

BIULETYN

INFORMACYJNY

INSTYTUTU

ŁĄCZNOŚCI

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
BIBLIOTEKA NAUCZNA

Nr _____



1995

8

**BIULETYN
INFORMACYJNY
INSTYTUTU
ŁĄCZNOŚCI**

ROK 35

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

NR 8(333)

WARSZAWA 1995

Komitet Redakcyjny
Redaktor Naczelny: dr inż. Krystyn Plewko
Z-ca Redaktora Naczelnego: doc. dr inż. Alina Karwowska-Lamparska
Redaktorzy Działowi:
doc. dr inż. Włodzimierz Barjasz
dr inż. Stanisław Sońta
inż. Maria Łopuszniak

© Copyright by Instytut Łączności, Warszawa 1995

ISSN 0209-1046

Redaktor: mgr Krystyna Juszkiewicz

Skład komputerowy: Barbara Skwara

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

Nr
Alina Karwowska-Lamparska.....
Andrzej Chudziński

**ANALIZA PORÓWNAWCZA
EKSPLOATOWANYCH OBECNIE NA ŚWIECIE
SYSTEMÓW WIELOKANAŁOWEJ TRANSMISJI
DŹWIĘKU TOWARZYSZĄCEGO W TELEWIZJI**

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wprowadzenie	5
2. Wymagania na system	10
3. Analogowy system dwóch nośnych dźwięku FM	10
4. Cyfrowy system NICAM 728	17
5. Systemy przesyłania sygnału drugiego dźwięku na wspólnej fali nośnej (systemy multipleksowe)	31
5.1. System FM/FM	32
5.2. System BTSC FM/AM	36
6. Podsumowanie i wnioski	38
Wykaz literatury	39

•

0

•

0

ANALIZA PORÓWNAWCZA EKSPLOATOWANYCH OBECNIE NA ŚWIECIE SYSTEMÓW WIELOKANAŁOWEJ TRANSMISJI DŹWIĘKU TOWARZYSZĄCEGO W TELEWIZJI

1. WPROWADZENIE

Eksploatowane obecnie systemy telewizyjne powstały przed ponad dwudziestu laty i odpowiadały ówczesnemu poziomowi techniki oraz technologii. Jednak w miarę upływu lat zakres usług oferowanych przez ośrodki nadawcze stał się dla dzisiejszych widzów już niewystarczający. Z drugiej strony, obecny poziom techniki i szybki rozwój technologii pozwala zarówno uzyskać wyższą jakość obrazu oraz dźwięku niż osiągnięta w obecnych systemach telewizji kolorowej, jak i wprowadzić do transmitowanego programu wiele nowych możliwości oraz usług. Jedną z takich usług jest przesyłanie łącznie z sygnałem telewizyjnym wielokanałowego dźwięku wysokiej jakości (niezależnych sygnałów monofonicznych lub sygnału albo sygnałów stereofonicznych).

W efekcie prowadzonych w wielu krajach badań [12, 14] opracowano kilka różnych metod wielokanałowego nadawania dźwięków w sygnale telewizyjnym, które można podzielić na dwie grupy:

- 1) systemy wykorzystujące dwie częstotliwości nośne fonii,
- 2) systemy przesyłania na wspólnej fali nośnej.

Do pierwszej grupy należą:

- analogowy system dwóch nośnych dźwięku FM (zwany również systemem A2),
- cyfrowy system NICAM 728.

Do drugiej grupy natomiast można zaliczyć:

- analogowy system FM/FM, dla standardu M/NTSC;
- system BTSC (*Broadcast Television Systems Committee*) FM/AM.

Systemy pierwszej grupy zostały opracowane przede wszystkim dla eksploatowanych w większości krajów Europy Zachodniej standardów telewizyjnych B^{*)}, G^{*)} i H^{*)} (oraz wersja systemu analogowego dla eksploatowanych w Polsce standardów D^{*)} i K^{*)}) i są stosowane głównie w Europie, a ponadto w: Australii, Korei, Nowej Zelandii i Singapurze.

Analogowy system dwóch częstotliwości nośnych dźwięku FM umożliwia przesłanie sygnału stereofonicznego lub dwóch niezależnych sygnałów monofonicznych dźwięku. Jest on obecnie eksploatowany w Niemczech, Włoszech, Holandii, Australii, Korei, Czechosłowacji i na Węgrzech [13]. Stosowanie analogicznego systemu przewiduje się również w Austrii, Szwajcarii i Singapurze.

Cyfrowy system NICAM-728 polega na przesyłaniu dwukanałowego dźwięku i danych na modulowanej cyfrowo dodatkowej częstotliwości nośnej dźwięku. System ten jest obecnie eksploatowany w Anglii, Danii, Hiszpanii, Finlandii, Islandii, Norwegii, Nowej Zelandii i Szwecji [13]. Badania dotyczące zastosowania tego systemu prowadzi się także we Francji.

Systemy drugiej grupy zostały opracowane dla standardu M^{*)} (oraz wersja eksperymentalna systemu FM/FM dla standardów B^{*)} i G^{*)} w Szwecji). Stosuje się je wyłącznie w Japonii, USA i Kanadzie.

Opracowany w Japonii dla standardu M system FM/FM zwielokrotniania dwóch kanałów dźwięku na jednej częstotliwości nośnej

^{*)} zgodnych z [13].

umożliwia również przesłanie sygnału stereofonicznego lub dwóch niezależnych sygnałów monofonicznych.

System BTSC FM/AM opracowany też dla standardu M umożliwia natomiast: jednoczesną transmisję dźwięku stereofonicznego, dodatkowego dźwięku monofonicznego oraz wąskopasmowego sygnału danych związanych z pracą stacji nadawczych. System ten był eksploatowany w USA i Kanadzie.

Jak wspomniano, dwa ostatnie systemy zostały opracowane dla standardu M/NTSC, nie są więc one interesujące dla warunków polskich. Wymagałyby bowiem wprowadzenia wielu zmian systemowych i ewentualnego ich dopasowania do standardów eksploatowanych w Europie.

W chwili obecnej w Europie są więc eksploatowane wyłącznie dwa systemy wielokanałowej transmisji dźwięku towarzyszącego w telewizji:

- 1) analogowy system dwóch nośnych dźwięku FM,
- 2) cyfrowy system NICAM.

W tabelicy 1 zamieszczono (na podstawie sprawozdania 624-4 UIT-R [13]) zestawienie europejskich i częściowo pozaeuropejskich krajów, z podaniem przyjętego lub znajdującego się w próbach eksploatacyjnych systemu wielokanałowej transmisji dźwięku towarzyszącego, a także wykaz krajów, w których nie podjęto jeszcze decyzji w sprawie wyboru systemu, ale są tam przeprowadzane próby laboratoryjne.

Jak wiadomo, wybór systemu wielokanałowego nadawania dźwięków w sygnale telewizyjnym jest ściśle związany ze **standardem emisyjnym**. W obu bowiem eksploatowanych w Europie systemach drugi dźwięk jest przesyłany na drugiej częstotliwości nośnej, a położenie tej częstotliwości zależy od szerokości kanału wizyjnego oraz odległości pomiędzy częstotliwością nośną sygnału wizyjnego i częstotliwością nośną pierwszego sygnału fonicznego.

Tablica 1

Zestawienie krajów i przyjętych w nich lub znajdujących się w próbach eksploatacyjnych systemów wielokanałowej transmisji dźwięku towarzyszącego

Lp.	Nazwa kraju	Standard emisyjny	System dwóch dźwięków	Uwagi
1	2	3	4	5
Kraje europejskie				
1.	Austria	B, G	A2	1)
2.	Belgia	B, H		
3.	Bułgaria	D, K		
4.	Czechosłowacja	D, K	A2	2)
5.	Dania	B, G	NICAM	
6.	Finlandia	B, G	NICAM	
7.	Francja	L	próby NICAM	
8.	Grecja	B, G		
9.	Hiszpania	B, G	NICAM	
10.	Holandia	B, G	A2	
11.	Islandia	B, G	NICAM	
12.	Jugosławia	B, G		
13.	Luksemburg	B, G, L		
14.	Monaco	B, G		
15.	Niemcy	B, G	A2	
16.	Norwegia	B, G	NICAM	
17.	Polska	D, K		
18.	Portugalia	B, G		
19.	Rumunia	D, K		
20.	Szwajcaria	B, G	planowane A2	
21.	Szwecja	B, G	NICAM	
22.	Turcja	B, G		
23.	Węgry	D, K		3)
24.	Wielka Brytania	I	NICAM	
25.	Włochy	B, G	A2	
26.	Wspólnota Niepodległych Państw	D, K		

1	2	3	4	5
Kraje pozaeuropejskie				
27.	Australia	B, G	A2	
28.	Kanada	M	FM/AM	
29.	Korea Płd.	M	modyfikacja A2	
30.	USA	M	FM/AM	
31.	Japonia	M	FM/FM	
32.	Nowa Zelandia	B, G	NICAM	
33.	Singapur	B, G	planuje A2	
Uwagi:				
1) Zgodnie z informacją, przekazaną telefonicznie przez Instytut Post und Telegrafen Verwaltung w Wiedniu, w Austrii znajduje się w eksploatacji system A2.				
2) W Czechosłowacji, jak podano w pkt. 1 i 3 niniejszego artykułu, jest prowadzona eksperymentalna transmisja dwóch dźwięków w telewizji w systemie A2 w wersji dla standardów D i K, zgodnie z przyjętą czeską nomą państwową CSN 367523. W związku z tym, czeski przemysł odbiornikowy rozpoczął produkcję odbiorników telewizyjnych przystosowanych do odbioru dwóch dźwięków w obu wersjach systemu A2 (zarówno dla standardów D i K, jak i standardów B i G). Ponadto w Zakładach Tesla opracowano nadajnik telewizyjny na zakres fal decymetrowych o mocy 20 kW przystosowany do emisji dwóch dźwięków. Jednocześnie w Czechosłowacji, jak to przedstawiono w pkt. 4. artykułu, były prowadzone próby systemu NICAM dla standardów B i G przy położeniu nośnej drugiego kanału fonicznego w odstępnie 5,824 MHz od częstotliwości nośnej wizji (położenie częstotliwości nośnej niezgodne z zał. 707 CCIR dla standardów B i G).				
3) Zgodnie z informacją otrzymaną faksem z Hungarian Broadcasting Company, mimo że Węgry nie podjęły jeszcze decyzji dotyczącej wyboru systemu wielokanałowej transmisji dźwięku w telewizji, większość specjalistów sugeruje przyjęcie systemu NICAM 728. Przeprowadzone na Węgrzech wstępne badania wykazały, że przy odstępnie częstotliwości nośnej drugiego kanału fonicznego od częstotliwości nośnej wizji równym 5,85 MHz (zgodnie z zał. 707 CCIR) nie powstają zauważalne zakłócenia w danym kanale telewizyjnym oraz w systemach transmisyjnych. Jednocześnie w przemyśle węgierskim (Hiradastechnika) są produkowane kodery i dekodery obu wersji systemu A2:				
<ul style="list-style-type: none"> • dla standardów B i G - koder TR2024/L308 i dekodery TR2054/L319; • dla standardów D i K - koder TR2022/L306 i dekodery TR2052/L317; • dla telewizji kablowej. 				

2. WYMAGANIA NA SYSTEM

Wymagania systemowe są następujące:

- a) możliwość przesyłania co najmniej jednego dodatkowego dźwięku oraz ewentualnie sygnałów danych;
- b) kompatybilność systemu z eksploatowanymi odbiornikami telewizyjnymi;
- c) pokrycie sygnałem dodatkowym dźwięków i danych, takie same jak sygnałem pierwszego dźwięku;
- d) zapewnienie odtwarzania wielokanałowego dźwięku o dużej jakości (niezależnych sygnałów monofonicznych lub sygnału stereofonicznego);
- e) odbiór dodatkowego kanału dźwięku przez odbiorniki konwencjonalne wyposażone w prostą przystawkę.

3. ANALOGOWY SYSTEM DWÓCH NOŚNYCH DŹWIĘKU FM

System ten polega na zastosowaniu dwóch częstotliwości nośnych sygnału fonicznego, z których nośna pierwszego kanału jest umieszczona w takim samym odstępnie od nośnej wizyjnej, jak w systemie jednokanałowym, natomiast nośna drugiego kanału fonicznego znajduje się w odstępnie około 250 kHz od częstotliwości nośnej pierwszego kanału (odstęp ten wynosi ściśle $31/2$ częstotliwości linii, tj. 242,1875 kHz). Obie nośne dźwięku są modulowane częstotliwościowo sygnałem małej częstotliwości dźwięku. W celu zmniejszenia zauważalności zakłóceń interferencyjnych między niemodulowanymi nośnymi dźwięku stosuje się offset półliniowy. Odstęp między nośnymi dźwięku przyjęto jako nieparzystą wielokrotność połowy częstotliwości linii - $15 \frac{1}{2}$, tj. $f_H = 242,1875$ kHz.

Z uwagi na możliwość powstania produktów intermodulacji oraz w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa zakłócenia sygnału wizyj-

nego danego kanału lub sąsiedniego górnego kanału, ogranicza się poziom sygnału wielkiej częstotliwości drugiego dźwięku w zależności od przyjętego systemu od 3 dB do 7 dB w odniesieniu do sygnału wielkiej częstotliwości dźwięku podstawowego. Moc sygnału nośnej fonii w stosunku do mocy nośnej wizji na poziomie synchronizacji wynosi więc, np. odpowiednio dla kanału pierwszego: -13 dB, a dla kanału drugiego -20 dB.

System umożliwia:

- nadawanie dźwięku towarzyszącego telewizji dużej jakości (o pasmie częstotliwości 40 Hz ÷ 15 kHz) w postaci sygnału monofonicznego lub sygnału stereofonicznego albo dwóch niezależnych sygnałów monofonicznych,
- przy emisji dwóch niezależnych sygnałów monofonicznych dokonanie wyboru przez odbiorcę jednego z tych sygnałów,
- kompatybilny odbiór dźwięku towarzyszącego nadawanego w pierwszym kanale fonicznym za pomocą odbiorników telewizyjnych, przystosowanych do systemu jednokanałowego.

Przy emisji stereofonicznej, w celu zachowania kompatybilności w stosunku do urządzeń monofonicznych, w kanale podstawowym jest przesyłana informacja sumaryczna lewego i prawego kanału "L + R", natomiast w kanale drugiego dźwięku, zależnie od przyjętego systemu, przekazuje się informację różnicową lewego i prawego kanału "L - R" albo informację tylko prawego kanału "R".

W stereofonii radiofonicznej jako sygnał zakłócający przeważają szумы. Sygnał szumów jest sygnałem nieskorelowanym, a więc niezależnie od tego, czy w układzie dematrycuującym sygnały użyteczne dodają się czy też odejmują, poziom szumów w sygnale wyjściowym można przyjąć jako równy pierwiastkowi kwadratowemu z sumy kwadratów sygnałów składowych (sumowanie mocy). W przypadku przesyłania w kanale lewym sygnału $M = \frac{L + R}{2}$, a w kanale prawym sygnału $S = \frac{L - R}{2}$, po dematrycowaniu w kanale lewym otrzy-

mujemy sygnał $L + \sqrt{2} N$, gdzie N jest sygnałem szumów nieskorelowanych, a w kanale prawym sygnał $R + \sqrt{2} N$. Bowiern:

$$M = \frac{L + R}{2} + N \quad M + S + L + \sqrt{N^2 + N^2} = L + \sqrt{2} N$$

$$S = \frac{L - R}{2} + N \quad M - S = R - \sqrt{N^2 + N^2} = R - \sqrt{2} N$$

W stereofonii telewizyjnej jako dominujące sygnały w sygnale zakłócającym występują zakłócenia interferencyjne, które jako skorelowane, w przypadku sumowania sygnałów użytecznych dodają się do siebie arytmetycznie, a w przypadku odejmowania sygnałów użytecznych odejmują się od siebie arytmetycznie.

W przypadku przesyłania w kanale lewym sygnału $\frac{L + R}{2}$, a w kanale prawym $\frac{L - R}{2}$, po dematrycowaniu w kanale lewym otrzymujemy sygnał $L + 2 K$, a w kanale prawym R , gdzie K jest sygnałem zakłóceń skorelowanych. Zakłócenia występują wyłącznie w sygnale kanału lewego i to o poziomie dwukrotnie większym, bowiem:

$$M = \frac{L + R}{2} + K \quad M + S = L + K + K = L + 2 K$$

$$S = \frac{L - R}{2} + K \quad M - S = R + K - K = R$$

Stosując system, w którym w lewym kanale jest przesyłany sygnał $\frac{L + R}{2}$, a w prawym R , po matrycowaniu otrzymujemy w kanale lewym sygnał $L + K$, a w kanale prawym $R + K$. Sygnały zakłócające skorelowane rozkładają się równomiernie w obu kanałach, bowiem:

$$M = \frac{L + R}{2} + K \quad 2M - S = 2 \frac{L + R}{2} + 2K - R - K = L + K$$

$$S = R + K \quad S = R + K$$

Nowy system matrycowania jest więc korzystniejszy w stereofonii telewizyjnej z uwagi na równomierny rozkład zakłóceń interferencyjnych w obu kanałach dźwięku.

Przełączanie odbiornika telewizyjnego na odbiór sygnału monofonicznego, sygnału stereofonicznego bądź dwóch sygnałów niezależnych odbywa się automatycznie dzięki sygnałowi rozpoznawczemu o częstotliwości 54,6375 kHz ($3,5 f_H$) nadawanemu z modulacją amplitudową łącznie z sygnałem fonicznym w drugim kanale.

Przełączenie rodzaju pracy nadajnika fonicznego na nadawanie sygnału monofonicznego (MONO), stereofonicznego (STEREO) lub dwóch niezależnych sygnałów monofonicznych (DUO) następuje zdalnie, za pośrednictwem sygnałów sterujących przesyłanych w sygnale wizyjnym ze źródła programu telewizyjnego.

Zalecenie UIT-R (CCIR) [12] precyzuje parametry tego systemu dla standardów B, G, w których nośna pierwszego kanału fonicznego jest umieszczona w odstępnie 5,5 MHz od nośnej sygnału wizyjnego. Nośna drugiego kanału fonicznego znajduje się wówczas w odstępnie $5,5 + 0,2421875$ MHz od nośnej wizyjnej. Zalecenie powyższe nie określa jednak parametrów systemu analogowego dla standardów D, K, w których nośna pierwszego kanału fonicznego jest umieszczona w odstępnie 6,5 MHz od nośnej sygnału wizyjnego. Istnieje więc możliwość umieszczenia częstotliwości nośnej drugiego kanału fonicznego powyżej lub poniżej nośnej pierwszego kanału.

Jednak w ośmiomegahercowym kanale telewizyjnym, jaki przyjęto dla standardów D i K, oba położenia częstotliwości nośnej drugiego kanału są w zasadzie niekorzystne, a mianowicie:

- przy położeniu poniżej nośnej pierwszego kanału mogą powstawać zakłócenia sygnału wizyjnego nadawanego w tym samym kanale;
- przy położeniu powyżej nośnej pierwszego kanału mogą powstawać zakłócenia sygnału wizyjnego w sąsiednim górnym kanale.

W związku z tym, w latach ubiegłych przeprowadzono w Instytucie Łączności badania, które z alternatywnych rozwiązań położenia częstotliwości nośnej drugiego kanału fonicznego jest korzystniejsze z punktu widzenia wykorzystania istniejącej sieci nadawczej i odbiorników. Ponadto zbadano, czy zmniejszenie o 3 dB mocy sygnału fonicznego w pierwszym kanale, przyjęte w badanym systemie, nie spowoduje ograniczenia zasięgu stacji telewizyjnej.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że analogowy dwukanałowy system kodowania dźwięku towarzyszącego może być stosowany na zasadach przyjętych w sieci nadawczej dla dotychczas eksploatowanego systemu jednokanałowego. Oznacza to, że nie trzeba wprowadzać żadnych zmian w zasadach planowania sieci telewizyjnych i można stosować te same wartości współczynników ochronnych, jakie przyjmuje się zgodnie z zaleceniem 655 UIT-R (CCIR) [11] dla standardu D i K i jednokanałowego systemu nadawania dźwięku towarzyszącego. Wskazuje to również, że można uzyskać prawidłowy odbiór programu telewizyjnego (obraz i dźwięk) za pomocą obecnie użytkowanych odbiorników telewizyjnych przy nadawaniu dwóch dźwięków towarzyszących.

Dokonując wyboru jednej z dwóch wersji badanego systemu, za bardziej korzystne należy uznać umieszczenie drugiego kanału fonicznego na częstotliwości poniżej kanału pierwszego dźwięku, bowiem dzięki temu nie występuje poszerzenie pasma częstotliwości poza granice kanału telewizyjnego. Jest to istotne z punktu widzenia oddziaływania na sąsiednie kanały telewizyjne, jak również wspólnego wzmacniania sygnałów wizji i fonii, stosowanego w przemiennikach telewizyjnych oraz niektórych rozwiązaniach nadajników,

a także sieciach telewizji kablowej i antenowych instalacjach zbiorowych. Ponadto jest to korzystne przy transmisjach satelitarnych.

Do tego samego wniosku doszli specjaliści czechosłowaccy w wyniku kilkuletnich badań i przyjęli do eksploatacji nowy system dwukanałowej transmisji dźwięku, zgodnie z normą państwową CSN 367523.

Reasumując, istnieje możliwość umieszczenia częstotliwości nośnej drugiego kanału fonicznego poniżej lub powyżej nośnej pierwszego kanału. Położenie nośnej fonii pierwszego kanału w stosunku do nośnej wizji zależy przy tym od przyjętego standardu emisyjnego (5,5 MHz w standardzie B, G i H oraz 6,5 MHz w standardach D i K). Powstały więc dwie wersje analogowego systemu dwóch nośnych FM.

W pierwszej z nich, opracowanej dla standardów B, G i H (o odstępach częstotliwości nośnych wizji oraz fonii równym 5,5 MHz i pasmie częstotliwości sygnału wizyjnego równym 5 MHz), przyjęto położenie nośnej drugiego kanału fonicznego powyżej częstotliwości nośnej dźwięku podstawowego o 242,1875 kHz. Parametry tego systemu znormalizowane w skali międzynarodowej (zał. 707 UIT-R CCIR) podano w tablicy 2, gdzie: f_H - częstotliwość linii (15,625 kHz), L - lewy kanał stereofoniczny, P - prawy kanał stereofoniczny.

Druga wersja analogowego systemu dwóch nośnych FM została opracowana dla standardów D i K (o odstępach częstotliwości nośnych wizji i fonii równym 6,5 MHz i pasmie częstotliwości sygnału wizyjnego równym 6 MHz). Na podstawie powyższych szczegółowych rozważań, na temat wyboru częstotliwości nośnej drugiego kanału fonicznego w tej wersji oraz wyników badań przeprowadzonych w Polsce i b. Czechosłowacji, przyjęto położenie nośnej drugiego kanału fonicznego poniżej częstotliwości nośnej dźwięku podstawowego o 242,1875 kHz.

Tablica 2

Parametry systemu przesyłania dwóch sygnałów dźwięku
w sygnale telewizyjnym na niezależnych nośnych FM (standard B, G, H)

Parametry	Dźwięk podstawowy (kanał foniczny pierwszy)	Kanał foniczny drugi
Nośne fonii		
1. Odstęp od częstotliwości nośnej wizji	5,5 MHz	5,5+0,2421875 MHz
2. Moc sygnału w.cz. w stosunku do mocy szczytowej sygnału w.cz. wizji	13 dB	-20 dB
3. Rodzaj modulacji	częstotliwościowa	częstotliwościowa
4. Maksymalna dewiacja	±50 kHz	±50 kHz
5. Preemfaza	50 μs	50 μs
6. Znamionowe pasmo m.cz.	40÷15000 Hz	40÷15000 Hz
Sygnały m.cz.		
7. Emisja monofoniczna (MONO)	monofoniczny A	monofoniczny A
8. Emisja stereofoniczna (STEREO)	(L + R):2	R
9. Emisja dwóch niezależnych dźwięków monofonicznych (DUO)	monofoniczny A	monofoniczny B
Sygnały identyfikacji		
10. Częstotliwość podnośna pilota		3,5 $f_H = 54,6875$ kHz
11. Rodzaj modulacji		amplitudowa
12. Głębokość modulacji		50%
13. Częstotliwość sygnału modulowanego przy różnych rodzajach emisji:		
- monofoniczna		bez modulacji (0) Hz
- stereofoniczna		$\frac{1}{133} f_H = 117,5$ Hz
- dwa dźwięki niezależne		$\frac{1}{57} f_H = 274,1$ Hz
14. Dewiacja częstotliwości nośnej drugiego dźwięku przez podnośną pilota bez modulacji		±2,5 kHz

W Polsce resort łączności podjął w końcu 1989 roku decyzję o przyjęciu systemu dwukanałowej transmisji dźwięku towarzyszącego w telewizji o parametrach zgodnych z normą czechosłowacką. W 1991 r. opracowano wstępne wymagania techniczne na taki system dla warunków polskich. Podjęto również decyzję o przygotowaniu eksperymentalnych transmisji dwukanałowego dźwięku telewizyjnego przez nadajnik. W latach 1990 i 1991 zbadano możliwość przystosowania do takiej pracy nadajnika 27. kanału telewizyjnego w Warszawie. Wyposażono go w koder fonii telewizyjnej i niezbędne układy dopasowujące oraz dokonano eksperymentalnych emisji analogowych sygnałów dwukanałowego dźwięku telewizyjnego. W 1992 roku przeprowadzono regularne emisje próbne w Warszawie i Gdańsku oraz badania odbioru w warunkach rzeczywistych. Ponadto kupiono 10 nadajników telewizyjnych przystosowanych do dwukanałowej emisji dźwięku telewizyjnego metodą analogową.

4. CYFROWY SYSTEM NICAM 728

System NICAM 3 (*Nearinstantaneously Companded Audio Multiplex*) jest właściwie systemem odwracalnego ograniczania strumienia informacji w każdego rodzaju sygnale cyfrowym. Po raz pierwszy został on zastosowany w Anglii w 1970 r. przy transmisji programu radiowego przez sieć telefonii cyfrowej. W latach osiemdziesiątych firma BBC wykorzystwała doświadczenia nabyte przy eksploatacji NICAMU 3 i opracowała system cyfrowy dla transmisji drugiego dźwięku w telewizji o nazwie NICAM 728. Parametry tego systemu dla standardów B, G, H oraz I zostały sprecyzowane przez EBU [3], CCIR [12] oraz ETSI [4].

Powyższy system polega również na zastosowaniu dwóch częstotliwości nośnych sygnału fonicznego, z których nośna pierwszego kanału znajduje się w takim samym odstępnie od nośnej wizyjnej, jak w systemie jednokanałowym i jest modulowana analogowym sygnałem pierwszego dźwięku, analogicznie jak w systemie jednokanałowym.

wym. Nośna dwóch pozostałych kanałów fonicznych jest umieszczona zależnie od eksploatowanego standardu telewizyjnego [13]: dla standardu B, G i H w odstępnie 5,85 MHz powyżej częstotliwości nośnej sygnału wizyjnego (nie związanym z prędkością bitową), a dla standardu I w odstępnie 6,552 MHz powyżej częstotliwości nośnej sygnału wizyjnego (9 x 728 kbit/s). Spotyka się także inne propozycje odstepu, np. odstep 5,824 MHz (8 x 728 kbit/s) stosowany przy próbach systemu dla standardów B, G w b. Czechosłowacji. Druga nośna sygnału fonicznego jest modulowana z czterowartościowym kluczowanym przesuwem fazy (QPSK) odpowiednio ukształtowanym, kodowanym różnicowo cyfrowym sygnałem drugiego dźwięku. Stosunek mocy sygnału nośnej pierwszego kanału fonicznego do nośnej sygnału wizyjnego wynosi odpowiednio dla standardów B, G i H ok. 1:20, a dla standardu I ok. 1:10, natomiast stosunek mocy modulowanego sygnału cyfrowego do nośnej sygnału wizyjnego wynosi w obu przypadkach ok. 1:100 (20 dB).

System NICAM umożliwia:

- nadawanie, oprócz sygnałów pierwszego dźwięku towarzyszącego, dźwięku stereofonicznego dużej jakości (o pasmie 0-15 kHz) lub dwóch niezależnych dźwięków monofonicznych albo cyfrowego sygnału danych;
- uzyskanie większego stosunku sygnału do szumu niż w systemie analogowym;
- mniejsze zniekształcenia intermodulacyjne pomiędzy kanałami fonicznymi;
- całkowite wyeliminowanie przesłuchów międzykanałowych w sygnale stereofonicznym;
- kompatybilny odbiór dźwięku towarzyszącego nadawanego w pierwszym kanale fonicznym za pomocą odbiorników telewizyjnych przystosowanych do systemu jednokanałowego.

Przełączenie rodzaju odbieranego dźwięku odbywa się automatycznie sygnałami kontrolnymi przesyłanymi w drugim kanale fonicznym.

- **Kodowanie dźwięku** [1, 3, 10, 12]

Na podstawie przeprowadzonych w latach osiemdziesiątych badań subiektywnych przyjęto, że dźwięk wysokiej jakości towarzyszący obrazowi powinien mieć pasmo częstotliwości równe $10^{1/2} \cdot 15$ kHz, ponieważ dalsze zwiększanie szerokości pasma kanału akustycznego nie daje już zauważalnego wzrostu jakości odbieranego dźwięku.

Zgodnie z zaleceniami UIT-R (CCIR) i EBU sygnały dźwięku wysokiej jakości powinny być próbkowane z częstotliwością 32 kHz, a dla odtworzenia pełnego zakresu dynamiki kwantowane liniowo na $2^{14} = (16\ 238)$ poziomów. Każdy poziom kwantyzacji jest opisany więc słowem 14-bitowym.

Sygnały dźwięku prawego i lewego kanału stereofonicznego lub dwóch niezależnych monofonicznych dźwięków, dla poprawy stosunku sygnału do szumu (głównie przy wysokich częstotliwościach), jest korygowany w układzie preemfazy zgodnie z zaleceniem CCITT J-17 (uwydatnienie wyższych częstotliwości).

W przetworniku analogowo-cyfrowym sygnały analogowe dźwięku są przetworzone na 14-bitowy sygnał cyfrowy. Następnie, aby ograniczyć strumień informacji, słowa 14-bitowe opisujące każdą próbkę zostają poddane pięciozakresowej kompresji, ograniczającej liczbę bitów do 10. Współczynnik skali jest w tym przypadku określony dla 32 próbek, stanowiących tzw. grupę kodową.

Grupę kodową tworzy się z kolejnych 32 słów 14-bitowych (1 ms). W każdej takiej grupie jest wykrywane słowo, które opisuje próbkę o największej amplitudzie. Słowo to wyznacza jeden z pięciu zakresów kodowych, tzn. praktycznie sposób kompresji wszystkich 32 słów w grupie kodowej. Zakresów kodowania jest pięć (tabl. 3).

W pierwszym zakresie kodowania znajdują się te wszystkie grupy kodowe, których próbki reprezentują sygnał dźwięku o amplitudzie a , zawierającej się w przedziale: (amplit. max. sygn. $< a < 1/2$ amplit. max. sygn.) a więc sygnały dźwięku o największej amplitudzie.

Tablica 3

Kodowanie i kompresja sygnału dźwięku

MSB														LSB			
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
																	1 1 1 1
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 1 0 2
0		1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1 0 1 3
0			1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0 1 1 4
0				1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1 0 0
0					0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0 1 0
0					0	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	} 5
0					0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
0					0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
0					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1					1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	} 5
1					1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1					1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1					1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1					0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1					0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0 1 0
1					0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1 0 0
1					0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0 1 1
1					0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1 0 1 3
1		0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1 1 0 2
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
																	1 1 1 1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Współczynniki skali

x = 1 lub 0

Zakres kodowania

W zakresie drugim są próbki reprezentujące sygnał analogowy z przedziału ($1/2$ amplit. max. sygn. $< a < 1/4$ amplit. max.) itd. Zakres piąty jest dla sygnału dźwięku o poziomie najniższym i dla ciszy.

W zależności od zakresu kodowania w grupie kodowej są odrzuca-
ne 4 bity (tabl. 3). Powstają wówczas słowa 10-bitowe, przy czym
w blokach reprezentujących sygnał o najwyższej amplitudzie są pomi-
jane 4 bity najmniej znaczące (a więc najmniej istotne), zaś dla sy-
gnału o małych i najmniejszych amplitudach - bity najbardziej zna-
czące (a zatem również najmniej istotne). Ze względu na możliwość
występowania zakłóceń na drodze transmisyjnej zastosowano w syste-
mie dwustopniowe zabezpieczenie przed błędami (zwane często pro-
tekcją, umożliwiające korekcję i maskowanie błędów), które zmniej-
szają znacznie ich słyszalność.

Pierwszy stopień zabezpieczenia wykorzystuje kod parzystości
i obejmuje 6 najbardziej znaczących bitów w słowie 10-bitowym. Po
stronie odbiorczej następuje sprawdzenie liczby jedynek w słowie
i zastąpienie słowa zniekształconego ostatnim poprzedzającym sło-
wem niezniekształconym.

Do każdego słowa 10-bitowego (z bloku 32 słów) dodaje się bit
korekcyjny (bit parzystości), określony na podstawie sześciu naj-
bardziej znaczących bitów w każdej próbce.

Wartość korekcyjnego bitu parzystości przedstawia się następująco:
suma moduła 2 sześciu najbardziej znaczących bitów i bitu parzystości
musi być równa 0, a więc $x_9 + x_8 + x_7 + x_6 + x_5 + x_4 + p = 0$, stąd
wynika: $P = x_9 + x_8 + x_7 + x_6 + x_5 + x_4$, gdzie P - bit parzystości.

Do prawidłowego przetworzenia w dekodерze sygnału cyfrowego
na analogowy jest konieczny proces odtworzenia w każdym słowie
10-bitowym bitów pominiętych w procesie kompresji, a więc powtór-
nego wyznaczenia zakresu kodowania. Należy wobec tego przesłać do
dekodera informację dodatkową o jednym z pięciu zakresów kodowa-
nia, w którym nastąpiła kompresja słów 14-bitowych w grupie kodo-

wej. Realizuje się to poprzez modyfikację bitów parzystości w każdym z 64 słów, dwóch kolejno po sobie następujących grup kodowych, tworzących tzw. blok kodowy.

Zakresom kodowania: pierwszemu, drugiemu, trzeciemu i czwartemu (tabl. 3) przypisuje się po jednym 3-bitowym słowie tzw. współczynnika skali. Piątemu zakresowi kodowania (a więc zakresowi kodowania sygnałów dźwięku o najmniejszych amplitudach) przypisuje się cztery 3-bitowe słowa współczynnika skali (tabl. 3), ze względu na możliwie jak najdokładniejsze odtworzenie w dekodерze sygnałów dźwięku o poziomie bliskim ciszy.

3-bitowe słowa współczynników skali wyznaczają w dekodерze zakres kodowania i pozwalają na odtworzenie pierwotnych 14-bitowych słów opisujących sygnał dźwięku. Następne bity parzystości odpowiadające 32 kolejnym próbkom są modyfikowane w taki sposób, aby niosły informacje o współczynniku skali oraz informacje kontrolne.

• Proces modyfikacji bitów parzystości

Dla transmisji stereofonicznej: pierwszy blok kodowy odpowiada kanałowi A transmisji stereo. Dla tego bloku wyznaczony współczynnik skali $FE\ 1 = (R_{2A}, R_{1A}, R_{0A})$ odnosi się do 32 próbek kanału A. Współczynnik skali $FE\ 2 = (R_{2B}, R_{1B}, R_{0B})$ odnosi się do 32 próbek kanału B.

Jeżeli P_i jest bitem parzystości i -tej próbki, to P'_i jest bitem parzystości zmodyfikowanym wg reguły: $P'_i = P_i + R_j$, gdzie R_j - jest odpowiednim bitem współczynnika skali, wówczas:

$$\begin{aligned}
 P'_i &= P_i * R_{2A} & \text{dla } i &= 1, 7, 13, 19, 25, 31, 37, 43, 49, \\
 P'_i &= P_i * R_{1A} & \text{dla } i &= 3, 9, 15, 21, 27, 33, 39, 45, 51, \\
 P'_i &= P_i * R_{0A} & \text{dla } i &= 5, 11, 17, 23, 29, 35, 41, 47, 53, \\
 P'_i &= P_i * R_{2B} & \text{dla } i &= 2, 8, 14, 20, 26, 32, 38, 44, 50, \\
 P'_i &= P_i * R_{1B} & \text{dla } i &= 4, 10, 16, 22, 28, 34, 40, 46, 52, \\
 P'_i &= P_i * R_{0B} & \text{dla } i &= 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54.
 \end{aligned}$$

Dla transmisji monofonicznej lub dwóch niezależnych dźwięków, FE1 = (R_{2n}, R_{1n}, R_{0n}) jest wyznaczany dla pierwszych kolejnych 32 słów cyfrowych, FE2 - dla następnych 32 słów. Informacja o FE1 i FE2 jest przekazywana do dekodera przez modyfikowane bity parzystości każdej próbki wg zależności: $P'_i = P_i + R_j$,

$P'_i = P_i + R_{2n}$	dla	$i = 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25,$
$P'_i = P_i + R_{1n}$	dla	$i = 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26,$
$P'_i = P_i + R_{0n}$	dla	$i = 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27,$
$P'_i = P_i + P_{2n+1}$	dla	$i = 28, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49, 52,$
$P'_i = P_i + P_{1n+1}$	dla	$i = 29, 32, 35, 38, 41, 44, 47, 50, 53,$
$P'_i = P_i + R_{0n+1}$	dla	$i = 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48, 51, 54.$

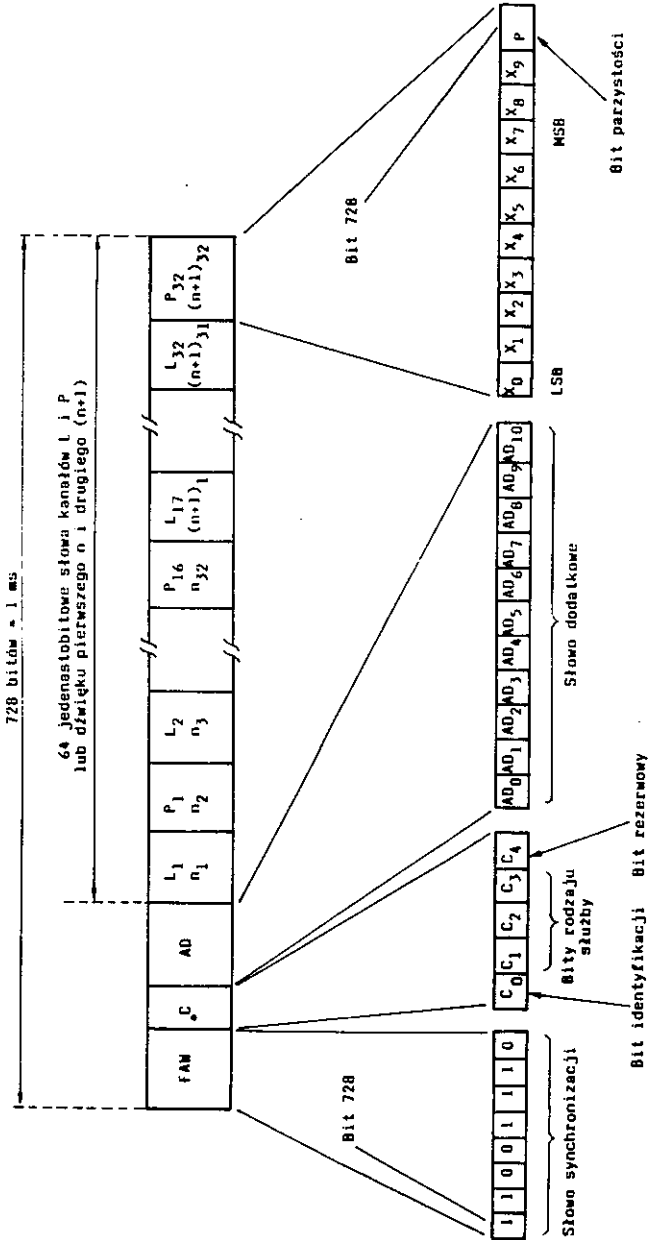
Bity parzystości w słowach od 55 do 64 nie są modyfikowane współczynnikami skali i nie noszą informacji o zakresie kodowania. Dwie grupy kodowe po 32 słowa 11-bitowe (10 bitów informacyjnych + zmodyfikowany bit parzystości) tworzą blok kodowy 704-bitowy (rys. 1). Każdy 704-bitowy blok kodowy jest poprzedzony 24-bitowym nagłówkiem (rys. 2) złożonym z:

- a) 8-bitowego słowa synchronizacji;
- b) 5-bitowej informacji kontrolnej C_0, C_1, C_2, C_3, C_4 ;
- c) 11-bitowego słowa dodatkowego.

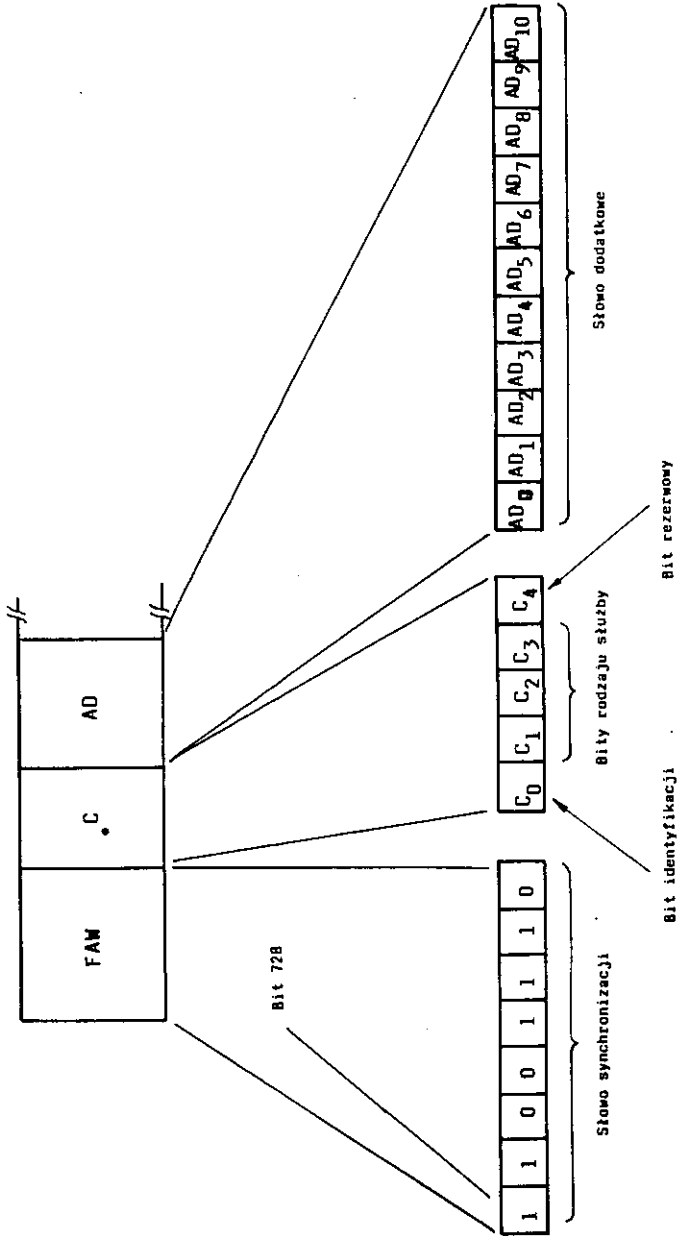
W przypadku a) 8-bitowe słowo synchronizacji wyznacza w dekodерze początek bloku kodowego i synchronizuje kolejne bloki kodowe.

W przypadku b) bity kontrolne C_1, C_2 i C_3 są poprzedzone bitem C_0 identyfikacji sekwencji 16 bloków kodowych. I tak $C_0 = 1$ dla pierwszych 8 bloków kodowych, a $C_0 = 0$ dla następnej grupy 8 bloków kodowych.

Jako pierwszy w sekwencji 16 bloków definiuje się ten blok kodowy, który jest pierwszy w grupie 8 bloków i ma $C_0 = 1$, zaś



Rys. 1. Blok kodowy przy transmisji dwóch niezależnych dźwięków



Rys. 2. Struktura nagłówka

jako ostatni (blok nr 16), a więc ten, który jest ostatni w grupie 8 bloków i ma $C_0 = 0$. Bity kontrolne C_0 służą do synchronicznych zmian typu informacji (np. dźwięk stereofoniczny lub dwa niezależne dźwięki monofoniczne albo dane) w kanale cyfrowym.

Bity C_1, C_2, C_3 definiują rodzaj (typ) informacji, jakie mogą być przesyłane w blokach kodowych 704-bitowych (tablica 4).

Tablica 4

Określenie rodzaju przesyłanych informacji

Bity kontrolne			Rodzaj informacji
C_1	C_2	C_3	
0	0	0	Sygnal stereofoniczny: kanał A, kanał B
0	1	0	Dwa niezależne sygnały dźwięku monofonicznego
1	0	0	Jeden sygnał dźwięku monofonicznego i sygnał danych (352 kbit/s)
1	1	0	Sygnal cyfrowy danych (704 kbit/s)

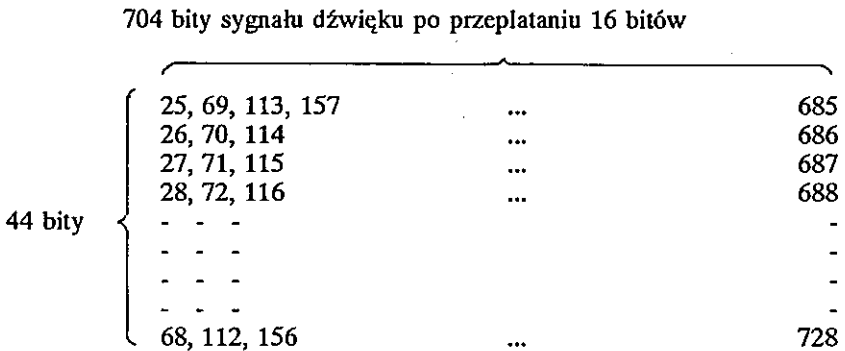
Ostatni z bitów kontrolnych C_4 (bit rezerwowany) przyjmuje wartość $C_4 = 1$, gdy w kanale analogowym pierwszego dźwięku towarzyszącego jest transmitowany ten sam program co w kanale drugim (cyfrowym). Gdy programy te są różne, $C_4 = 0$. Bit dodatkowy C_4 umożliwia wyłączenie w odbiorniku toru cyfrowego i przełączenie automatyczne na sygnał analogowy FM w przypadku zakłóceń w odbiorze transmisji cyfrowej.

W przypadku c) 11-bitowe słowo dodatkowe AD_0 do AD_{10} nie jest aktualnie wykorzystywane. Przewiduje się, że bity dodatkowe będą niosły informacje zawierające dodatkowe komentarze lub będą wykorzystywane jako kanał operatorski.

Blok kodowy 704-bitowy niesie informacje o sygnale z dźwięku lub inne dane. W ramach bloku przesyła się tylko jeden typ informacji (nigdy nie przeplata się informacji w bloku). Przy transmisji stereofonicznej $C_1 = C_2 = C_3 = 0$, słowa bitowe o numerach niepa-

rzystych ($i = 1, 3, \dots, 63$) niosą informację o kanale stereofonicznym A, a słowa o numerach parzystych - o kanale B. W bloku są przesyłane 32 słowa kanału A i kanału B. Strukturę bloku kodowego dla transmisji stereofonicznej i monofonicznej przedstawiono na rys. 1.

Do korekcji błędów grupowych stosuje się przeplatanie bitów. 704 bity informacyjne z każdego bloku kodowego są zapisywane w pamięci, z której są odczytywane w takiej kolejności jak podano na rys. 3. Przeplatanie bitów powoduje, że w każdym przypadku dwa sąsiednie, w bloku pierwotnym, bity są oddzielone 15 innymi, określonymi bitami. Przeplatania nie stosuje się dla 24-bitowego nagłówka.



Rys. 3. System przeplatania bitów w systemie NICAM

W celu zmniejszenia intermodulacji cyfrowego sygnału dźwięku i sygnału dźwięku analogowego FM, a także zmniejszenia wpływu sygnału cyfrowego na sygnał wizji (szczególnie w standardach B i G, gdzie podnośna dźwięku cyfrowego znajduje się w pobliżu wysokich częstotliwości wizji) stosuje się przekodowanie tzw. "skramblowanie" strumienia bitów. Polega ono na takiej obróbce sygnału cyfrowego, aby jego widmo energetyczne było zbliżone do widma szumu białego, a skramblowanie było synchroniczne z częstotliwością bloku

kodowego. Słowo synchronizacji (8-bitowe) nie jest skramblowane i synchronizuje generator sekwencji pseudoprzypadkowej w odbiorniku.

Pierwszym bitem podlegającym skramblowaniu jest bit C_0 5-bitowej informacji kontrolnej. Natomiast ostatnim bitem podlegającym skramblowaniu jest ostatni bit informacyjny w bloku kodowym, po którym następuje nieskramblowane, 8-bitowe słowo synchronizacji następnego bloku. Skramblowanie strumienia bitów ma miejsce po przeplataniu.

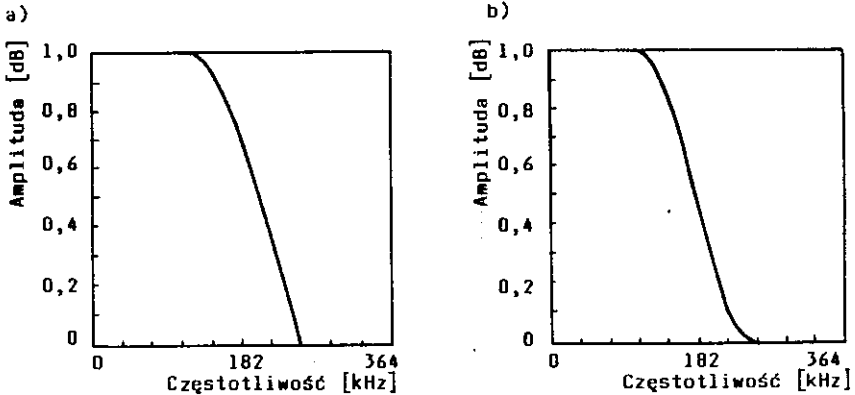
Sekwencja pseudoprzypadkowa jest definiowana przez wielomian generacyjny $x^9 + x^4 + 1$ i słowo początkowe 11111111. Tak ukształtowany sygnał cyfrowy kanału fonicznego ma prędkość bitową 728 kbit/s. Jest on następnie przekształcony na dwubitowy sygnał równoległy o częstotliwości symboli równej 364 kHz. Sygnał ten następnie moduluje z czterowartościowym kluczowanym przesuwem fazy (QPSK) sygnał drugiej nośnej dźwięku. Przed modulacją, w celu ograniczenia zajmowanego pasma częstotliwości, sygnał cyfrowy przechodzi przez filtr dolnoprzepustowy o charakterystyce kosinusoidalnej i stałym grupowym czasie przejścia. Charakterystyka tego filtru jest następująca.

Dla standardu B, G oraz H:

$$H(f) = \begin{cases} 1 & \text{dla } f < \frac{1-K}{2t_s} \\ \cos \left[\frac{\pi t_s}{2K} \left(f - \frac{1-K}{2t_s} \right) \right] & \text{dla } \frac{1-K}{2t_s} \leq f \leq \frac{1+K}{2t_s} \\ 0 & \text{dla } f > \frac{1+K}{2t_s} \end{cases}$$

$$K = 0,4 \quad t_s = \frac{1}{364} \text{ ms}$$

Zastosowanie takiego samego filtra po stronie odbiorczej daje przebieg charakterystyki pokazanej na rys. 4.



Rys. 4. Przebieg charakterystyki bitów dla standardów B, G, H
a) strona nadawcza; b) strona odbiorcza

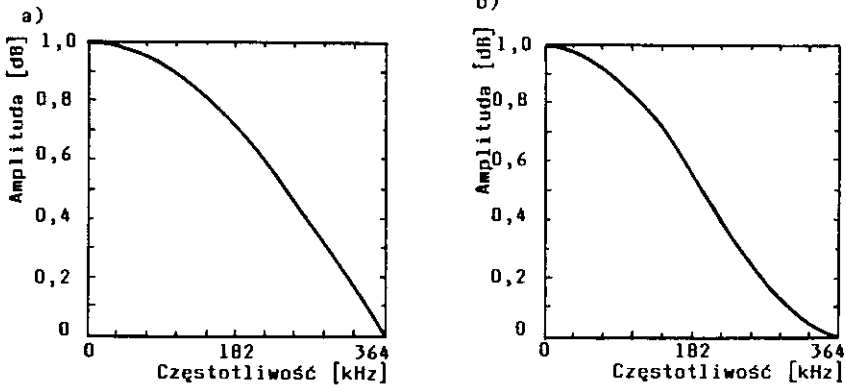
Dla standardu I:

$$H(f) = \begin{cases} \cos \frac{\pi t_s f}{2} & \text{dla } f \leq \frac{1}{t_s} \\ 0 & \text{dla } f > \frac{1}{t_s} \end{cases}$$

$$t_s = \frac{1}{364} \text{ ms}$$

Zastosowanie takiego samego filtra po stronie odbiorczej daje przebieg charakterystyki podany na rys. 5.

Pasmo częstotliwości cyfrowego sygnału fonicznego w standardzie I wynosi wówczas 700 kHz, a w standardzie B, G i H jest ograniczone do 500 kHz.



Rys. 5. Przebieg charakterystyki filtrów dla standardu I
a) strona nadawcza; b) strona odbiorcza

Zalecenie CCIR [12] nie określa jednak parametrów systemu cyfrowego NICAM dla standardów D i K, w których pasmo częstotliwości sygnału wizyjnego wynosi 6 MHz, a nośna pierwszego kanału fonicznego jest umieszczona w odstępnie 6,5 MHz od nośnej sygnału wizyjnego. W żadnym kraju nie przeprowadzono też prób systemu NICAM dla tych standardów. Podstawowym problemem związanym z wprowadzeniem systemu NICAM do sygnału telewizyjnego standardów D i K jest umieszczenie częstotliwości drugiej nośnej sygnału fonicznego. Ze względu bowiem na konstrukcję i koszt odbiorników oraz dostępność obwodów scalonych częstotliwość ta powinna być umieszczona w takim samym odstępnie od częstotliwości nośnej wizji, jak w innych standardach. Z drugiej strony, w przypadku umieszczenia częstotliwości drugiej nośnej sygnału fonicznego w odległości 5,85 MHz (jak w standardzie B, G) znajduje się ona w pasmie częstotliwości sygnału wizyjnego danego kanału i mogą powstawać zakłócenia i interferencje z tym sygnałem. W przypadku natomiast

umieszczenia częstotliwości nośnej drugiego kanału fonicznego w odległości 6,552 MHz (jak w standardzie I) znajduje się ona w pasmie częstotliwości pierwszego kanału fonicznego i mogą powstawać interferencje pomiędzy tymi sygnałami. Możliwe jest oczywiście umieszczenie częstotliwości drugiej nośnej sygnału w innej, w zasadzie dowolnej, odległości od nośnej sygnału wizyjnego. Wybór jest jednak bardzo trudny ze względu na szerokość pasma częstotliwości zajmowanego przez sygnał cyfrowy, np. przy przyjętym w b. Czechosłowacji odstępnie 5,824 MHz częstotliwość drugiej nośnej sygnału fonicznego znajduje się również w pasmie częstotliwości sygnału wizyjnego. Przyjęcie odstepu w zakresie częstotliwości 6 MHz ÷ 6,5 MHz jest także niekorzystne, ponieważ wówczas mogą powstać interferencje, zarówno w kanale wizyjnym jak i pierwszym kanale fonicznym. Natomiast przy położeniu drugiej nośnej sygnału fonicznego powyżej nośnej pierwszego kanału, np. w odstepie ok. 6,9 MHz, mogą powstać zarówno interferencje z dźwiękiem pierwszego kanału, jak i zakłócenia sygnału wizyjnego w sąsiednim górnym kanale. Ponadto przyjęcie dowolnego odstepu pomiędzy nośnymi wiąże się z koniecznością opracowania odpowiednich układów scalonych dla odbiornika.

5. SYSTEMY PRZESYŁANIA SYGNAŁU DŹWIĘKU NA WSPÓLNEJ FALI NOŚNEJ (SYSTEMY MULTIPLEKSOWE)

Systemy multipleksowe przesyłania drugiego dźwięku w telewizji są adaptacją systemu stereofonicznego stosowanego w radiofonii.

Sygnał dźwięku podstawowego jest przesyłany w kanale naturalnym, a sygnał drugiego dźwięku - na podnośnej. Przy emisji stereofonicznej w kanale dźwięku podstawowego przesyła się sumę sygnałów stereofonicznych kanału lewego (L) i prawego (R) $M = \frac{L+R}{2}$. W kanale

drugiego dźwięku jest przesyłana różnica sygnałów stereofonicznych $s = \frac{L-R}{2}$. Sygnałem różnicowym moduluje się podnośną, przesuwając w ten sposób sygnał w zakres częstotliwości ponadakustycznych - sygnał S_T . Sygnał S_T nakłada się na sygnał M i powstałym w ten sposób sygnałem kompleksowym $M + S_T$ moduluje się częstotliwościowo nośną nadajnika dźwięku towarzyszącego obrazowi.

W przyjętym w radiofonii systemie stereofonicznym zastosowano modulację amplitudy podnośnej o częstotliwości 38 kHz.

W telewizji w eksperymentalnych systemach wielokanałowej transmisji dźwięku towarzyszącego stosowano bądź modulację częstotliwości (system FM/FM), bądź modulację amplitudy sygnału podnośnej - system BTSC FM/AM. W celu uniknięcia zakłóceń interferencyjnych z sygnałem o częstotliwości linii sygnału wizyjnego, jako częstotliwość sygnału podnośnej przyjęto wielokrotność częstotliwości linii bądź jej nieparzystych połówek. Ze względu na potrzebę przesłania pasma akustycznego do 15 kHz oraz ekonomiczne wykorzystanie pasma do przesłania sygnału kompleksowego, za optymalną należy uznać częstotliwość sygnału podnośnej równą podwójnej częstotliwości linii ($2f_H$).

System o podnośnej $3f_H$ wymaga szerszego pasma do przesłania sygnału kompleksowego, a wybór podnośnej o nieparzystej wielokrotności połówek f_H , np. $\frac{3}{2}f_H$, $\frac{5}{2}f_H$, ogranicza pasmo akustyczne do 7 kHz (powoduje prążek interferencyjny o częstotliwości $\frac{1}{2}f_H$).

5.1. System FM/FM

W systemie tym, ze względu na możliwość zakłócenia sygnału dźwięku podstawowego przez modulowany sygnał podnośnej, dewiacja częstotliwości sygnału podnośnej jest ograniczona do ± 10 kHz, tak więc wskaźnik modulacji dla górnych częstotliwości sygnału modulującego jest mniejszy od 1.

Dewiację częstotliwości głównej nośnej przyjęto pomiędzy ± 10 kHz a ± 20 kHz. W celu poprawienia stosunku sygnału do zakłóceń stosuje się zwiększenie poziomu sygnału modulującego o większych częstotliwościach - preemfazę w nadajniku i odpowiednio deemfazę w odbiorniku w obu kanałach dźwięku.

Pasma m.cz. drugiego kanału dźwięku wynosi 50 - 14000 Hz. System może więc być wykorzystywany zarówno do transmisji dwóch niezależnych dźwięków dużej jakości, jak i jednego sygnału stereofonicznego. Wraz z sygnałami dźwięku podstawowego i drugiego dźwięku są przesyłane sygnały sterujące (identyfikacji rodzaju pracy) na dodatkowej podnośnej. Częstotliwość podnośnej sygnałów sterujących wybrano $3,5 f_H$.

W przypadku emisji dwóch dźwięków niezależnych podnośna jest modulowana w amplitudzie do głębokości 60% sygnałem o częstotliwości 922,5 Hz, a w przypadku emisji sygnałów stereofonicznych - sygnałem o częstotliwości 982,5 Hz. Główna nośna jest modulowana w częstotliwości podnośną sygnałów sterujących do dewiacji ± 2 kHz. Parametry systemu podano w tablicy 5.

System umożliwia również przesyłanie na dodatkowej częstotliwości podnośnej (niezależnie od sygnałów drugiego dźwięku na podnośnej dźwięku) sygnałów alfanumerycznych i graficznych (*broadcast facsimile*), które modulują dodatkową podnośną odpowiednio DQ PSK (system cyfrowy) lub FM (system analogowy).

System ten, jako pierwszy w świecie system wielokanałowej transmisji dźwięku w telewizji, opracowano w Japonii, gdzie od 1979 r. programy z dwoma dźwiękami (w języku japońskim oraz angielskim) zostały wprowadzone do normalnej eksploatacji w telewizji. Wersję systemu dla standardów B, G i H o parametrach podanych w tablicy 6 opracowano również w Szwecji, w którym to kraju - po przeprowadzeniu prób tego systemu oraz systemu NICAM - wybrano system NICAM.

Tablica 5

Parametry systemu przesyłania dwóch sygnałów dźwięku
w sygnale telewizyjnym na wspólnej fali nośnej FM/FM

Lp.	Parametry	Wartości
Kanał podstawowy		
1.	Maksymalna dewiacja częstotliwości głównej nośnej	± 25 kHz
2.	Pasma m.cz.	$50 \div 15000$ Hz
3.	Preemfaza	75μ
Kanał drugiego dźwięku		
4.	Częstotliwość podnośnej	$2 f_H$
5.	Maksymalna dewiacja częstotliwości podnośnej	± 10 kHz
6.	Maksymalna dewiacja częstotliwości głównej nośnej przez sygnał podnośnej	± 15 kHz
7.	Pasma m.cz.	$50 \div 14000$ Hz
8.	Preemfaza	$75 \mu s$
Stereofonia		
9.	Kanał (A+B)	$\frac{L+R}{2}$
10.	Kanał (A-B)	$\frac{L-R}{2}$
11.	Dewiacja częstotliwości głównej nośnej modulowanej podnośną	± 20 kHz
12.	Kompensacja opóźnienia sygnału w odbiorniku	$20 \mu s$
Sygnał sterujący		
13.	Częstotliwość sygnału podnośnej	$3,5 f_H$
14.	Częstotliwość sygnału modulowanego - 2 dźwięki - stereo	$922,5$ H $982,5$ Hz
15.	Wspólne głębokości modulacji amplitudy	60%
16.	Maksymalna dewiacja głównej nośnej modulowanej podnośną sygnału sterującego	± 2 kHz

Tablica 6

Parametry systemu przesyłania dwóch sygnałów dźwięku
w sygnale telewizyjnym na wspólnej fali nośnej FM/FM
(system telewizyjny B, G, H)

Lp.	Parametry	Wartości
Kanał podstawowy		
1.	Maksymalna dewiacja częstotliwości głównej nośnej	± 40 kHz
2.	Pasma m.cz.	$40 \div 15000$ Hz
3.	Preemfaza	50μ s
Kanał drugiego dźwięku		
4.	Częstotliwość podnośnej	$2f_H$
5.	Maksymalna dewiacja częstotliwości podnośnej	± 10 kHz
6.	Maksymalna dewiacja częstotliwości głównej nośnej przez sygnał podnośnej	$\pm 10 \div \pm 20$ kHz
7.	Pasma m.cz.	$40 \div 15000$ Hz
8.	Preemfaza	50μ s
9.	Współczynnik kompresji dynamiki	2 : 1
10.	Czas zadziałania	2 ms
11.	Czas powrotu	20 ms
Stereofonia		
12.	Kanał (A+B)	$\frac{L+R}{2}$
13.	Kanał (A-B)	$\frac{L-R}{2}$
14.	Dewiacja częstotliwości głównej nośnej modulowanej podnośną	$\pm 10 \div \pm 20$ kHz
Sygnał sterujący		
15.	Częstotliwość sygnału podnośnej	$3,5 f_H$
16.	Częstotliwość sygnału modulowanego - 2 dźwięki	922,5 Hz
	- stereo	982,5 Hz
17.	Współczynnik głębokości modulacji amplitudy	60%

5.2. System BTSC FM/AM

W systemie tym w kanale dźwięku podstawowego jest przesyłany sygnał "M", stanowiący sumę sygnałów stereofonicznych. Ma on taką samą preemfazę i maksymalną dewiację nośnej dźwięku jak sygnał monofoniczny. Natomiast w kanale drugiego dźwięku jest przesyłany sygnał różnicy kanałów stereofonicznych "S", który podlega kompresji, tworząc sygnał "S". Sygnał ten moduluje podnośną w amplitudzie z wytłumieniem nośnej. Częstotliwość podnośnej w systemie wynosi 31468 Hz i stanowi drugą harmoniczną sygnału pilotowego o częstotliwości linii. Sygnał pilotowy jest stosowany do synchronizacji dekodowania w kanale S.

W celu poprawienia stosunku sygnału do szumu stosuje się, oprócz preemfazy i deemfazy, kompresję dynamiki po stronie nadawczej oraz ekspansję po stronie odbiorczej.

System umożliwia przesłanie dodatkowo niezależnego sygnału dźwięku monofonicznego o pasmie częstotliwości od 50 Hz do 10 kHz na podnośnej równej $5 f_H$ modulowanej częstotliwościowo. Zwiększenie stosunku sygnału do szumu uzyskuje się w tym kanale w sposób analogiczny jak w kanale S. Możliwe jest również przesyłanie sygnału dźwięku nie związanego z programem lub sygnału danych na częstotliwości podnośnej równej $6,5 f_H$. Podstawowe parametry systemu podano w tablicy 7. System ten jest stosowany w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie.

System FM/AM jest mniej korzystny od systemu FM/FM ze względu na nieco mniejszą szerokość przenoszonego pasma. Ponadto w sygnale w systemie FM/AM występuje większy poziom zakłóceń interferencyjnych, co może być szczególnie dokuczliwe dla użytkowników urządzeń monofonicznych, ponieważ przy emisji dwudźwiękowej, niedostatecznie odfiltrowany sygnał drugiego dźwięku przez układ deemfazy, ulegając detekcji na nieliniowej charakterystyce toru małej częstotliwości odbiornika, wywołuje wzrost poziomu zakłóceń.

Tablica 7

Parametry systemu wielokanałowego przesyłania dźwięku
w telewizji na wspólnej fali nośnej system BTSC FM/AM
(system telewizyjny M)

Lp.	Parametry	Wartości
Kanał podstawowy $\frac{L+R}{2}$		
1.	Pasma m.cz.	50 ÷ 15000 Hz
2.	Maksymalna dewiacja częstotliwości głównej nośnej	±25 MHz
3.	Ograniczenie dewiacji na 15734 ±20 Hz przy transmisji monofonicznej	≤ 0,125 kHz
Kanał różnicowy $\frac{L-R}{2}$		
4.	Sygnał pilotujący	15734 ±2=f _H Hz
5.	Dewiacja sygnału pilotującego	±5 kHz
6.	Częstotliwość podnośnej	2 * 15734 Hz
7.	Rodzaj modulacji	dwuwstęgowa AM z wytłumieniem nośnej
8.	Pasma m.cz.	50 ÷ 15000 Hz
9.	Maksymalna dewiacja częstotliwości głównej nośnej przez niemodulowany sygnał podnośnej	0,25 kHz
Kanał drugiego dźwięku		
10.	Częstotliwość podnośnej	5 f _H ±500 Hz
11.	Rodzaj modulacji	FM
12.	Maksymalna dewiacja częstotliwości podnośnej	±10 kHz
13.	Maksymalna dewiacja częstotliwości głównej nośnej przez sygnał podnośnej	±15 kHz
14.	Pasma m.cz.	50 ÷ 10000 Hz
Kanał dodatkowy		
15.	Częstotliwość podnośna	6,5 f _H ±500 Hz
16.	Maksymalna dewiacja częstotliwości podnośnej	±3 kHz
Parametry ogólne		
17.	W kanałach podstawowych różnicowym i drugiego dźwięku stosuje się taką samą kompresję	patrz [14]

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z czterech systemów [12, 14] wielokanałowego nadawania dźwięków w telewizji, wymienionych w pkt. 1 niniejszego artykułu, dla warunków polskich są interesujące dwa systemy:

- analogowy system dwóch nośnych dźwięku FM,
- cyfrowy system NICAM 728.

System cyfrowy NICAM 728 (opisany w pkt. 4) jest systemem bardziej perspektywicznym umożliwia bowiem jednoczesne przesłanie trzech kanałów dźwięku (analogowego, monofonicznego z modulacją FM jak w systemach z jednym kanałem dźwięku oraz dwóch monofonicznych lub jednego stereofonicznego w postaci cyfrowej) albo dwóch sygnałów dźwięku i danych lub jednego sygnału dźwięku i 728 kbit/s strumienia danych. Zapewnia on uzyskanie większego stosunku sygnału do szumu niż w systemie analogowym oraz mniejsze zniekształcenia intermodulacyjne pomiędzy kanałami dźwięku i całkowite wyeliminowanie przestuchów międzykanałowych w sygnale stereofonicznym. Wymaga jednak szerokiego pasma częstotliwości (min. 500 kHz) sygnałów dodatkowych dźwięku.

Możliwość zastosowania systemu NICAM 728 w Polsce przy przyjętym standardzie (w którym pasmo częstotliwości sygnału wizyjnego wynosi 6 MHz, a nośną pierwszego kanału fonicznego umieszczono w odstępnie 6,5 MHz od nośnej sygnału wizyjnego) jest uzależniona od odpowiedniego wyboru odstępnie drugiej częstotliwości nośnej sygnału fonicznego od nośnej sygnału wizyjnego, co zostało omówione szczegółowo w pkt. 4. Wymaga to przeprowadzenia wielu badań, przede wszystkim subiektywnych, w pierwszej fazie w warunkach laboratoryjnych, a następnie prób eksperymentalnych systemu. System ten nie był bowiem w ogóle badany dla standardów D i K. Prowadzone obecnie przez Telewizję Polską we własnym zakresie badania eksploatacyjne systemu NICAM w Łodzi dotyczą jedynie

sprawdzenia pracy aparatury i nie mogą być traktowane jako badania systemowe. Nie dały one ponadto pozytywnych rezultatów.

System analogowy dwóch dźwięków FM (pkt. 3) umożliwia przesłanie dwóch kanałów fonicznych (dwóch niezależnych dźwięków monofonicznych lub jednego stereofonicznego) i nie jest systemem rozwojowym. Został on jednak w Polsce dokładnie przebadany, dokonano wyboru położenia częstotliwości nośnej drugiego kanału fonicznego i opracowano wstępne wymagania techniczne na taki system dla warunków polskich. Służby techniczne w kraju są przygotowane do przeprowadzenia eksperymentalnych emisji w tym systemie. Opracowano też koder fonii telewizyjnej oraz odpowiednie układy dopasowujące do nadajnika 27. kanału telewizyjnego w Warszawie. Ponadto zakupiono 10 nowych nadajników telewizyjnych, mających możliwość dwukanałowej emisji dźwięku metodą analogową. System ten nie wymaga wprowadzenia żadnych zmian w zasadach planowania sieci telewizyjnych.

Koszt urządzeń systemu analogowego znajdujących się po stronie nadawczej jest mniejszy niż urządzeń systemu cyfrowego. Odbiorniki telewizyjne z możliwością odbioru dwukanałowego dźwięku metodą analogową są w chwili obecnej również trochę tańsze niż odbiorniki umożliwiające odbiór dźwięku metodą cyfrową, różnica ta jednak jest niewielka ze względu na szybki postęp w technologii obwodów scalonych. W niektórych krajach, np. w Danii, są produkowane także odbiorniki dwusystemowe.

WYKAZ LITERATURY

1. BBC Engineering: Specification of a standard for UK Stereo-with television transmissions. September 1986.
2. Chudziński A.: Cyfrowy system NICAM 728. Przegląd Techniki Radio i Telewizja w Publ. Zagr., nr 1, 1993.

3. EBU Technical Recommendation: Specification for transmission of two-channel digital sound with terrestrial TV systems B, G, I. April 1987.
4. ETS 300 163: NICAM 728 Specification for transmission of two channel digital sound with terrestrial television systems B, G, H, I and L. ETSI, 1994.
5. Kamenik V.: Nadawanie dwóch dźwięków i problemy z wprowadzaniem systemu NICAM w sieci rozszewczej telewizji Czech i Słowacji. Przegląd Techniki Radio i Telewizja w Publ. Zagr., nr 1(83), 1993.
6. Karwowska-Lamparska A. (red.): Modernizacja i rozwój systemów radio-komuniacyjnych (RPBR 2.6). Przegląd Telekomunikacyjny, nr 7, 1991.
7. Katalog firmowy: RE-670 Sound in Stripper Unit.
8. Katalog firmowy: RE 840 X and RE 841 X Dual Sound In Sync System.
9. Matura V. Kamenik V., Cisai L.: Otchot ob izmierenii sistemy. Dual Sound In Sync (DSIS) fy RE Technology (tipa RE8400 i RE8410) v seti Intervidenija.
10. Nicam digital stereo. Electronics & Wireless World. August 1989.
11. UIT-R (CCIR) Recommendation 655: Radio frequency protection ratios for AM vestigial sideband television systems. Düsseldorf 1990.
12. UIT-R (CCIR) Recommendation 707: Transmission of multisound in terrestrial PAL television systems B, G, H and I. Düsseldorf 1990.
13. UIT-R (CCIR) Report 624-4: Characteristics of television systems. Düsseldorf 1990.
14. UIT-R (CCIR) Report 795-3: Transmission of two or more sound programmes or information channels in television. Düsseldorf 1990.
15. UIT-R (CCIR) Report 1214: Radio-frequency protection ratios for AM vestigial sideband television systems. Düsseldorf 1990.