

7. Zasada nadawania sygnału radiowego stereo

7.1. Krótka historia i podstawowe informacje o stereofonii

Stereofonia jest to wielokanałowy system do nagrywania, przesyłania i odtwarzania dźwięków z zachowaniem towarzyszących im informacji kierunkowych (definicja wg OIRT).

Celem techniki stereofonicznej jest uzyskanie możliwie dużej, prawidłowej lokalizacji źródeł dźwiękowych w przestrzeni.

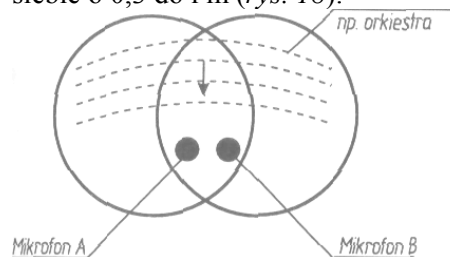
Pojęcie stereofonii zostało wprowadzone po raz pierwszy w roku 1880 przez Aleksandra Grahama Bella, który w Stanach Zjednoczonych opublikował artykuł „Eksperymenty związane ze słyszeniem dwuuszynym”. Rok później, 11 sierpnia 1881 r. na I Międzynarodowej Wystawie Elektrycznej w Paryżu, odbyły się pierwsze próby przestrzennego odtwarzania dźwięku. Pomiędzy Operą Paryską a Pałacem Przemysłowym zainstalowano dwutorową linię telefoniczną, co pozwoliło na dokonanie pierwszej, dwukanałowej transmisji stereofonicznej.

W 1920 roku Anglik Alan Blumlein opatentował system stereofoniczny złożony z dwóch mikrofonów i dwóch głośników, tzw. układ stereofonii natężeniowo-wcyj *X-Y*. Inny układ stereofonii natężeniowej, oznaczony *M-S* (niem. *Mitte-Seite*, czyli *środek-bok*), zaprojektował w 1957 r. H. Lauridsen. Od 1959 roku w USA rozpoczęto próby eksploatacyjne radiofonii stereofonicznej z jednym nadajnikiem UKF FM z częstotliwością pilotującą. System ten w 1961 r. został zatwierdzony do eksploatacji w Europie Zachodniej, a od roku 1965 zastosowano go w krajach Europy Wschodniej. Ostatnio w USA opracowano i próbnie uruchomiono nowy, ulepszony w stosunku do systemu z częstotliwością pilotującą, system stereofoniczny pod nazwą FMX, poprawiający stosunek *S/N* w sygnale stereofonicznym, dzięki czemu zwiększył się zasięg audycji stereofonicznych.

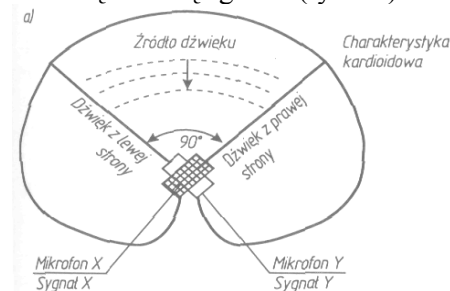
Istotą stereofonii jest dwukanałowe przekazywanie dźwięków w taki sposób, aby słuchacz miał wrażenie przestrzennego obrazu dźwiękowego. Odtwarzanie dźwięków może odbywać się za pomocą głośników lub słuchawek. Podczas odtwarzania przez głośniki wrażenie kierunkowego rozmieszczenia źródeł dźwięku uzyskuje się przez odpowiednie rozsuniecie głośników

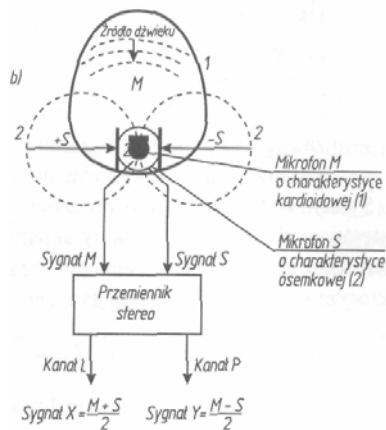
umieszczonych przed słuchaczem. Głośniki są sterowane dwoma odpowiednimi sygnałami fonicznymi: „lewym” (*L*) i „prawym” (*P*). Jeżeli sygnały te różnią się między sobą tylko **fazą**, to jest to system **stereofonii fazowej**, jeżeli różnią się **natężeniem**, to jest to system **stereofonii natężeniowej**. Trzecim systemem jest system **stereofonii natężeniowo-fazowej**, w którym sygnały *L* i *P* różnią się fazą i natężeniem.

Podstawą systemu stereofonii fazowej jest odtwarzanie kierunku dźwięku tylko na podstawie różnic fazowych (czasowych) obu sygnałów fonicznych, tj. sygnału *L* i sygnału *P*. Układem nadawczym dla tego systemu jest **układ mikrofonów A-B**, w którym stosuje się dwa jednakowe mikrofony o dowolnej kierunku-wości, np. kołowej, i odległe od siebie o 0,3 do 1 m (rys. 18).



Podstawą systemu radiofonii natężeniowej jest wywołanie wrażenia przestrzenności źródła dźwięków na podstawie różnic natężeń między sygnałami *L* i *P*. Podstawowymi układami nadawczymi w tym systemie są układy mikrofonów Jf-7 oraz *M-S*, które są ze sobą zgodne (rys. 19).





Rys. 19. Układy mikrofonów w stereofonii natężeniowej: a) układ mikrofonów X-Y o charakterystyce kardiodowej (sercowej), b) układ mikrofonów M-S

Układ X-Y stanowią dwa mikrofony dwukierunkowe o charakterystykach ósemkowych lub kardiodowych umieszczone jeden nad drugim. Osie główne mikrofonów tworzą kąt 90° , dzięki czemu sygnały foniczne wytwarzane przez oba mikrofony różnią się tylko natężeniem, a nie fazą.

7.2. System radiofonii z częstotliwością pilotującą

Każdy system stereofoniczny (lub kwadro foniczny) musi odpowiadać następującym założeniom:

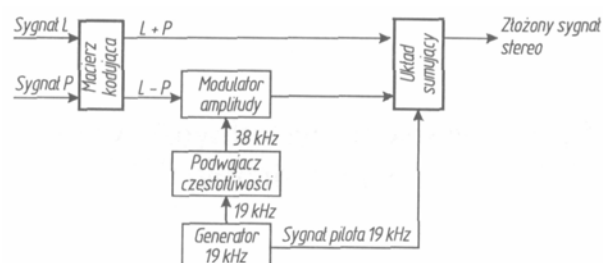
- spełniać zasadę kompatybilności, czyli zgodności, tzn. zwykle odbiorniki UKF FM powinny umożliwiać odbiór audycji stereofonicznych w postaci monofonicznej bez żadnych zniekształceń, a odbiorniki stereofoniczne powinny bez przeszkód odbierać także audycje monofoniczne,
- umożliwiać odbiór audycji stereofonicznych z możliwie najwyższą jakością,
- zasięg nadajników programów stereofonicznych nie powinien być mniejszy niż zasięg nadajników monofonicznych.

System radiofonii stereofonicznej z częstotliwością pilotującą jest oparty na następujących zasadach: sygnały akustyczne z lewego mikrofonu (L) i z prawego mikrofonu (P) są dostarczane do urządzenia kodującego, tzw. **stereokodera**, w którym powstaje złożony sygnał stereofoniczny m.cz. zawierający:

Układ mikrofonów M-S składa się z dwóch mikrofonów umieszczonych jeden nad drugim, przy czym jeden ma charakterystykę kołową (odbiera dźwięki z kierunku głównego), a drugi jest mikrofonem o charakterystyce ósemkowej i odbiera głównie dźwięki z kierunków bocznych. Osie obu mikrofonów tworzą kąt 90° . Informacje kierunkowe w układzie mikrofonów M-S otrzymuje się po dodaniu napięć (sygnałów) obu mikrofonów: $(M + S)/2$ — kanał lewy lub odjęciu tych napięć: $(M - S)/2$ — kanał prawy. Na wyjściu przebiegnika stereo otrzymuje się dwa niezależne sygnały X i Y, zawierające informacje kierunkowe o rozchodzącym się dźwięku. Sygnał $X = (M+S)/2$ jest sygnałem kanału lewego i odpowiada sygnałowi X w układzie mikrofonów X-Y (rys. 19a), a sygnał $Y = \frac{M - S}{2}$ jest sygnałem kanału prawego i odpowiada sygnałowi Y w układzie mikrofonów X-Y.

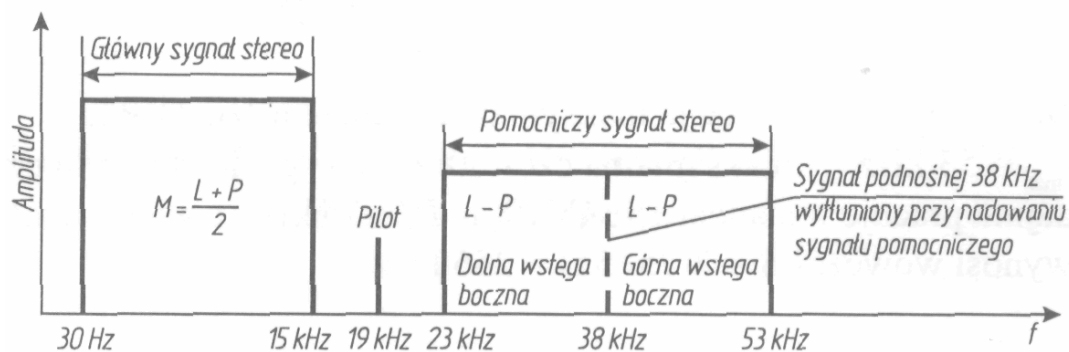
- sygnał sumy kanałów $M = \frac{L + P}{2}$,
tzw. główny sygnał stereofoniczny,
- sygnał pilotujący o częstotliwości 19 kHz, tzw. pilot,
- sygnał podnośnej o częstotliwości 38 kHz zmodulowanej amplitudowo sygnałem różnicy kanałów (L-P), tzw. dodatkowy sygnał stereofoniczny.

Na rysunku 20 przedstawiono uproszczony schemat kodera stereofonicznego, a na rysunku 21 widmo złożonego sygnału stereofonicznego.



Rys. 20. Uproszczony schemat blokowy kodera stereofonicznego

Jak widać na rysunku 21, złożony sygnał stereofoniczny zajmuje pasmo częstotliwości od 30 Hz do 53 kHz.



Rys. 21. Widmo złożonego sygnału stereofonicznego

Główny sygnał stereofoniczny $M = (L + P)/2$ o częstotliwości od 30 Hz do 15 kHz zapewnia odbiór audycji stereofonicznych przez monofoniczne odbiorniki UKF FM, natomiast do odbioru stereofonicznego jest niezbędny dodatkowy sygnał stereofoniczny. Sygnał ten jest umieszczony w paśmie od 23 kHz do 53 kHz i powstaje w wyniku modulacji amplitudowej sygnału podnośnej o częstotliwości 38 kHz. Tak zmodulowany sygnał podnośnej nadaje się w postaci dwóch wstęg bocznych ($L - P$), natomiast sama podnośna 38 kHz jest przy nadawaniu wytłumiana. Między głównym a dodatkowym sygnałem stereofonicznym jest umieszczony sygnał o częstotliwości pilotującej 19 kHz, który w dekodерze stereo w odbiorniku

„informuje” użytkownika o emisji programu stereofonicznego przez uaktywnienie wskaźnika STEREO..

Złożony sygnał stereofoniczny m.cz. z wyjścia kodera stereo jest przesyłany do nadajnika UKF FM, gdzie moduluje częstotliwościową falę nośną nadajnika i jest emitowany w eter. W odbiorniku stereofonicznym, w dekodерze stereo umieszczonym za detektorem częstotliwości następuje odkodowanie sygnałów akustycznych obu kanałów ze złożonego sygnału stereo, dzięki czemu następuje sterowanie obu kanałów odbiornika (wzmacniacza) i odtworzenie audycji stereofonicznej.

7.3. Sygnał wysokiej częstotliwości w radiofonii stereofonicznej

Sygnałem w.cz. w radiofonii stereofonicznej jest sygnał nośny nadajnika UKF FM pracującego na danym kanale radiowym, zmodulowany częstotliwościowo złożonym sygnałem stereofonicznym małej częstotliwości.

Zgodnie ze wzorem określającym szerokość kanału radiowego przy zastosowaniu modulacji FM, tj. $B = 2(\Delta f + f_{max})$, do przesyłania audycji stereofonicznych kanał

radiowy musi mieć następującą szerokość (pasmo częstotliwości):

$$B = 2(50 + 53) = 206 \text{ kHz},$$

gdzie:

$\Delta f = 50 \text{ kHz}$ - dewiacja maksymalna w standardzie OIRT,

$f_{max} = 53 \text{ kHz}$ - maksymalna częstotliwość sygnału stereo m.cz. Jeżeli nadajnik pracuje w standardzie CCIR, to $\Delta f = 75 \text{ kHz}$, a więc szerokość kanału wynosi wówczas

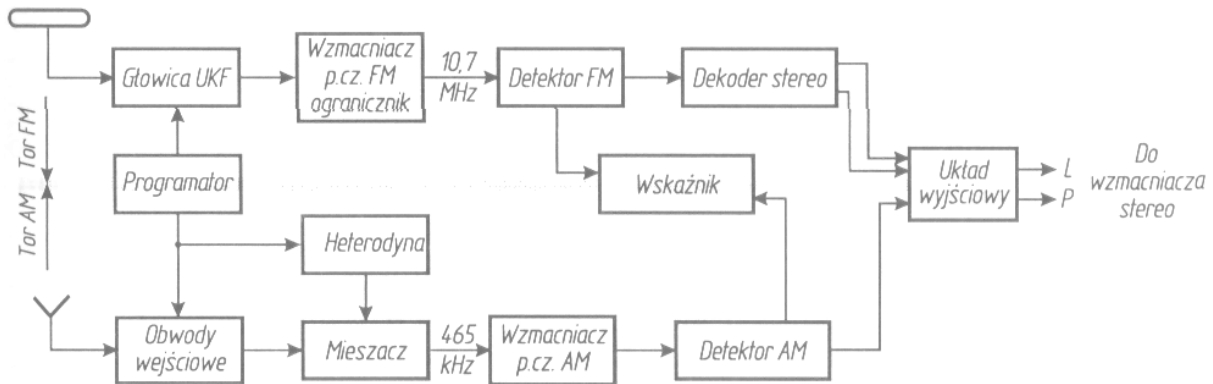
$$B = 2(75 + 53) = 256 \text{ kHz}.$$

8. Stereofoniczny tuner radiowy

Urządzeniem radioodbiornym służącym do odbioru audycji stereofonicznych jest stereofoniczny tuner radiowy, na którego wyjściu otrzymuje się dwa niezależne sygnały akustyczne, tj. sygnał kanału lewego i sygnał kanału prawego. Wzmocnienie tych sygnałów następuje we wzmacniaczu akustycznym, z którym tuner współpracuje, tworząc kompletny zestaw radiowy. Rozdzielenie odbiornika radiowego na tuner i wzmacniacz mocy ułatwia uzyskanie lepszych parametrów odbioru programów stereofonicznych, co jest szczególnie ważne w sprzęcie klasy Hi-Fi.

8.1. Schemat blokowy tunera stereofonicznego i idea działania

Ze względu na różne rodzaje modulacji stosowanej na zakresach fal krótkich, średnich, długich i ultrakrótkich, tuner (rys. 22) ma dwa niezależne tory odbioru sygnałów, tzn. tor AM do odbioru sygnałów na falach krótkich, średnich i długich z modulacją AM i tor FM do odbioru fal z zakresu UKF, gdzie sygnały są modulowane częstotliwościowo.



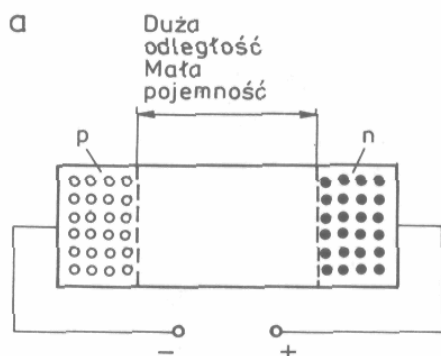
Rys. 22. Schemat blokowy tunera

Ponieważ tor FM jest torem podstawowym każdego tunera stereofonicznego, poniżej opisano ogólną budowę tego toru oraz zasadę jego działania przy odbiorze sygnałów (programów) z pasma UKF.

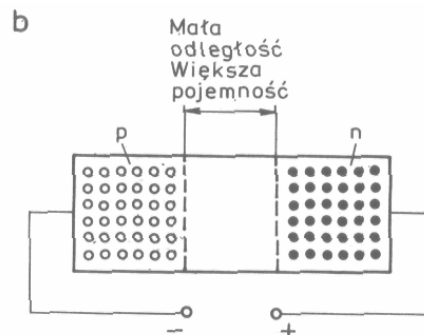
Tor UKF rozpoczyna się głowicą UKF zawierającą obwody wejściowe, wzmacniacz w.cz. z przestrajającym filtrem pasmowym, mieszacz częstotliwości i heterodynę. Na wejście głowicy są podawane sygnały w.cz. wyindukowane w antenie, pochodzące z pasma UKF, które w standardzie OIRT zawierają się w granicach 65,5-74,0 MHz, a w standardzie CCIR w granicach 87,5 - 108,0 MHz. W głowicy następuje wybranie sygnału żądanej stacji radiowej spośród wszystkich sygnałów docierających do tunera z anteny, selektywne

wzmocnienie tego sygnału przez wzmacniacz w.cz. oraz przemiana jego częstotliwości na częstotliwość pośrednią $f_{p.cz.} = 10,7$ MHz. Dostrojenie głowicy do fali nośnej żądanej stacji wymaga współbieżnego przestrojenia obwodów wejściowych, obwodów rezonansowych filtra pasmowego wzmacniacza w.cz. i heterodyny w taki sposób, aby uzyskać częstotliwość pośrednią $f_{p.cz.} = f_H - f_S = 10,7$ MHz. Przykładowo, przy odbiorze stacji o częstotliwości fali nośnej $f_S = 71,67$ MHz, częstotliwość heterodyny musi wynosić $f_H = f_{p.cz.} + f_S = 10,7\text{MHz} + 71,67\text{MHz} = 82,37$ MHz.

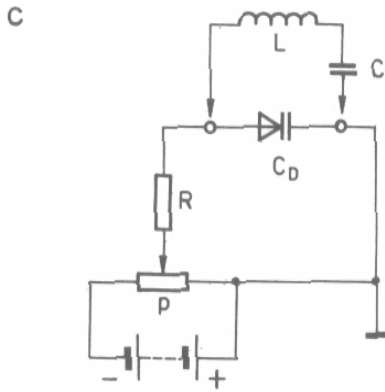
We współczesnych odbiornikach obwody rezonansowe głowicy są przestrajane napięciowo za pomocą **diod pojemnościowych** (warikapów).



Dioda pojemnościowa przy wysokim napięciu wstecznym.



Dioda pojemnościowa przy niskim napięciu wstecznym.

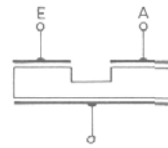


Polaryzacja diody pojemnościowej w przypadku zastosowania jej jako kondensator w obwodzie rezonansowym.

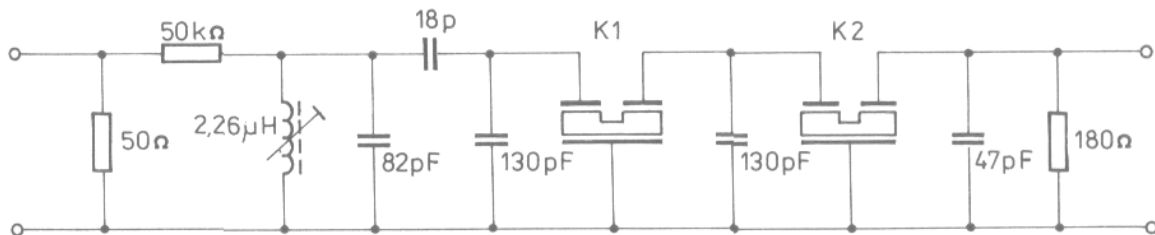
Utrzymywanie dostrojenia do danej stacji w przypadku zmian częstotliwości heterodyny (samoczynne odstrajanie się heterodyny) zapewnia współpracujący z głowicą układ ARCz, opisany w rozdz. 6.

Sygnal p.cz. zmodulowany częstotliwościowo sygnałem akustycznym z wyjścia głowicy steruje **wzmacniaczem p.cz.**, którego zadaniem jest wzmocnienie tego sygnału do takiego poziomu, aby zapewnić optymalną detekcję (demodulację częstotliwościową sygnału p.cz. Oprócz wzmocnienia, wzmacniacz p.cz. o odpowiedniej charakterystyce przenoszenia

wypracowuje selektywność odbiornika. Charakterystyka przenoszenia wzmacniacza p.cz. jest kształtowana przez **filtry ceramiczne** o częstotliwości środkowej $f_0 = 10,7$ MHz, np. SFE 10,7 załączane na jego wejście.



Dwuobwodowy filtr ceramiczny złożony z dwóch sprzężonych elementów drgających



Układ pięciobwodowego fillru hybrydowego na 10,7 MHz

Filtry z falą powierzchniową

Kolejną konstrukcją filtrów ceramicznych stały się filtry z falą powierzchniową. Również w nich drgania elektryczne są przekształcane na mechaniczne, a następnie z powrotem przez drugi układ elektrod na elektryczne. O paśmie przepustowym decydują wymiary tzw. elektrod grzebieniowych.

Wzmacniacze p.cz. obecnie są wykonywane w postaci układów scalonych, wewnątrz których znajdują się dodatkowe układy, np. układ ARCz, detektor koincydencyjny do detekcji sygnału $f_{p.cz.} = 10,7$ MHz, wzmacniacz sygnału m.cz. uzyskanego w procesie detekcji. Istnieją również bardziej specjalizowane układy scalone, np. TDA 1574 firmy Philips, które zawierają: wzmacniacz w.cz., heterodynę, mieszacz i wzmacniacz p.cz. Wzmocniony sygnał f jest następnie podawany do **detektora częstotliwości**, w którym następuje

wydzielenie akustycznego sygnału m.cz., który w nadajniku modulował częstotliwościowo falę nośną. W zależności od rodzaju nadawanej audycji (mono, stereo) jest to sygnał monofoniczny lub złożony sygnał stereofoniczny z częstotliwością pilotującą 19 kHz. W przypadku audycji stereofonicznej, złożony sygnał stereofoniczny jest dekodowany przez **dekoder stereofoniczny**, w wyniku czego otrzymuje się sygnał akustyczny kanału lewego i prawego, który po wstępnym wzmocnieniu przez **układ wyjściowy** jest wyprowadzany na oba wyjścia tunera (OUT-L, OUT-P). **Programator tunera**, zwany **pamięcią elektroniczną**, umożliwia zaprogramowanie pewnej liczby stacji radiowych (liczba ta zależy od rozwiązania konstrukcyjnego tunera), a **wskaźnik** umożliwia dokładne dostrajanie się do żądanej stacji radiowej.

8.2. Dekodowanie sygnału stereofonicznego

Sygnał stereofoniczny m.cz. otrzymany w wyniku detekcji częstotliwościowej zajmuje pasmo od 30 Hz do 53 kHz (rys. 21) i zawiera:

- sygnał sumy kanałów $M = (L+P)/2$,
- zmodulowany amplitudowo sygnał podnośnej 38 kHz w postaci dwóch wstępnych bocznych, zawierających sygnał różnicy kanałów $(L - P)$, sygnał pilotujący (PL) o częstotliwości 19kHz,

Taki sygnał jest podawany do dekodera stereofonicznego, w którym zachodzą następujące fazy dekodowania sygnału stereo:

- wydzielenie ze złożonego sygnału stereo sygnału pilotującego PL o częstotliwości 19 kHz,
- odtworzenie podnośnej 38 kHz (wytlumionej przy nadawaniu sygnału stereo) z użyciem sygnału pilota 19 kHz,
- detekcja amplitudowa sygnałów wstępnych bocznych, zawierających sygnały różnicy kanałów $(L - P)$. Detekcja ta jest realizowana przez detektor synchroniczny na zasadzie wymnażania podnośnej 38 kHz z sygnałem zmodulowanym wstęgi bocznej. Po detekcji synchronicznej otrzymuje się sygnał m.cz. różnicy kanałów $(L - P)$, sumowanie algebraiczne na drodze elektrycznej sygnałów: sumy kanałów $M = (L+P)/2$ i różnicy kanałów $(L - P)$, w wyniku czego powstają niezależne sygnały kanału lewego L i prawego P (sumowanie odbywa się w tzw. macierzy sygnału stereo).

Dekodery sygnału stereo są budowane w postaci układów scalonych, np. TDA 1578A, i najczęściej zawierają pętlę fazową PLL, co zapewnia uzyskanie dobrych parametrów sygnału stereo.

8.3. Układ PLL i układ syntezy częstotliwości

Układ PLL

Układ pętli synchronizacji fazy przedstawiony na rysunku 23 jest nazywany **układem PLL** (ang. *Phase Locked Loop*) i jest stosowany w układach demodulacji sygnałów AM i FM, w syntezie częstotliwości oraz w synchronizacji częstotliwości. Jest to typowy układ ze sprzężeniem zwrotnym, który przez detektor fazy pozwala na uzyskanie zgodności fazowej między fazą sygnału wejściowego a fazą

generatora VCO, przestrajanego napięciem ΔU . Detektor fazy w sposób ciągły porównuje fazę sygnału wejściowego z fazą generatora i w zależności od różnicy tych faz wypracowuje sygnał regulacyjny, który przez filtr dolnoprzepustowy tak przestrasza generator, aby doprowadzić jego sygnał do zgodności fazowej z sygnałem na wejściu układu PLL (synchronizm generatora).



Rys. 23. Schemat blokowy pętli fazowej PLL

Pętla fazowa PLL w dekodерze stereo (rys. 24) służy do wytworzenia sygnału podnośnej 38 kHz, który musi być zgodny w fazie z sygnałem pilota 19 kHz na wejściu dekodera, niezbędnego do detekcji synchronicznej zmodulowanego, dodatkowego sygnału stereo z pasma 23 ÷ 53 kHz.

W schemacie dekodera z rysunku 24 można wyróżnić trzy bloki:

- układ pętli fazowej PLL,
- układ wykrywania sygnału pilota,
- układ toru sygnałowego.

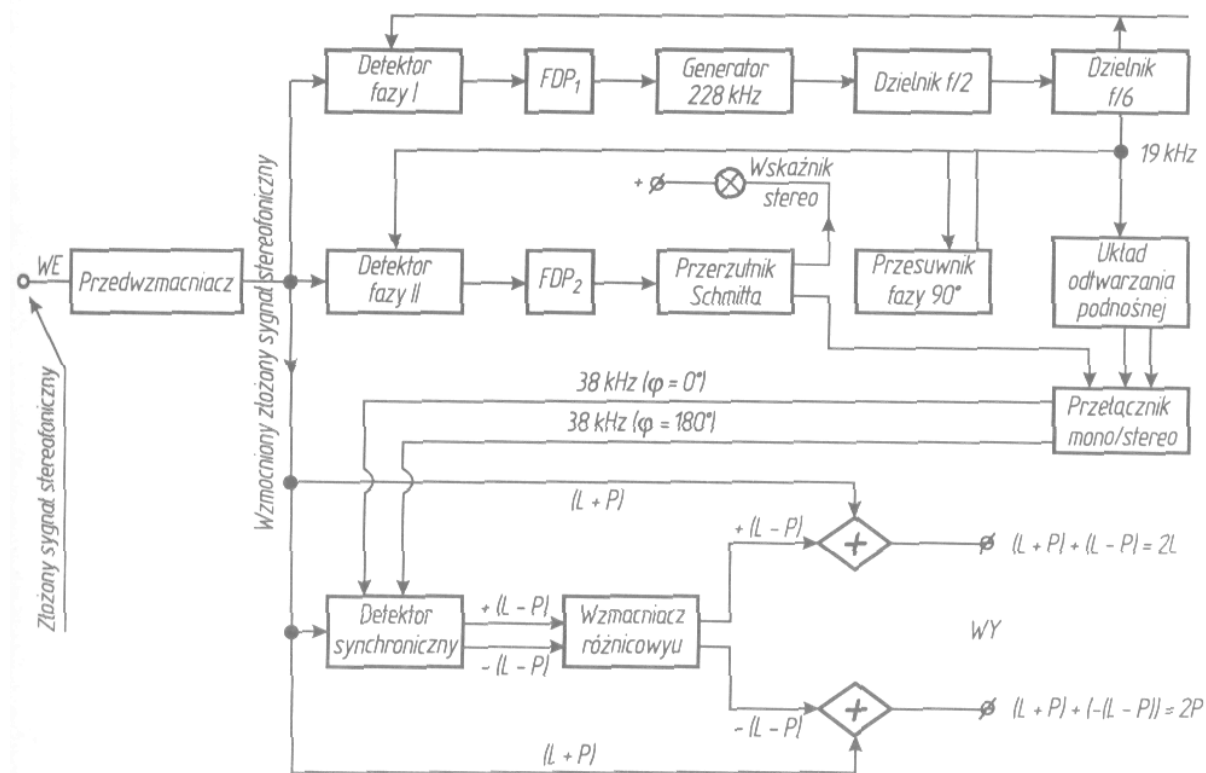
W pętli PLL następuje wytworzenie sygnału 19 kHz zsynchronizowanego z sygnałem pilota zawartym w złożonym sygnale stereo na wejściu dekodera. Źródłem tego sygnału jest przestrajany napięciowo generator lokalny 228 kHz, którego

częstotliwość jest dzielona przez 2, a następnie przez 6, co daje sygnał o częstotliwości 19 kHz zgodny fazowo z sygnałem pilota nadawanym przez nadajnik.

Odtworzony w odbiorniku sygnał 19 kHz służy do wytworzenia podnośnej 38 kHz niezbędnej do detekcji synchronicznej sygnału stereo z pasma 23-53 kHz. W wyniku podania do demodulatora synchronicznego sygnału złożonego stereo i sygnału podnośnej 38 kHz, po detekcji synchronicznej otrzymuje się dwa przebiegi różnicy kanałów ($L - P$) o przeciwnych fazach. Sygnały te w układach sumacyjnych są sumowane z sygnałem sumy kanałów $M = (L + P)/2$ z pasma 30 Hz ÷ 15

kHz, w wyniku czego na wyjściu dekodera otrzymuje się dwa niezależne sygnały akustyczne, tj. sygnał kanału lewego i sygnał kanału prawego.

Sygnał pilota 19 kHz odtworzony w pętli PLL po przesunięciu w fazie o 90° jest podany do detektora fazy II (w torze wykrywania sygnału pilota), do którego jest również podany złożony sygnał stereo. Na wyjściu detektora II otrzymuje się sygnał powodujący przełączanie przełącznika mono/stereo i zaświecenie wskaźnika stereo. Do często stosowanych dekoderek stereo należą: UL 1621N, TCA 4500A, MA 758, TDA 1578 i podobne.



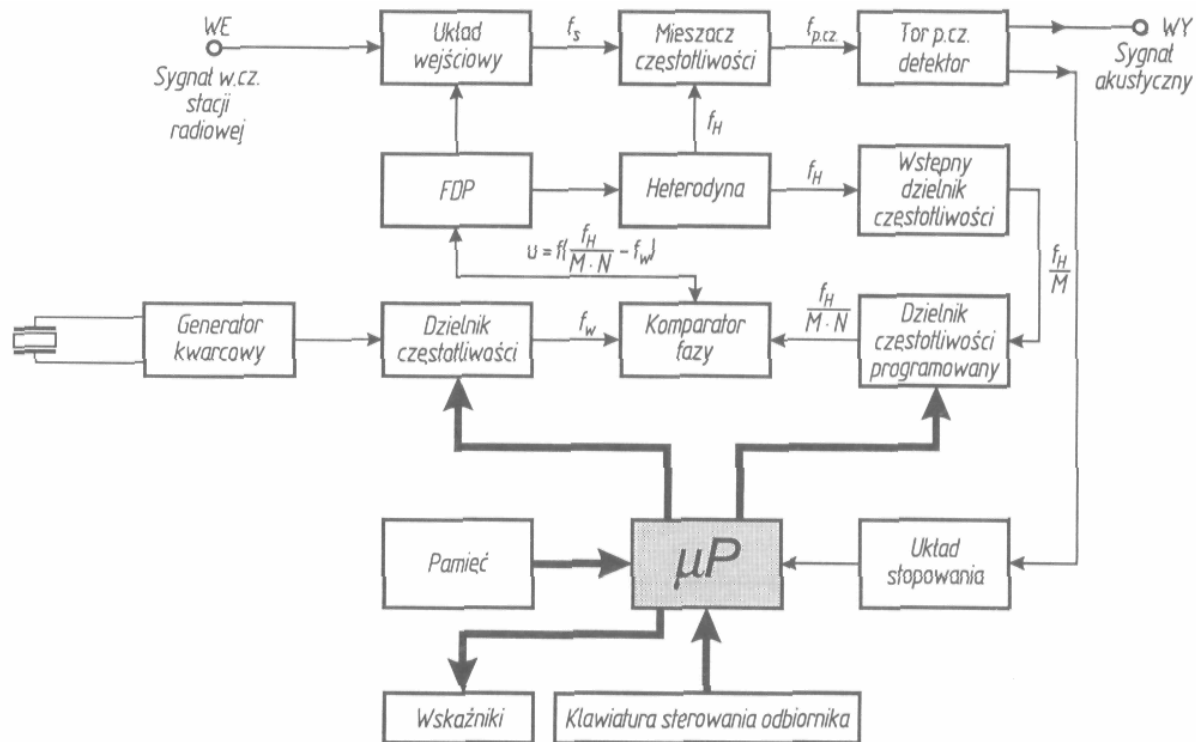
Rys. 24. Schemat blokowy dekodera stereofonicznego z pętlą PLL

Układ syntezy częstotliwości

W tunerach, w miejsce układów syntezy napięciowej i cyfrowego odczytu częstotliwości odbieranej stacji, które umożliwiały automatyczne strojenie odbiornika, programowanie stacji i wyświetlanie częstotliwości odebranej stacji radiowej, coraz częściej stosuje się syntezę częstotliwości, co zwiększa komfort obsługi tunera oraz zapewnia uzyskanie lepszych parametrów dostrajania się tunera do sygnału żądanej stacji radiowej.

Układ syntezy częstotliwości przedstawiony na rysunku 25, sterowany mikroprocesorem, pozwala na realizację następujących funkcji:

- bardzo dokładne dostrojenie do odbieranej stacji,
- automatyczne przestrojenie tunera w dół lub w górę, skokowo, zgodnie z programem,
- wyszukiwanie stacji emitujących tylko program stereo,
- wpisywanie do pamięci wybranych stacji,
- ręczne wyszukiwanie stacji,
- cyfrowe wyświetlanie częstotliwości odbieranej stacji,
- wyświetlanie na wskaźniku informacji dodatkowych, np. poziom sygnału odbieranej stacji, odbierany zakres, audycja stereo.



Rys. 25. Układ syntezy częstotliwości w tunerze

Układ syntezy częstotliwości jest oparty na wbudowanej w układ tunera cyfrowej pętli fazowej, w skład której wchodzi:

- generator wzorcowy, stabilizowany kwarem o częstotliwości wzorcowej np. 4 MHz,
- generator sterowany napięciowo, spełniający rolę heterodyny, pracujący na częstotliwościach $f_H = f_S + f_{p.cz.}$, gdzie f_S jest sygnałem w.cz. odbieranej stacji radiowej,
- wstępny dzielnik częstotliwości heterodyny, dzielący ją przez M , $\left(\frac{f_H}{M}\right)$,
- programowany dzielnik częstotliwości heterodyny, dzielący sygnał heterodyny w założonym stosunku przez N , $\left(\frac{f_H}{M}\right)$; mikroprocesor μP oblicza wartość podziału N dla danej stacji radiowej,
- komparator fazy, porównujący częstotliwość generatora wzorcowego f_w z częstotliwością (fazą) podzieloną heterodyny $\left(\frac{f_H}{M \cdot N}\right)$. W przypadku niezgodności faz sygnałów f_w i

$$\left(\frac{f_H}{M \cdot N}\right), \text{ na wyjściu komparatora powstaje napięciowy sygnał błędu } u = f \left(\frac{f_H}{M \cdot N} - f_w \right),$$

tzw. napięcie korekcyjne, które dokładnie dostraja heterodynę do wymaganej częstotliwości do prawidłowego odbioru danej stacji radiowej. Proces dostrajania trwa tak długo, aż błąd fazy będzie równy zero ($u = 0$).

Warunkiem prawidłowej pracy tunera z syntezą częstotliwości jest rozmieszczenie stacji radiowych na ściśle określonych częstotliwościach, w równych odstępach, zwanych **rastrzem**. Na falach średnich i długich raster wynosi 9 kHz, a na falach UKF 100, 50, 25 kHz.

Automatyczne dostrajanie tunera do stacji odbywa się z pewnym skokiem uwzględniającym raster stacji radiowych, co zapewnia dokładne dostrojenie do częstotliwości stacji, np. przy strojeniu na zakresie AM skok wynosi 3 kHz, a na zakresie FM — 50 kHz. Do budowy układów syntezy częstotliwości używa się specjalizowanych układów scalonych, np. SAA 1057 Philips, SDA 2120 Siemens.

9. Sposoby lokalizacji i usuwania usterek w odbiornikach radiowych

Naprawa odbiornika radiowego, telewizyjnego itp. polega na logicznej i systematycznej technice szukania uszkodzeń i ich usuwaniu. Osoba naprawiająca musi:

- znać zasadę pracy zarówno całego odbiornika, jak i jego układów,
- umieć stosować przyrządy pomiarowe, umieć analizować schemat ideowy odbiornika,
- umieć trafnie analizować informacje o niewłaściwej pracy układu, uzyskiwane na podstawie objawów uszkodzeń.

Do napraw odbiorników jest niezbędne odpowiednio przygotowane stanowisko, wyposażone w elementy zamienne, przyrządy pomiarowe, specjalistyczne narzędzia, umożliwiające wymianę elementów, sprawdzenie i ewentualne strojenie odbiornika oraz pomiar jego głównych parametrów.

Przy naprawie odbiornika ważną sprawą jest także prowadzenie badań odbiornika, aby w minimalnie krótkim czasie zlokalizować uszkodzenie, a następnie je usunąć. Przystępując do szukania uszkodzenia, należy odpowiedzieć sobie na dwa pytania: gdzie rozpocząć badanie i co badać?

Ułatwieniem w szukaniu odpowiedzi na te pytania są dwie zasady:

1. Zasada wyznaczania granic, **wewnątrz których w układzie jest umiejscowione uszkodzenie (tzw. obszar niepewności).**
2. Zasada zawężania granic, **czyli stopniowe i systematyczne zmniejszanie obszaru niepewności, aż do momentu określenia konkretnego uszkodzenia.** Osiąga się to drogą kolejnych prób i pomiarów. Badania te wykonuje się wewnątrz wyznaczonych granic, następnie wyniki badań właściwie się interpretuje i zmienia granice obszaru niepewności. Czynności te należy powtarzać dopóty, dopóki uszkodzenie nie zostanie wyodrębnione.

W celu ustalenia wstępnej lokalizacji granic obszaru niepewności stosuje się metodę trzech stopni:

- 1). Rozpoznanie objawów wskazujących na niewłaściwą pracę układu (wskaźniki objawów uszkodzeń).
- 2). Lokalizacja drogi przejścia niewłaściwego sygnału (na schemacie

blokowym wytyczamy drogi sygnału w układzie, które prowadzą do tych wskaźników, na których stwierdzono objawy uszkodzenia; na tych drogach sygnałów występuje jakaś nieprawidłowość, tzn. nieprawidłowe są sygnały przez nie przechodzące. Pomijamy te przejścia sygnałów, w których sygnały są prawidłowe, ponieważ na pewno uszkodzenia tam nie występują.

3) Przeprowadzenie wstępnej lokalizacji uszkodzenia przez określenie granic obszaru niepewności; można to zrobić np. zaznaczając na schemacie te granice nawiasami. Pierwszy nawias umieszczamy przy wskaźniku, na którym zaobserwowaliśmy uszkodzenie, następnie przesuwamy się wstecz wzdłuż drogi przechodzenia niewłaściwego sygnału do punktu, z którego otrzymujemy właściwy sygnał wyjściowy lub do punktu końcowego drogi sygnału, np. zasilacza, wzmacniacza lub heterodyny (w tym miejscu umieszczamy drugi nawias); uszkodzenie znajduje się wówczas w obszarze między nawiasami (jest to obszar niepewności).

Po lokalizacji wstępnej przechodzimy do serii podstawowych czynności, których celem jest zmniejszanie obszaru niepewności, aż do wykrycia usterki. W skład tych czynności powinno wchodzić:

- sprawdzenie dotykowe, wzrokowe i słuchowe odbiornika (działania regulatorów, odsłuch, sprawdzenie połączeń mechaniczno-elektrycznych wewnątrz odbiornika),
- pomiar napięć zasilających i napięć stałych, jakie występują w układzie odbiornika i są zaznaczone na schemacie,
- pomiar poboru prądu przez odbiornik.

Czynności powyższe są badaniem odbiornika bez sygnału. Jeżeli w ich trakcie nie wykryto uszkodzenia, to należy przejść do badań z sygnałem. Do tego celu jest niezbędny generator sygnałowy AM/FM, oscyloskop, miernik zniekształceń itp. Badanie odbiornika z sygnałem pozwala na lokalizację uszkodzenia przez sprawdzanie prawidłowości przejść sygnału przez dane układy odbiornika.

Jeśli po przeprowadzeniu badań wstępnych mamy całkowity obraz błędów jako sumę

wszystkich rozpoznanych objawów uszkodzeń, to dalsze zadanie polega na analizie tych błędów. Należy przy tym pamiętać, że każde działanie ma swoją przyczynę, z tym jednak zastrzeżeniem, że wiele objawów uszkodzenia może pochodzić od jednej przyczyny, oraz że pewne objawy błędów mogą mieć wiele przyczyn. Zależność objawów od przyczyny jest tylko wtedy jasna, gdy naprawiający zna zasadę pracy i działanie odbiornika.

Dość często *zdarza* się, że objawy uszkodzenia stwierdzone przez użytkownika występują tylko w pewnym czasie (okresowo) lub w specyficznych warunkach. Wówczas jest niezbędne wykonanie badań specjalnych, które doprowadzą do ujawnienia uszkodzenia.

Na badania specjalne składają się badania odbiornika dokonywane przy zmianach napięcia zasilania sieciowego, które regulujemy autotransformatorem (220 V + 10% i 220 V - 15%), przy zmianach temperatury otoczenia i wilgotności (badanie w komorze klimatycznej itp.).

Opisanych wyżej czynności i metod postępowania występujących w czasie naprawy odbiornika radiowego i innych urządzeń nie należy traktować jako pewnego przepisu, według którego osoba naprawiająca szybko osiągnie zamierzony cel. Skuteczność działania przy usuwaniu usterek zależy również od pewnych cech osobistych naprawiającego, takich jak: umiejętność analizy blejów, spostrzegawczość, kojarzenie pewnych faktów i zależności itp.

Na zakończenie należy dodać, że przy wykonywaniu napraw sprzętu elektronicznego **trzeba zachować szczególną ostrożność podczas pracy przy włączonym urządzeniu.** Jeżeli uszkodzenia wynikają z niesprawności takich podzespołów, jak transformator, wyłącznik sieciowy, gniazdo bezpiecznika sieciowego itp., to należy zdawać sobie sprawę, że po **naprawie odbiornik musi również spełniać normę bezpieczeństwa użytkowania, jaką zapewnia producent.**

10. Podstawowe wiadomości o systemie RDS

10.1. Krótka historia i istota systemu RDS

W latach osiemdziesiątych podjęto w Europie prace nad stworzeniem systemu przekazywania kodowanych cyfrowo informacji przez istniejącą już od kilkudziesięciu lat radiofonie UKF FM. Istotą nowego zamierzenia było wprowadzenie do podstawowego sygnału radiofonicznego, stosowanego w radiofonii UKF FM, dodatkowych sygnałów informacyjnych w taki sposób, aby były one niezauważalne przez posiadaczy standardowych odbiorników radiofonicznych, ale mogły być odbierane przez specjalnie przystosowane do tego celu odbiorniki.

Podjęcie prac nad nowym systemem przekazywania dodatkowych informacji w zakresie UKF było inspirowane głównie dotychczasowymi trudnościami w dostrajaniu się do wybranego programu przez użytkowników przenośnych, a szczególnie samochodowych odbiorników UKF. Trudności te narastały wraz z liczbą nowych nadajników radiofonicznych UKF FM, powodujących coraz większe zagęszczenie zakresu UKF,

Zwieńczeniem wymienionych wyżej prac jest system RDS (ang. *Radio Data System*), zatwierdzony do powszechnego

użytku przez Plenarne Zgromadzenie Międzynarodowego Doradczego Komitetu Radiokomunikacyjnego (CCIR), które odbyło się w 1986 r. w Dubrowniku.

System RDS jest przeznaczony do identyfikacji programów radiowych nadawanych w pasmach UKF i do przekazywania informacji kodowanych cyfrowo, które dzielą się na trzy podstawowe grupy:

- informacje umożliwiające automatyczne dostrajanie odbiornika,
- informacje służące do automatycznego przełączania odbiornika,
- informacje dodatkowe i tzw. radiotekst, czyli komunikaty tekstowe.

Należy przy tym dodać, że wprowadzenie do systemu radiofonicznego UKF FM wymienionych wyżej informacji nie powoduje zmniejszenia jakości nadawanych programów, nie zmniejsza zasięgu stacji radiowych i nie jest też przyczyną wzrostu zakłóceń międzykanałowych. Sygnały RDS mogą być odbierane przez wszystkie odbiorniki radiofoniczne UKF wyposażone w dekodery RDS, niemniej jednak, szczególne zalety systemu RDS zauważają użytkownicy

odbiorników samochodowych, słuchający radia w czasie jazdy samochodem.

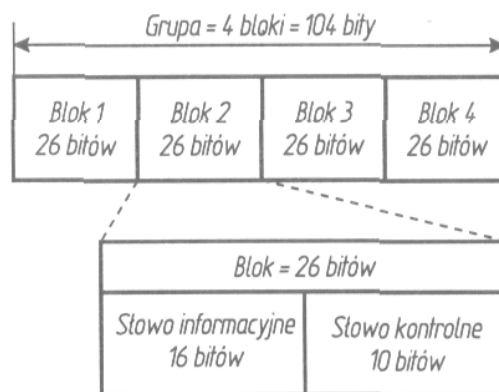
Intensywny rozwój systemu RDS, szczególnie w krajach zachodnioeuropejskich, nastąpił w latach 90., a obecnie system ten staje się niemal powszechną służbą telekomunikacyjną realizującą wiele usług, m.in. identyfikację programów radiowych,

identyfikację komunikatów dla kierowców, identyfikację nazwy i rodzaju programów radiowych itp. Sygnały RDS obecnie są nadawane również przez niektóre stacje radiowe w Polsce, np. RMF FM, Radio Zet, Radio Wawa, Programy I i III PR. Stacje te pokrywają sygnałem RDS cały obszar Polski.

10.2. Struktura informacji i sposób nadawania sygnału RDS

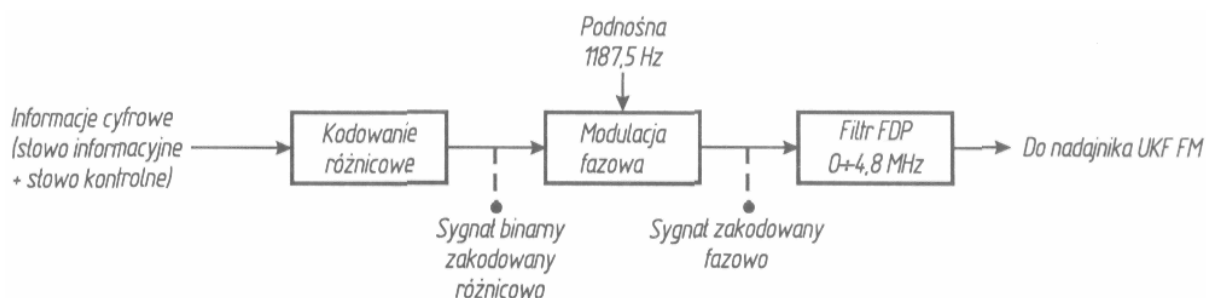
Informacje w systemie RDS są nadawane w czasie audycji radiowych przez sieć nadajników radiofonicznych UKF FM i występują w postaci grup, z których każda składa się z czterech bloków i zawiera łącznie 104 bity (rys. 26). Każdy blok złożony z 26 bitów jest podzielony na szesnastobitowe słowo informacyjne i dziesięciobitowe słowo kontrolne.

Słowa informacyjne występujące w poszczególnych blokach danych służą do realizacji określonej usługi w systemie RDS (rozdz. 10.3), np. identyfikacja stacji nadającej komunikaty dla kierowców, identyfikacja programu itp., natomiast słowa kontrolne służą do synchronizacji procesu transmisji informacji cyfrowych (synchronizacja bloków i grup) oraz umożliwiają po stronie odbiorczej wykrywanie i korekcję błędów sygnału cyfrowego, jakie mogą wystąpić w czasie transmisji.



Rys. 26. Struktura informacji w systemie RDS

Przed transmisją informacji cyfrowych, ciągi bitów (strumień) utworzone przez słowa informacyjne i słowa kontrolne są przetwarzane na sygnał binarny przy zastosowaniu tzw. kodowania różnicowego, który następnie moduluje fazowo podnośną sinusoidalną o częstotliwości 1187,5 Hz (rys. 27).

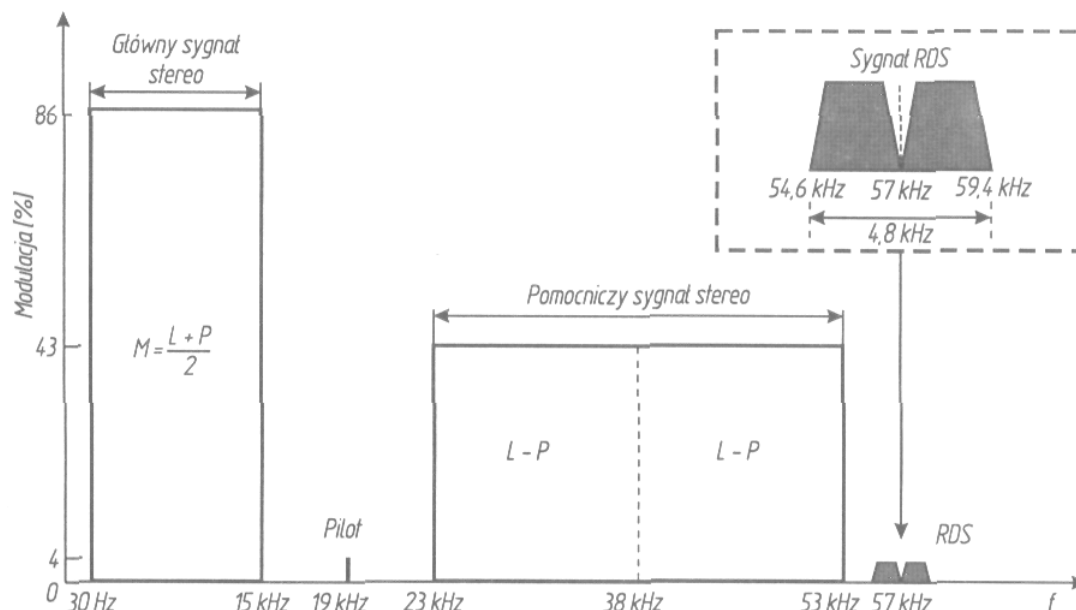


Rys. 27. Schemat ideowy przetwarzania informacji cyfrowych w systemie RDS

Sygnał informacyjny RDS zmodulowany (zakodowany) fazowo, otrzymany w powyższy sposób, jest ograniczony w paśmie do 4,8 kHz i dostarczony do nadajnika radiofonicznego UKF FM, gdzie moduluje amplitudę przebiegu podnośnego o częstotliwości 57 kHz zsynchronizowanego z trzecią harmoniczną sygnału pilota stereo o częstotliwości 19 kHz. Jest to modulacja iloczynowa, dwuwstęgowa z

wytłumionym przebiegiem podnośnym 57 kHz.

Ulokowany poza pasmem akustycznym, w wyniku modulacji, sygnał RDS jest nadawany przez nadajnik UKF FM łącznie ze złożonym sygnałem stereofonicznym. Widmo złożonego sygnału stereofonicznego i widmo sygnału RDS przedstawiono na rysunku 28.



Rys. 28. Widmo złożonego sygnału stereofonicznego i sygnału RDS

10.3. Usługi i odbiór sygnałów w systemie RDS

Sygnały informacyjne nadawane w systemie RDS umożliwiają realizację następujących usług:

IDENTYFIKACJA PROGRAMÓW — PI (ang. *Programme Identification*).

Jest to informacja szesnastobitowa zawierająca nazwę, państwa, do którego należy odbierana stacja radiowa, nazwę obsługiwanego regionu i dane o sieci, w której pracuje nadajnik. Informacja PI nie jest wyświetlana na wyświetlaczu odbiornika.

NAZWA PROGRAMU — PS (ang. *Programme Service*).

Jest to informacja w postaci tekstu (do 8 znaków alfanumerycznych) wyświetlanego na

wyświetlaczu odbiornika. Tekst informuje, kto nadaje odbieraną aktualnie stację, radiową, np. „WRO-IY-L” - - Wrocław, IV program, audycja lokalna. Informacja PS nie jest przeznaczona do automatycznego przestrajania odbiornika.

RODZAJ PROGRAMU — PTY (ang. *Programme Type*).

Informacja ta określa rodzaj nadawanej audycji i jest wykorzystywana do wyszukiwania stacji radiowej nadającej dany rodzaj audycji, np. muzykę rozrywkową. Dzięki informacji PTY, użytkownik odbiornika RDS może w danej chwili wybrać spośród 30 rodzajów audycji (tab. 3) jedną ulubioną.

Tabela 3. Rodzaje audycji definiowane w systemie RDS

Lp	Rodzaj audycji	Oznaczenie	Lp	Rodzaj audycji	Oznaczenie	Lp	Rodzaj audycji	Oznaczenie
1	Wiadomości	NEWS	11	Muzyka rockowa	ROCK-M	21	Telefon	PHONE-1N
2	Sprawy bieżące	AFFAIRS	12	Muzyka średnia	MOR-M	22	Podróże	TRAVEL
3	Informacje	INFO	13	Muzyka lekka kl.	LIGHT-M	23	Odpoczynek	LEISURE
4	Sport	SPORT	14	Muzyka poważna	CLASSICS	24	Muzyka [az/i > .!]	JAZZ
5	Edukacja	EDUCATE	15	Inne rodzaje mu/Ui	OTHER-M	25	Muzyka country	COUNTRY

6	Słuchowisko	DRAMA	16	Pogoda	WEATHER	26	Muzyka regionalna	NATION-M.
7	Kultura	CULTURE	17	Biznes i finanse	FINANCE	27	Stare przeboje	OLDIES
8	Nauka	SCIENCE	18	Programy dla dzieci	CHILDREN	28	Muzyka folkowa	FOLK-M
9	Różne rozrywki	VARIED	19	Sprawy społeczne	SOCIAL-A	29	Dokument	DOCUMENT
10	Muzyka popowa	POP-M	20	Tematy religijne	RELIGION	30	Nie zdefiniowane	NONE
						31	Alarm	ALARM

Alarm (31) jest przeznaczony do włączenia w odbiorniku RDS specjalnego sygnału akustycznego informującego użytkownika, że za chwilę będzie nadawany komunikat o szczególnych wydarzeniach, np. o powodzi, o katastrofie na drodze.

IDENTYFIKACJA STACJI NADAJĄCYCH KOMUNIKATY DLA KIEROWCÓW — TP (ang. *Traffic Programme*).

Informacja TP sygnalizuje w odbiorniku RDS (np. świecenie diody LED), że odbierana aktualnie stacja radiowa nadaje komunikaty drogowe dla kierowców i umożliwia automatyczne dostrajanie odbiornika do stacji nadającej komunikaty drogowe.

IDENTYFIKACJA KOMUNIKATÓW DLA KIEROWCÓW — TA (ang. *Traffic Announcement*).

Informacja ta jest transmitowana w czasie nadawania komunikatów drogowych dla kierowców i umożliwia:

automatyczne wyłączenie odtwarzacza kaset i dostrojenie odbiornika do stacji nadającej komunikat,

włączenie odbiornika, który jest w stanie czuwania (STAND BY), i automatyczne dostrojenie go do stacji nadającej komunikat, przestrojenie odbiornika na stację nadającą komunikat.

Po ustaniu komunikatu drogowego odbiornik wraca automatycznie do takiego stanu, w jakim był przed nadawaniem komunikatu.

LISTA ZASTĘPCZYCH CZĘSTOTLIWOŚCI — AF (ang. *Alternative Frequencies*).

Lista AF zawiera częstotliwości znamionowe (do 25) nadajników nadających ten sam program w sąsiednich obszarach. Odbiornik RDS przechowuje tę listę w pamięci, co

pozwala na samoczynne wyszukiwanie nadajnika tego samego programu posiadającego najmocniejszy sygnał. Lista AF jest szczególnie użyteczna w odbiornikach samochodowych znajdujących się w danej chwili na granicy zasięgu nadajnika.

IDENTYFIKACJA DEKODERA — DI (ang. *Decoder Identificatori*).

Informacja DI umożliwia dopasowanie odbiornika do odbieranej audycji (mono, stereo, stereo z kompresją) i składa się z 4 bitów, które umożliwiają identyfikację 16 stanów dekodera odbiornika UKF (oczywiście, nie wszystkie stany są na dzisiaj określone).

IDENTYFIKACJA MUZYKA/MOWA — MS (ang. *Music/Speech*).

Jest to informacja dwustanowa, która zapewnia ustawienie wzmacniacza odbiornika do odtwarzania audycji słownych lub muzycznych.

IDENTYFIKACJA KODU AUDYCJI — PIN (ang. *Programme Item Number*).

Użytkownik odbiornika może wprowadzić do pamięci odbiornika kody danych audycji, które są drukowane w prasie wraz z programami radiowymi. Po zapamiętaniu kodów odbiornik włączy się automatycznie i dostroi do właściwej stacji w momencie rozpoczęcia nadawania wybranej audycji.

RADIOTEKST — RT (ang. *Radiotext*).

Radiotekst jest nadawany za pomocą znaków w kodzie ASCII (do 32 znaków) i zawiera dowolne informacje o nadawanym programie. Informacje te mogą być przedstawiane na wyświetlaczu odbiornika. W odbiornikach samochodowych ze względu na bezpieczeństwo jazdy radiotekst jest odczytywany przy użyciu syntetyzatora mowy.

INFORMACJA O INNYCH SIECIACH — ON (ang. *Other Networks*).

Informacja ta zawiera częstotliwości znamionowe nadajników radiofonicznych UKF FM, które pracują w innych niż aktualnie odbierana stacja sieciach radiofonicznych. W systemie RDS jest możliwe nadawanie informacji o 8 sieciach, przy czym do każdej sieci nadaje się listę do 25 częstotliwości znamionowych nadajników. Wybór danej częstotliwości z listy odbywa się za pomocą kodu identyfikacji programu (PI).

PRZEZROCYSTY KANAŁ DANYCH — TDC (ang. *Transparent Data Channel*).

Informacja ta jest związana z przekazywaniem do odbiornika RDS znaków alfanumerycznych lub innych tekstów z grafiką mozaikową, a także programów komputerowych i danych cyfrowych.

CZAS/DATA — CT (ang. *Clock/Time*).

W systemie RDS jest przesyłany czas uniwersalny. Data i czas lokalny są wyznaczane w odbiorniku RDS na podstawie specjalnej reguły.

Odnosnie do usług występujących w systemie RDS należy podkreślić, że nie wszystkie wymienione wyżej usługi muszą być świadczone, tzn. że nie każda stacja radiofoniczna UKF FM musi nadawać pełny RDS. Z reguły część stacji radiofonicznych nadaje pakiet usług podstawowych, który zawiera informacje PI, PS, TP, TA i AF.

Należy również dodać, że system RDS umożliwia realizację systemu przywoławczego (tzw. **PAGING**), który polega na jednokierunkowym przekazywaniu krótkich komunikatów do selektywnie wybranego użytkownika. W najprostszej wersji komunikaty stanowią informację binarną, która zleca przywoływanemu abonentowi zadzwonienie pod ustalony wcześniej numer telefonu. W wersji zaawansowanej, nadawca może dodatkowo przekazywać krótkie informacje numeryczne lub tekstowe.

Informacje przywoławcze w systemie RDS mogą być nadawane w każdej z grup sygnału cyfrowego RDS (rozdz. 10.2, rys. 26). Do tego celu w każdej grupie można wykorzystać 2 x 16 bitów. Przykładem systemu przywoławczego realizowanego w systemie RDS jest system niemiecki OMNIPOINT, który swym zasięgiem obejmuje cały obszar Niemiec, bez podziału na strefy. Nadawanie sygnałów przywoławczych w systemie

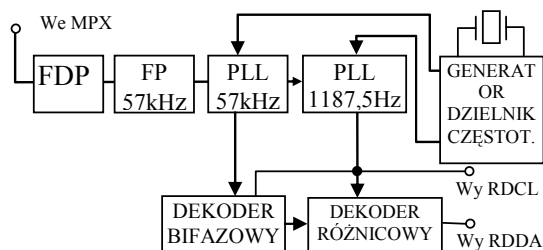
OMNIPOINT odbywa się przez sieć radiofoniczną UKF FM.

Jak już wspomniano w rozdz. 10.1 informacje nadawane w systemie RDS mogą być odbierane jedynie przez specjalnie przystosowane do tego celu odbiorniki radiofoniczne, czyli odbiorniki wyposażone w wewnętrzny dekodery sygnału RDS.

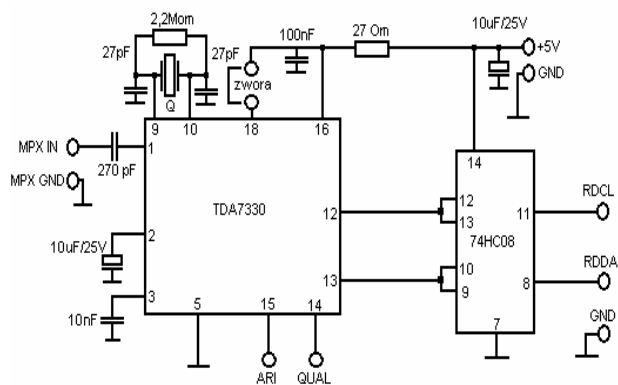
W procesie odbioru sygnału RDS można wyróżnić następujące fazy przetwarzania sygnału:

- wydzielenie pasma częstotliwości (od 54,6 kHz do 59,4 kHz), zawierającego zmodulowany sygnał RDS,
- demodulację iloczynową sygnału RDS,
- dekodowanie fazowe sygnału RDS,
- dekodowanie różnicowe sygnału binarnego RDS,
- wykrywanie i korekcję ewentualnych błędów sygnału cyfrowego,
- przetwarzanie słów informacyjnych.

Wybór odpowiedniej informacji (usługi RDS) następuje po przyciśnięciu odpowiedniego przycisku w odbiorniku. Nie dotyczy to oczywiście informacji powodujących automatyczne przełączanie lub przestrajanie odbiornika.



Schemat blokowy dekodera RDS.



Schemat ideowy dekodera RDS w oparciu o układ TDA 7330.