

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

PROBLEMY

БИБЛИОТЕКА
Института Связи

ŁĄCZNOŚCI

142

1975

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 15

WARSZAWA 1975

NR 142

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - dr inż. Krystyn Plewko

Redaktorzy działów:

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

mgr inż. Józef Możejko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 590. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 12.09.1975 r.
Druk ukończono w grudniu 1975 r.



PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Opracowanie tłumaczeń

KWADROFONIA

Opracował St. Sypniewski

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Steinke G.: Stereo-ambiofonia podstawą kwadrofonii	1
2. Moortgat-Pick W.: Kwadrofonia w technice magneto- fonowej i płytowej	24
3. De Weger D., Eilers C., Fockens P., Prosser H.: Proponowane kwadrofoniczne systemy radiofoniczne UKF/FM	37

KWADROFONIA

621.396.97:684.84.087

STEREOAMBIOFONIA PODSTAWĄ KWADROFONII

Opracował St. Sypniewski na podstawie artykułu: Steinke G.: Stereo Ambiofonie, die Grundlage der Quadrofonie. Radio Fernsehen Elektronik 1972 R. 21, nr 11, 12 i 13, s. 345-348, 403-405, 439-441.

1. WSTĘP

Celem, do którego dąży elektroakustyka przy przekazywaniu wrażeń słuchowych jest niewątpliwie stworzenie w pomieszczeniu odsłuchowym u słuchacza takiej atmosfery przestrzennego brzmienia dźwięków, aby odniesione wrażenie miało pełne cechy naturalności, tj. wzbogacone zostało o efekty pozwalające na ocenę akustycznego charakteru przestrzeni otaczającej źródła dźwięku w połączeniu z informacjami kierunkową i odległościową ustalającą ich lokalizację w tej przestrzeni.

Tak zwane "naturalne brzmienie" audycji uzyskiwane na drodze precyzyjnego odtwarzania pola dźwiękowego, istniejącego w miejscu emisji, jest niezwykle trudne technicznie i kosztowne w realizacji, gdyż wymagałoby stosowania wielokanałowych instalacji stereofonicznych.

Jak stwierdziły liczne badania, dążenie takie można uważać za

zbędne, natomiast istotne wydaje się być odtworzenie tak zwanego efektu przestrzennego, pozwalającego na odczucie przez słuchacza cechy pomieszczenia, z którego prowadzona jest transmisja łącznie z wrażeniem znajdowania się wewnątrz tego pomieszczenia w optymalnie dogodnym miejscu, a dopiero w drugiej kolejności cech kierunkowego rozmieszczenia poszczególnych źródeł składowych całości otaczającego nas wydarzenia dźwiękowego.

Monofonia

Kilkadziesiąt lat rozwoju elektroakustyki w zastosowaniu do radiofonii, płyty gramofonowej, filmu i wreszcie telewizji opierało się na transmisji jednokanałowej dźwięków. W systemie monofonicznym, nawet przy maksymalnych osiągnięciach jakościowych w dziedzinie barwy i dynamiki dźwięku, redukcji zniekształceń oraz uwolnienia od zakłóceń i szumów towarzyszących audycji istnieją naturalne granice dla wierności reprodukcji.

Dźwięk w monofonii odczuwany jest jako źródło punktowe, które może być tylko nieznacznie poszerzone przy użyciu większej liczby równolegle połączonych i szerzej rozmieszczonych głośników. Głos solisty będzie w tym przypadku odczuwany przez słuchacza tak samo "szeroko", jak i towarzyszącej mu orkiestry. Zróżnicowanie brzmienia orkiestry jest w tym systemie tylko w pewnym nieznacznym stopniu możliwe przez wzajemne usytuowanie poszczególnych wykonawców jedynie w głąb studia, czyli w różnej odległości od mikrofonu, co może być spotęgowane w pewnym stopniu przez zastosowanie indywidualnych mikrofonów dla poszczególnych instrumentów. Wyjścia tych mikrofonów miksowane są poprzez układy sztucznego echa o dobieranym czasie pogłosu.

W związku z tym należy stwierdzić, że monofonia nie może zapewnić w pomieszczeniu odsłuchowym u słuchacza ani efektu kierunkowego, ani tym bardziej efektu przestrzennego, który jest niezbędny do wywołania wrażenia bezpośredniego znajdowania się w sali, z której nadawana jest audycja, powodującego optymalnie wierną reprodukcję wydarzeń dźwiękowych.

Stereofonia

Omówione wady systemu monofonicznego mogą być w znacznym stopniu usunięte przez zastosowanie niezależnych systemów dwu lub więcej kanałowych. Przez pojęcie stereofonia rozumiemy zgodnie z ustaleniami OIRT wielokanałowy system do nagrywania, przesyłania i odtwarzania wydarzeń dźwiękowych z zachowaniem towarzyszących im informacji kierunkowych. Dzięki temu słuchacz może być zorientowany o wzajemnym usytuowaniu poszczególnych źródeł dźwięku oraz o ich względnych rozmiarach w pomieszczeniu, z którego prowadzi się transmisję. Wskutek tego u słuchacza powstają wrażenia wiernie odwzorowujące źródła dźwięków słuchanej audycji bez akustycznej możliwości oceny miejsca, z którego się jej słucha. W rezultacie tych efektów przy odsłuchu poprawia się znacznie przejrzystość obrazu dźwięku i pojawia się elektroakustyczna możliwość odtworzenia ruchu poszczególnych źródeł na planie dźwiękowym.

Umiejętnie stosując technikę wielokanałową możliwe się staje odtworzenie również informacji przestrzennej, stwarzającej wrażenie współuczestnictwa słuchacza w pomieszczeniu, z którego prowadzi się transmisję. Mówimy wówczas o stereoambiofonii.

Ze względów techniczno-ekonomicznych współczesna radiofonia i technika nagrywania płyt gramofonowych, jak dotąd, ogranicza się niemal wyłącznie do dwukanałowego systemu stereofonii. W związku z tym konieczne są jednak określonego rodzaju kompromisy techniczne. Jednym z nich jest zachowanie warunku odpowiedniości z transmisją monofoniczną nazywany również kompatybilnością obu systemów, co uwarunkowane jest olbrzymim rozpowszechnieniem radiofonicznych emisji monofonicznych i związanym z tym faktem użytkowaniem wielomilionowego parku urządzeń odbiorczych, dostosowanych wyłącznie do tych emisji. Jak wiadomo, spełniając warunek odpowiedniości systemów zapewniamy możliwość odbioru treści emisji nadawanej stereofonicznie również przez odbiorniki monofoniczne, oczywiście jedynie jednokanałowo, ale z zachowaniem podstawowych informacji akustycznych.

W pewnym okresie istniała tendencja do forsowania w słownictwie technicznym terminu "bifonia" dla transmisji stereofonicznych dwukanałowych, co było uzasadnione analogią tego pojęcia do terminu "kwadrofonia" dla systemów czterokanałowych. Jak dotąd, terminologia ta nie zyskała jednak większego rozpowszechnienia w literaturze technicznej.

Kwadrofonia definiowana jest jako stereoakustyczny system czterokanałowy, który dzięki doprowadzeniu do uszów słuchacza dźwięków przychodzących ze wszystkich stron zapewnia wrażenie znajdowania się wewnątrz pomieszczenia, z którego prowadzi się transmisję. Należy zaznaczyć, że dysponując czterema kanałami elektroakustycznymi możliwe jest również uzyskiwanie innych wrażeń akustycznych, o których później będzie również mowa.

O ile przyjąć, że każdemu wydarzeniu dźwiękowemu towarzyszy w pomieszczeniu gdzie ono ma miejsce rozchodzenie się fali dźwiękowej, zarówno bezpośredniej jak i odbitej od płaszczyzn ograniczających to pomieszczenie, wówczas dążąc do podwyższenia jakościowych parametrów transmisji elektroakustycznej będziemy się starać zwiększyć dotychczas przesyłany strumień informacji. Powyższe założenie można spełnić poprzez niezależne przekazywanie informacji kierunkowych /stereoakustycznych/ oraz informacji przestrzennych /ambiofonicznych/ charakteryzujących akustycznie pomieszczenie, z którego transmitowane wydarzenie ma miejsce. Oczywiście, że należy również zachować wymaganą proporcję poziomów natężeń dźwięku niosących te informacje. Powyższe ogólne stwierdzenia nie definiują liczby niezależnych kanałów, jaka do realizacji założonego celu jest potrzebna, tym niemniej wydaje się niezbędnym co najmniej podwojenie ich liczby w stosunku do stosowanej przy przekazywaniu jedynie informacji kierunkowej.

Uogólniając zagadnienie należy stwierdzić, że stereoambiofonia powinna przedstawiać sobą problem kwadrófonii spełniającej warunek odpowiedniości z dwukanałową stereofonią, przy czym w pierwszej z nich kładzie się większy nacisk na uzyskanie wrażeń przestrzennych /ambiofonicznych/, a w drugiej stereofonicznych /kierunkowych/.

2. STEREOAMBIOFONIA

W Centralnym Urzędzie Radiofonii /RFZ/ w NRD szczegółowo badano możliwości odtworzenia względnie wytworzenia rozproszonego pola akustycznego w pomieszczeniu odsłuchowym.

Już znacznie wcześniej przeprowadzano próby z efektem pseudostereofonicznym uzyskiwanym przez dodanie do informacji monofonicznej, nadawanej synfazowo z dwu rozstawionych głośników, dodatkowej informacji uzyskanej przez opóźnienie czasowe sygnałów monofonicznych i odwrócenie ich fazy oraz odtworzenie ich przez dodatkowy trzeci głośnik umieszczony za słuchaczem.

Osiągnięte rezultaty nie mogły być w pełni zadowalające, gdyż sztucznie uzyskiwany efekt odpowiadał tylko pojedynczemu odbiciu od ściany pomieszczenia studyjnego, co nie wystarczało dla stworzenia wrażenia ambiofonicznego przy odsłuchu audycji, pozwalającego na ocenę jego akustycznych właściwości.

Już w 1956 r. Lauridsen zwrócił uwagę, że stereofoniczna transmisja typu $M/S^{x/}$ ogromnie zyskuje na ocenie jakościowej przez słuchacza, gdy do takiej dwukanałowej reprodukcji dodaje się informację przestrzenną S nadawaną z dodatkowych głośników rozmieszczonych w sali odsłuchowej w ten sposób, aby wytworzyć wrażenie przestrzennych odbić dźwięków.

W celu naśladowania przestrzennych odbić dźwięków występujących w sali studia emisyjnego, skąd odbywa się transmisja, Vermeulen zastosował sztuczny pogłos stereofoniczny, przy którym na drodze elektrycznej wytwarza się z transmitowanej bezpośredniej informacji dźwiękowej szereg nowych sygnałów o różnym opóźnieniu czasowym i indywidualnie dobieranym poziomie głośności. Reprodukacja odbywa się przez liczne głośniki rozmieszczone na sali odsłuchowej. Sposób ten znalazł liczne zastosowania, zwłaszcza przy poprawianiu słyszalności w salach koncertowych i teatralnych.

^{x/} "Mitte/Selte", przy czym $A+B = M$ oraz $A-B = S$.

Opisana metoda została w latach późniejszych słusznie określona mianem "ambiofonii", gdyż przy zastosowaniu jej słuchacz odczuwa wrażenie zmiany właściwości akustycznych otoczenia w sali odsłuchowej. W dalszym rozwoju tej techniki, jak np. w kinematografii, zaczęto stosować wielościeżkowy zapis magnetofonowy, dzięki któremu można było przy wyświetlaniu filmu, zależnie od ruchu źródeł dźwięku na ekranie, doprowadzać odpowiednio spreparowane informacje do poszczególnych głośników w sali kinowej.

W wyniku takich doświadczeń L. Keibs wprowadził do literatury technicznej jako uzupełnienie pojęć dotąd stosowanych przy opisie zjawisk akustycznych w rodzaju: "perspektywy dźwięku", "kąta słyszalności" lub "stereofonicznej rozdzielczości dźwięku" również pojęcie "atmosfery akustycznej".

Ten sam badacz zestawiał podstawowe wymagania techniczne charakteryzujące stereoambiofonię w sposób niżej podany:

A. Po stronie nagrywania w studio:

- indywidualne i rozdzielone opracowanie czterokanałowej bezpośredniej informacji elektroakustycznej oraz informacji przestrzennej, uzyskiwanych z osobnych grup mikrofonów;
- umieszczenie mikrofonów informacji przestrzennej w punktach o bogatej liczbie odbić fal dźwiękowych;
- odwzorowywanie rozkładu pola akustycznego w wybranym i określonym punkcie studia przez wprowadzenie opóźnień czasowych informacji bezpośredniej względem informacji przestrzennej.

B. Przy nagrywaniu lub przesyłaniu audycji:

- rozdzielone nagrywanie lub przesyłanie informacji bezpośredniej oraz przestrzennej przy wykorzystaniu technik trój- lub czterokanałowej;
- zapis lub przesyłanie sygnałów złożonych obejmujących zarówno informacje bezpośrednie jak i przestrzenne dla lewego i prawego kanału stereofonicznego przy konieczności wykorzystywania techniki dwukanałowej.

C. Po stronie odtwarzania w pomieszczeniu odsłuchowym

- przy stosowaniu techniki czterokanałowej odtworzenie podstawowej bezpośredniej i stereofonicznej informacji poprzez dwa niezależne zestawy głośnikowe umieszczone przed słuchaczem oraz informacji uzupełniającej - przestrzennej poprzez zestawy głośnikowe umieszczone z tyłu za nim i skierowane na ściany pomieszczenia dla uzyskania silnie rozproszonych, odbitych fal akustycznych;
- przy stosowaniu z konieczności techniki dwukanałowej odtworzenie obu złożonych stereofonicznych informacji przez dwa typowe stereofoniczne zestawy głośnikowe rozmieszczone przed słuchaczem i dodatkowej informacji przestrzennej utworzonej przez różnicę obu złożonych informacji podstawowych, którą się odtwarza przez niezależny zestaw głośnikowy umieszczony z tyłu za słuchaczem.

D. Warunek odpowiedniości

- zawsze obowiązuje pełne zapewnienie warunku odpowiedniości w każdym ze zdefiniowanych tu systemów dwu lub czterokanałowych z powszechnie stosowaną stereofonią dwukanałową oraz zwykłą informacją monofoniczną.

Z powyższego zestawienia głównych wymagań stereoambiofonii, zdefiniowanych już w latach sześćdziesiątych, wynika wyraźnie, że zostały one zapewnione dopiero wiele lat później przy wprowadzaniu niezależnokanałowej kwadrofonii typu $/4-4-4/$, pod którym to oznaczeniem rozumiemy czterokanałowe nagrywanie, czterokanałowe przesyłanie i czterokanałowe niezależne odtwarzanie.

Dla oceny aktualnego stanu rozwoju omawianej dziedziny elektroakustyki nie bez znaczenia jest fakt licznych prób stosowania rozwiązań połowicznych i uproszczonych. Przede wszystkim należy tu wymienić systemy tzw. pseudokwadrofoniczne typu $/2-2-4/$, w których nagrywa się i przesyła typową dwukanałową informację stereofoniczną, a przy odtwarzaniu uzyskując sygnały różnicowe rozbudowuje całość do czterech kanałów odsłuchowych.

Drugim z uproszczonych jest tzw. system quasi-kwadrofoniczny względnie matrycowy, w którym nagrywanie i odtwarzanie jest czterokanałowe, a jedynie przesyłanie informacji odbywa się dwukanałowo przez tworzenie dwu złożonych informacji stereofonicznych. Jak z powyższego widać, jest to system $/4-2-4/$. Zyskał on rozpowszechnienie w przemyśle płytowym i można oczekiwać jego wprowadzenia w radiofonii.

Dla lepszego zrozumienia istotnych szczegółów powyższych systemów współczesnej kwadrofonii omówimy nieco obszerniej poszczególne fazy ich realizacji.

Technika studyjna

Jednym z głównych zadań reżysera dźwięku przy realizacji określonej audycji jest właściwe dobranie wzajemnych proporcji przy na-

grywaniu dźwięku bezpośredniego /B/ i przestrzennego /P/. Stosunek B/P dla określonego punktu w pomieszczeniu studyjnym lub odsłuchowym, przy technice wielokanałowej, jest w pewnym sensie miarą stopnia spotęgowania wrażenia odnoszonego przez słuchacza, które pozwala mu na odczucie znajdowania się w określonym miejscu w studio w czasie wykonywania słuchanego wydarzenia dźwiękowego lub audycji. Właśnie z tego względu sygnały niosące informację B oraz informację P muszą być od siebie niezależne i w związku z tym ich elektroakustyczna obróbka powinna być również niezależna.

Przy dotychczasowej praktyce studyjnej wzajemna odległość mikrofonów dla informacji B oraz P nie mogła przekraczać 12 m, gdyż była to granica zauważalności zjawiska pogłosu. Tymczasem przy wnikliwych badaniach odkryto, że optymalne dla informacji P jest opóźnienie względem dźwięku bezpośredniego sięgające 50 ms, co wymagałoby znacznego zwiększenia wzajemnej odległości ustawienia wspomnianych grup mikrofonów.

Starano się obejść tę trudność ustawiając w dużych studiach mikrofon P około 10 m ponad podium orkiestrowym, jednak i tu występowały niekorzystne oddziaływania dźwięku bezpośredniego komplikowane na dodatek przez kierunkowe właściwości dźwiękowe poszczególnych instrumentów.

Dopiero wprowadzane przez L. Keibsa kompensowanie wzrostu niezbędnego rozstawienia mikrofonów, służących dla informacji typu B oraz typu P, uzyskiwane przez zastosowanie elektrycznego opóźniania sygnałów z mikrofonów B względem sygnałów z mikrofonów P pozwoliło na opanowanie omawianego zjawiska.

Na rysunku 1^{x/} przedstawiono szkic dużego studia o objętości 10.000 m³ oraz połączeń ustawienia poszczególnych mikrofonów wraz z towarzyszącym układem torów wzmocnienia i obróbki sygnałów mikrofonowych dla obu grup informacji B i P.

Optymalna odległość 24 m od podium dla mikrofonów grupy P i minimalna odległość 5 m dla mikrofonów grupy B zmusza do wprowadzenia opóźnień sygnałów dla tych ostatnich. W przypadku przyjęcia założenia, że chodzi o wierne odtworzenie w pomieszczeniu odsłuchowym wrażenia, iż słuchacz znajduje się w punkcie oznaczonym I /na rysunku studia/, wymagane opóźnienie sygnałów mikrofonów grupy B powinno wynosić 55 ms, odpowiadając rozstawieniu 19 m występującemu pomiędzy obu grupami mikrofonów. Gdyby tego sposobu nie zastosować, sygnały z mikrofonów grupy P byłyby na tyle opóźnione, że wywierałyby na słuchaczu wrażenie sztucznego pogłosu, niwecząc zamierzony przez reżysera efekt dźwiękowy.

W przypadku natomiast wiernego odtworzenia wrażeń odnoszonych przez słuchacza zajmującego miejsce w studio odpowiadające punktowi oznaczonemu II /na rysunku studia/, co zwykle jest preferowane, należy uwzględnić, iż informacja bezpośrednia z mikrofonów grupy B przychodzić będzie ze znacznie większym poziomem, a dźwięki pochodzące z odbić dopiero z opóźnieniem rzędu 35 ms przy poziomie o 8 dB niższym. W związku z tym zastosowane opóźnienie sygnałów odpowiadających informacji B należałoby ograniczyć jedynie do 55 ms - 35 ms = 20 ms, a przez odpowiednie tłumiki uwzględnić różnicę ich poziomów.

^{x/} Rysunki są zamieszczone na końcu artykułów.

Przez regulację czasu opóźnienia wynoszącą w naszym przykładzie od 20 ms do 55 ms i korektę poziomów sygnałów miksowania można u słuchacza znajdującego się w pomieszczeniu odsłuchowym wywołać wrażenie przemieszczania jego miejsca obserwacji w studio pozornie z odległości 10 m do 24 m od podium orkiestrowego.

Powyższe obserwacje są charakteru zasadniczego dla stereoambiofonii, a mimo to jak dotąd znajdują rzadko miejsce w publikacjach dotyczących kwadrofonii.

Również, gdy się chce uzyskać optymalne rezultaty, możliwe w danych warunkach do osiągnięcia, to właściwy wybór typu stosowanych mikrofonów ma istotne znaczenie.

Sposób uzyskiwania niezbędnych opóźnień czasowych dla sygnałów elektroakustycznych z poszczególnych grup mikrofonów wymaga stosowania specjalnych magnetofonów stereoakustycznych o zamkniętej pętli taśmy magnetofonowej lub odpowiednio sklezionej taśmie w kasecie o obiegu zamkniętym. Zmiana czasu opóźnienia sygnałów uzyskiwana jest przez zmianę wzajemnego rozstawu głowic nagrywającej i odczytującej magnetofonu. Ostatnio zaczęto również stosować elektroniczne cyfrowe układy dla opóźniania sygnałów, co uwalnia technikę studyjną od kłopotliwych problemów mechaniczno-taśmowych w rozgłośniach.

Przy omawianiu powyższych zagadnień nie można pominąć sprawy sztucznego stwarzania u słuchaczy wrażeń ambiofoniczno-prze-strzennych, co może mieć swój zakres zastosowań np. przy określonego typu słuchowiskach lub transmisjach teatralnych.

Nagrywanie i przesyłanie sygnałów

Zapis sygnałów stereoambiofonicznych powinien odbywać się w studio na magnetofonie co najmniej czterościeżkowym, osobno dla poszczególnych informacji typu B i typu P, albo kompromisowo metodą dwukanałową i wtedy wymaga osobnego matrycowania z uwzględnieniem właściwych poziomów w obu złożonych informacjach stereofonicznych, tak aby nie zatracić znaczenia informacji niesionej przez dźwięki dochodzące bezpośrednio do słuchacza /B/ na rzecz uzupełniającej informacji przestrzennej /P/.

Przy odtwarzaniu zapisu stereoambiofonicznego najlepsze rezultaty w pomieszczeniu odsłuchowym uzyskiwane są wówczas, gdy informacja przestrzenna /P/ dociera do słuchacza poprzez głośniki umieszczone z tyłu za nim i skierowane w ten sposób, aby uzyskać możliwie rozproszone pole akustyczne bez możliwości odczucia wyraźnej lokalizacji jego źródeł. Wówczas wrażenie bezpośredniego uczestnictwa w sali studyjnej, skąd była nagrywana audycja, jest najpełniejsze.

Trzeba tu zaznaczyć, że już wiele lat temu w praktyce studyjnej radiofonii czyniono próby stereoambiofonicznego nagrywania i odtwarzania audycji, choć nie ośmieliły one przedstawicieli przemysłu urządzeń elektroakustycznych codziennego użytku do rozszerzenia tych prób na sprzęt produkowany masowo. Główną przyczyną tej powściągliwości była niewątpliwie zbyt daleko posunięta komplikacja niezbędnych do tego celu urządzeń oraz strona ekonomiczna całego zagadnienia. Jednak już w 1971 r. ukazały się na rynku sprzętu codziennego użytku niektóre modele odtwarzających urządzeń stereofonicznych uzupełnione zgodnie z poglądami L. Keibsa

w dwa dodatkowe kanały przeznaczone do odtwarzania informacji przestrzennej, uzyskanej przez utworzenie różnicy sygnałów podstawowych stereofonii w systemie A - B oraz ich odwrotności B - A. Głośniki dla ich reprodukcji zaleca się ustawiać w obu tylnych narożach pomieszczenia odsłuchowego, skierowując je wprost na jego ściany.

Oczywiście, że uzyskiwane w tym przypadku efekty są typu pseudokwadrofonicznego, ale odczucie u słuchacza wyraźnie je preferuje w porównaniu ze zwykłą dwukanałową stereofonią /porównaj rys. 2/.

Warunek odpowiedniości

Warunek ten narzucany jest zarówno przez przemysł fonograficzny jak i radiofonię, a wynika z wielomilionowego parku zwykłych gramofonów oraz wielokrotnie większej liczby odbiorników monofonicznych, które przez wiele lat będą się jeszcze ciągle znajdować w użyciu. Wprowadzając nową i bardziej wszechstronną technikę nagrywania i reprodukcji, trzeba umożliwić wszystkim posiadaczom prostszych urządzeń odsłuch przynajmniej podstawowej informacji monofonicznej, wówczas gdy dysponujący urządzeniami stereofonicznymi będą ją mieli uzupełnioną dodatkową informacją kierunkową, a ci co zainstalują urządzenia kwadrofoniczne będą mogli korzystać z pełnej stereoambiofonii.

3. PSEUDOKWADROFONIA

Pseudokwadrofonią nazywamy system uproszczony typu /2-2-4/, w którym oparto się o typową dwukanałową stereofonię uzupełnioną elektroakustycznie otrzymanymi w sposób sztuczny sygnałami pochodnymi, zawierającymi głównie informację przestrzenną, dzięki czemu przy odtwarzaniu możliwa jest rozbudowa całości przekazywanych słuchaczowi informacji do liczby czterech, stwarzając pozorne odczucie pełnej atmosfery akustycznej.

System taki ze względów ekonomicznych może być interesujący, tym bardziej że zapewnia słuchaczowi odbieranie wrażeń, które wielokrotnie mogą się zbliżyć do uzyskiwanych przy pełnej czterokanałowej stereoambiofonii. Z tego też względu system ten jest powszechnie stosowany w przemyśle płytowym dla przygotowywania wersji kwadrofonicznej starych, archiwalnych nagrań dwukanałowych. Podobnie rzecz się ma również w radiofonii, chociaż tu jest mniej doświadczeń ze względu na jak dotąd jedynie eksperymentalny charakter emisji kwadrofonicznych, wynikający z braku ustalenia jakiegokolwiek standardu międzynarodowego w tej dziedzinie.

Przy pseudokwadrofonicznym opracowaniu audycji w warunkach profesjonalnych możliwe jest poza uzyskaniem dźwięku różnicowego A - B oraz B - A również stosowanie zmian opóźnienia czasowego, przesunięcia fazy itp. manipulacji w poszczególnych kanałach, przydatnych dla wywołania specjalnych efektów przy odsłuchu dźwięku przestrzennego.

4. QUASI-KWADROFONIA

Quasi-kwadrofonią w szeregu publikacjach nazywany jest również uproszczony system, ale odpowiadający typowi /4-2-4/, w którym nagrywamy i odtwarzamy informację stereoambiofoniczną czterema kanałami, a jedynie dla uproszczenia przesyłamy ją metodą dwukanałową. Metoda ta związana jest z procesem dwukrotnego matrycowania sygnałów na początku i końcu ich drogi przesyłowej. Pojęcie quasi-kwadrofonii należy rozumieć szeroko, tzn. odnosi się ono nie tylko dosłownie do dwukanałowej linii przesyłowej, lecz także np. do zapisu na płytach gramofonowych systemem $45^\circ/45^\circ$, podobnie jak i tradycyjnej dwukanałowej stereofonii. System ten znajdzie prawdopodobnie zastosowanie również przy emisji radiofonicznej, gdzie dzięki operowaniu dwukanałową złożoną informacją zaoszczędza się sporo na szerokości wstęgi modulowanych sygnałów emitowanych w eter.

Dla bardziej poglądowego przedstawienia stosowanej tu terminologii, zestawiono dotąd omawiane cechy odnoszące się do nagrywania, przesyłania i odtwarzania dźwięków w systemach elektroakustycznych, które zgrupowano na tablicy na str. 17.

Tendencje rozwojowe systemów czterokanałowych

W ostatnich latach w dziedzinie urządzeń elektroakustycznych na rynkach światowych nastąpił znaczny wzrost podaży aparatów przystosowanych do różnych systemów czterokanałowej reprodukcji dźwięku. Trzeba zauważyć, że rozwój ten dotyczy dziedziny "hardware", czyli konkretnych urządzeń, a nie "software", czyli

Terminologia stosowana w technice elektroakustycznych systemów nagrywania i odtwarzania dźwięków

Lp.	Rodzaj sygnałów mikrofonowych	Liczba kanałów							
		po stronie studyjnej					po stronie odtwarzania		
		nagrywanie	'zapis	'zapis	'zapis	przesyłanie	odtwarzanie		
		opracowanie	opracowanie	opracowanie	opracowanie				
1	Informacja dźwiękowa	1	-	1	-	-	1	-	1
2	"	1	-	1	X	2	2	-	2
3	"	1	-	1	-	-	1	X	2
4	Informacja dźwiękowa i kierunkowa	2	-	2	-	-	2	-	2
5	"	2	-	2	X	4	4	-/X	4
6	"	2	-	2	-	-	2	X	4
7	"	4	-	4	X	2	2	X	4
8	"	4	X	2	-	-	2	X	4
9	"	4	-	4	-	-	4	-	4

c.d.

Określenie systemu w zależności

	od charakteru informacji	od liczby kanałów
1	monofonia	monofonia
2	pseudostereofonia	pseudobifonia
3	pseudostereofonia	pseudobifonia
4	stereofonia	bifonia
5	stereopseudoambifonia	pseudokwadrofonia
6	stereopseudoambifonia	pseudokwadrofonia

raczej technologii przygotowania materiału programowego i zasad realizacji stosowanego systemu.

Główną przyczyną takiego stanu rzeczy jest brak jak dotąd ustaleń normatywnych regulujących w skali międzynarodowej podstawy wymagań technicznych wybranego i zalecanego systemu.

Wiele dużych firm wypracowało w tej dziedzinie swoje konkretne propozycje, a nawet wyprodukowało serie informacyjne urządzeń powszechnego użytku na nich oparte, ale wobec braku uzgodnień międzynarodowych trudno było w tych warunkach liczyć na szersze rozpowszechnienie. W rezultacie istnieje szereg systemów czterokanałowych, które wzajemnie nie są wymienne i mniej lub bardziej spełniają teoretyczne wymagania stereoambiofonii. Chcąc zorientować się w tej dziedzinie techniki należy zapoznać się przynajmniej z najbardziej typowymi przykładami istniejących kierunków realizacji różnych systemów.

Warianty systemów czterokanałowych

System czterokanałowej reprodukcji dźwięku znany jest od szeregu lat w technice filmowej i rozpowszechniony pod nazwą "Cinemascope". W sali projekcyjnej kina zastosowane są cztery kanały akustyczne, a reprodukcję dźwięku zapewniają cztery niezależne grupy głośników rozmieszczonych za ekranem, tak jak to podaje rys. 3a. Stosuje się również inną konfigurację, przy której za ekranem rozmieszczone są jedynie trzy grupy głośników, a czwarta grupa jest zainstalowana za plecami widzów, w tyle sali projekcyjnej, i służy do odtwarzania specjalnych efektów akustycznych ubarwiających jedynie wyświetlaną akcję /rys. 3b/.

Oczywiście istnieje możliwość wykorzystania opisywanego u-sytuowania głośników również przy nagraniach płytowych, magnetofonowych, a nawet w radiofonii, ale nie wydaje się to najbardziej celowe chociażby ze względu na występujące równoczesne zubożenie w przekazywaniu informacji przestrzennej na korzyść bardziej pełnego odtworzenia informacji lokalizującej źródła dźwięku, co ma swoje uzasadnienie właśnie w sztuce filmowej.

W interesującym nas zakresie zastosowań zajmiemy się dalej systemami stereoambiofonicznymi, których głównym celem jest stworzenie u słuchacza możliwie pełnego wrażenia atmosfery akustycznej słuchanego wydarzenia.

W związku z tym zagadnieniem, poza dotąd cytowanymi, w licznych publikacjach można również spotkać szereg dalszych odmian usytuowania względem słuchacza głośników odtwarzających w pomieszczeniu odsłuchowym, podobnie jak to podają przykładowo rys. 3c, 3d, 3e i 3f.

Teoretycznie można by stwierdzić, że dla typowych prostopadłościennych pomieszczeń odsłuchowych, z jakimi w naszych mieszkaniach mamy do czynienia na co dzień, wobec występowania sześciu płaskich powierzchni ograniczających i ośmiu naroży graniastosłupowych, chcąc możliwie wiernie odtworzyć atmosferę akustyczną przy odsłuchu określonej audycji należałoby właściwie użyć sześciu niezależnie sterowanych głośników rozmieszczonych każdy w środku kolejnej powierzchni ograniczającej, a więc ścian, podłogi i sufitu pomieszczenia odsłuchowego, albo np. ośmiu takich systemów głośnikowych we wszystkich narożach tego pomieszczenia.

Dzięki takiemu nakładowi środków technicznych udałoby się niewątpliwie wiernie odtworzyć rozkład bezpośrednich i odbitych fal

dźwiękowych, jak i ich wzajemną zależność amplitudową, kierunkową, a nawet wzajemne opóźnienie czasowe. W stosunku do tych wyidealizowanych wymagań system czterech niezależnych informacji elektroakustycznych, czyli kwadrofonia przedstawia jednak sobą praktycznie wystarczającą i optymalną ich liczbę, tym bardziej że słuchacz odnosi swoje wrażenia znajdujące się zazwyczaj na określonej wysokości ponad poziomem podłogi. Tak rozumiana przestrzeń pomieszczenia odsłuchowego wykorzystywana jest przez słuchacza tylko w bardzo ograniczonym stopniu. W związku z tym przy właściwym rozmieszczeniu czterech systemów głośnikowych w pomieszczeniu odsłuchowym uzyskujemy bliski do ideału stan faktyczny. Dalsze dodawanie dodatkowych informacji jest co najmniej dyskusyjne, chociaż trzeba by wspomnieć o najnowszych propozycjach sugerujących przy transmisjach radiowych stosowanie tzw. "trifonii" wraz z wykorzystaniem czwartego kanału do przekazywania informacji dotyczącej lokalizacji źródła dźwięku odnośnie odczucia wysokości nad poziomem podłogi, co rozbudowuje system czterokanałowy do możliwości odtworzenia wrażeń akustycznych typu "kubofonii".

Zważywszy jednak wymogi kompatybilności z ogólnie przyjętym systemem dwukanałowej stereofonii narzuca się właściwie tylko konfiguracja rozmieszczenia odtwarzających systemów głośnikowych zgodnie z tym, co podaje rys. 4c, gdyż ona ma zwłaszcza ze względów ekonomicznych jedynie rację bytu, jednak i w tej dziedzinie należy również oczekiwać międzynarodowo uznanej normalizacji. Powinno się tu zdecydowanie podkreślić, że bez tego typu ustaleń trudno spodziewać się szerszej pojętej i wzajemnie skutecznej wymiany materiałów nagraniowych czy retransmisji programów w sie-

ciach radiofonicznych. Również sprawa masowego rozpowszechniania płyt gramofonowych lub taśm magnetofonowych w dotychczasowych warunkach staje się iluzoryczna.

Przyjmując zatem jako najbardziej racjonalne usytuowanie odtwarzających systemów głośnikowych w pomieszczeniu odsłuchowym, wg rys. 4, możemy przystąpić do szczegółowszego zapoznania się z wybranymi i lansowanymi przez wytwórców systemami zapisu i odtwarzania w układzie czterokanałowym.

WYKAZ LITERATURY

1. Steinke G. : Zur Frage der Verwirklichung von Stereophonie und "High Fidelity" im Studiobetrieb und beim Rundfunkhörer. Radio u. Fernsehen 1966 t. 15 H.20, s. 613-615, H.21, s.649-651, H.22, s. 680-682, 685.
2. Fletcher H. : Basic requirements of the auditory perspective, J. SMPTE 1953 nr 61, s. 415.
3. Schiesser H. : Vier Kanal-Tontechnik. Funktechnik 1971 t. 26, H.2, s. 47-50.
4. Steinke G. : Einige Überlegungen zum Stereo-Aufnahme- und Senderbetrieb. Nachrichtentechnik 1965 t. 15 H.7, s.263-267.
5. Keibs L. : Perspektiven für eine raumbezogene Rundfunkübertragung. Tech. Mitt. BRF 1960 t. 4, H.1/2, s.2-20.
6. Keibs L. Zur Frage der Kompatiblen stereoambiofonen Schallübertragung auf zwei Kanälen. Tech. Mitt. BRF 1961 t. 5 H.3, s. 105.

7. Steinke G.: Vorbereitungen für die Übertragungstechnik beim Rundfunk. Tech. Mitt. BRF 1961 t. 5 H.2, s. 59-65.
8. Hardt W.: Mehrkanal-Stereofonie, Quadrofonie, Ambiofonie. Funkschau 1971 t. 43, H.12, s. 365-368, H.13, s. 419-420.
9. Kühne F.: Wer sitzt schon mitten im Orchester?. Funkschau 1971 t. 43 H.5, s. 12.
10. Keibs L.: Möglichkeiten der stereo-ambiofonen Schallübertragung auf zwei Kanälen. Acustica 1961 t. 12, H.2, s.118-124.
11. Keibs L.: Kompatible stereo-ambiofone Schallübertragung auf zwei Kanälen. Nachrichtentechnik 1965 t. 15 H.7, s. 246-253, Radio und Fernsehen 1965 t. 14, H.11, s. 323-326.
12. Keibs L.: Universelles System Zur stereoambiofonen Aufnahme und Wiedergabe. Radio und Fernsehen 1967 t. 16, H.8, s.228-231.
13. Keibs L.: Stereo-Ambiofonie im Zweikanaltechnik. Funkschau 1965 t. 37, H.23, s. 645-647.
14. Steinke G.: Massnahmen zur Erreichung eines optimalen, monofonen Rundfunkübertragungsverfahrens. Tech. Mitt. BRF 1960 t. 4 H.1/2, s. 21-32.
15. Lauridsen H., Schlegel F.: Stereofonie und richtungsdiffuse Klangwiedergabe. Gravesaner Blätter 1956 t. 2, H.5, s. 28.
16. Keibs L.: Zur Frage der Schallfeldverhältnisse im Aufnahme-räumen und ihrer Abbildung in den Wiedergaberaum. Tech. Mitt. BRF 1960 t. 4, H.4, s. 125-129.

17. Vermeulen H.: Stereo-Nachhall. Philips Techn. Rundschau 1956 t. 17 H.7, s.229-237.
18. Buttenberg H.: Wege zum echten Klangerlebnis, Radio und Fernsehen 1958 t. 7 H.9, s. 269-292.
19. Williges H.: Quadrophonie - ja oder nein?. Funktechnik 1971 t. 26 H.17, s. 635-638.
20. Wagner K.: Möglichkeiten und Grenzen der zweikanaligen Schallübertragung. Dtsh. Post 1968 t. 13, H.11.
21. Junius W.: Raumakustische untersuchungen mit neuen Messverfahren in der Liederhalle Stuttgart. Acustica 1959 t. 9, H.4, s. 289-303.
22. Hoeg W., Wagner K.: Stereophonie - Aufnahmetechnik. VEB Verlag Technik 1970.
23. Schodder G.: Über die Ferteilung der energiereicheren Schallrückwürfe in Sälen. Akustische Beihefte 1956, H.2, s. 445-465.
24. Bertram K.: Dynamikverbesserung mit dem Dolby-Stretcher. Fernseh- und Kino- Technik 1970 t. 24 H.4, s. 123-126.

KWADROFONIA W TECHNICIE MAGNETOFONOWEJ I PŁYTOWEJ

Opracował St. Sypniewski na podstawie artykułu:
Moortgat-Pick W.: Quadrofonie - ein Experiment
oder technischer Fortschritt?, Tech. Mitt. PTT 1973
nr 10, s. 482-487 oraz uzupełnień z artykułów:
Moortgat-Pick W.: Hi-Fi Stereophonie. Quadrofonie
und Kunstkopf-Stereophonie. Funkschau 1975 nr 1,
s. 35-38 i Moortgat-Pick W.: Eine Bestandsaufnahme:
Quadrofonie und Kunstkopf-Stereophonie. Funkschau
1975 nr 2, s. 69-71.

1. TECHNIKA MAGNETOFONOWA

Zasada "dyskretnych" kwadrofonicznych informacji była już szereg lat temu eksperymentalnie zrealizowana metodą czterościeżkowego nagrania magnetofonowego w rozgłośniach radiofonicznych, gdyż tam już dużo wcześniej stosowano tego typu magnetofony do zapisu metodą 2×2 normalnej dwukanałowej stereofonii.

W związku z tym oczywiste jest, że przy zastosowaniu techniki zapisu magnetycznego nie było zasadniczych trudności technicznych dla wprowadzania pełnej kwadrofonii typu /4-4-4/. Zarówno taśma szerokości 6,25 mm stosowana w szpulowych magnetofonach powszechnego użytku jak i taśma 3,81 mm używana w kasetach pozwalają na zapis czterościeżkowy, przy czym dwie z tych ścieżek służą normalnie do jednego kierunku przesuwu taśmy, a dwie pozostałe do kierunku odwrotnego, co jest powszechnie wykorzystywane przy dwukanałowym stereofonicznym zapisie lub odtwarzaniu. Oczywiście, że używając tej technologii przy nagrywaniu również dla

systemu kwadrofonicznego należy się liczyć z dwukrotnym obniżeniem czasu nagrania lub odtworzenia taśmy tej samej długości, co jest równoznaczne z podwojeniem kosztów w stosunku do dziś używanego systemu stereofonicznego. W związku z tym problemem w przemyśle od pewnego czasu prowadzone są prace zmierzające do dalszego zawężenia szerokości ścieżki zapisu, tak aby na typowych taśmach 6,25 mm i 3,81 mm można było obok siebie zmieścić wymaganą liczbę ośmiu ścieżek. Wiadomo że występuje tu szereg ograniczeń natury technologicznej, ale stosując materiał podlewowy zawierający dwutlenek chromu i układy komparatorów typu Dolby, w części elektrycznej układu magnetofonów, można na tyle zredukować szумы własne przy odtwarzaniu kaset, że prawdopodobne jest rychłe wprowadzenie wielkoprzemysłowe opisanego tu pomysłu.

Warunek odpowiedniości niezależnego czterościeżkowego nagrania magnetofonowego z dwukanałowym tradycyjnym nagraniem stereofonicznym pozostaje zachowany, o ile przez właściwe usytuowanie ścieżek na taśmie przy stereofonii równocześnie odczytuje się obie lewe ścieżki i obie prawe zarówno dla informacji typu B, jak i P.

Poza tym należy przyjąć, że informacja typu P powinna być zapisywana z takim poziomem, aby przy równoczesnym odczycie z informacją podstawową typu B tej ostatniej nie zagłuszyć. Z powyższego warunku wynika również, że przy przemysłowym kopiowaniu taśm należy się liczyć z koniecznością dodatkowej ręcznej korekty wzajemnego stosunku poziomów nagrań sygnałów w materiale obrabianym. Również przy odtwarzaniu monofonicznym omawianego typu zapisu czterościeżkowego należy pamiętać o konieczności wy-

gaszania znajdującej się w przeciwfazie informacji przestrzennej typu P. Okazało się jednak, że nawet pokaźna liczba modeli czterościeżkowych magnetofonów powszechnego użytku prasowana na rynku nie była w stanie dostatecznie spopularyzować nowej techniki. Na przeszkodzie stanął tu przemysł płytowy, wprowadzony od wielu lat na rynek światowy i który jak dotąd najbardziej operatywnie potrafił się uporać z terminowym dostarczaniem nowości programowych i dzięki temu obsługiwał wielomilionową klientelę światową, a równocześnie dostarczał płyt za sporo niższą cenę jednostkową od bez porównania mniej operatywnego i serwującego znacznie droższy sposób przemysłu nagrań taśmowych.

2. TECHNIKA PŁYTOWA

W technice płytowej przy próbie adaptacji nagrań kwadrofonicznych występuje szereg dużo poważniejszych problemów aniżeli to miało miejsce w technice zapisu magnetycznego, gdyż przy dziś stosowanym sposobie nacinania rowków płytowych techniką $45^\circ/45^\circ$ i stosowanym materiale dla prasowania płyt zdolność utrwalania informacji na obu zboczach rowka jest ograniczona i w pełni wykorzystywana przy dwukanałowym zapisie stereofonicznym.

W przemyśle płytowym starano się możliwie wcześniej o opracowanie metody nagrań pełnej informacji kwadrofonicznej i niezależno-kanałowej typu /4-4-4/, a więc systemem "dyskretnym". Szybko okazało się jednak, że spełnienie tego wymogu łącznie z warunkiem odpowiedniości z dwukanałowym nagraniem stereofonicznym, użytkowanym już od szeregu lat, stwarza trudności nie do pokonania. To stwierdzenie stało się bodźcem do opracowania nieco uprosz-

czonych quasi-kwadrofonicznych systemów typu /4-2-4/ wg propozycji P. Scheibera, które przyjęto nazywać "matrycowymi".

Zasada matrycowania w tym przypadku sprowadza się do tego, że występujące niezależnie cztery akustyczne informacje pierwotne kwadrofonii podlegają kodowaniu matrycowemu, które przekształca je na dwie złożone informacje wtórne o sygnałach małej częstotliwości każda, bez stosowania przemiany lub przesuwu częstotliwości w pasmie zajmowanym. Sygnałami niosącymi te informacje można już dużo prościej operować stosując w pełni opanowaną technikę dwukanałowej stereofonii. Dla odtworzenia zapisu stosuje się również matrycowe dekodowanie i w ten sposób odzyskuje się ponownie cztery sygnały pierwotne, którymi można wysterować cztery niezależne systemy głośnikowe.

Zalety tego sposobu postępowania sprowadzają się do tego, że proces nagrywania i odtwarzania płyty jest identyczny z już opanowanym przy dwukanałowej stereofonii.

Z powyższego wynika, że:

- 1/ dotychczas stosowane urządzenia odtwarzające stereofoniczne mogą być używane również dla kwadrofonii, zachowując swoje parametry elektryczne,
- 2/ warunek odpowiedniości do dwukanałowej stereofonii jest zachowany, czyli kodowane matrycowo płyty kwadrofoniczne mogą być odtwarzane dwukanałowo zwykłą aparaturą stereofoniczną; również płyty stereofoniczne mogą być odtwarzane poprzez aparaturę czterokanałową;
- 3/ przy zastosowaniu quasi-kwadrofonii do radiofonii UKF/FM transmisyjne urządzenia elektroakustyczne nie stwarzają w sto-

sunku do stereofonii nowych problemów; przy odbiorze emisji tego typu należy za dwukanałowym dekodery stereofonicznym włączyć dekodery matrycowe i odtworzyć cztery niezależne kanały akustyczne;

4/ dekodery matrycowe łatwo wykonać z przełączaniem, które może umożliwić dostosowanie instalacji posiadanej przez słuchacza do różnych systemów kodowania lansowanych przez producentów.

Przy rozpatrywaniu wyliczonych tu istotnych zalet quasi-kwadrofonii o kodowaniu matrycowym należy również pamiętać o charakterystycznych uciążliwych wadach, z których podstawową jest występowanie przesłuchów międzykanałowych w czterech sygnałach odtwarzanych.

Własność ta przy kodowaniu matrycowym wynika z samej zasady tworzenia złożonych informacji wtórnych, co można udowodnić matematycznie. Przy stosowaniu różnych układów matrycowych przesłuchy te ulegają niewielkim zmianom.

Aby skompensować występującą tu stratę rozdzielczości kanałowej systemu, opracowano w ostatnich czasach tzw. układy logiczne sterujące odpowiednimi tłumikami, które w sposób automatyczny obniżają wzmocnienie w tym kanale, który powoduje zjawisko przesłuchu.

Z wielu systemów quasi-kwadrofonicznych proponowanych przez poszczególne wytwórnie płytowe, zwłaszcza w Stanach Zjednoczonych i Japonii, opiszemy tu pokrótce trzy najbardziej wprowadzone w obecnym etapie rozwoju tej nowej techniki, a mianowicie:

1/ system SQ; 2/ system SQ/RM oraz 3/ system CD-4.

System SQ / Stereo-quadrasonic /

System ten typu /4-2-4/ został opracowany przez CBS w oparciu o prace B. Bauera i Scheibera i jest stosowany przez takie firmy jak EMI, Electrola oraz Sony, zyskując spore rozpowszechnienie. Kodowanie czterech sygnałów pierwotnych w tym systemie oparto na następującej zależności matematycznej, do której dostosowano proces matrycowania obu złożonych sygnałów wtórnych:

$$A_K = A_B - j 0,7 A_P + 0,7 B_P; \quad B_K = B_B + j 0,7 B_P - 0,7 A_P.$$

Jak z tych równań widać, zakodowane złożone sygnały wtórne składają się każdy z trzech składowych, z których jedna pochodzi od informacji bezpośredniej, a pozostałe stanowią informację przestrzenną i wobec przyjęcia przesunięć fazowych wynoszących odpowiednio 0° , 90° oraz 180° sumują się w matrycy geometrycznie. Zależności te wynikają z psychoakustycznych obserwacji doświadczalnych głośzących, że głośniki informacji podstawowych A_B oraz B_B , umieszczone przed słuchaczem, dominują nad informacjami przestrzennymi A_P oraz B_P , nadawanymi z głośników znajdujących się za nim. W związku z tym, gdy w sygnale przestrzennym przesłuchy obejmujące składowe pochodzące od sygnałów podstawowych są osłabione o 3 dB, czyli do 0,7 swej wartości początkowej, a ich fazy są wzajemnie przesunięte o $\pm 90^\circ$, to dla słuchacza usytuowanego na osi symetrii pomieszczenia odsłuchowego sygnały te stają się niezauważalne. Zasadę tego kodowania i dekodowania podają rys. 5 i rys. 6.

Przy dekodowaniu sygnałów matrycowych uzyskuje się ponownie cztery informacje pierwotne, ale obarczone przesłuchami z po-

zostałych dwu kanałów. Wytłumienie wzajemne tych przesłuchów pierwotnie było rzędu zaledwie 3 dB i dopiero po poprawkach w systemie dekodowania uzyskano około 5 do 6 dB. W związku z tym w systemie SQ przewiduje się przy wykorzystaniu układów logicznych automatycznie działające wytłumienie dodatkowe, które poprawia ten stosunek aż do około 18 dB, co stanowi wartość w pełni zadowalającą wymogi wysokiej jakości. Dla uruchomienia automatycznego wytłumiania wzmocnienia w kanałach, których informacje tworzą przesłuchy, wykorzystano fakt, że w przyjętym systemie stan ten występuje tylko wtedy, gdy wzajemnie przesunięte względem siebie o $+90^\circ$ składowe o analogicznych amplitudach występują w obu przednich lub tylnych kanałach głośnikowych równocześnie. Jednak automatyka sterowana skorelowanymi logicznie sygnałami może jedynie znacznie wytłumić wzmocnienie w wybranym torze, co objawi się chwilowym zanikiem przesyłanej informacji. Mimo to rezultat osiągnięty daje efekty korzystniejsze, aniżeli przy tolerowaniu pojawiających się dynamicznie przesłuchów międzykanałowych bez tego urządzenia. Układ blokowy omawianej automatyki podaje rys. 7.

Główną zaletą systemu płytowej quasi-kwadrofonii typu SQ jest przyjęcie dynamicznej redukcji poziomu odtwarzania głośników dla informacji przestrzennej /umieszczonych za słuchaczem/ względem informacji głównej docierającej do niego od przodu, co odpowiada wymogom fizjologii słuchu. Zastosowana automatyka o sterowaniu logicznym wobec tego skutecznie redukuje przesłuchy pojawiające się dynamicznie w czasie audycji, przyczyniając się do zwiększenia przejrzystości brzmienia jej atmosfery akustycznej.

System QS/RM /Quadrasonic Regular Matrix/

System ten opracowany przez firmę Sansui jest nieco podobny do systemu SQ, ale w odróżnieniu od niego zakłada równe uprawnienia dla wszystkich czterech kanałów, a więc można tu mówić o systemie symetrycznym. Kodowanie matrycowe oparto na warunku możliwie czystego przekazywania informacji kierunkowej każdego z kanałów, co uzyskuje się wówczas, gdy tłumienie przesłuchów z kanału leżącego po przekątnej systemu osiąga maksimum, a składowe takie występują jedynie w kanałach sąsiednich i to z analogicznymi amplitudami oraz odwrotnymi fazami względem siebie. W systemie tym w złożonych zakodowanych sygnałach wtórnych informacja przestrzenna przekazywana jest sygnałami A_P i B_P znajdującymi się wzajemnie w przeciwfazie, co wpływa u słuchacza na wrażenie poszerzania się odległości bazowej obu informacji podstawowych.

Dla odtworzenia kwadrofonicznego wymagana zgodność faz w sygnałach wyjściowych uzyskiwana jest przez dwa przesuwniki fazowe $+90^\circ$ zawarte w układzie dekodera.

Przesłuchy międzykanałowe również i w tym systemie mają wzajemne wytłumienie zaledwie 3 dB, a więc okazuje się niezbędne stosowanie automatycznie działającego wytłumienia uzupełniającego, które sterowane jest układami logicznymi powiązаныmi z próbującym układem porównywania fazy sygnałów obu informacji podstawowych oraz stosunku sygnałów informacji bezpośredniej do przestrzennej. Dzięki temu tłumienie przesłuchów międzykanałowych może wzrastać aż do wymaganych dla dobrego odtworzenia 15 do 20 dB.

System CD - 4 /Compatible Discrete/

Gramofonowy przemysł japoński /Victory Company of Japan oraz Matsushita/ łącznie z RCA opracowali system oparty z jednej strony na znanym sposobie nagrywania płyt stereofonicznych dwukanałowych, a z drugiej wykorzystali zasadę multipleksowania kanałów stosowaną w radiofonii UKF/FM. W związku z tym zastosowano tu podwójny multipleks, osobno dla lewego i osobno dla prawego zbocza rowka nagrywanej stereofonicznie płyty gramofonowej. Wobec powyższego w akustycznym zakresie częstotliwości do 16 kHz zawarta jest informacja sumy sygnałów podstawowych $A_B + A_P$ względnie $B_B + B_P$, a ich informacja różnicowa $A_B - A_P$ oraz $B_B - B_P$ o poziomie o 20 dB niższym podlega przetransponowaniu przy użyciu podnośnej 30 kHz zmodulowanej niesymetrycznie w sposób kombinowany zarówno w fazie jak i częstotliwości przy wypadkowej dewiacji wynoszącej w kierunku $+F$: 15 kHz, a w kierunku odwrotnym $-F$: 10 kHz, zajmując pasmo aż do 46 kHz, tak jak to podaje rys. 8.

Powyższa komplikacja okazała się niezbędna w wyniku przeprowadzenia licznych prób eksploatacyjnych systemu. Dzięki kombinowanej modulacji fazowo-częstotliwościowej możliwe było wprowadzenie ograniczania amplitud sygnałów, wskutek czego znacznie poprawiono stosunek sygnału do szumów całego systemu.

Zasadę kodowania oraz odwrotnego dekodowania uwidoczniło na rys. 9.

Od strony odtwarzania płyty nagranej systemem CD-4 zastosowano zamiast tradycyjnej igły mikrorowkowej specjalną jej odmianę o szlifie eliptycznym, nazwaną igłą typu Shibata, co również przyczyniło się do mniejszego zużycia powierzchni rowka, złasz-

cza przy zapisie i odtwarzaniu największych częstotliwości, gdy siły dynamiczne w adapterze osiągną maksimum. Igła tego typu może być używana do odtwarzania zwykłych dwukanałowych płyt stereofonicznych, natomiast płyty kwadrofoniczne nacinane systemem CD - 4 nie mogą być odtwarzane tradycyjnym adapterem stereofonicznym.

Całość dość rozbudowanego układowo systemu została przez produkującą firmę jeszcze bardziej skomplikowana wskutek uzupełnienia układem ANRS /Automatic Noise Reduction System/ oraz wprowadzenia opóźnienia czasowego w kanałach sumy i preemfazy, jak i kanałach różnicowych, a także automatycznej regulacji poziomu podnośnej 30 kHz.

Do zapisu na płytach stosowana jest w systemie CD-4 przedłużona do 45 kHz charakterystyka odpowiadająca zaleceniom CCIR dla nagrań mikrorowkowych. Założony przebieg preemfazy ograniczono jednak powyżej 20 kHz specjalnym filtrem, tak jak to podaje rys. 10.

Na tym samym rysunku zaznaczono przebieg charakterystyki stosowanej przy nagrywaniu w systemach kwadrofonicznych SQ oraz QS.

W zakończeniu niniejszego rozdziału wypada zwrócić uwagę Czytelnika na fakt ciągłego pojawiania się w światowej literaturze technicznej coraz to nowych publikacji traktujących o dalszych pomysłach dotyczących zagadnień stereoambiofonii.

Jednym z takich jest opracowany przez Nippon Columbia oraz Hitachi a oparty o badania D. Coopera system UMX /Universal Matrix/, który jak twierdzą autorzy jednoczy zalety teoretycznie

możliwe do osiągnięcia w systemie dyskretnym i matrycowym przez zawarcie w obu podstawowych informacjach stereofonicznych, leżących w zakresie częstotliwości akustycznych, zakodowanych matrycowo wszystkich czterech informacji pierwotnych. W związku z tym przy dekodowaniu w najprostszym przypadku uzyskuje się jakość współmierną z systemem QS/RM. Wskutek wykorzystania dalszych dwu wąskostęgowych informacji uzupełniających, zawartych w zapisie i umiejscowionych w pasmie 24 do 36 kHz, udaje się znacznie zmniejszyć przesłuch międzykanałowy, dorównując systemom dyskretnego przekazywania informacji kwadrofonicznych.

Zupełnie innym podejściem do zagadnienia wiernego odtwarzania wrażeń ambiofonicznych jest w ostatnich czasach lansowany przez radiofonię RFN system posługujący się w studio tzw. sztuczną głową z wbudowaną wewnątrz kanałów usznych parą mikrofonów stereofonicznych. Uzyskane za ich pomocą informacje stereofoniczne odsłuchiwane są w tym przypadku za pomocą słuchawek zasilanych z dwu niezależnych torów elektroakustycznych. Uzyskiwane rezultaty były szeroko demonstrowane i stały na bardzo wysokim poziomie wierności odtworzenia słuchanych audycji, a przejrzystość rozróżniania poszczególnych źródeł dźwięku była zastanawiająca. Robiono również próby głośnikowego odtworzenia tego typu dwukanałowej stereofonii, ale w tym przypadku uzyskanie właściwego efektu związane jest z rygorystycznym usytuowaniem głowy słuchacza w ściśle określonej i bardzo ograniczonej przestrzennej strefie pomieszczenia odsłuchowego. Należy jednak podkreślić, że system ten, choć interesujący w zasadzie, nie stanowi jednak jakiegokolwiek rodzaju substytutu dla pełnej, "dyskretnej" kwadrofonii.

WYKAZ LITERATURY

1. Technical Information to JVC's 4-channel Record CD-4 System. JVC Technical Information 1971 vol. 8.
2. Bauer B., Gravereaux D., Gust A.: A compatible Stereo-Quadraphonic /SQ/ Record System. J. Audio Eng. Soc. 1971 t.19 nr 8, s. 638-646.
3. Rajewski M.: Beitrag zur Analyse von stereofonen Rundfunk-Übertragungsverfahren. Dok. TK-Stereo 1961 OIRT. Rundfunk und Fernsehen 1963 H.1, s. 22-30.
4. Feldman L.: Quadrophonics on the air. Audio 1970 Vol. 54, s. 22-24, 78-79.
5. Halstead W., Feldman L.: Multiplex methods for FM Broadcast transmission of four channel stereo-signals. J. Audio Eng. Soc. 1970 t. 18 s. 624-630.
6. Feldman L.: On matrix quadrophonic systems. Audio 1971 Vol. 55 H.10, s. 20-28.
7. Stark C.: One Approach to four-channel sound, Audio 1971 t.55 H.10, s. 30-32.
8. Steinke G.: Zur Entwicklung der Quadrophonic. Bericht 9. Tonmeistertagung 1972, s. 210-227.
9. Multisound - ein neues Hi-Fi-Übertragungssystem, Funkschau 1971 H.17, s. 517.
10. Meyer-Goldenstädt: Stereofonische Musikwiedergabe-Versuche mit dem künstlichen Kopf. Funktechnik 1952. II.3, s. 79.

11. Williges H.: Quadrophonie - ja oder nein?. Funktechnik 1971 H.16, s. 587-589.
12. Itoh R., Takahashi S.: The Sansui QS-Coding System and a new technique to improve its Interchannel separation characteristic 42 AES Convention.
13. Mallon D.: Verfahren zur Übertragung von drei oder vier NF-Signalen über UKW Sender. Funkschau 1972 H.4, s.117-119.
14. Cooper D., Chiga T.: Discrete-Matrix Multichannel Stereo. Journal of the Audio E.S. 1972 Vol. 20 nr 5, s. 346-360.
15. Meyer A.: Betrachtungen zum Klangbild unter besonderer Berücksichtigung des Nachhalles. Bricht 9. Tonmeister-Tagung 1972, s. 34-38.
16. Pitsch H.: Lehrbuch der Funkempfangstechnik. Bd II, s.1038.
17. Blücher G., Wiegelmann A.: Kleines ABC der Elektroakustik, s. 127-130.
18. CD-4 System. A discrete four channel disc and its reproducing system. Audio Eng. Society Preprint Nr 908.
19. Wilkens H.: Kopfbezügliche Stereophonie-ein Hilfsmittel für Vergleich und Beurteilung verschiedener Raumeindrücke. Acustica 1972 nr 26, s. 213.
20. Kürer R., Plenge G., Wilkens H.: Zur Wiedergabe von Kunstkopfsignalen über Lautsprecher. Radio Mentor Electronic 1973.
21. Laros P.: Mittel zur Verbinderung der Imkopf-Lokalisation

bei Kopfhörer-Wiedergabe. Bericht 9. Tonmeister-Tagung 1972, s. 65-69.

22. Damaske P., Mellert V.: Ein Verfahren zur richtungsgetreuen Schallabbildung des oberen Hallraumes über 2 Lautsprecher. *Acustica* 1969 nr 22, s. 153.
23. Schampaul N.: Der Kunstkopf als akustisches Übertragungssystem. *Funkschau* 1974 H.2, s. 49-50.

PROPONOWANE KWADROFONICZNE SYSTEMY RADIOFONICZNE UKF/FM

Opracował St. Sypniewski na podstawie artykułu: De Weger D., Eilers C., Fockens P., Prosser H.: Two proposed Quadrophonic FM Broadcasting Systems. *IEEE Trans. Broadcast a. Telev. Receivers* 1973 nr 4, s. 298-310 oraz uzupełnień z artykułów: Carey M., Sager J.: Quadrophonic broadcasting-current proposals and the way ahead. *Wireless World* 1974 nr 11, s. 422-425. USA. Untersuchungen über Quadrofonie im Rundfunk. *Funkschau* 1975 nr 5, s. 52.

1. WSTĘP

W porównaniu z problemami kwadrofonicznej płyty gramofonowej zagadnienie opracowania systemu radiofonicznej emisji kwadrofonii znajduje się jeszcze ciągle we wstępnej fazie rozważań. Dodatkową trudność stwarza tu fakt istnienia zasadniczych różnic w sposobie użytkowania radiofonii UKF/FM na kontynencie USA i w Europie, gdzie zwłaszcza w RFN istnieje od wielu lat gęsta sieć

stacji emitujących kilka programów stereofonicznych, użytkujących z konieczności ciasno /co około 100 kHz/ rozstawione kanały częstotliwościowe.

Wczesne próby badania tych zagadnień sięgają lat sześćdziesiątych /1961 r./, gdzie np. na terenie piątej grupy studiów Technicznej Komisji OIRT rozpatrywano między innymi projekt zgłoszony przez dr M. Rajewskiego, dotyczący trzech niezależnych informacji akustycznych uzyskiwanych przy wprowadzeniu modulacji ortogonalnej nadajnika. Późniejsze międzynarodowe ustalenia dotyczące powszechnego wprowadzenia dwukanałowej stereofonii w systemie z tonem pilotującym /1965 r./, względnie na terenie ZSRR z modulacją polarną, doprowadziły do zaniechania prac w OIRT nad zwiększoną liczbą informacji stereoakustycznych.

Technika czterokanałowa użytkująca dwa dwukanałowe stereofoniczne modulowane nadajniki UKF/FM była wielokrotnie próbowana eksperymentalnie w latach 1969/70 na terenie USA.

Już w latach siedemdziesiątych zgłoszono liczne propozycje realizacji niezależnych emisji czterech kanałów dźwięku poprzez jeden nadajnik UKF/FM. Między innymi Halstead i Feldman proponowali uzupełnienie dwukanałowej stereofonii z tonem pilotującym dalszymi dwoma podnośnymi wybranymi w okolicy 69 kHz i 92 kHz, a przez modulację częstotliwości tych podnośnych przekazywanie dwóch dalszych informacji uzupełniających o charakterze dźwięku przestrzennego. Oczywiście dla zachowania wymaganych parametrów nadajnika przy modulacji multipleksowej można tę propozycję urzeczywistnić jedynie przy równoczesnym zredukowaniu dewiacji dla sygnałów M i S do 70% wartości pierwotnej, a obu informacji uzupełniających do 10 - 12% tejże dewiacji.

Wobec znacznego poszerzenia wstęgi emitowanych sygnałów, wynikającego z zastosowania dodatkowych podnośnych przy multipleksowej modulacji czterokanałowej, należy się liczyć z pogorszeniem stosunku sygnału do szumów oraz ze zwiększeniem wymagań na współczynniki ochronne. Praktycznie należy przyjmować, że multipleksowa emisja kwadrofoniczna w porównaniu z monofoniczną charakteryzuje się aż o 35 dB gorszym stosunkiem sygnału do szumów, podczas gdy pogorszenie wynikające ze stosowania dwukanałowej stereofonii w stosunku do monofonii wynosi tylko 21 dB. Te 21 dB jest już w wyraźny sposób odczuwalne, zmniejszając użytkowy zasięg stereofonicznych emisji w porównaniu z emisjami monofonicznymi.

Niezbędne poszerzenie wstęgi emitowanych sygnałów spowoduje również konieczność rewizji dotychczasowych ustaleń leżących u podstaw planowania sieci stacji radiofonicznych UKF/FM. Selektowność powszechnie użytkowanych odbiorników abonenckich jest ograniczona, a wobec tego trudno będzie zapewnić odbiór emisji na sąsiednich kanałach, bez powodowania wzajemnych zakłóceń. Powyższe stwierdzenie obowiązuje dla aktualnie użytkowanych w Europie krajowych sieci radiofonicznych stacji UKF/FM, gdzie stosowany jest na ogół niejednakowy odstęp międzykanałowy, zawarty zwykle od ok. 100 kHz do ok. 300 kHz. Natomiast większe możliwości rysują się dla przyszłego wprowadzenia niezależnej czterokanałowej modulacji dźwięku towarzyszącego w telewizji.

Sposobem omijającym wspomniane trudności jest w radiofonii użycie, zgodnie z propozycjami Keibsa, systemu quasi-kwadrofonicznej modulacji typu /4-2-4/ względnie zastosowanie jeszcze innych technik wymagających jednak odrębnego, aniżeli dotąd omawia-

no, sposobu podejścia do przekazywania zwiększonej liczby informacji akustycznych.

Należałoby krótko wymienić inne sposoby odtwarzania informacji przestrzennej, wynikające z rozstawienia głośników w pomieszczeniu odsłuchowym systemem czterokanałowym wg propozycji Haflera, jak podano na rys. 3d, albo w systemie trójkanałowym nazywanym "Triphonic" z rys. 3e, wreszcie wg Madesena jak na rys. 3f. Wszystkie te propozycje nie spełniają warunku odpowiedniości z dwukanałową stereofonią i w związku z tym obecnie mają raczej tylko teoretyczne znaczenie.

Chcąc jednak naświetlić nieco bliżej zagadnienie radiowej kwadrofonii omówimy tu dwa z najbardziej wszechstronnie opracowanych w USA systemów, przewidzianych do ewentualnego wprowadzenia ich w tym kraju do eksploatacji.

2. SYSTEMY KWADROFONICZNE ZENITH DLA RADIOFONII

Są to systemy opracowane przez Zenith Radio Corporation i oznaczone jako Quadrophonic FM Broadcast System 2 A oraz System 3 B.

WPROWADZENIE

Oba systemy zapewniają emisję czterech dyskretnych sygnałów akustycznych, spełniając warunek odpowiedniości z istniejącą monofonią i stereofonią dwukanałową /bifonią/ FM, oraz umożliwiają emisję typu SCA /Subsidiary Communication Authorization/ używaną w USA. Dwie dodatkowe podnośne służą do przekazania obu

uzupełniających informacji akustycznych typu kwadrofonicznego. Pierwsza z tych dodatkowych względem dwukanałowej stereofonii informacji nadawana jest dwuwstęgowo na modulowanej amplitudowo i wytłumionej podnośnej /DSBSC/ 38 kHz, która znajduje się w kwadraturze względem podnośnej kanału bifonii.

Dla drugiej uzupełniającej informacji akustycznej w systemie 2 A stosuje się jednowstęgową modulację amplitudową drugiej wytłumionej podnośnej /SSBSC/ o częstotliwości 76 kHz. W systemie 3 B natomiast stosowana jest w tym celu modulacja amplitudowa z częściowo wytłumioną wstęgą boczną /VSBSC/ i wytłumioną podnośną 90,25 kHz.

Oba systemy przewidują możliwość niezależnego użytkowania emisji typu SCA zlokalizowanej w dotąd stosowanym kanale zawartym w pasmie od 61 do 73 kHz wokół nominalnej częstotliwości środkowej 67 kHz.

Przy modulacji nadajnika stosowana jest w pasmie częstotliwości akustycznych, rozciągającym się od 50 Hz do 15 kHz, normalna preemfaza.

W obu systemach nadawany jest dodatkowy sygnał pilotujący. W systemie 2 A umieszczono go na częstotliwości 76 kHz, a w systemie 3 B na 90,25 kHz w celu synchronizacji pracy dekodera w odbiorniku dla sygnałów monofonii, bifonii oraz kwadrofonii.

Zapewniono również dostateczną liniowość przebiegów fazowych w podstawowej wstędze częstotliwości zajmowanej przez wszystkie sygnały emisji kwadrofonicznej, to znaczy dla systemu 2 A od 50 Hz do 91 kHz, a dla systemu 3 B od 50 Hz do 93 kHz, tak aby zagwarantować dostatecznie niski poziom przesłuchów międzykanałowych pomiędzy czterema akustycznymi sygnałami wyjściowymi.

3. OPIS SYSTEMU 2 A

System ten zapewnia przesyłanie czterech dyskretnych sygnałów o częstotliwościach akustycznych zawartych w pasmie od 50 Hz do 15 kHz dzięki matrycowaniu i zastosowaniu odpowiedniej multipleksowej modulacji częstotliwości środkowej nadajnika przy użyciu trzech podnośnych leżących w pasmie przenoszonym przez nadajnik.

Skład sygnałów złożonych stosowanych do modulacji podnośnych podany jest na rys. 11. Odpowiednie równania podano poniżej:

$$M = L_F + L_B + R_F + R_B = L + R$$

$$Y = L_F + L_B - R_F - R_B = L - R$$

$$X = L_F + R_F - L_B - R_B = F - B$$

$$U = L_F + R_B - R_F - L_B = D1 - D2$$

Podstawowy kanał monofoniczny modulowany jest sygnałem M/t utworzonym przez sumę czterech akustycznych sygnałów wejściowych, oznaczonych kolejno L_F /lewy przedni/, L_B /lewy tylni/, R_F /prawy przedni/ oraz R_B /prawy tylni/ odpowiadających części monofonicznej sygnału $L + R$ bifonicznego. Pierwsza podnośna 38 kHz będąca w fazie z pilotem 19 kHz jak w bifonii jest dwuwstęgowo modulowana w amplitudzie /DSBSC/ sygnałem kwadrofonicznym $[L_F + L_B - R_F - R_B]$ typu różnicowego $L - R$. Druga podnośna 38 kHz, znajdująca się w kwadraturze względem podnośnej bifonii, modulowana jest w amplitudzie /DSBSC/ sygnałem kwadrofonicznym $[L_F + R_F - L_B - R_B]$, stanowiącym różnicę sygnałów przednich i tylnych $F - B$. Natomiast trzecia podnośna

76 kHz modulowana jest jednowstęgowo /SSBSC/ sygnałem kwadrofonicznym $[/L_F + R_B/ - /R_F + L_B/]$, stanowiącym różnicę po przekątnych uzyskaną z sygnałów wejściowych /D1 - D2/.

Zależności fazowe podnośnych względem sygnału podstawowego pilota 19 kHz uwidacznia rys. 12. Obie podnośne 38 kHz uzyskiwane są jako drugie harmoniczne sygnału pilota 19 kHz, przy czym, jak wyjaśniono, jedna z nich wykorzystywana dla sygnałów typu różnicowego, a więc również dla odbioru bifonii ma fazę zgodną z sygnałem pilota, a druga znajduje się w kwadraturze do niej.

Ponieważ podkanał 76 kHz dla ułatwienia generacji sygnału jednowstęgowego metodą fazową uzyskuje się z dwu sygnałów o częstotliwości trzeciej podnośnej 76 kHz, jako czwartych harmonicznych częstotliwości pilota 19 kHz, to należy je fazować wzajemnie w kwadraturze.

Kompletne widmo uzyskiwanych złożonych sygnałów kwadrofonicznych przedstawia rys. 13. Podstawowy kanał monofoniczny typu $/L_R/$ zajmuje pasmo od 50 Hz do 15 kHz z ostrym obcięciem na końcu. Pierwszy podkanał na podnośnej 38 kHz zajmuje symetrycznie na obie strony od niej pasmo po 15 kHz szerokości, tworząc konwencjonalny kanał bifonii zawierający informację typu $/L - R/$. Drugi podkanał również na podnośnej 38 kHz zawiera informację różnicową kwadrofoniczną typu $/F - B/$, zajmując pasmo tej samej szerokości co poprzedni, ale o sygnałach względem niego w kwadraturze.

Ten drugi podkanał nie jest odbierany przez zwykłe odbiorniki bifoniczne z detekcją synchroniczną, a zatem nie może dojść do interferencji wzajemnej obu omawianych sygnałów.

Podkanał 76 kHz użytkuje jednowstęgową modulację amplitudy /SSBSC/ z górną wstęgą boczną. Sposób fazowania generatora SSB jest oparty na właściwym dobraniu obu sygnałów składowych będących nawzajem w kwadraturze. Ich dolne wstęgi boczne znoszą się nawzajem, a górne użyteczne wstęgi sumują. Dzięki zastosowaniu techniki jednowstęgowej pasmo zajmowane przez ten podkanał nie schodzi poniżej 76 kHz, co pozwala na uzyskanie niezbędnej miejsca do ewentualnego odbioru również emisji typu SCA.

Dodatkowy sygnał pilota o nominalnie 5% amplitudzie nadawany jest na częstotliwości 76 kHz w celu synchronizacji procesu przełączania kwadrofonicznego dekodera przy odbiorze emisji monofonicznych, bifonicznych oraz kwadrofonicznych.

Sposób działania kodera w systemie 2 A

Widmo złożonych sygnałów kwadrofonicznych uzyskuje się w systemie 2 A w urządzeniu kodującym, którego układ blokowy podany jest na rys. 14. W koderze tym zastosowano fazową metodę uzyskiwania jednowstęgowej modulacji w podkanałach 76 kHz. Zasada tej fazowej modulacji wynika z rys. 15. Sygnał akustyczny kształtowany jest przez dwa czwórniki kolejno nazwane "P" oraz "N", których charakterystyki fazowe i grupowego czasu przejścia podane są na rys. 16. Ponieważ czwórnik "N" przesuwa fazę o 90° w stosunku do czwórnika "P", w pasmie akustycznym sygnały wyjściowe "P" oraz "N" znajdują się w kwadraturze. Te dwa wyjściowe sygnały akustyczne niezależnie moduluje metodą /DSBSC/ dwie podnośne, będące również w kwadraturze.

Wyjściowe sygnały obu zrównoważonych modulatorów są sumowane, dając w rezultacie znoszenie się dolnej wstęgi bocznej modulacji.

Jak wynika z układu blokowego na rys. 14, cztery dyskretne akustyczne sygnały wejściowe L_F , L_B , R_F oraz R_B są ograniczone częstotliwościowo do 15 kHz i poddawane standardowej w USA preemfazie 75 μ s. Następnie sygnały te skierowywane są do opisanego czwórnika typu "P" dla nadania właściwej charakterystyki fazowej i sygnał wyjściowy z niego podlega matrycowaniu w celu uzyskania sygnału modulującego podstawowy kanał monofoniczny i sygnałów modulujących poszczególne podkanały Y, X oraz U. Potrzebna jest jeszcze w podkanale 76 kHz dodatkowa matryca do wytworzenia znajdującego się w kwadraturze sygnału \hat{U} . Te cztery otrzymane sygnały Y, X, U oraz \hat{U} doprowadzane są do czterech zrównoważonych modulatorów po to, aby uzyskać wymagane sygnały wyjściowe podkanałów. Następnie sygnały kanału podstawowego, wszystkich podkanałów oraz obu pilotów 19 kHz i 75 kHz, jak i sygnały SCA są ze sobą sumowane oraz ograniczane filtrami kształtującymi pasmo przenoszone do 91 kHz, tworząc w rezultacie właściwy złożony sygnał kwadrofoniczny modulujący nadajnik UKF/FM.

Sposób działania dekodera w systemie 2 A

Cztery dyskretne akustyczne sygnały wyjściowe w odbiorniku uzyskiwane są z dekodera, którego układ blokowy podaje rys. 17. Dekoder ten stosuje metodę fazową detekcji jednowstęgowej, aby odtworzyć jedynie sygnał akustyczny pochodzący z górnej wstęgi bocznej podkanału 76 kHz, eliminując zbędny sygnał SCA odpowia-

dający skasowanej wstędze bocznej modulacji. Zasada stosowanej metody fazowej pođana jest na rys. 18. Na wejściu do tego typu detektora wprowadzany jest sygnał odpowiadający górnej wstędze modulacji $A \cos (\omega_c + \omega/t)$ oraz wstędze dolnej $V \cos (\omega_c - \omega_L/t)$, gdzie ω jest pulsacją pođanego sygnału akustycznego, a ω_L pulsacją sygnału niepođanego. Oba te sygnały sđ detektowane synchronicznie przez dwie lokalne podnośne 76 kHz znajdujące się jak opisano uprzednio, fazowo w kwadraturze. Tak jak pokazano na rys. 18, sygnał wyjściowy detektora doprowadza się do czwórników typu "P" oraz "N", a następnie sumuje, aby uzyskać znoszenie się zbędnej dolnej wstęgi bocznej sygnałów. W dekodерze rys. 17 złożony sygnał wprowadzany jest do matrycy poprzez trzy zrównoważone demodulatory, do których niezbędne jest doprowadzenie sygnału podnośnej uzyskiwanego z układu regeneratora podnośnej. Oba detektory podkanału 76 kHz odtwarzają informację akustyczną zawartą w górnej wstędze bocznej i sygnały SCA zawarte w dolnej wstędze bocznej. Czwórniki "P" i "N" jednowstęgowego detektora fazowego włączone sđ pomiędzy oba stopnie matrycowania; drugi stopień tego matrycowania powoduje znoszenie się sygnałów dolnej wstęgi bocznej. Typowe układy deemfazy włączono w każdy z czterech kanałów sygnałów wyjściowych.

Przebieg matrycowania czterech zdekodowanych dyskretnych sygnałów wyjściowych przebiega wg następujących zależności matematycznych:

$$L_F = 1/4 /M + Y + X + U/ \dots /1/$$

$$L_B = 1/4 /M + Y - X - U/ \dots /2/$$

$$R_F = 1/4 /M - Y + X - U/ \dots/3/$$

$$R_B = 1/4 /M - Y - X + U/ \dots/4/$$

Przy odbiorze emisji bifonicznej demodulatory X, U oraz \hat{U} są automatycznie nieczynne, a działa jedynie układ Y doprowadzając zdemodulowany sygnał do matrycy. Każdy z dwu lewych /lub prawych/ kanałów wyjściowych reprodukuje wówczas sygnał lewy /lub prawy/. Przy odbiorze emisji monofonicznej wszystkie cztery demodulatory są nieczynne, a podstawowy sygnał monofoniczny występuje na wszystkich czterech wyjściach kanałowych.

4. OPIS SYSTEMU 3 B

System ten jest identyczny z opisanym uprzednio systemem 2 A z wyjątkiem sposobu obróbki górnego podkanału i jego podnośnej pilota. W tym systemie górny podkanał 90,25 kHz jest modulowany /VSBSC/ /AM różnicowym sygnałem przekątnym /D1 - D2/. Zależności fazowe względem sygnału pilota 19 kHz przedstawia rys. 19.

Podnośna 90,25 kHz jest czwartą subharmoniczną dziewiętnastej harmonicznej sygnału pilota 19 kHz i ma przejście przez zero wypadające w tym samym kierunku, jak i przebieg sygnału pilota 19 kHz, ale co czwarty jego okres.

Widmo złożonego sygnału kwadrofonicznego w systemie 3 B podaje rys. 20. Górny podkanał 90,25 kHz modulowany /VSBSC/ ma częściowo tłumioną górną wstęgę boczną modulacji. Składowa akustyczna w tym podkanale jest odwrócona w stosunku do stosowanej w systemie 2 A /rys. 13/, a położenie podnośnej jest przesunięte

w kierunku górnego krańca podkanału. W związku z tym częstotliwości modulujące od 50 Hz do około 2,75 kHz są modulowane dwuwstęgowo, a powyżej jednowstęgowo, jako sygnał SSB.

Charakterystyka filtra kształtującego wytłumienie górnej wstęgi bocznej podana jest na rys. 21. W ten sposób górny podkanał zajmuje pasmo od 75,25 kHz do 93 kHz.

Ze względu na to, że dolna wstęga boczna modulacji sięga w dół tylko do 75,25 kHz pozostaje odpowiednio dużo miejsca dla emisji typu SCA.

Dodatkowy sygnał pilota o 5% amplitudzie jest w tym systemie umiejscowiony na częstotliwości 90,25 kHz.

Sposób działania kodera w systemie 3 B

Złożony kwadrofoniczny sygnał modulujący nadajnik UKF/FM w tym systemie uzyskiwany jest w urządzeniu kodującym, którego układ blokowy podaje rys. 22. Cztery dyskretne sygnały wejściowe, oznaczone L_F , L_B , R_F oraz R_B , ograniczane są od góry do 15 kHz każdy, a następnie podlegają preemfazie standardowej 75 μ s. Te sygnały są w dalszej kolejności matrycowane dla uzyskania sygnału podstawowej informacji M oraz sygnałów poszczególnych podkanałów Y, X i U, które doprowadzane są do trzech zrównoważonych modulatorów produktów, aby uzyskać sygnał /DSBSC//AM. Odpowiedni filtr /rys. 21/ kształtuje częściowo tłumioną górną wstęgę boczną modulacji w kanale U. Sygnały kanału podstawowego, podnośnej pilota 19 kHz i obu podnośnych 38 kHz są sumowane ze sobą i po przejściu korektora fazy oraz filtra dolnoprzepustowego 53 kHz, jak i korektora wyrównywującego powstałe opóźnienia

sygnałów /tak aby odpowiadać dokładnie doprowadzanej podnośnej pilota 19,25 kHz/ są z nią sumowane i po dodaniu sygnałów SCA tworzą razem właściwy złożony sygnał kwadrofoniczny modulujący nadajnik UKF/FM.

Sposób działania dekodera w systemie 3 B

Cztery dyskretne akustyczne sygnały wyjściowe w odbiorniku kwadrofonicznym uzyskiwane są z dekodera, którego układ blokowy podaje rys. 23.

Złożony sygnał kwadrofoniczny z dyskryminatora odbiornika FM doprowadzany jest wprost do matrycy oraz do trzech zrównoważonych demodulatorów, do których doprowadza się równocześnie lokalne podnośne uzyskane dzięki ich regeneracji. Cztery sygnały wyjściowe użyte w układzie regeneracji podnośnej U znajdują się w czterech kolejno przesuniętych fazach lokalnie wytworzonego sygnału o częstotliwości 90,25 kHz. Wzajemny, fazowy układ tych czterech sygnałów podaje rys. 24. Selektor fazy wykorzystuje odebrany sygnał drugiego pilota, nadawany na częstotliwości 90,25 kHz, do wybrania z układu regeneracji jednego z czterech najbardziej zbliżonych fazowo sygnałów wyjściowych. Układ matrycowy działając podobnie, jak w systemie 2 A, dostarcza cztery dyskretne zdekodowane sygnały wyjściowe odbiornika kwadrofonicznego wg zależności /1/, /2/, /3/ i /4/.

Wnioski

Kwadrofoniczne systemy radiofoniczne, proponowane przez firmę Zenith, są w stanie dostarczyć cztery niezależne dyskretne in-

formacje akustyczne pozwalające na w pełni wierną reprodukcję elektroakustyczną stereoambiofonii.

Oba opisane sposoby spełniają warunek odpowiedniości zarówno z monofoniczną, jak i stereofoniczną dwukanałową /bifoniczną/ transmisją radiową nadawaną poprzez nadajniki UKF/FM.

Oba opisane sposoby pozwalają również na niezakłócone wykorzystywanie stosowanej w USA emisji typu SCA, na przyznanej do tego celu podnośnej 67 kHz.

Dekodery niezbędne dla korzystania z kwadrofonicznych systemów 2 A i 3 B mogą być realizowane techniką elementów scalonych.

5. UZUPEŁNIENIE

Utworzony w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej w 1972 r. Narodowy Komitet Kwadrofoniczny /NQRC/ ma opracować dla FCC raport dotyczący wyników badań nad wybranymi ośmioma systemami kwadrofonicznych emisji radiofonicznych, analogicznie w Japonii EIAJ w porozumieniu z narodową radiofoniczną organizacją NHK i elektronicznym przemysłem japońskim podjęły podobne zadanie. Jedynie w Europie jak dotąd nie doszło do międzynarodowych uzgodnień w tej dziedzinie. Na specyficznie europejskie trudności zwrócono w tym opracowaniu już wcześniej uwagę.

Z nielicznych informacji docierających do nas można sądzić, że w USA należy oczekiwać akceptacji przez FCC kwadrofonicznego systemu emisji radiofonicznej wg propozycji Dorrena z 1970 r., która jest oparta również na metodzie multipleksowania złożonego sygnału kwadrofonicznego modulującego normalny nadajnik UKF/FM.

Kompletne widmo uzyskiwanych złożonych sygnałów kwadrofo-

nicznych w tym systemie przedstawia rys. 25. Jak z niego widać, występuje tu duże podobieństwo z opisanymi wyżej propozycjami Zenitha.

Skład sygnałów podstawowego i podnośnych podaje dla systemu Dorrena poniższe zestawienie:

$$\begin{aligned}
 M &= /L_F + L_B/ + /R_F + R_B/ \\
 S_1 &= /L_F + L_B/ - /R_F - R_B/ \\
 S_2 &= /L_V - L_B/ + /R_F - R_B/ \\
 S_3 &= /L_V - L_B/ - /R_F + R_B/
 \end{aligned}$$

Jako częstotliwości pilotujące użyto: P_1 - 19 kHz i P_2 - 76 kHz.

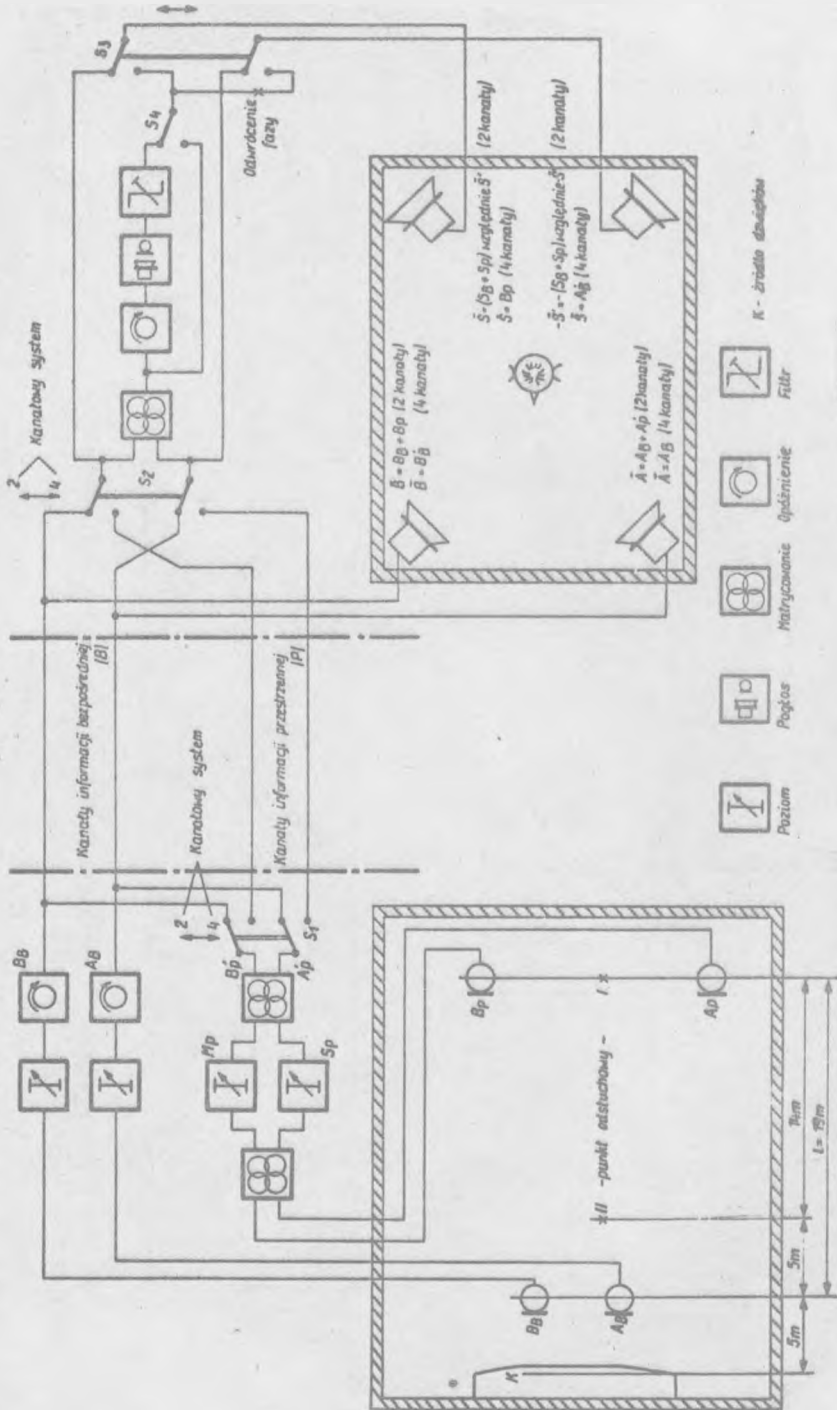
Pierwsza częstotliwość podnośna F_1 - 38 kHz jest kwadraturowo modulowana w stosunku do konwencjonalnego sygnału bifonicznego S_1 dodatkowym sygnałem kwadrofonicznym S_2 .

Druga podnośna o częstotliwości F_2 równej 76 kHz jest modulowana dwoma niezależnymi i dodatkowymi informacjami kwadrofonicznymi S_2 i S_3 na niezależnych wstęgach bocznych modulacji amplitudowej /DSB/ tej podnośnej.

Wynikający z poszerzonego pasma częstotliwości przy multipleksowej modulacji nadajnika przebieg stosunku sygnałów do szumów, występujący w odbiorniku, przedstawia rys. 26. Uwzględniono na nim charakterystyki odnoszące się do emisji typu monofonicznego, bifonicznego i kwadrofonicznego.

WYKAZ LITERATURY

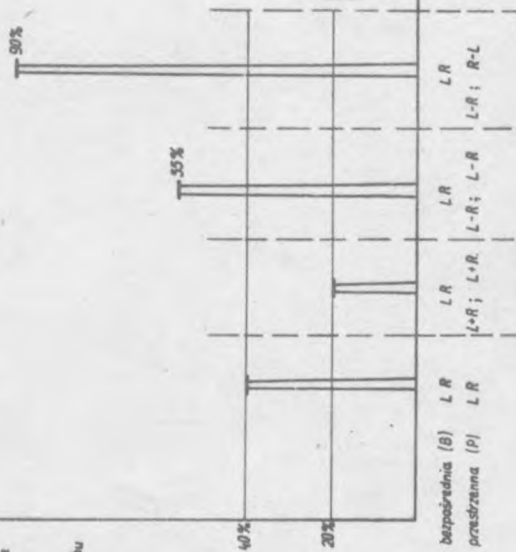
1. Dorren L., Torczyer J.: Optimum quadrophonic fm broadcasting system. IEEE Trans. Broadcast. a. Telev. Receivers 1973 nr 4.
2. Gibson J., Christensen R., Limberg A.: Compatible fm broadcasting of panoramic sound. IEEE Trans. Broadcast. a. Telev. Receivers 1973 nr 4.
3. Csicastra A., Foster J., Metro J.: Experimental quadrophonic fm broadcasting. IEEE Trans. Broadcast. a. Telev. Receivers 1973 nr 4.
4. Cooper D.: Proposal QFMX for use 4-4-4 QMX matrix in quadruplex coding of im transmission. IEEE Trans. Broadcast. a. Telev. Receivers 1973 nr 4.
5. Torc E.: The SQ broadcasting system. IEEE Trans. Broadcast. a. Telev. Receivers 1973 nr 4.
6. Gerzon M.A.: 2 Periphony, with height sound reproduction. Audio Eng. Soc. 1973 vol. 21 nr 1.
7. Kohsaka O., Satoh E., Nakayama T.: Sound image localisation in multichannel matrix production. J. Audio Eng. Soc. 1972.
8. Gorzon A.: Experimental tetrahedral recording. Studio Sound. 1971, nr 8, 9, 10.



Rys. 1. Przykład rozmieszczenia mikrofonów i głośników w stereobioakustycznym systemie oddawania

Stawiana ocena

Subiektywna
ocena
jakości
reprodukcji
przy odsłuchu



Informacja bieżąca (B) LR LR
Informacja przestrzenna (P) LR LR

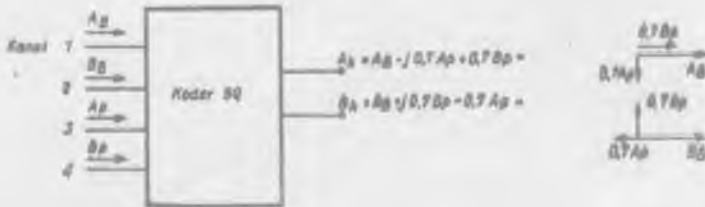
Rys. 2. Subiektywna ocena jakości transmisji przy odsłuchu



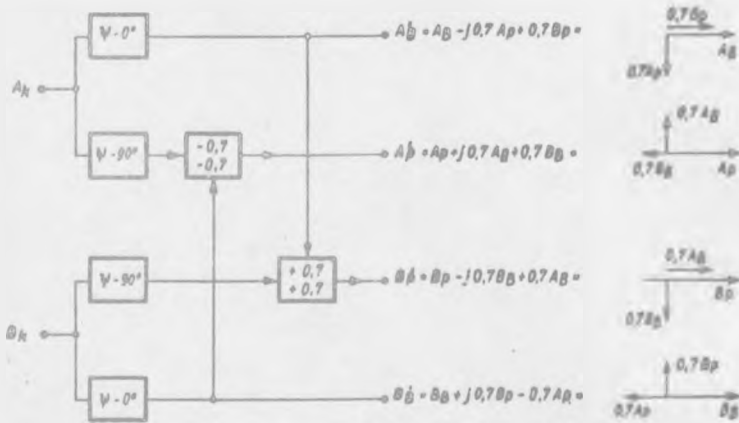
Rys. 3. Warianty systemów czterokanałowych: a/ usytuowanie przy Cinemascope /4-0/, b/ usytuowanie dla efektów /3-1/, c/ usytuowanie /4-0/ względnie /2-2/, d/ usytuowanie wg Haflera, e/ usytuowanie wg systemu TRIPHONIC, f/ usytuowanie wg Madsena



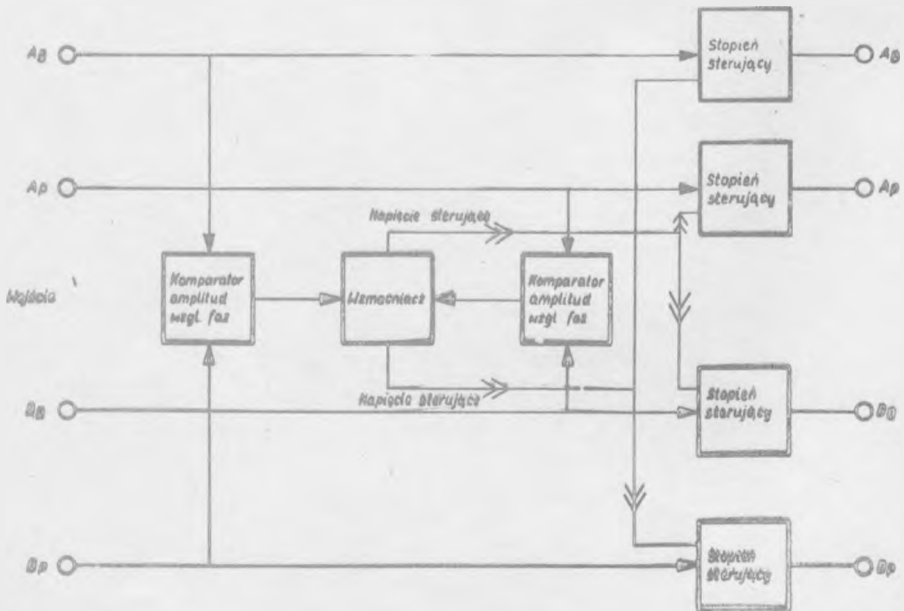
Rys. 4. Usytuowanie głośników dla transmisji stereoambiofonicznej w systemie czterokanałowym



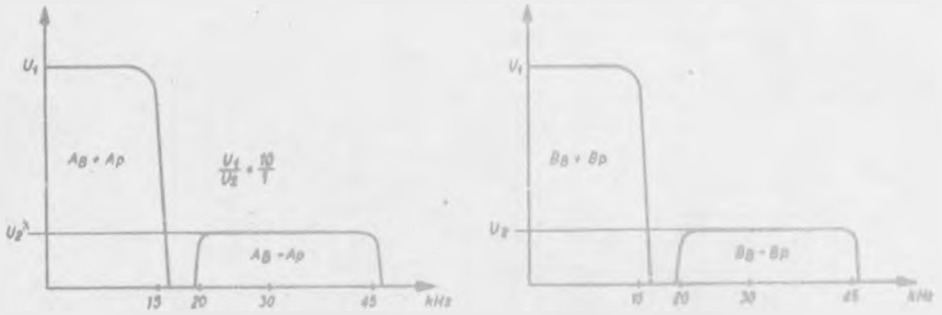
Rys. 5. Zasada kodowania w systemie płytowym SQ /4-2-4/



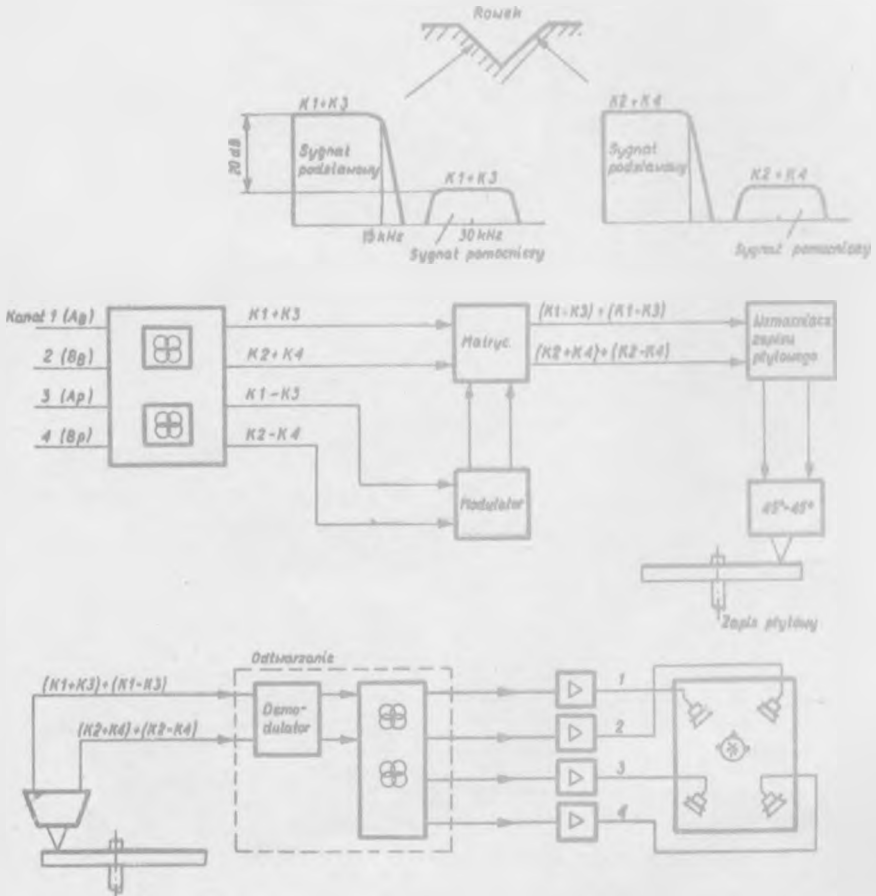
Rys. 6. Zasada dekodowania w systemie płytowym SQ /4-2-4/



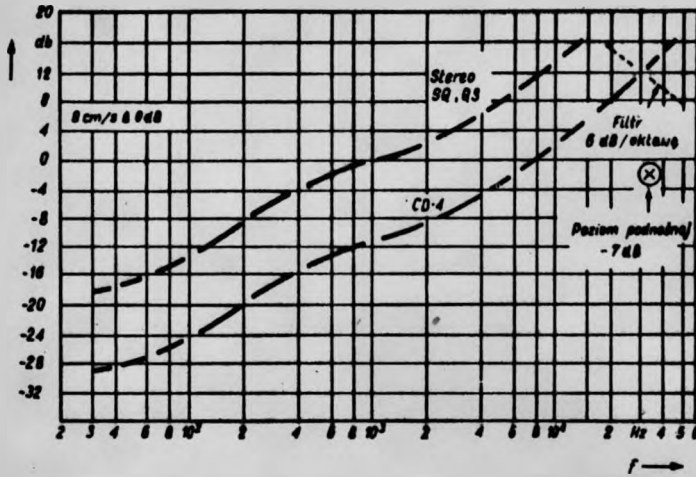
Rys. 7. Układ automatycznego wytłumienia przesłuchów międzykanałowych w systemie SQ



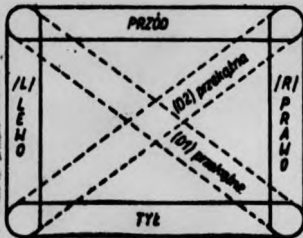
Rys. 8. Rozkład widma w systemie płytowym CD-4 /4-2-4/



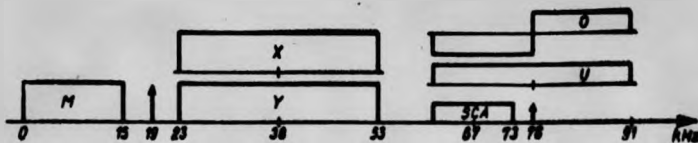
Rys. 9. Zasada kodowania i dekodowania w systemie płytowym CD-4 /4-2-4/



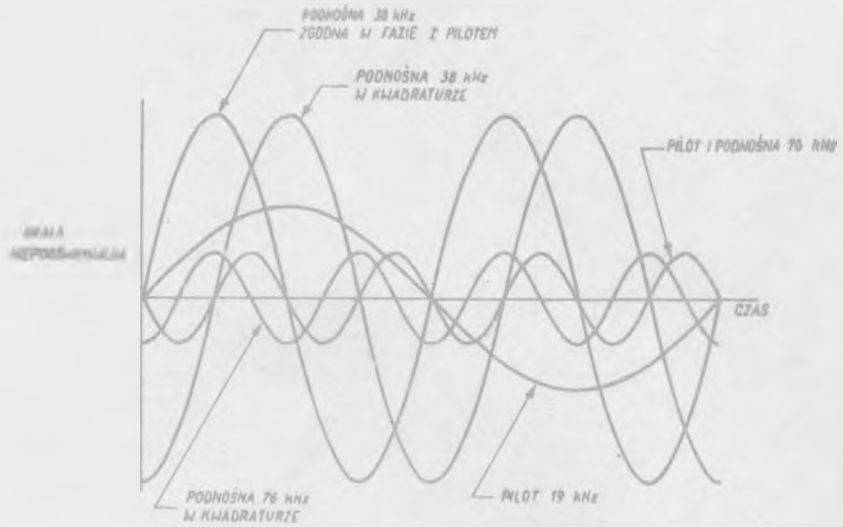
Rys. 10. Porównanie charakterystyki nagrywania zwykłych płyt stereofonicznych i płyt kwadrofonicznych w systemie CD - 4



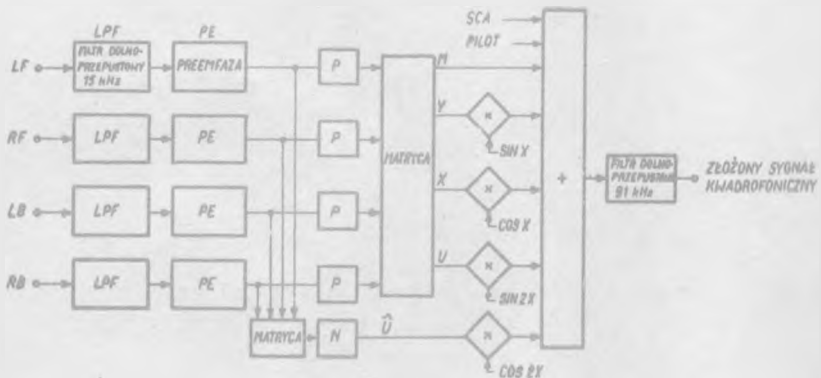
Rys. 11. Identyfikacja podkanałów nadawanych na podnośnych w systemie 2 A



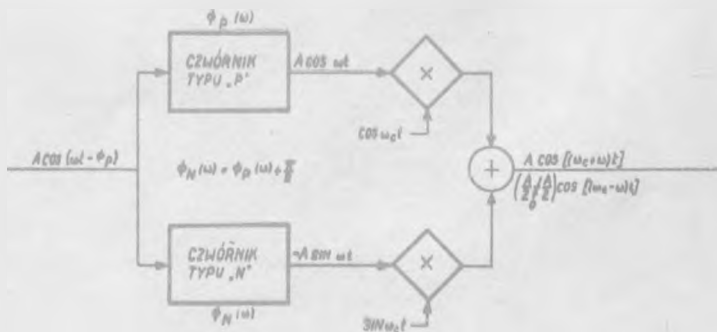
Rys. 13. Rozkład widm złożonego sygnału kwadrofonicznego typu FM w systemie 2 A



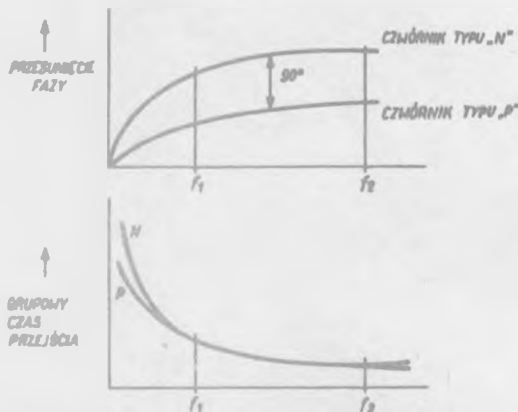
Rys. 12. Zależności fazowe obu sygnałów pilotów i czterech podnośnych w systemie 2 A



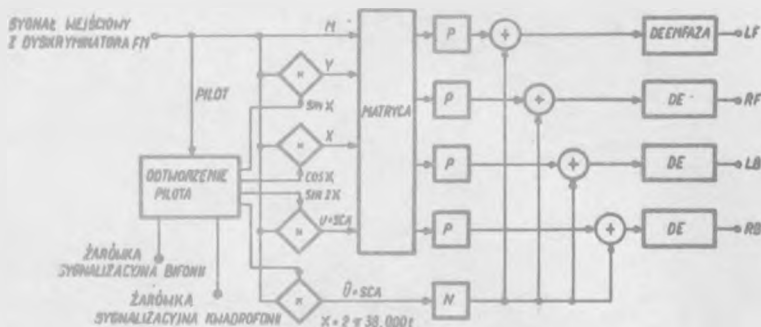
Rys. 14. Układ blokowy kodera w systemie 2 A



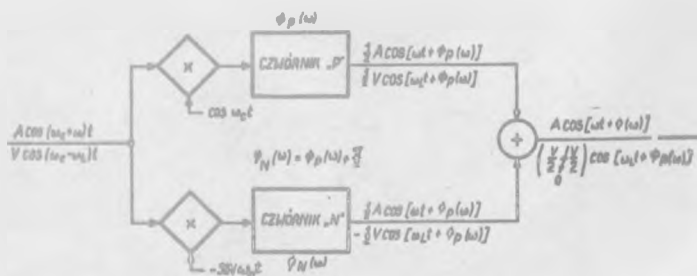
Rys. 15. Metoda fazowa uzyskiwania sygnału jednowstęgowego w podkanałowej 76 kHz kodera przy systemie 2 A



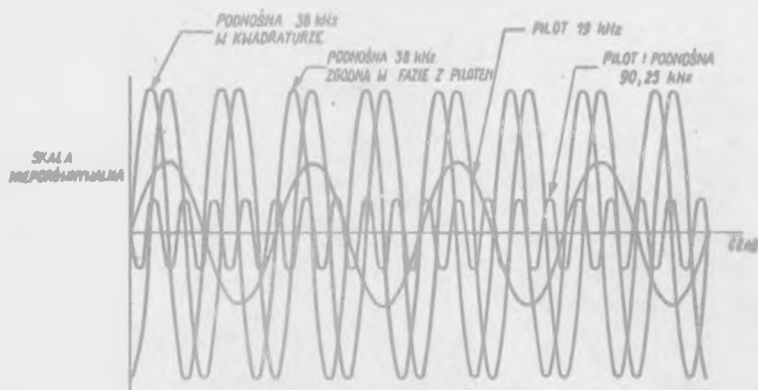
Rys. 16. Charakterystyki fazowe i grupowego czasu przejścia czwórników typu "P" i "N" stosowanych w systemie 2 A



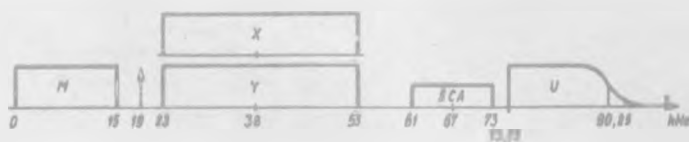
Rys. 17. Układ blokowy dekodera odbiorczego w systemie 2 A stosujący metodę fazową detekcji jednowstęgowej



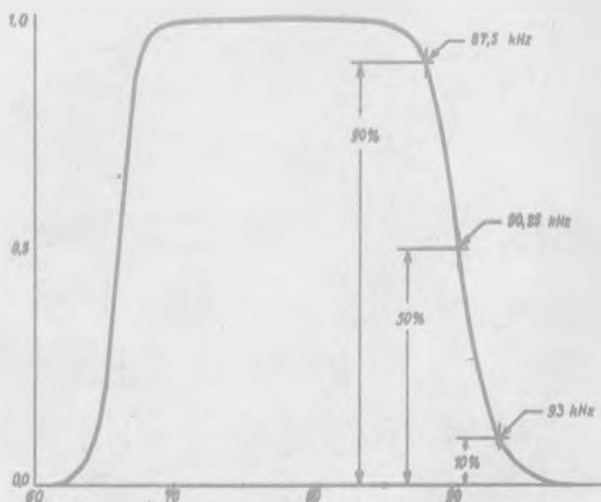
Rys. 18. Metoda fazowa detekcji jednowstęgowej w dekodерze systemu 2 A



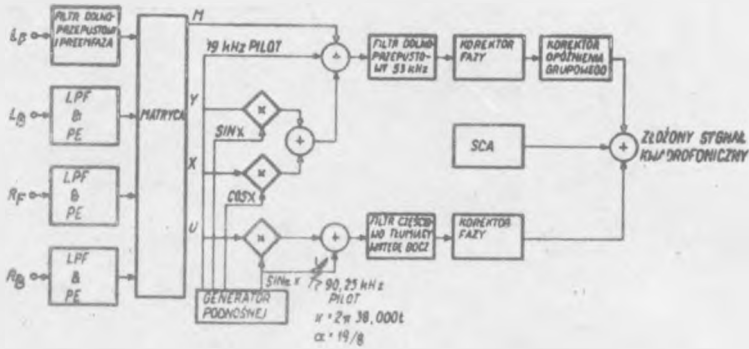
Rys. 19. Zależności fazowe sygnałów obu pilotów i podnośnych w systemie 3 B



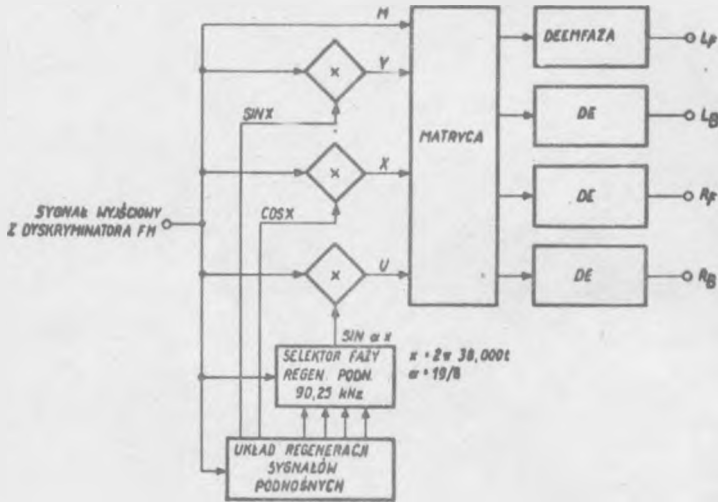
Rys. 20. Rozkład widm złożonego sygnału kwadrofonicznego typu FM w systemie 3 B



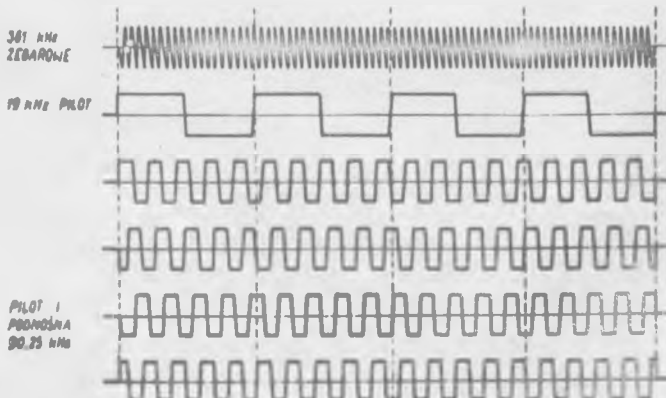
Rys. 21. Charakterystyka filtra kształtującego wytłumienie górnej wstęgi bocznej podnośnej 90,25 kHz w systemie 3 B



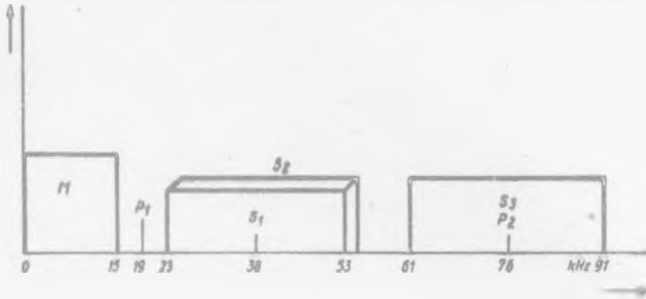
Rys. 22. Układ blokowy kodera w systemie 3 B



Rys. 23. Układ blokowy dekodera odbiorczego w systemie 3 B



Rys. 24. Wzajemny układ faz czterech sygnałów regeneracji podnośnej 90,25 kHz



Rys. 25. Rozkład widm złożonego sygnału kwadrofonicznego typu FM w systemie Dorrera

M - podstawowy kanał monofoniczny $/A_B + A_P/ + /B_B + B_P/$

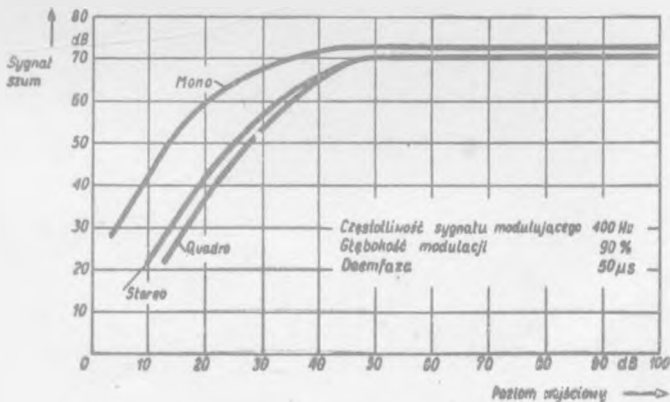
S_1 - pierwszy różnicowy sygnał kwadrofoniczny $/A_B + A_P/ - /B_B - B_P/$

S_2 - suma sygnałów różnicowych $/A_B - A_P/ + /B_B - B_P/$

S_3 - drugi różnicowy sygnał kwadrofoniczny $/A_B - A_P/ - /B_B + B_P/$

P_1 - sygnał pilota 19 kHz

P_2 - sygnał pilota 76 kHz



Rys. 26. Porównanie przebiegu stosunku sygnału do szumów występujących w odbiornikach przy odbiorze transmisji mono, stereo i kwadrofonicznych dla różnych poziomów sygnału wejściowego

