczególności:

- laser jest źródłem światła o bardzo dużym natężeniu promieniowania dającego się zogniskować za pomocą układu optycznego w plamkę świetlną o wyjątkowo małych rozmiarach. Zdolność promienia laserowego do ogniskowania odgrywa szczególnie istotną rolę przy wykorzystywaniu go do analizy obrazu metodą ruchomej plamki świetlnej, gdyż oznacza możliwość uzyskiwania wysokiej definicji obrazu. Wysoka intensywność światła jest również bardzo korzystna, gdyż przy analizie obrazu można dzięki temu uzyskiwać duży stosunek sygnału do szumu, a przy odtwarzaniu obrazu za pomocą promienia laserowego istnieje możliwość uzyskiwania znacznych luminancji ekranu o stosunkowo dużych rozmiarach;

- laser jest źródłem światła monochromatycznego o bardzo dużej czystości. Dzięki temu przez odpowiedni dobór kolorów promieniowania trzech laserów można uzyskiwać obraz kolorowy o bardzo dobrej wierności odtwarzania kolorów;
- odchylenie promienia laserowego uzyskuje się za pomocą precyzyjnych urządzeń optyczno-mechanicznych, które umożliwiają uzyskiwanie niemal idealnej linearności odchylenia, nieosiągalnej przy odchyleniu elektrycznym czy magnetycznym strumienia elektronowego;
- zastosowanie laserów eliminuje zagadnienia błędów zbieżności kolorów dzięki temu, że promienie trzech laserów dla kolorów R G B można z dużą dokładnością ustawić wzdłuż tej samej osi, co zapewnia im dokładnie takie same warunki odchylenia;
- przy stosowaniu lasera do analizy obrazu nie występuje zjawisko bezwładności charakterystyczne dla luminoforów.

Powyższe korzystne cechy laserów w zastosowaniu do telewizji skłoniły wiele laboratoriów badawczych do podjęcia eksperymentalnych konstrukcji urządzeń telewizyjnych z zastosowaniem laserów. Badania te dały już obecnie zadowalające wyniki i wykazały duże możliwości uzyskania dalszych udoskonaleń.

Jako przykład urządzenia telewizyjnego z wykorzystaniem lasera można podać opis urządzenia do rejestracji kolorowego obrazu telewizyjnego na taśmie filmowej, opracowanego w laboratoriach amerykańskiej organizacji telewizyjnej CBS [2]. Urządzenie zostało przystosowane do standardu 525-liniowego.

W opisywanym urządzeniu zastosowano dwa lasery gazowe, a mianowicie:

- laser helowo-neonowy /He-Ne/ dla koloru czerwonego, dający promieniowanie o długości 632,8 nm;
- jonowy laser argonowy, przy czym dla koloru zielonego wykorzystuje się prążek promieniowania o długości 514,5nm, zaś dla koloru niebieskiego - dość rzadko używany prążek 476,5 nm.

Taki dobór laserów i kolorów ich promieniowania ma ścisły związek z wyborem rodzaju taśmy filmowej. Uzyskano bowiem dobre dopasowanie kolorymetryczne promieniowania laserów do charakterystyki poszczególnych światłoczułych warstw taśmy filmowej. Uzyskano w ten sposób dobrą separację kolorów przy naświetlaniu taśmy. Moc promieniowania laserów jest wystarczająco duża, aby zapewnić w okienku filmowym duże natężenie światła. Umożliwia to stosowanie taśmy filmowej o stosunkowo małej czułości, lecz za to drobnoziarnistej. W sumie, pozwala to uzyskać istotny wzrost rozdzielczości rejestrowanego obrazu.

Schemat blokowy urządzenia rejestracyjnego podano na rys. 2.1<sup>x/</sup>. Promienie laserowe o kolorach podstawowych R,G,B modulowane sygnałami wizyjnymi R,G,B są za pomocą lusterek odbijających i lusterek dichroicznych precyzyjnie nakładane na siebie wzdłuż tej samej osi optycznej oraz kierowane do układu odchylającego. Odchylanie w kierunku poziomym z częstotliwością linii zapewnia wirujący stożek 24-ścienny napędzany silnikiem synchronicznym. Stożek został wykonany z berylu. Nierównomierność każdej z powierzchni odbijających nie przekracza ćwierci długości fali świetlnej, zaś różnica kąta pomiędzy sąsiednimi ściankami jest mniejsza od 2 sekund. Dzięki tak wysokiej dokładności wykonania stożka osiągnięto zniekształcenia odchylania linii mniejsze niż 0,01%.

Odchylanie w kierunku pionowym zapewnia galwanometr. Linearność odchylania lusterka galwanometru zależy od linearności przebiegu prądu płynącego przez galwanometr. Zniekształcenia w tym przypadku nie przekraczają 1%.

Dzięki starannie opracowanemu układowi optycznemu laserowego urządzenia rejestracyjnego uzyskano w płaszczyźnie okienka filmowego bardzo małe rozmiary plamki świetlnej, co odpowiada rozdzielczości obrazu telewizyjnego w kierunku poziomym równej 1500 linii.

---

<sup>x/</sup> Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

Do modulacji natężenia światła promienia laserowego zastosowano modulator krystaliczny /kryształ fosforanu amonu/. Układ sprzężenia zwrotnego zapewnia linearność charakterystyki modulacji /bez sprzężenia zwrotnego przebieg jest sinusoidalny/. W związku z tym sygnały wizyjne R,G,B doprowadzane do urządzenia muszą mieć skorygowany współczynnik gamma tak, aby jego wartość wynosiła 1,0.

Wyniki eksploatacyjne potwierdziły wysokie walory opisanego urządzenia i bardzo dobrą jakość rejestrowanego tym sposobem filmu kolorowego.

Urządzenia działające na tej samej zasadzie, co opisana wyżej, mogą być również stosowane do odtwarzania obrazu na ekranie. Od kilku lat są prowadzone w laboratoriach badawczych telewizji japońskiej NHK prace eksperymentalne nad konstrukcją laserowych urządzeń projekcyjnych [3]. W 1968 roku opracowano urządzenie Model 101 systemu 525-liniowego, a w roku 1970 - urządzenie Model 102 systemu 1125-liniowego. W następnym roku skonstruowano udoskonaloną wersję - Model 1010 - urządzenia systemu 525-liniowego.

Wyniki badań przeprowadzone na urządzeniach modelowych wykazały praktyczne możliwości uzyskania obrazu telewizyjnego wysokiej jakości o stosunkowo dużych rozmiarach. W badanych urządzeniach osiągnięto zdolność rozdzielczą w kierunku poziomym dochodzącą do 1500 linii.

Uzyskanie wysokiej zdolności rozdzielczej w laserowych systemach projekcyjnych zależy w głównej mierze od właściwego zaprojektowania układu optycznego. Przy ogniskowaniu za pomocą soczewki promienia lasera pracującego w układzie  $TEM_{00}$  /rys. 2.2/ skuteczna średnica plamki /średnica plamki w płaszczyźnie ogniskowania wyznaczona przez punkty o wartości  $1/e$  na krzywej Gaussa rozkładu natężenia promieniowania/ może być określona zależnością:

$$D_0 = \frac{2 \lambda}{\pi \theta_0} \quad /1/$$

gdzie  $\lambda$  - długość fali świetlnej.



Amplituda odchylenia promienia w płaszczyźnie ekranu wynosi:

$$l = 2d \operatorname{tg} \frac{\phi}{2} \quad /2/$$

Jeśli kąty  $\theta_0$  oraz  $\phi$  są dostatecznie małe, wówczas:

$$\theta_0 = \frac{D}{2d} \quad /3/$$

oraz

$$l = d\phi$$

Uwzględniając zależność /3/, skuteczną średnicę plamki można więc wyrazić przez:

$$D_0 = \frac{4d\lambda}{\pi D} \quad /4/$$

a stąd rozdzielczość obrazu określana w telewizji liczbą linii obrazu  $N_R$  wyniesie:

$$N_R = \frac{2l}{D_0} = \frac{\pi\phi D}{2} \quad /5/$$

Rozdzielczość obrazu jest więc w tym przypadku proporcjonalna do iloczynu  $\phi$  i  $D$ .

W celu uzyskania możliwie dużego zakresu odtwarzanych kolorów zastosowano w urządzeniach projekcyjnych następujące długości fali świetlnej kolorów podstawowych: czerwony - 632,8 nm /laser He-Ne/, zielony - 514,5 nm /jonowy laser argonowy/, niebieski - 476,5 nm /jonowy laser argonowy/. Taki dobór kolorów podstawowych urządzenia projekcyjnego daje dużą zgodność z przyjętymi w systemie NTSC parametrami kolorów podstawowych /rys. 2.3/.

Moc wyjściowa zastosowanych laserów jest zależna od wymaganej luminancji ekranu. W założeniu, że wartość ta ma wynosić 86 nitów na ekranie o powierzchni  $1 \text{ m}^2$  i przy 100% sprawności układu optycznego moc wyjściowa laserów, niezbędna do uzyskania równowagi kolo-

rów dla bielei odniesienia C, powinna wynosić: dla koloru czerwonego - 0,55 W, zielonego - 0,35 W oraz niebieskiego - 0,45 W.

W urządzeniu eksperymentalnym - Model 101 C, którego układ optyczny przedstawiono schematycznie na rys. 2.4 zastosowano dla koloru czerwonego laser He-Ne o mocy wyjściowej 50 mW. Przy tej stosunkowo małej mocy otrzymano na ekranie o rozmiarach 80 x 60 cm i przy ogólnej sprawności układu optycznego 20% luminancję o wartości 1,7 nita. Jest to oczywiście zbyt mało do normalnej obserwacji obrazu telewizyjnego. Powiększenie tej wartości do wymaganego poziomu można będzie w przyszłości osiągnąć na drodze zastosowania laserów o odpowiedniej mocy wyjściowej oraz poprawy sprawności układu optycznego.

## 2.5. Transmisja sygnałów telewizji bardzo wysokiej jakości

Sygnały telewizji bardzo wysokiej jakości mają, jak to podano wyżej, znacznie szersze pasmo częstotliwości, niż to jest przyjęte w obecnie eksploatowanych systemach telewizyjnych. Wynika stąd, że telewizja bardzo wysokiej jakości nie będzie mogła być realizowana w istniejących obecnie sieciach telewizyjnych i należy poszukiwać innych możliwości transmisji takich sygnałów. Jedną z tych możliwości jest wykorzystanie zakresu centymetrowych fal radiowych /zakres częstotliwości około 12 GHz/, w którym można osiągnąć bardzo duże szerokości wstęp bocznych modulacji rzędu kilkadziesiątu MHz. Obecnie prowadzone są badania nad praktycznym wykorzystaniem tego zakresu fal do celów telewizji. Zbadano już własności propagacyjne fal centymetrowych oraz opracowano odbiorcze układy antenowe. W NRF istnieje już nawet eksperymentalna sieć nadawcza pracująca w zakresie częstotliwości 12 GHz.

Innym sposobem transmisji sygnałów telewizji wysokiej jakości mogło by być wykorzystanie istniejących już obecnie w szeregu krajów i szybko się rozpowszechniających sieci telewizji kablowej. Są to systemy szerokopasmowe, obejmujące wiele standardowych kanałów

telewizyjnych, dające więc możliwości transmisji sygnałów o szerokości pasma częstotliwości dochodzącej do kilkudziesięciu MHz. Czytelników interesujących się bardziej zagadnieniami systemów telewizji przewodowej odsyłamy do Nr 119 /1974 r./ Problemów łączności, poświęconego całkowicie tej problematyce.

Istnieje także możliwość transmisji sygnałów telewizji bardzo wysokiej jakości za pośrednictwem laserowych linii optycznych i światłowodów. Technika ta szybko się obecnie rozwija.

Oprócz tego, wprowadzenie satelitarnej radiodyfuzji sygnałów telewizyjnych również umożliwi ewentualne jej wykorzystanie dla telewizji bardzo wysokiej jakości.

## 2.6. Perspektywy rozwoju telewizji wysokiej jakości

Z przeprowadzonych rozważań wynika, że przy obecnym stanie techniki istnieją już praktyczne podstawy realizacji systemu telewizji bardzo wysokiej jakości. Ponieważ jednak pozostaje nadal do rozwiązania wiele poważnych problemów technicznych i ekonomicznych, trudno więc przewidywać, w jakich kierunkach i w jakim tempie będzie się ona rozwijała. Jedno wydaje się pewne, że w najbliższej przyszłości będzie ona ograniczona do zastosowań specjalnych i będzie wykorzystywała odrębną sieć transmisyjną. Tym niemniej wydaje się, że już obecnie istnieją warunki do zajęcia się realizacją takiego systemu.

## 3. ZASTOSOWANIE SYSTEMÓW CYFROWYCH W TELEWIZJI

### 3.1. Podstawowe cechy systemu cyfrowego

Główną dziedziną zastosowań systemów cyfrowych stała się elektroniczna technika obliczeniowa. Jednak i w telekomunikacji w okresie ostatnich lat obserwuje się coraz szersze stosowanie systemów cyfrowych, przede wszystkim do celów transmisji. Wynika to stąd, że sygnał cyfrowy jest mało wrażliwy na zniekształcenia transmisyjne, a także na szumy i zakłócenia.

Istotą systemu cyfrowego jest przyporządkowanie każdej informacji określonej liczbie, wyrażonej w układzie dwójkowym. Stosując układ dwójkowy /binarny/ możemy każdą liczbę przedstawić jako sumę odpowiednich potęg liczby 2, np.  $1 = 2^0$ ,  $2 = 2^1$ ,  $3 = 2^0 + 2^1$ ,  $6 = 4 + 2 = 2^2 + 2^1$  itd. Do oznaczenia danej liczby w systemie cyfrowym stosujemy jedynie dwie cyfry, a mianowicie 0 i 1, zaś ich położenie /od lewej strony/ wskazuje na potęgę liczby dwa. Podane wyżej przykłady liczbowe zapisze się więc w postaci następującej: 1 jako 1, 2 jako 10, 3 jako 11, 6 jako 110 itd. Przyjęte w układzie dwójkowym cyfry 0 i 1 określa się nazwą bit /skrót od angielskiego "binary digit"/.

Przekazanie informacji systemem cyfrowym wymaga zastosowania tzw. kodu, przy czym liczba bitów tego kodu zależy od różnorodności informacji, jaką mamy przekazać. I tak na przykład kodem 1-bitowym można przekazać najprostszą informację: "jest" lub "brak", wyrażoną odpowiednio "1" lub "0", za pomocą kodu 2-bitowego istnieje już możliwość przekazania 4 różnych informacji jednostkowych /00, 01, 10 oraz 11/, kod 3-bitowy daje 8 różnych odpowiedzi itd. W tabelicy 1 przedstawiono niektóre liczby dziesiętne za pomocą kodu 6-bitowego. Zespół zawierający liczbę bitów równą przyjętej w kodzie tworzy tzw. wyraz.

T a b l i c a 1

<u>Liczba dziesiętna</u>	<u>Liczba w kodzie 6-bitowym</u>
0	000000
1 / $2^0$ /	000001
2 / $2^1$ /	000010
3 / $2^1 + 2^0$ /	000011
4 / $2^2$ /	000100
5 / $2^2 + 2^0$ /	000101
10 / $2^3 + 2^1$ /	001010
15 / $2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0$ /	001111
20 / $2^4 + 2^2$ /	010100
30 / $2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1$ /	011110
63 / $2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0$ /	111111

Przyjęty w systemie cyfrowym układ dwójkowy jest bardzo wygodny do przekazywania informacji za pomocą sygnału elektrycznego, przedstawiającego ciąg impulsów odpowiadających cyfrze "1" oraz przerw między nimi odpowiadających cyfrze "0" /rys. 3.1/. Impulsy mają stałą amplitudę, a więc sygnał może mieć jedynie jeden z dwóch możliwych poziomów. Oznacza to, że w danym momencie jest impuls albo go nie ma.

Ze względu na swoje podstawowe cechy sygnał cyfrowy odznacza się szeregiem zalet, a mianowicie:

- bardzo dużą odpornością na szumy /amplituda szumów może przekraczać nawet amplitudę sygnału użytecznego/,
- stosunkiem sygnału do szumu niezależnym od liczby kolejnych procesów,
- niewrażliwością na zmiany amplitudy,
- niewrażliwością na zniekształcenia nieliniarne,
- możliwością regeneracji sygnału,
- łatwością rejestracji sygnału.

Warunkiem prawidłowego odbioru sygnału cyfrowego jest zachowanie jego kształtu na tyle, aby można było odróżnić impulsy i przerwy pomiędzy nimi. Jest to bardzo ważnym atutem przemawiającym za stosowaniem transmisji sygnałów systemem cyfrowym, czyli tzw. systemem modulacji impulsowo-kodowej /PCM<sup>x/</sup>/

Kodowanie, czyli przekształcenie sygnału analogowego, z jakim mamy zazwyczaj do czynienia, na sygnał cyfrowy polega na przeprowadzeniu odpowiednich procesów w urządzeniu zwanym konwerterem analogowo-cyfrowym /ADC<sup>xx/</sup>/.

---

<sup>x/</sup>PCM - Pulse-code modulation.

<sup>xx/</sup>ADC - Analog-digital converter.

Pierwszą z czynności przy przemianie sygnału analogowego na cyfrowy jest tzw. kwantyzacja sygnału. Polega ona na tym, że całkowity zakres wartości, jakie może przybierać przemieniany sygnał dzieli się na pewną liczbę przedziałów, oznaczając je liczbami /np. od 0 do 7 przy 8 przedziałach/ /rys. 3.2/. Następnie, sygnał poddaje się próbkowaniu w określonych odstępach czasu. Wierzchołki poszczególnych próbek, odpowiadające kolejnym chwilowym wartościom próbkowanego napięcia znajdują się zatem w odpowiednich przedziałach. Informację o wysokości każdej próbki podaje się w postaci liczby całkowitej określającej przedział, do jakiego sięga dana próbka. Następną czynnością będzie zakodowanie informacji o wysokości próbek w postaci sygnału cyfrowego zawierającego ciąg wyrazów kodu dwójkowego /rys. 3.2b/.

Przy odbiorze sygnału cyfrowego należy przeprowadzić dekodowanie, czyli odtwarzanie pierwotnego sygnału analogowego. Czynność tę wykonuje konwerter cyfrowo-analogowy /DAC<sup>x/</sup>/. Następuje tu zamiana kolejnych wyrazów kodu na próbki sygnału analogowego o wysokościach odpowiadających określonym poziomom kwantyzacji /rys. 3.2c/.

Oczywiście; tak odtworzone próbki nie będą identyczne z próbkami pobranymi z przebiegu nadawanego, gdyż wszystkie próbki, których wierzchołki znajdują się przy kodowaniu w obrębie tego samego przedziału kwantyzacji zostaną określone tą samą liczbą /wyrazem kodu/, a więc przy dekodowaniu zostaną odtworzone wszystkie jako próbki tej samej wysokości. W związku z tym, każda odtworzona próbka będzie obciążona błędem, którego wartość będzie się zawierać pomiędzy zerem a połową przedziału kwantyzacji. Błąd ten można traktować jako dodatkowy, niepożądany sygnał tworzący tzw. szum kodowania lub szum kwantyzacji.

Zgodnie ze znaną teorią Shanona prawidłowe odtworzenie sygnału przy stosowaniu metody próbkowania wymaga stosowania częstotliwości

---

<sup>x/</sup>DAC - digital-analog converter.

próbkowania co najmniej dwukrotnie większej niż największa częstotliwość sygnału próbkowanego. Jak wspomniano wyżej, w systemie PCM informację o każdej próbce sygnału przesyła się w postaci określonej liczby bitów. Strumień informacji przesyłanych w ciągu sekundy będzie więc iloczynem częstotliwości próbkowania i liczby bitów przyjętego kodu cyfrowego. Jeśli przesyłamy systemem PCM np. sygnał o częstotliwości granicznej 1 MHz stosując przy tym kod 4-bitowy, to częstotliwość próbkowania powinna wynosić 2 MHz, zaś strumień informacji wyniesie  $2 \cdot 4 = 8$  Mbit/s.

Przesłanie takiej liczby informacji wymaga szerokości pasma częstotliwości kanału transmisyjnego co najmniej równej  $3/4$  liczby megabitów na sekundę, a więc w przytoczonym przykładzie pasma o szerokości 6 MHz. Nietrudno zauważyć, że zastosowanie kodu o większej liczbie bitów będzie się wiązało z proporcjonalnie szerszym pasmem częstotliwości niezbędnym do transmisji tego sygnału.

Z przeprowadzonych rozważań wynika więc, że przy transmisji sygnału cyfrowego jest wymagane znacznie szersze pasmo częstotliwości, niż przy transmisji sygnału analogowego. Jest to cena, jaką trzeba płacić za niewątpliwie zalety transmisyjne systemu PCM, a przede wszystkim za jego niewrażliwość na zniekształcenia i dużą odporność na szумы. Urządzenia do transmisji sygnału cyfrowego są oczywiście bardziej skomplikowane i rozbudowane ze względu na konieczność kodowania i dekodowania sygnału. Z drugiej jednak strony układy systemu cyfrowego odznaczają się dużą dokładnością pracy i niezawodnością działania, co znacznie ułatwia ich obsługę. Jest przy tym charakterystyczne, że urządzenia te nie mogą pracować dobrze albo źle. Istnieje bowiem tylko taka możliwość, że albo pracują, albo nie pracują.

### 3.2. Transmisja sygnału wizyjnego systemem cyfrowym

Zastosowanie techniki cyfrowej w telewizji wymaga przede wszystkim ustalenia podstawowych parametrów kodowania w taki sposób,



aby jakość obrazu telewizyjnego uzyskiwanego tą drogą nie ustępowała jakości, jaką można osiągnąć w systemie analogowym.

Najistotniejszym zagadnieniem jest tu ustalenie liczby przedziałów kwantyzacji sygnału wizyjnego. Jeśli sygnał wizyjny podda się procesowi kwantyzacji, wówczas na przykład przebieg luminancji od poziomu czerni do poziomu bieli o charakterze ciągłym zamieni się na przebieg o charakterze schodkowym /rys. 3.3/. Objawi się to na odtworzonym obrazie telewizyjnym jako skoki luminancji. Zjawisko to ilustrują fotografie obrazu telewizyjnego /rys. 3.4/ [4], z których pierwsza obrazuje efekt kwantyzacji na 8 poziomów /kod 3-bitowy/, druga zaś - na 16 poziomów /kod 4-bitowy/. Liczne badania dostrzegalności skoków luminancji będących wynikiem kwantyzacji sygnału wizyjnego wykazały, że stają się one niezauważalne przy 256 poziomach, co odpowiada kodowi 8-bitowemu.

Ponieważ pasmo częstotliwości sygnału wizyjnego w przyjętym w Polsce standardzie 625-linowym wynosi 6 MHz, częstotliwość próbkowania sygnału zgodnie z tym co było powiedziane wyżej powinna wynosić co najmniej 12 MHz. Jednakże stwierdzono, że w telewizji kolorowej uzyskuje się pewne korzyści przez podwyższenie częstotliwości próbkowania do wartości równej trzeciej harmonicznej częstotliwości nośnej chrominancji, a więc na przykład dla systemu PAL do częstotliwości 13,3 MHz.

Przyjmując dla sygnału wizyjnego kod 8-bitowy oraz częstotliwość próbkowania 13,3 MHz otrzymuje się strumień informacji równy  $13,3 \cdot 8 = 106,4$  Mbit/s. Szerokość kanału transmisyjnego zdolnego przenieść taką liczbę informacji powinna więc wynosić około 80 MHz. Jest to zatem szerokość znacznie przekraczająca szerokość kanału telewizyjnego użytkowanego obecnie do transmisji sygnału wizyjnego systemem analogowym.

Praktyczna realizacja systemu transmisyjnego będzie się wiązać w tym przypadku z rozwiązaniem co najmniej jednego z dwóch zagadnień:

- opracowania systemu transmisyjnego o szerokości pasma częstotliwości rzędu 80 Hz,
- ograniczenia strumienia informacji sygnału wizyjnego /przy zachowaniu jakości obrazu telewizyjnego/ do takiego stopnia, aby umożliwić transmisję za pomocą istniejących obecnie systemów transmisyjnych.

Możliwości transmisji sygnałów o szerokości pasma częstotliwości rzędu 80 MHz można by uzyskać przez wykorzystanie:

- fal zakresu centymetrowego,
- fal optycznych,
- światłowodów,
- falowodów,
- sieci telewizji kablowej.

Możliwości wykorzystania powyższych środków w celu transmisji sygnałów cyfrowych są obecnie w stadium badań eksperymentalnych. Można mieć przy tym nadzieję, że w najbliższej przyszłości uzyska się wyniki pozytywne, jeśli idzie o transmisję cyfrową sygnału wizyjnego.

Inna droga praktycznego rozwiązania transmisji sygnału wizyjnego systemem cyfrowym polega na ograniczeniu liczby transmitowanych informacji, co prowadzi do zawężenia pasma częstotliwości. Podstawową koncepcją rozwiązania jest tu usunięcie wszelkich zbędnych informacji, to znaczy nieistotnych dla prawidłowego odtwarzania obrazu telewizyjnego, a także usunięcie tych informacji, których można nie transmitować, lecz które będą następnie odtworzone po stronie odbiorczej.

Podstawowe parametry systemu telewizyjnego zostały ustalone w oparciu o własności wzroku ludzkiego. Zgodnie z tym można było ograniczyć liczbę obrazów nadawanych w ciągu jednej sekundy do 25, gdyż przy tej częstotliwości uzyskuje się już prawidłowe wrażenie ciągłości ruchu. Na podobnej zasadzie można było ustalić maksymal-

ną liczbę rozróżnialnych gradacji kontrastu oraz maksymalną liczbę elementów obrazu. Te trzy wielkości wyznaczają strumień informacji obrazu telewizyjnego /rys. 3.5/ [5]. Okazuje się jednak, że istnieją tu jeszcze poważne możliwości dalszego ograniczenia liczby informacji. Zwróćmy bowiem uwagę na związek pomiędzy prędkością ruchu a rozdzielczością gradacji kontrastów. Można stwierdzić, że pełna rozdzielczość gradacji jest wymagana jedynie przy obrazach nieruchomych i zmniejsza się przy wzroście prędkości ruchu. Istnieje przy tym zależność hiperboliczna pomiędzy tymi dwoma parametrami. Można podobnie wykazać, że im drobniejsze są szczegóły obrazu, tym mniej stopni gradacji kontrastu potrzeba do ich odtworzenia, a im prędkość ruchu przedmiotu większa, tym mniej szczegółów może on zawierać. Dochodzi się więc do wniosku, że rzeczywiście niezbędny strumień informacji, jaki jest zdolne przyjąć oko obserwatora jest znacznie mniejszy od strumienia przesyłanego. Z rysunku 3.5 wynika jasno, że tzw. zredukowany strumień informacji stanowi tylko niewielką część strumienia transmitowanego.

Realizacja koncepcji ograniczania strumienia informacji wymaga bardzo rozbudowanych i skomplikowanych urządzeń kodujących, z zastosowaniem detektorów ruchu w obrazie i detektorów wielkości płaszczyzn. Poza tym, istnieją jeszcze pewne związki psychofizjologiczne dotychczas niedostatecznie wyświetlone. Prowadzi się jednak prace badawcze nad znalezieniem praktycznych rozwiązań tego zagadnienia.

Opracowywane obecnie nowe systemy modulacji impulsowo-kodowej sygnału wizyjnego, realizujące w pewnym stopniu zasadę ograniczania strumienia informacji, opierają się o statystyczną analizę rozkładu amplitud sygnału wizyjnego. Analiza ta przeprowadzona przy użyciu maszyn matematycznych wykazała, że o ile rozkład amplitud jest w zasadzie równomierny, to rozkład różnic amplitud kolejnych elementów obrazu tworzy krzywą dzwonową wokół wartości zerowej. Zależność tę można wykorzystać tworząc za pomocą opóźnienia tzw. sygnał różnicowy. Przy transmisji stosuje się tu kod o mniejszej liczbie bitów dla

sygnałów często występujących, a dla rzadziej występujących - kod o większej liczbie bitów. Taki system transmisji nosi nazwę różnicowej modulacji kodowo-impulsowej /DPCM<sup>x/</sup>/.

Zasadę tworzenia różnic amplitud sygnału wizyjnego można stosować do sąsiednich elementów obrazu na tej samej linii wybierania lub na sąsiednich liniach i wówczas mamy do czynienia z systemem "wewnątrzpolowej różnicowej modulacji kodowo-impulsowej /Intraframe DPCM/. Można również stosować tę zasadę do elementów obrazu sąsiednich pól, co jest określane mianem międzypolowej różnicowej modulacji kodowo-impulsowej /Interframe DPCM/. Pierwszy z tych systemów może znaleźć zastosowanie w telewizji programowej, dając możliwość około trzykrotnej redukcji liczby bitów, natomiast drugi z nich, który daje około ośmiokrotną redukcję liczby bitów /z 16 Mbit/s do około 2 Mbit/s/ jest uważany za korzystny dla celów wizjotelefonii.

Wyniki badań jakości obrazu telewizyjnego, jaką się uzyskuje przy stosowaniu różnych systemów transmisji cyfrowej, przeprowadzone metodą symulacji tych systemów za pomocą maszyn matematycznych wykazały [6], że w linearnym systemie PCM uzyskuje się bardzo dobrą jakość odtwarzanego obrazu przy kodzie 8-bitowym. Stosowanie natomiast kodu 7-bitowego, a tym bardziej 6-bitowego daje już zauważalne pogorszenie jakości obrazu. W porównaniu z tym, różne systemy różnicowe umożliwiają uzyskiwanie jakości dobrej lub bardzo dobrej już przy kodzie 3-bitowym, co jest wyraźną ich zaletą, jeśli chodzi o ograniczanie strumienia informacji, a tym samym i szerokości pasma częstotliwości wymaganej przy transmisji.

### 3.3. Obecne zastosowania systemów cyfrowych w technice telewizyjnej

Rozważając możliwości wykorzystywania systemów cyfrowych w technice telewizyjnej należy mieć na uwadze zarówno korzyści, jakie one

---

<sup>x/</sup> DPCM - differential pulse code modulation.

dają, jak i trudności techniczne wynikające z ich wprowadzenia zamiast systemów analogowych. Prowadzone obecnie w tej dziedzinie prace badawcze mają przede wszystkim na celu ustalenie, jaki stopień wprowadzenia techniki cyfrowej do telewizji można uznać za korzystny z punktu widzenia technicznego i ekonomicznego. Inaczej mówiąc, najistotniejsze będzie tu ustalenie, do jakich procesów telewizyjnych jest korzystniej stosować system cyfrowy niż system analogowy. Istnieje tu szereg możliwości, a mianowicie:

- przemiana analogowego sygnału wizyjnego na system cyfrowy na wyjściu każdej lampy analizującej,
- przemiana analogowego sygnału wizyjnego na system cyfrowy na wyjściu ośrodka studyjnego,
- zastosowanie systemu cyfrowego w przypadkach specjalnych.

Pierwsza z tych możliwości oznacza, że wszystkie procesy, jakim podlega sygnał wizyjny po wytworzeniu go w lampie analizującej, a więc wzmocnienie, korekcja aperturowa, korekcja gamma, miksowanie, rejestracja itd., byłyby przeprowadzane w systemie cyfrowym. Można się tu spodziewać osiągnięcia pewnych korzyści, jak na przykład stabilności wzmocnienia. W niektórych jednak przypadkach mogą tu wystąpić bardzo duże trudności techniczne. Na przykład miksowanie wydaje się znacznie prostsze od wykonania w systemie analogowym niż w systemie cyfrowym. Należy się natomiast spodziewać osiągnięcia dużych korzyści w zastosowaniu systemu cyfrowego do rejestracji sygnału wizyjnego. Można by w tym przypadku uniknąć trudności związanych z nierównomiernością biegu taśmy oraz wielokrotnym kopiowaniem zapisu.

Realizacja drugiej z wymienionych możliwości ogranicza zastosowanie systemu cyfrowego do transmisji sygnału wizyjnego. Praktyczna realizacja tego zagadnienia wiąże się, jak to już wyjaśniono, z opracowaniem systemów transmisyjnych o dostatecznie dużej pojemności kanału, zdolnych do przeniesienia niezbędnego strumienia informacji.

Natomiast trzecia możliwość - stosowanie systemów cyfrowych w technice telewizyjnej w przypadkach specjalnych wydaje się przy obecnym stanie techniki najbardziej obecnie realna i zaczyna już być realizowana w praktyce.

Jedną z dziedzin, gdzie system cyfrowy już znalazł praktyczne zastosowanie jest mianowicie przetwarzanie standardów telewizyjnych. W laboratoriach badawczo-rozwojowych IBA /Independent Broadcasting Authority/ w W. Brytanii opracowano eksperymentalne urządzenia do przetwarzania standardów telewizyjnych w systemie cyfrowym. Jeden z typów tych urządzeń, prostszy w konstrukcji, jest przeznaczony do przetwarzania standardu 625-liniowego na 405-liniowy [7]. Jak wiadomo bowiem, w W. Brytanii wprowadzono kilka lat temu standard 625-liniowy do emisji programów telewizji kolorowej PAL w II programie telewizyjnym, natomiast w I programie nadal jest użytkowany standard 405-liniowy. Zachodzi więc konieczność przetwarzania na ten standard niektórych odcinków programu II. Drugi typ przetwornika standardów opracowany w laboratoriach IBA jest przystosowany do standardu wejściowego 525-linii/60 pól systemu NTSC /standard amerykański/ i daje na wyjściu sygnał wizyjny zgodny ze standardem 625 linii/50 pól obrazu systemu PAL lub SECAM [8]. Obecnie pracuje się nad stworzeniem także możliwości przetwarzania standardów w odwrotnym kierunku. Wyniki eksploatacji tych urządzeń wykazały, że różnica jakości obrazu na wejściu i wyjściu urządzenia, pomijając mało dostrzegalne efekty różnicy liczby linii i liczby pól obrazu, jest nierozróżnialna.

Innym przykładem praktycznego zastosowania techniki cyfrowej jest wprowadzony już w W. Brytanii do eksploatacji system zwany SIS /Sound-in-Syncs/ transmisji sygnału fonicznego w okresie impulsów synchronizacji linii [9]. Jak wynika ze schematu blokowego kodera /rys. 3.6/, sygnał foniczny zostaje tu poddany preemfazie, której zadaniem jest podnoszenie wzmocnienia powyżej częstotliwości 300 Hz o około 18 dB. Następnie dodaje się sygnał pilotujący związany z częstotliwością linii sygnału wizyjnego i całość poddaje odpowiedniej kompresji.

Wskutek działania kompresora sygnał pilotujący zostaje zmodulowany amplitudowo, dzięki czemu uzyskuje się możliwość kontroli działania ekspandera w dekodерze i eliminuje w ten sposób konieczność dopasowywania nieliniarnych charakterystyk.

Po kompresji sygnał foniczny jest próbkowany z częstotliwością równą podwójnej częstotliwości linii. Próbki sygnału są przekształcané w konwerterze analogowo-cyfrowym kodem 10-bitowym. Impulsy z dwóch sąsiednich próbek są kombinowane ze wzajemnym przeplataniem, aby uniknąć modulacji skrośnej sygnału cyfrowego do sygnału wizyjnego, przez zredukowanie do minimum zmian wartości średniej. Tak przygotowany sygnał cyfrowy zostaje wprowadzony do sygnału wizyjnego w okresach kolejnych impulsów synchronizacji linii /rys.3.7/. Impulsy sygnału fonicznego mają kształt impulsów typu  $\sin^2$  o szerokości w połowie wysokości równej  $182 \mu\text{s}$  i odstępem pomiędzy nimi również równym  $182 \mu\text{s}$ . Do tej grupy impulsów dodaje się jeszcze impuls markujący do synchronizacji urządzenia dekodującego.

Wszystkie operacje w koderze są synchronizowane z sygnałem wizyjnym za pomocą generatora impulsów czasu sterowanego sygnałem synchronizacji wyseparowanym z sygnału wizyjnego.

W dekodерze /rys. 3.8/ następuje rozdział wejściowego sygnału wizyjnego na trzy drogi: do separatora sygnału cyfrowego, do wzmacniacza stabilizującego sygnał synchronizacji oraz do separatora sygnału synchronizacji, który steruje, podobnie jak w koderze, generator impulsów czasu. We wzmacniaczu stabilizującym przeprowadza się stabilizację poziomu wygaszania oraz usuwa się wszelkie resztki sygnału fonicznego z impulsów synchronizacji. Separator sygnału cyfrowego wydziela impulsy sygnału fonicznego i obcina je w połowie wysokości. Następnie impulsy te przekształca się w konwerterze cyfrowo-analogowym na sygnał foniczny, z którego wydziela się sygnał pilotujący. Napięcie uzyskane z detekcji tego ostatniego wykorzystuje się do kontroli ekspandera, w którym następuje odtwarzanie pierwotnego zakresu dynamiki sygnału fonicznego. W końcu sygnał przechodzi przez układ upośledzania większych częstotliwości.



W opisanym systemie transmisji sygnału fonicznego uzyskuje się bardzo wysokie parametry jakościowe, a mianowicie:

- charakterystyka tłumieniowa

+ 0,7 dB w zakresie 40 Hz - 13,5 kHz

+ 3,0 dB w zakresie 20 Hz - 14 kHz

w odniesieniu do 1 kHz

- zniekształcenia nielinearne 0,25%

- stosunek sygnału do szumu ważonego 70 dB

System transmisyjny SIS jest już obecnie stosowany w sieci telewizyjnych linii radiowych Eurowizji, co pozwala uniknąć przesyłania sygnału dźwięku towarzyszącego inną drogą niż jest transmitowany sygnał wizyjny. Podobny system przesyłania dźwięku jest również stosowany przy transmisjach telewizyjnych za pośrednictwem satelitów "Mołnia" w systemie "Orbita".

Opracowywane są również inne systemy cyfrowej transmisji sygnału fonicznego, oparte na zbliżonej zasadzie działania i przeznaczone głównie do stosowania przy satelitarnej radiodyfuzji programów telewizyjnych.

Ostatnio w Wielkiej Brytanii prowadzone są przez BBC i IBA intensywne badania eksploatacyjne nowych cyfrowych systemów transmisji dodatkowych informacji w okresie nadawania programu telewizyjnego /system BBC - CEEFAX, system IBA - ORACLE/ [10]. Ideą obu tych systemów jest stworzenie możliwości odtwarzania na ekranie odbiornika telewizyjnego informacji w postaci tekstu, zawierających: aktualne wiadomości, wyniki rozgrywek sportowych, prognozy pogody, programy radiofonii i telewizji, ogłoszenia reklamowe itp.

Systemy te umożliwiają nadawanie 30 do 50 "stron" cyklicznie powtarzających się informacji, przy czym każda ze "stron" zawiera do 22 wierszy po 40 znaków, czyli około 120 słów.

Informacje są nadawane łącznie z sygnałem wizyjnym w postaci kodowanego sygnału cyfrowego umieszczonego w czynnym okresie wybiera-

nia jednej lub kilku linii w czasie wygaszania pola. Kod, według którego nadaje się te informacje, zależy od systemu transmisyjnego. I tak np. w systemie ORACLE opracowanym przez IBA nadaje się w okresie wybierania jednej linii dane dotyczące segmentu tekstu zawierającego do 10 znaków /tj. jednej czwartej wiersza pisanej informacji/ wraz z kodem adresowym /rys. 3.9/. Ponieważ cała "strona" danej informacji może zawierać 22 wiersze, do jej nadania więc potrzeba 88 linii wybierania, co przy częstotliwości pół równej 50 Hz zajmuje niecałe 2 sekundy. Nadawanie pełnego kompletu informacji /50 "stron"/ trwa prawie 2 minuty /w założeniu, że dane są przesyłane tylko na jednej linii wybierania obrazu w każdym polu/.

Odbiór tych informacji umożliwiła specjalna przystawka do odbiornika telewizyjnego /rys. 3.10/. Sygnał cyfrowy zawierający dodatkowe informacje jest w układzie separującym wydzielany z całkowitego sygnału wizyjnego i kierowany do układu pamięciowego, gdzie zostaje zarejestrowany. Za pomocą układu selektora abonent telewizyjny ma możliwość wyboru "strony" informacji, która go interesuje. Wybrane dane z układu pamięciowego zostają przez selektor przekazane do generatora znaków alfanumerycznych. Generator ten wytwarza sygnał wizyjny odpowiednich znaków pisaćskich, odtwarzanych w określonym miejscu na ekranie telewizyjnym. Istnieje możliwość odtwarzania tekstu informacji przez nałożenie ich na nadawany aktualnie obraz lub przy wygaszonym obrazie.

Zakłada się, że urządzenie odbiorcze pomimo dużego skomplikowania nie powinno być zbyt kosztowne. Przewiduje się, że przy masowej produkcji koszt takiej przystawki do odbiornika telewizyjnego /lub odpowiedniej modyfikacji wewnątrz odbiornika/ nie powinien przekraczać kwoty kilkudziesięciu funtów szterlingów.

#### 4. SATELITARNA RADIODYFUZJA SYGNAŁÓW TELEWIZYJNYCH

Wykorzystywanie satelitów Ziemi do międzykontynentalnej transmisji sygnałów telefonicznych, radiofonicznych oraz telewizyjnych, jak

również wykorzystywanie tej techniki do wielu innych celów spowodowało zainteresowanie się specjalistów telekomunikacji wykorzystaniem techniki satelitarnej również do bezpośredniej radiodifuzji sygnałów radiofonicznych i telewizyjnych.

Satelita umieszczony bowiem na przykład na orbicie geostacjonarnej, a więc w odległości około 36000 km od Ziemi, będzie miał czas obrotu wokół niej równy czasowi obrotu Ziemi wokół własnej osi obrotu. Wskutek tego będzie się on wydawał nieruchomy w stosunku do określonego punktu na powierzchni Ziemi. Sygnały przychodzące od satelity będą więc mogły być odbierane przez stosunkowo proste nieruchome anteny abonenckie.

Przy wykorzystywaniu satelity do celów radiodifuzji sygnałów telewizyjnych /czy ewentualnie radiofonicznych/ naziemny nadajnik za pomocą kierunkowej anteny nadawczej emituje w kierunku satelity sygnały programu telewizyjnego /czy radiofonicznego/. Sygnały te odebrane przez odbiorczą antenę satelity zostają z kolei retransmitowane w kierunku Ziemi za pomocą nadajnika i anteny nadawczej umieszczonych na satelicie. Ze względu na bardzo dużą wysokość umieszczenia anteny nadawczej sygnały emitowane przez satelitę będą mogły, w zależności od szerokości wiązki promieniowania anteny, pokrywać nawet bardzo duże obszary Ziemi.

Wprowadzenie do eksploatacji satelitarnej radiodifuzji sygnałów telewizyjnych wymaga oczywiście rozwiązania szeregu problemów technicznych uzupełniających dotychczasowy stan wiedzy uzyskany przy organizacji i eksploatacji satelitarnej służby telekomunikacyjnej, a także innych służb wykorzystujących satelitę. W ramach 11 Komisji Studiów CCIR opracowano ostatnio obszernie Sprawozdanie ujęte w dok. 11/1047 [11], w którym zebrano materiały techniczne mogące być przydatne przy uruchamianiu takiej służby. Są one oparte o dotychczasowy stan wiedzy w dziedzinie techniki satelitarnej, o szereg dodatkowych badań przeprowadzonych dla potrzeb radiodifuzji satelitarnej oraz o rozważania teoretyczne. Uważa się je jednak jedynie jako materiały orientacyjne, gdyż doświadczenie, jakie się uzyskuje po uru-

chomieniu radiodyfuzji satelitarnej doprowadzi bez wątpienia do konieczności wprowadzenia wielu zmian, jak również i uzupełnienia materiałów, jakimi się dziś dysponuje.

#### 4.1. Wykorzystywanie satelitarnej służby radiodyfuzyjnej

Zalety satelitarnej radiodyfuzji sygnałów telewizyjnych, a przede wszystkim łatwość pokrywania dużych obszarów Ziemi programem telewizyjnym musiałby oczywiście spowodować w organizacjach telewizyjnych chęć wykorzystywania tej techniki przede wszystkim dla telewizji programowej. Jest to tym bardziej nęcące, że istnieją możliwości pokrywania dużego obszaru Ziemi nie tylko jednym, lecz jednocześnie wieloma programami, a także przy stosowaniu odrębnych anten na satelicie w celu pokrywania tym samym programem różnych obszarów Ziemi.

W praktyce jednak organizacja satelitarnej służby radiodyfuzyjnej telewizji programowej może napotykać poważne trudności przede wszystkim charakteru pozatechnicznego, przy czym znaczenie tych trudności może być różne w zależności od rozmiarów kraju, rozkładu gęstości zaludnienia, stanu rozwoju telewizji w kraju, jego położenia geograficznego i in.

Jeśli bowiem wziąć pod uwagę na przykład kraj bardzo rozległy, lecz jednocześnie znajdujący się jeszcze w początkowym etapie rozwoju telewizji, a więc nie mający rozbudowanej sieci telewizyjnej, to uruchomienie radiodyfuzyjnej służby satelitarnej będzie bez wątpienia korzystne chociażby z ekonomicznego punktu widzenia. Za pomocą bowiem najwyżej kilku nadajników umieszczonych na satelitach będzie można pokryć praktycznie cały kraj zasięgiem odbioru telewizyjnego i to nawet kilkoma programami. Budowa natomiast wieloprogramowej sieci nadajników naziemnych wraz z siecią łączących je linii radiowych trwałaby niewspółmiernie dłużej, wymagała do jej eksploatacji licznego, fachowego personelu i kosztowała znacznie drożej.

Odwrotnie, w kraju o średniej wielkości, w którym telewizja została już dawno wprowadzona, przy czym uzyskano już pokrycie terytorium kraju kilkoma programami telewizyjnymi, potrzeba szybkiego uruchomienia satelitarnej radiodifuzji sygnałów telewizji programowej może nie znajdować uzasadnienia technicznego czy też ekonomicznego. Oprócz tego, na kontynentach takich jak np. Europa, gdzie mamy do czynienia z wieloma krajami o terytoriach niezbyt wielkich lub nawet małych występują dodatkowe trudności przy uruchamianiu tego rodzaju służby. Chcąc mianowicie umożliwić odbiór sygnałów telewizyjnych na całym terytorium kraju nie będzie ze względów technicznych możliwe uniknięcie "naświetlania" również co najmniej części powierzchni krajów sąsiadujących. Nie ma bowiem możliwości technicznych takiego ukształtowania charakterystyki promieniowania anteny satelity, aby dopasować się do kształtu terytorium kraju.

Nie kontrolowany odbiór programu telewizyjnego produkowanego w kraju sąsiadującym może jednak w wielu przypadkach wywoływać sprzeciw natury zarówno politycznej, jak i ekonomicznej.

Sprzeciw charakteru politycznego może wywoływać obawa przed propagandą polityczną zawartą w emitowanych programach, natomiast sprzeciw natury ekonomicznej może z kolei wywoływać możliwość bezpłatnego korzystania z produkowanych, kosztownych programów telewizyjnych. Obawy takie są wysuwane przez niektórych fachowców, którzy uważają, że pokonanie tych trudności pozatechnicznych, w szczególności na terytorium Europy, może być znacznie trudniejsze niż pokonanie trudności technicznych przy uruchomieniu telewizyjnej radiodifuzji satelitarnej. Większość bowiem problemów technicznych jest już w zasadzie rozwiązana.

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione wyżej aspekty satelitarnej radiodifuzji sygnałów telewizji programowej przewiduje się, że najprawdopodobniej służba taka zostanie w pierwszej kolejności uruchomiona w krajach terytorialnie bardzo rozległych, w których telewizja programowa znajduje się jeszcze w początkowym etapie rozwoju. Jako przykład można tu podać Indie, które jako pierwszy kraj

już w najbliższym czasie planują uruchomienie takiej służby. Ten rodzaj radiodiffuzji sygnałów telewizyjnych może być również bardzo interesujący, na przykład dla rozwijających się krajów afrykańskich.

Satelitarna radiodiffuzja sygnałów telewizyjnych będzie także stosunkowo szybko wprowadzana w szeregu bardzo dużych terytorialnie krajów, jak na przykład Stany Zjednoczone A.P., Kanada czy Brazylia, w których wielkie obszary kraju są bardzo słabo zaludnione /np. centralna część Stanów Zjednoczonych/. Pokrywanie tych obszarów kraju w szczególności wieloma programami telewizyjnymi nie jest uzasadnione z ekonomicznego punktu widzenia. Wprowadzenie natomiast radiodiffuzji satelitarnej umożliwi w sposób ekonomiczny dostarczenie programów telewizyjnych tej prócentowo małej części społeczeństwa.

Dla niektórych krajów o podobnej strukturze zaludnienia często znacznie ważniejsze od możliwości korzystania z telewizji programowej jest dostarczenie programów edukacyjnych. Na ten rodzaj szkolenia kładzie specjalny nacisk szereg krajów, tworząc nawet wydzielone sieci telewizyjne przeznaczone wyłącznie do celów edukacyjnych. Na przykład w Stanach Zjednoczonych A.P. do tego celu usiłowano już wykorzystywać tzw. stratowizję. W takim systemie nadajnik telewizyjny łącznie z urządzeniami z zarejestrowanym programem szkoleniowym umieszczano na samolocie krążącym na znacznej wysokości po obwodzie o małej średnicy. Ze względu na dużą wysokość zawieszenia anteny nadawczej umieszczonej na samolocie nadajnik pokrywał wielokrotnie większą powierzchnię niż odpowiedni naziemny nadajnik telewizyjny.

W obecnym okresie stratowizja może być zastąpiona w sposób znacznie bardziej skuteczny przez radiodiffuzję satelitarną.

## 4.2. Zagadnienia techniczne satelitarnej radiodiffuzji sygnałów telewizyjnych

### 4.2.1. Jakość odbieranego obrazu i czynniki na nią wpływające

Jakość odbieranego obrazu telewizyjnego przy nadawaniu go przez satelitę będzie oczywiście zależna, jak i przy innych sposobach do-

przewodzenia sygnału do odbiornika, od stosunku sygnału użytecznego do szumu, poziomu i rodzaju zakłóceń oraz poziomu zniekształceń występujących w torze transmisyjnym.

W skład toru transmisyjnego w przypadku radiodyfuzji satelitarnej wchodzi: studio ośrodka programowego, naziemny odcinek transmisyjny pomiędzy ośrodkiem programowym i stacją nadającą sygnały do satelity, trasa sygnału pomiędzy naziemnym nadajnikiem i odbiornikiem satelity, nadajnik satelity, trasa sygnału pomiędzy satelitą i naziemną anteną odbiorczą oraz abonencki odbiornik telewizyjny.

Czynnikiem szczególnie ważnym dla dobrej jakości odbieranego obrazu jest uzyskanie dostatecznie dużego stosunku sygnału użytecznego do szumu przy częstotliwościach wizyjnych, który w telewizji jest określany jako stosunek /wyrażany w dB/ nominalnej międzyszczytowej wartości amplitudy sygnału luminancji do skutecznej wartości szumu występującego w całym zakresie częstotliwości wizyjnych.

W przypadku radiodyfuzji przy użyciu nadajników naziemnych poziom szumu wzrasta, a więc i jakość obrazu maleje przy oddalaniu się od stacji nadawczej. Przy radiodyfuzji satelitarnej jakość obrazu może być natomiast w przybliżeniu jednakowa na całym obsługiwany obszarze. Zakłada się przy tym, że jakość ta nie powinna być gorsza niż jakość uznawana za odpowiednią dla odbioru indywidualnego w systemach radiodyfuzji naziemnej. Przewiduje się jednocześnie potrzebę uzyskiwania wyższej jakości obrazu dla przypadków odbioru zbiorowego, aby móc zaspokoić specjalne wymagania stawiane w szczególności przez programy szkoleniowe.

Subiektywne wrażenie szumu występującego w obrazie zależy oczywiście od spektralnego rozkładu energii tego szumu w pasmie częstotliwości wizyjnych. W celu uwzględnienia tego efektu przy pomiarach stosunku sygnału do szumu w telewizji czarno-białej stosuje się, jak wiadomo, tzw. filtry ważkości, uzyskując lepszą zgodność wyników pomiarów z subiektywnym wrażeniem szumów występujących w obrazie. Określenie subiektywnego wrażenia szumu w obrazie kolorowym wymaga jednak jeszcze przeprowadzenia dodatkowych badań. Nie ma jeszcze



przy tym w ogóle jednolitego poglądu na wymaganą wartość stosunku sygnału użytecznego do szumu i wskutek tego dla różnych standardów i systemów telewizyjnych są proponowane wartości nieco różniące się i inaczej definiowane. Dla standardu 625-liniowego proponuje się trzy podstawowe klasy jakości obrazu [11], a mianowicie:

- klasa I - obraz o jakości doskonałej, odtwarzany na ekranie o rozmiarze dowolnym. Przy oglądaniu obrazu z odległości równej 5 do 6 wysokościom ekranu szумы mogą występować na granicy ich dostrzegalności;
- klasa II - obraz o jakości bardzo dobrej, odtwarzany na ekranie o rozmiarze średnim lub małym. Szумы są tu dostrzegalne, ale nie zakłócają one obrazu, ani też nie wywołują reakcji ze strony widzów;
- klasa III - obraz jest jeszcze dobry na ekranie taniego odbiornika telewizyjnego z małym ekranem. Szумы są tu wyraźnie dostrzegalne, ale zakłócają obraz w stopniu dopuszczalnym.

Dla tak ustalonych klas jakości obrazu telewizyjnego przewiduje się następujące wartości stosunku sygnału użytecznego do szumu.

Klasa jakości	I	II	III
Stosunek amplitudy sygnału obrazu do średniej kwadratowej wartości szumu ważonego, występujący na elektrodzie sterującej lampy obrazowej	46 dB	39 dB	32 dB
Stosunek sygnału nośnej /wartość skuteczna dla szczytów synchronizacji/ do szumu na wejściu odbiornika	44 dB	37 dB	30 dB

Ogólna jakość obrazu na ekranie odbiornika, jaką się uzyskuje przy radiodyfuzji satelitarnej, oprócz poziomu szumów i zakłóceń będzie również zależec od poziomu zniekształceń, jakie występują w poszczególnych członach toru transmisyjnego.

Na przykład dla telewizji kolorowej typowe wartości zniekształceń, jakie są osiągalne przy obecnym poziomie techniki, są następujące [11]:

	Faza różnicowa	Wzmocnienie różnicowe	Różnica wzmocnienia sygnału luminancji i chrominancji	Różnica czasu transmisji sygnału luminancji i chrominancji
Studio ośrodka programowego	$\pm 5^\circ$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10$ ns
Naziemna linia transmisyjna	$\pm 5^\circ$	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$	$\pm 50$ ns
Urządzenia satelity	$\pm 5^\circ$	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$	$\pm 50$ ns
Odbiornik /dla modulacji częstotliwościowej/	$\pm 10^\circ$	$\pm 15\%$	zakłada się kompensację zniekształcenia przez ręczną regulację sygnału chrominancji	$\pm 100$ ns

Wszystkie podane wyżej wartości ulegają zmianom statystycznym, jednak nie są w praktyce przekraczane co najmniej przez 80% czasu w dowolnym miesiącu.

Przy zachowaniu takich poziomów zniekształceń oraz przy dostatecznie dużym stosunku sygnał/szum ogólna jakość obrazu kolorowego np. w systemie PAL będzie oceniana jako dość dobra. Dla innych systemów brak jest jednak jeszcze danych.

#### 4.2.2. Zakresy częstotliwości dla satelitarnej radiodyfuzji sygnałów telewizyjnych

Dla satelitarnej radiodyfuzji sygnałów telewizyjnych przewiduje się wykorzystywanie górnej części zakresu fal decymetrowych /zakres 9/ i dolnej części zakresu fal centymetrowych /zakres 10/, a w szczególności częstotliwości około 700 MHz, 2600 i 12000 MHz.

Wynika to z własności propagacyjnych tych fal. Przy częstotliwościach mniejszych bowiem ich absorpcja jonosferyczna i zjawisko scyncylacji troposferycznej obniżają jakość transmisji [12], a przy częstotliwościach większych absorpcja wywołana elementami składowymi atmosfery, a w szczególności parą wodną i tlenem, jak również tłumienia powodowane przez deszcz, mgłę i chmury stają się już bardzo duże. Wpływ scyncylacji troposferycznej nie jest zresztą duży dla tras propagacji o kącie elewacji większym niż około  $5^{\circ}$ . Wpływy jonosfery stają się natomiast pomijalne dla częstotliwości znacznie większych od częstotliwości odpowiadających falom metrowym, za wyjątkiem zaników wywoływanych efektem Faradaya, z którymi należy się liczyć aż do częstotliwości około 3 GHz.

W większości przypadków można jednak uniknąć zaników, stosując polaryzację kołową fali promieniowanej. Ma to jeszcze tę zaletę, że stosowanie fali spolaryzowanej kołowo zmniejsza wpływ propagacji wielodrogowej, która także może obniżyć jakość odbieranego obrazu.

Podane wyżej częstotliwości są również korzystne ze względu na zakłócenia przemysłowe, jak i pochodzące ze źródeł naturalnych. Chociaż nie ma jeszcze wystarczających informacji dotyczących zależności pomiędzy poziomem zakłóceń przemysłowych występujących na zaciskach anteny odbiorczej a kierunkiem ich przychodzenia, polaryzacją, częstotliwością, wysokością anteny i innymi, to jednak można ogólnie powiedzieć, że zarówno zakłócenia przemysłowe jak i pochodzące ze źródeł naturalnych osiągają pewne minimum dla dolnych częstotliwości zakresu 10 i dla częstotliwości obejmujących większą część zakresu 9.

Z częstotliwości przewidywanych dla satelitarnej radiodifuzji sygnałów telewizyjnych najwięcej zwolenników ma zakres częstotliwości około 12 GHz. Realizacja bowiem tej służby na częstotliwości około 700 MHz może napotykać trudności. Dla tych częstotliwości anteny zarówno nadawcze jak i odbiorcze mają stosunkowo duże rozmiary przy stosunkowo niezbyt dużym zysku antenowym. Prowadzi to do konieczności stosowania dość znacznych mocy nadajników satelity często trudnych jeszcze do osiągnięcia w obecnych warunkach. Stosowanie częstotliwości w tym zakresie może mieć jedną zaletę. Przy przyjęciu bowiem takich samych parametrów sygnału emitowanego jak w nadajnikach naziemnych mogłyby być w zasadzie wykorzystywane typowe, obecnie produkowane odbiorniki telewizyjne. Wybierając natomiast pozostałe częstotliwości, trzeba będzie stosować bądź inne odbiorniki, bądź co najmniej odpowiednie przetworniki do odbiorników istniejących.

Wykorzystywanie natomiast zakresu 12 GHz pozwala na stosowanie odbiorczych anten parabolicznych o małych stosunkowo rozmiarach /np. o średnicy 75 - 100 cm/, lecz o znacznym zysku i bardzo dobrej kierunkowości.

Należy pamiętać, że omawiane częstotliwości są lub będą również wykorzystywane przez służby naziemne, które powinny być chronione przed zakłóceniami wywoływanymi przez radiodifuzję satelitarną. Prowadzi to do konieczności ograniczania gęstości strumienia mocy na powierzchni Ziemi i stosowania anten odbiorczych o dużym zysku i bardzo dobrej kierunkowości dla eliminacji sygnałów zakłócających.

#### 4.2.3. Dane dotyczące sygnału emitowanego przez satelitę radiodifuzyjnego

Przy ustalaniu parametrów sygnału emitowanego przez satelitę radiodifuzyjnego można, w zasadzie, iść trzema drogami [11]:

- przyjęć takie same parametry, jakie są stosowane w danym obszarze geograficznym przez naziemną służbę radiodifuzyjną, co po-

zwala wykorzystywać istniejące, typowe odbiorniki telewizyjne:

- ustalić inne niż w służbie naziemnej parametry techniczne sygnału emitowanego przez satelitę i opracować urządzenia przetwarzające sygnał emitowany przez satelitę na sygnał standardowy, umożliwiający wykorzystanie typowych odbiorników telewizyjnych;
- ustalić inne niż w służbie naziemnej parametry techniczne sygnału emitowanego przez satelitę i opracować odbiorniki telewizyjne specjalnie przeznaczone do odbioru sygnałów telewizyjnej radiodifuzji satelitarnej.

Pierwsze rozwiązanie może być przyjęte przy wyborze częstotliwości emisji satelitarnej w paśmie około 700 MHz, gdyż są to częstotliwości leżące w V zakresie częstotliwości stosowanym w telewizji programowej, a nowoczesne, obecnie produkowane odbiorniki telewizyjne są lub mogą być przystosowane do odbioru sygnałów tego zakresu częstotliwości. Stosowanie jednak modulacji amplitudowej zostało uznane za technicznie niecelowe, gdyż wymaga stosowania na satelitach nadajników dużej mocy.

Pozostałe częstotliwości nie są jeszcze wykorzystywane przez naziemne nadajniki telewizyjne. Nie są więc również produkowane odbiorniki telewizyjne mające te zakresy częstotliwości. Co prawda rozpoczęto już próby wykorzystywania zakresu częstotliwości 12 GHz w naziemnej telewizji programowej /np. w RFN/, lecz ma to jeszcze charakter jedynie doświadczalny.

Wykorzystywanie więc zakresu 2600 MHz<sup>x/</sup> czy 12 GHz będzie wymagać bądź opracowania odbiorników telewizyjnych na te częstotliwości, bądź odpowiednich przetworników do obecnie stosowanych odbiorników. W takich przypadkach parametry sygnału emitowanego przez satelitę można wybrać w sposób korzystny dla służby satelitarnej. Można więc przyjąć inny na przykład rodzaj modulacji fali nośnej w nadajniku satelity i zamiast amplitudowej modulacji z jedną wstęgą

---

<sup>x/</sup> Wykorzystanie tego zakresu nie jest przewidywane w krajach OWT /p.red./.

boczną częściowo wytłumioną zastosować modulację częstotliwościową [14] nie tylko sygnału fonicznego, lecz również i sygnału wizyjnego. Pozwala to polepszyć stosunek sygnału do szumu wskutek znanych przeciwsumowych własności modulacji częstotliwościowej, a jednocześnie zmniejszyć sumaryczne zniekształcenia nielinearne wskutek wyeliminowania tzw. zniekształceń kwadratowych, wywoływanych modulacją quasi-jednowstęgową.

Korzystne własności modulacji częstotliwości są jak wiadomo zachowane, o ile amplituda sygnału użytecznego w odbiorniku /przy spełnieniu warunku odpowiedniego stosunku sygnał/szum/ przekracza poziom ograniczania sygnału przez ogranicznik amplitudowy. Uważa się przy tym, że warunek ten powinien być spełniony przez możliwie bardzo duży procent czasu emisji /tak, aby zachować stosunek sygnału wizyjnego do szumu przez co najmniej 99% czasu emisji/. W celu spełnienia takiego warunku oraz aby uwzględnić zmiany tłumienia atmosfery i inne czynniki nie uwzględniane przy obliczaniu niezbędnej mocy promieniowanej przez nadajnik, uważa się, że niezbędny margines dla amplitudy sygnału powyżej progu ograniczania i dla warunków klimatycznych spotykanych w Europie oraz Ameryce Północnej powinien wynosić 4 dB przy częstotliwości 2600 MHz, a 7 dB przy 12 GHz.

Szerokość kanału w.cz. przy emisji z modulacją częstotliwościową musi być oczywiście znacznie większa niż przy obecnie stosowanych sposobach emisji. Badania laboratoryjne przeprowadzone na częstotliwości 12 GHz wykazały, że przy modulacji częstotliwościowej sygnałem 625-liniowej telewizji kolorowej uzyskuje się zadowalającą jakość sygnału przy szerokości kanału w.cz. równej około 25 MHz.

Wymagana moc nadajnika satelity jest w ogólności uzależniona od wymaganego pokrycia powierzchni Ziemi /z czym związana jest szerokość wiązki energii promieniowanej przez antenę satelity/, wymaganego stosunku sygnału użytecznego do szumu i zakłóceń przy odbiorze oraz skuteczności instalacji odbiorczej, tzn. zysku anteny odbiorczej i użytkowej czułości odbiornika. Należy jednak pamiętać, że moc promieniowana przez nadajnik satelity nie może być również zbyt

duża /nawet, jeśli będą możliwości jej technicznej realizacji/. Gęstość bowiem mocy w miejscu odbioru sygnałów nadawanych przez satelitę musi, jak to już powyżej wspomniano, uwzględniać konieczność współużytkowania tych samych częstotliwości przez służby naziemne, a więc przez telewizję programową pracującą w zakresie fal decymetrowych, linie radiowe i inne. Stąd między innymi wynika konieczność stosowania silnie kierunkowych anten odbiorczych. Małe kąty rozwartości wiązki promieniowanej przez antenę satelity są korzystne nie tylko ze względu na możliwość ograniczania wyjściowej mocy nadajnika, lecz również i ze względu na ograniczenie powierzchni pokrycia Ziemi, co może być ważne dla krajów o niewielkich terytoriach. Przy powiększaniu kąta rozwartości wiązki promieniowanej przez antenę satelity bardzo szybko rośnie również wymagana moc nadajnika. Przyjmuje się, że każde dwukrotne powiększenie kąta rozwartości wiązki wymaga zwiększenia mocy wyjściowej nadajnika satelity o 6 dB i odwrotnie - dwukrotne zmniejszenie kąta rozwartości wiązki pozwala zmniejszyć moc o 6 dB.

#### 4.2.4. Dane dotyczące satelity radiodyfuzyjnego

Najbardziej istotne sprawy związane z satelitarną służbą radiodyfuzyjną i dotyczące bezpośrednio satelity do sprawy wyboru orbity, po której ma on krążyć, utrzymywanie jego położenia i orientacji w przestrzeni, wybór źródeł energii zasilającej aparaturę oraz trwałość satelity, czyli długość jego życia.

Pośród czynników, jakie powinno się brać pod uwagę przy wyborze najkorzystniejszych orbit satelitów radiodyfuzyjnych należy przede wszystkim wymienić położenie geograficzne obsługiwanego terytorium, wymaganą liczbę godzin emisji w ciągu doby oraz charakterystyki anten. Orbita satelity radiodyfuzyjnego powinna być bowiem taka, aby rozpatrywany obszar globu ziemskiego był "naświetlany" w okresach, w których ma być zapewniony odbiór programu lub programów telewizyjnych. W zależności bowiem od wybranej orbity okres ten może się

zmieniać od kilku godzin na dobę do 24 godzin na dobę. Jeśli przy tym możliwość odbioru programu ma nie być ciągła, to jest wysoce pożądane, aby okresy, w których odbiór programu jest zapewniony powtarzały się każdej kolejnej doby w tych samych wybranych godzinach czasu lokalnego. Niezależnie zresztą od długości okresu emisji będzie również pożądane, a właściwie nawet niezbędnym ze względów ekonomicznych, aby stacja odbiorcza nie musiała być wyposażona w system antenowy śledzący za poruszającym się satelitą.

Satelita geostacjonarny, tzn. umieszczony powyżej równika na wysokości około 35850 km, będzie mógł zapewnić 24-godzinną służbę radiodifuzyjną na obszarach zarówno stosunkowo małych, takich np. jak pojedyncze państwa, jak również na tak dużych jak kontynenty, przy czym obszar "naświetlania" może maksymalnie dochodzić do jednej trzeciej powierzchni Ziemi. Głównym ograniczeniem obszaru pokrycia jest minimalna wartość użytkowa kąta elewacji anteny odbiorczej. Satelita geostacjonarny pozwala przy tym, jak to już poprzednio wspomniano, wykorzystywać nieruchome anteny odbiorcze o zysku, a więc i kierunkowości bardzo dużej.

Satelita poruszający się po kołowej i równikowej orbicie podsynchronicznej może z kolei naświetlać dany obszar geograficzny w ciągu każdej doby w tych samych godzinach czasu lokalnego. Liczba godzin nieprzerwanego odbioru emitowanych sygnałów na danym obszarze jest przy tym funkcją wysokości umieszczenia satelity i szerokości geograficznej punktu odbiorczego. Na przykład widzialność satelitów umieszczanych na wysokościach od około 4000 km ponad równikiem do około 20000 km będzie możliwa odpowiednio od 7 razy na dobę przez czas od około 0,5 do 1 godziny, w zależności od szerokości geograficznej, do raz na dobę przez czas od około 9 do około 10 godzin [11].

Ze względu na to, że satelita na orbicie kołowej podsynchronicznej znajduje się na znacznie, na ogół, mniejszej wysokości niż satelita geostacjonarny może on zapewnić silniejszy sygnał na powier-



chni Ziemi przy danej mocy promieniowanej przez nadajnik. Satelity tego typu przedstawiają więc pewne zalety wówczas, kiedy zysk anten nadawczych nie może być zbyt duży ze względu na ich rozmiary oraz kiedy jest pożądane, aby anteny odbiorcze były praktycznie bezkierunkowe. Przy obecnym jednak stanie techniki można już uzyskać zadowalający stosunek sygnału do szumu przy użyciu satelity geostacjonarnego, celowość więc stosowania satelitów poruszających się po orbitach podesynchronicznych staje się wątpliwa. System taki byłby jednak bardzo trudny do praktycznej realizacji, wobec czego nie przewiduje się jego wprowadzenia.

Położenie satelity na orbicie nie może być uważane za trwałe. Małe nierównomierności ziemskiego pola grawitacyjnego, a także siły grawitacji wywoływane przez Słońce i Księżyc wpływają zakłócająco na położenie satelity. Należy tym wpływom przeciwdziałać za pomocą metod korekcji orbity i korekcji położenia satelity. Utrzymanie satelity na prawidłowej orbicie i w prawidłowym położeniu jest obecnie możliwe przez kompensację szkodliwych sił grawitacyjnych za pomocą małych silników odrzutowych umieszczonych na satelicie i zasilanych paliwem zmagazynowanym na jego pokładzie.

Korekcja położenia satelity w przestrzeni jest niezbędna ze względu na konieczność zapewnienia jego widzialności przez antenę odbiorczą. Dla częstotliwości na przykład mniejszych niż 1 GHz dokładność położenia satelity rzędu  $1^{\circ}$  jest wystarczająca przy stosowaniu anten odbiorczych o rozwarości ich wiązki promieniowania nie mniejszej niż  $5^{\circ}$ . Dla częstotliwości większych niż 1 GHz wymagana dokładność położenia satelity wzrasta i wynosi około  $0,25^{\circ}$ . Dokładności takie muszą być utrzymywane przez szereg lat.

Drugim, poważnym problemem techniki satelitarnej jest zapewnienie dostatecznej energii elektrycznej potrzebnej zarówno do zasilania urządzeń nadawczych i odbiorczych satelity, jak i innych urządzeń potrzebnych do prawidłowego jego działania. Przy stosunkowo dużym zapotrzebowaniu na energię elektryczną można obecnie stosować baterie słoneczne, składające się z ogniw fotonapłędliwych umiesz-

czonych na płaszczyznach, które rozwijają się za pomocą ramion teleskopowych. Wypróbowano już płaszczyzny dostarczające mocy rzędu 1,5 kW. Przewiduje się możliwość uzyskania wkrótce baterii słonecznych dostarczających moc rzędu 10-12 kW. Zasilanie za pomocą baterii słonecznych jest oczywiście możliwe dotąd, dopóki satelita nie znajdzie się w cieniu Ziemi. Dąży się więc, aby przerwy w zasilaniu zachodziły w późnych godzinach nocnych.

Jako przyszłościowe źródła zasilania urządzeń satelity w energię elektryczną wymienia się przede wszystkim reaktory jądrowe i ogniwa paliwowe, ale musiałyby one być znacznie ulepszone, aby mogły konkurować z bateriami słonecznymi tak pod względem kosztów, jak i masy oraz niezawodności. Sygnalizuje się także możliwość użycia termoelementów i komórek termojonowych do przetwarzania na energię elektryczną energii cieplnej dostarczanej na przykład przez Słońce lub inne źródła [11]. Zastosowanie takich elementów mogłoby zmniejszyć całkowitą masę źródeł energii dla danej mocy elektrycznej.

Na zakończenie rozważań dotyczących satelitów radiodyfuzyjnych warto omówić ich przewidywaną trwałość, czyli długość ich życia.

W obecnych pracach planistycznych dotyczących systemów satelitarnych zakłada się, że średnia długość życia satelity wynosi około 7 lat. Przeprowadzone jednak badania, a także własności systemów satelitarnych znajdujących się obecnie w eksploatacji pozwalają mieć nadzieję, że długość życia satelity wzrośnie do około 10 lat, zakładając bardzo staranne wykonanie urządzeń oraz wyposażenie go w niektóre urządzenia rezerwowe. W szczególności baterie słoneczne powinny być dostatecznie dużych rozmiarów, aby uwzględnić stopniowe ich uszkodzanie w przestrzeni kosmicznej. Trzeba będzie również przewidywać zmagazynowanie znacznych ilości paliwa do utrzymywania położenia satelity w przestrzeni. Przy stosowaniu obecnych technik korekcji położenia może to wymagać konieczności zmagazynowania paliwa w ilości odpowiadającej 20-25% masy satelity<sup>x/</sup>.

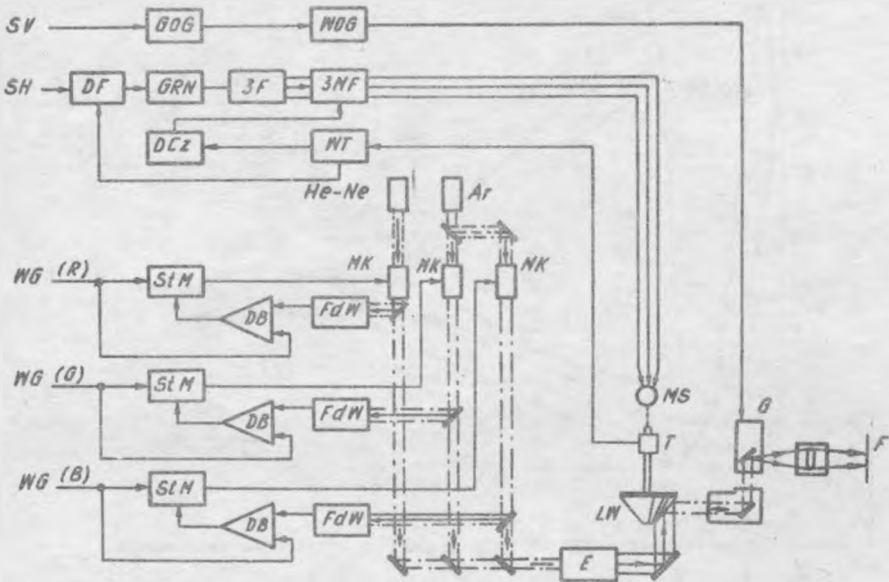
---

<sup>x/</sup>Zagadnieniom radiodyfuzji satelitarnej redakcja "Problemy łączności" zamierza poświęcić w 1975 r. oddzielny numer /p.red./.

## WYKAZ LITERATURY

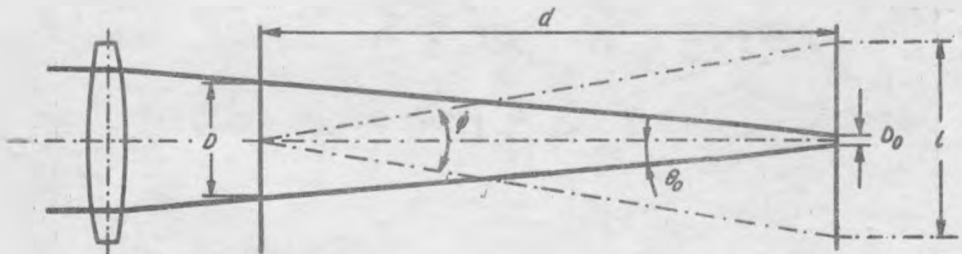
1. CCIR dok. 11/31 /1970-1973/: Proposal for a new study programme. High definition television.
2. Beiser L. i in.: Laser-beam recorder for color television film transfer. J. SMPTE 1971 t. 80 nr 9, s. 699-703.
3. Taneda T. i in.: High-quality laser color television display. J. SMPTE 1973 t. 82 nr 6 s. 470-474.
4. Reis C.W.: Digititis-or what's wrong with analogue? Sound Vision Broadcasting 1973 t. 14 nr 3, s. 23-27.
5. Schöbnfelder H.: Nachrichtenreduktion in der Fernsehtechnik. Radio Mentor Electron. 1972 t. 80 nr 12, s. 614-616.
6. CCIR dok 11/228 /1970-1973/: Standards for television systems using digital modulation. Comparative studies on the digital coding of video signal.
7. Progress in digital television. R. Telev. Soc. J. 1971 t. 13 nr 9, s. 199-201.
8. Recent developments in digital television. R. Telev. Soc. J. 1973 nr 9, s. 170-173.
9. Allanson D.: A PCM sound-in- syncs system for television distribution networks. Proc. IREE 1973 t. 34 nr 4, s. 121-129.
10. Burkitt A.: Television writes news on the screen. Electron.Eng. 1974 t. 46 nr 553, s. 65-67.
11. CCIR dok.11/1074 /Geneve 1974/ Rapport 215-2./Rev.74/: Systemes a satellites de radiodiffusion sonore et de television a partire de satellites.
12. CCIR dok. IV/316 /1966-1969/: Tropospheric absorption and refraction in relation to space telecommunication systems. Statistics of attenuation of radio waves at frequencies above about 10 GHz at higher angles of elevation in Japan.

13. CCIR dok. 11/338 /1970-1974/: Satellite broadcasting service /television/. Direct reception of frequency modulation television broadcasts from satellites. FM/AM converter.
14. CCIR dok. 11/90 /1970-1974/: Service de radiodiffusion par satellites /television/. Normes d'émission pour la radiodiffusion visuelle par satellites en modulation de fréquence a 12 GHz.
15. CCIR dok. 11/337 /1970-1974/: Satellite broadcasting service /television/. Sample calculation of the link balance in a satellite television broadcasting system at 12 GHz. Noise contribution and percentage of service interruption time of the up-path.

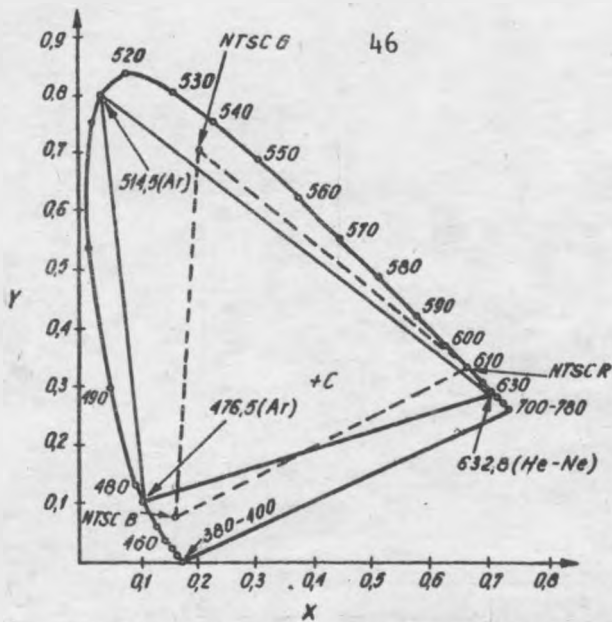


Rys. 2.1. Schemat blokowy laserowego urządzenia rejestracyjnego

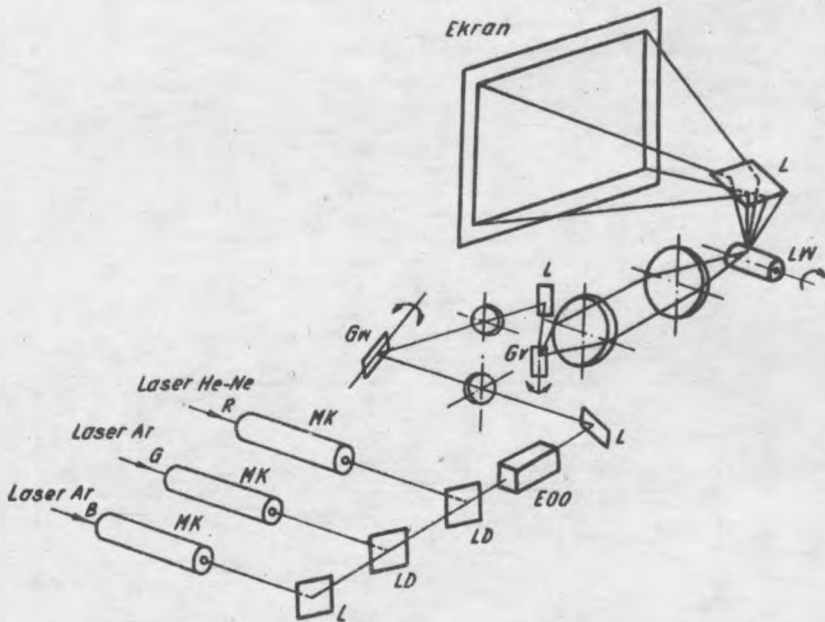
SV - impulsy sterujące pola, SH - impulsy sterujące linią, GOG - generator odchył. galwanometru, WOG - wzmacniacz odchył. galwanom., DF - dyskryminator fazowy, GRN - generator regulowany napięciowo, 3F - rozdzielacz 3-fazowy, 3MF - modulator 3-fazowy, DCz - dyskryminator częstotliw., WT - wzmacniacz sygn. tachometru, He-Ne - laser helowo-neonowy, Ar - laser jonowo-argonowy, MK - modulator krystaliczny, WG - sygnał wizyjny, StM - układ sterowania modulatora, DB - detektor sygnału błędu, FdW - fotodioda i wzmacniacz, MS - silnik synchroniczny, T - tachometr, LW - lustro wleńcienne, G - galwanometr lusterkowy, E - ekspander promienia, F - film



Rys. 2.2. Ogniskowanie i odchylenie promienia laserowego



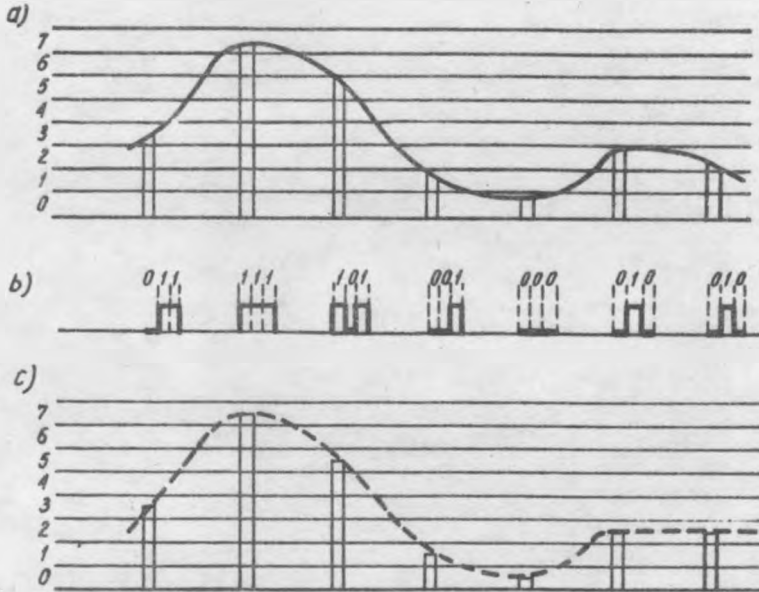
Rys. 2.3. Zakres odtwarzanych barw za pomocą urządzenia laserowego



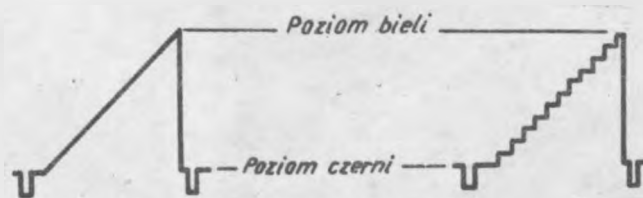
Rys. 2.4. Schemat układu optycznego laserowego urządzenia projekcyjnego model 101 C

L - lustro odbijające, LD - lustro dichroiczne, LW - lustro wielościennie,  
 Gv - galwanometr do wobulacji, Gw - galwanometr odchylenia pionowego,  
 E00 - elektrooptyczny układ odchyłający

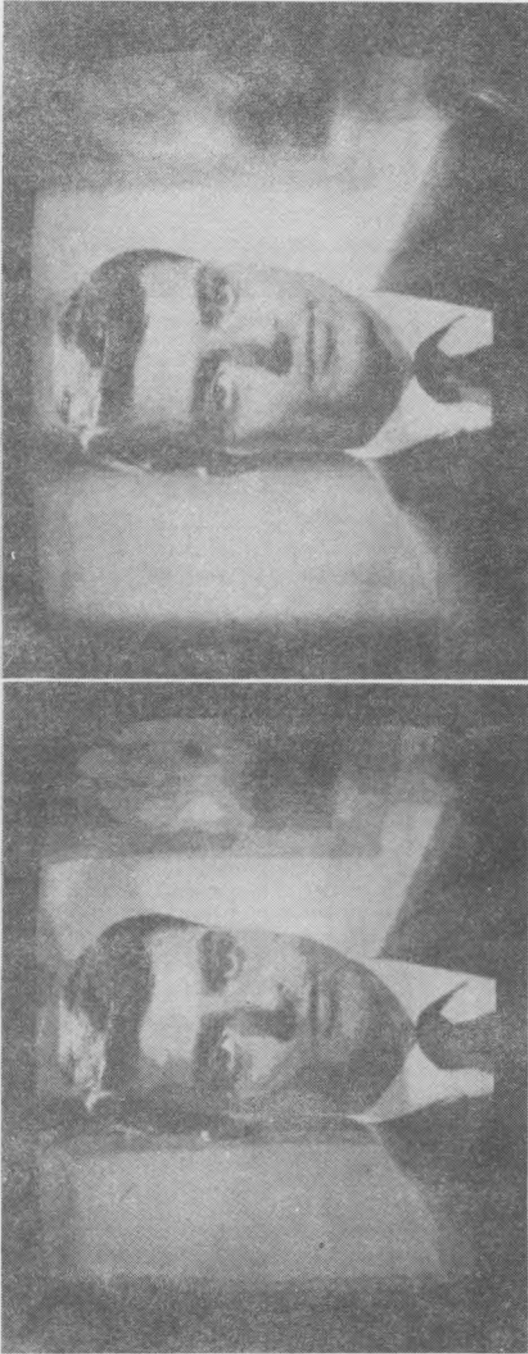
Rys. 3.1. Liczba 20 przedstawiona za pomocą kodu 6-bitowego



Rys. 3.2. Przekształcanie sygnału analogowego na cyfrowy i odwrotnie - cyfrowego na analogowy: a - próbkowanie sygnału, b - kodowanie w systemie cyfrowym, c - odtwarzanie sygnału analogowego

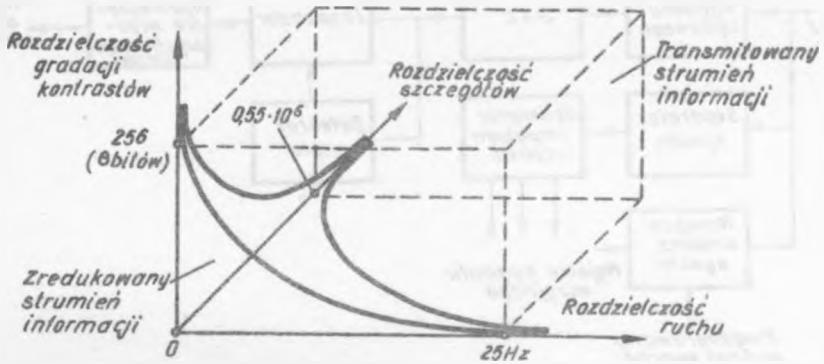


Rys. 3.3. Kwantyzacja sygnału luminancji

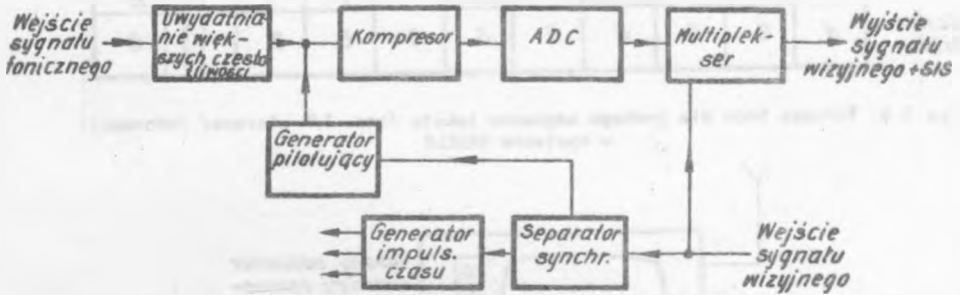


Rys. 3.4. Efekt kwantyzacji sygnału wizyjnego na 8 poziomach /z lewej strony/ oraz na 16 poziomach /z prawej strony/



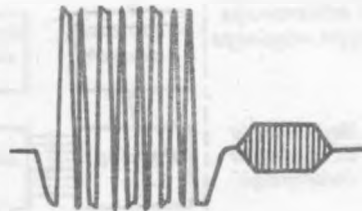


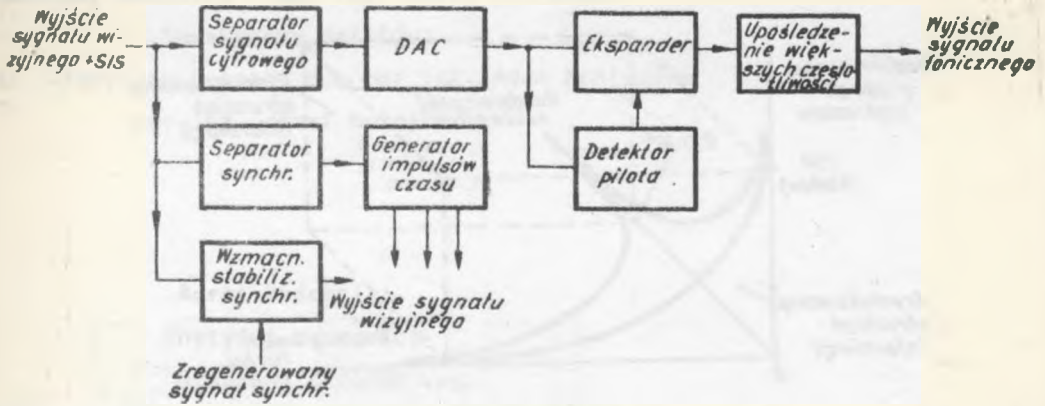
Rys. 3.5. Możliwości ograniczania strumienia informacji w technice telewizyjnej



Rys. 3.6. Schemat blokowy kodera systemu SIS.

Rys. 3.7. Zakodowany sygnał foniczny nałożony na impuls synchronizacji linii

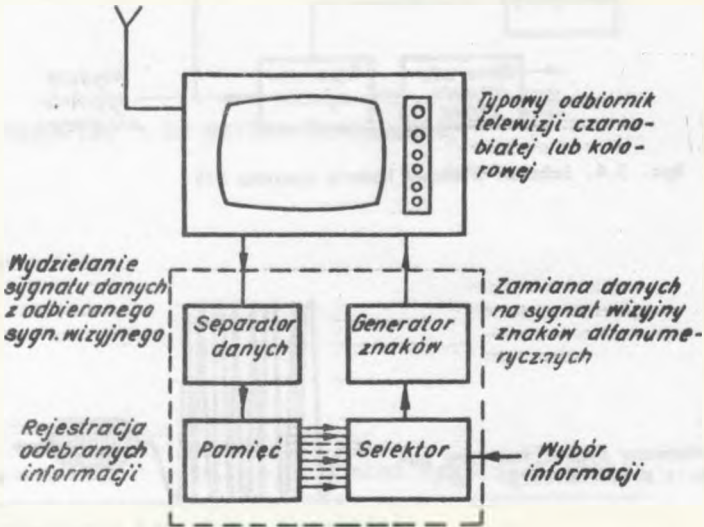




Rys. 3.8. Schemat blokowy dekodera systemu SIS

Przeznaczenie	Wyjście	Start	Numer linii	Numer strony	Wiersz	Segment	Zera	Znak 1	Znak 2		Znak 10
Liczba bitów	5	8	5	6	5	3	8	8	8		8

Rys. 3.9. Schemat kodu dla jednego segmentu tekstu /tzn. 1/4 wiersza/ informacji w systemie ORACLE



Rys. 3.10. Schemat blokowy urządzenia odbiorczego do odtworzenia tekstu dodatkowych informacji

