

Radiofonia nie dała się zepchnąć do drugiego rzędu przez telewizję, jest żywa, wierzga i rozwija się doskonale.

W świecie radiofonii dokonuje się wiele nowych, pasjonujących usprawnień. Mogłoby się wydawać, że w dziedzinie mediów telewizja zajmuje czołowe miejsce. Z ostatnio wprowadzonym cyfrowym systemem dźwięku stereofonicznego NICAM, przy stałym rozpowszechnianiu się telewizji kablowej i satelitarnej oraz rozwoju nowych standardów telewizji wysokiej rozdzielczości, może powstawać wrażenie, że radiofonia została zepchnięta na ostatnie miejsce.

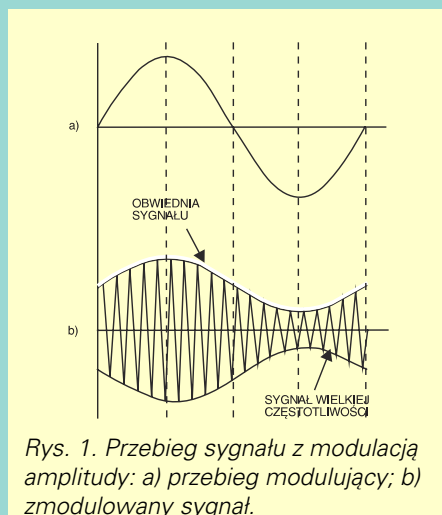
Jest to jednak dalekie od prawdy. W ciągu wielu lat dokonano w radio wielu ulepszeń, które dowodzą, że dostosowuje się ono do najnowszych technologii i że dostarcza słuchaczom wszystkiego, czego potrzebują.

Dokonajmy krótkiego przeglądu technik stosowanych w radiofonii, od najstarszych do współczesnych.



## Pierwsze audycje

Do pierwszych transmisji radiowych używano modulacji amplitudy (AM). W latach dwudziestych i trzydziestych pojawiła się znaczna liczba radiostacji długo i średniofalowych, zwłaszcza w USA. Także w Europie, również w Polsce, powstała w tamtych latach sieć nadajników, emitująca programy dla znacznej części kontynentu.



Rys. 1. Przebieg sygnału z modulacją amplitudy: a) przebieg modulujący; b) zmodulowany sygnał.

Rozwinęła się także oddająca bardzo użyteczne usługi radiofonia krótkofalowa. Na przykład powszechnie znana BBC World Service została ustanowiona początkowo w celu utrzymywania łączności wszystkich części Imperium Brytyjskiego z Londynem, przynajmniej jedną audycją na dobę. Obecnie jej usługi są cenione na całym świecie. W razie konfliktów jej wiadomości i komentarze są uważane za najbardziej obiektywne i bezstronne.

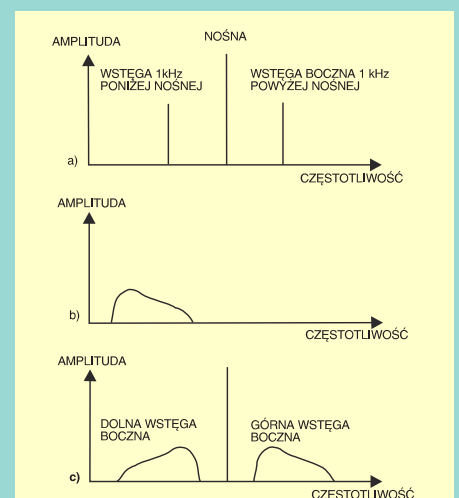
## Transmisje AM

Transmisje z modulacją amplitudy są używane nadal na falach długich, średnich i krótkich. Stosuje ją duża liczba radiostacji, zarówno państwowych jak i niezależnych, dowodząc, że modulacja amplitudy jest nadal użyteczna.

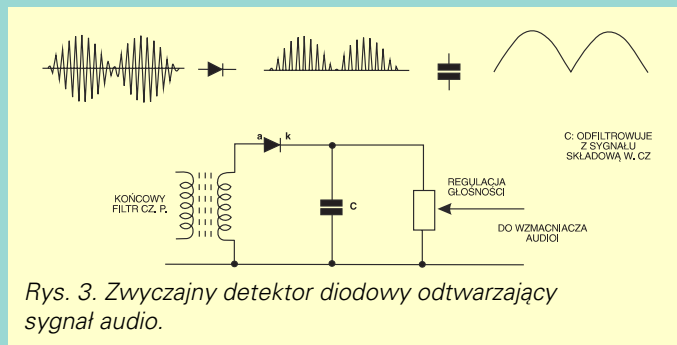
Kształt fali radiowej z modulacją amplitudy, polegającej na nakładaniu drgań dźwiękowych na amplitudę sygnału wielkiej częstotliwości, jest pokazany na rys. 1. Nadajnik generuje sygnał wielkiej częstotliwości (w.cz.), czyli nośnej. Sygnał ten jest wprowadzany do jednego z wejść stopnia zwanego modulatorem. Do drugiego wejścia tego stopnia doprowadza się sygnał audio, który moduluje falę nośną.

W trakcie procesu modulacji powstają nowe częstotliwości, widoczne na rys. 2, znane pod

nazwą wstęg bocznych. Jeżeli sygnałem modulującym jest pojedynczy ton 1kHz, to z obu stron częstotliwości nośnej, w odległości 1kHz, pojawią się dwa nowe sygnały.



Rys. 2. a) Widmo sygnału zmodulowanego amplitudowo tonem 1kHz; b) widmo typowego sygnału audio; c) widmo typowego sygnału z modulacją amplitudy.



Rys. 3. Zwyčajny detektor diodowy odtwarzający sygnał audio.

Muzyka i mowa składają się z wielu częstotliwości, więc po obu stronach częstotliwości nośnej można zaobserwować dwa pasma wstęg bocznych. Całkowita szerokość pasma nadawanego sygnału jest równa podwójnej maksymalnej częstotliwości modulującej.

Obecne normy wymagają, aby sąsiednie kanały na falach średnich dzieliła częstotliwość 9kHz. Oznacza to znaczne ograniczenie górnych częstotliwości pasma nadawanego na falach długich i średnich. Na falach krótkich, na których odstęp między kanałami wynosi 5kHz, jest jeszcze gorzej.

Pomimo wielu ograniczeń modulacja amplitudy ma także sporo zalet. Jedną z podstawowych jest prostota, dzięki której radioodbiorniki AM dają się produkować bardzo tanio.

Detektory, czyli demodulatory, które przetwarzają sygnał pośredniej częstotliwości (p.cz.) z powrotem na sygnał audio są bardzo proste. Przeważnie do tego celu jest używany zwykły detektor diodowy, pokazany na **rys. 3**.

Prostuje on sygnał, zostawiając tylko jego "jedną stronę", która po odfiltrowaniu wielkiej częstotliwości przez kondensator, przekształca się w pierwotny sygnał audio.

Proste detektory diodowe są jednak bardzo niedoskonałe. Na przykład wzrost głębokości modulacji wywołuje w nich duże zniekształcenia. W celu uniknięcia tych, jak również i innych problemów, stosuje się czasem detektor zwany detektorem synchronicznym. Spotyka się go zwykle w odbiornikach krótkofalowych, charakteryzuje go bowiem odporność na dokuczliwy na falach krótkich efekt selektywnych zaników (fadingu).

W detektorze synchronicznym z odebrany sygnał musi zostać zmieszany dodatkowy sygnał o częstotliwości równej odbieranej częstotliwości nośnej. Istnieje wiele sposobów generacji tego sygnału. Jednym z nich jest użycie filtra o bardzo wąskim pasmie do wydzielania jedynie częstotliwości podstawowej. Sposób ten jednak wymaga bardzo precyzyjnego dostrojenia odbiornika. Innym sposobem jest zastosowanie pętli synchronizacji fazowej (PLL).

Rozwiązaniem najbardziej uniwersalnym jest doprowadzenie odebranego sygnału do wzmacniacza o bardzo dużym wzmocnieniu, pełniącego rolę ogranicznika, jak pokazuje **rys. 4**. Stopień ten całkowicie usuwa modulację, i pozostawia tylko falę nośną. Zaletą tego sposobu jest możliwość działania w szerokim pasmie częstotliwości, nie jest więc wymagane, aby sygnał częstotliwości pośredniej mieścił się dokładnie pośrodku charakterystyki filtra pasmowego. Pomimo swych zalet detektory synchroniczne są stosowane w znaczącym zakresie dopiero ostatnio.

Już od późnych lat trzydziestych i czterdziestych w wyniku postępów w radiotechnice narastała świadomość potrzeby podnoszenia jakości radio. Transmisjom brakowało szerokości pasma i były one podatne na szumy. Poszerzenie pasma było możliwe, ale osiągnięcie poprawy w zakresie szumów nie było już tak łatwe, konieczne więc było zastosowanie nowych metod.

## Modulacja częstotliwości

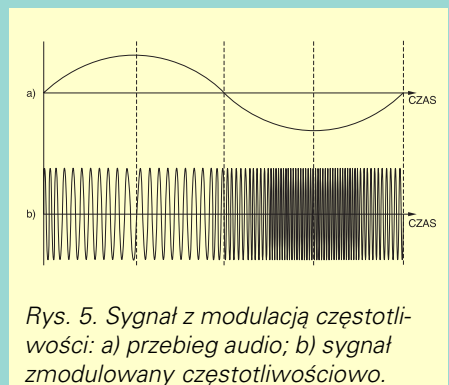
Przez wiele lat poszukiwano metod poprawy parametrów szumowych systemów radiowych. Wydawało się wtedy, że modulacja częstotliwości (FM) może przynieść tę poprawę. Jednak początkowo nie udawało się tego osiągnąć, ponieważ uważano że redukcja szumów wymaga ograniczenia pasma. Dopiero błyskotliwy Amerykanin, Edwin Armstrong, wpadł na właściwy pomysł i zamiast zredukować pasmo, poszerzył je. Na zorganizowanym w roku 1935 pokazie wykazał, że możliwa jest znaczna poprawa jakości dźwięku.

Niedługo potem w USA uruchomiono pierwsze radiostacje FM na falach ultrakrótkich (VHF czyli UKF). Okazało się, że rzeczywiście osiągnięto znaczną poprawę jakości, a liczba wniosków o radiofoniczne licencje nadawcze na UKF zaczęła szybko wzrastać.

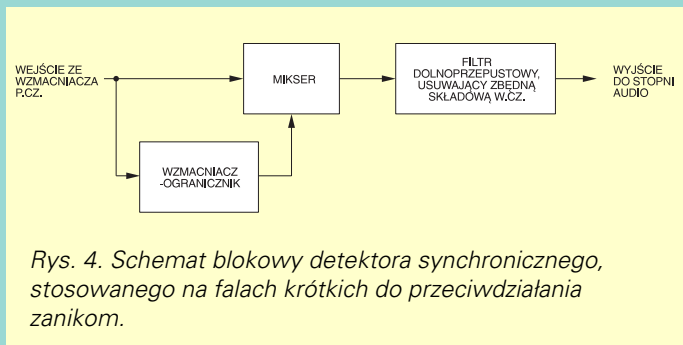
Druuga wojna światowa zahamowała rozwój radiofonii w Europie. Dopiero w latach pięćdziesiątych zaczęła rosnąć sieć nadajników UKF.

Inaczej niż modulacja AM, gdzie drgania dźwiękowe są nakładane na sygnał wielkiej częstotliwości przez modyfikowanie jego amplitudy, modulacja FM przetwarza drgania dźwiękowe na zmiany częstotliwości. W ten sposób w takt chwilowego napięcia przebiegu modulującego częstotliwość nośna rośnie i maleje, czyli odchyła się od podstawowej, jak to przedstawia **rys. 5**.

Zaletą tego systemu jest bardzo niski poziom szumów, które modulują przede wszystkim amplitudę sygnału. Poza tym, bez pogorszenia szumów, przenoszone pasmo może zostać posze-



Rys. 5. Sygnał z modulacją częstotliwości: a) przebieg audio; b) sygnał zmodulowany częstotliwościowo.



Rys. 4. Schemat blokowy detektora synchronicznego, stosowanego na falach krótkich do przeciwdziałania zanikom.

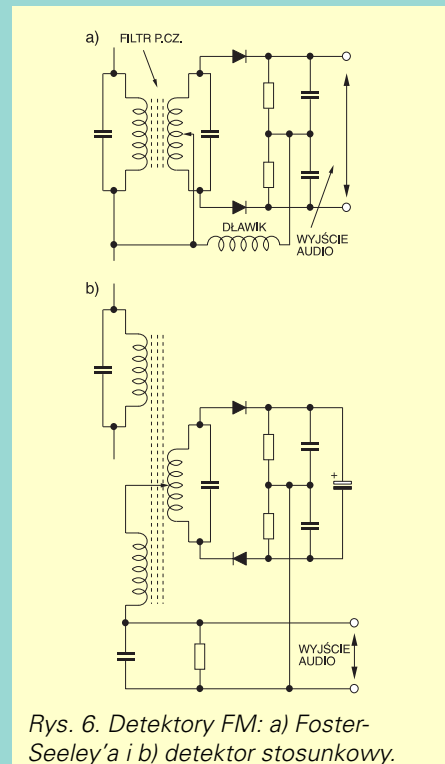
zone przez zwiększenie dewiacji (odchylenia) częstotliwości nośnej.

We współczesnych transmisjach UKF FM stosuje się dewiację  $\pm 75\text{kHz}$ , a szerokość zajmowanego pasma wynosi 200kHz. W tak poszerzonym pasmie można uzyskać bardzo niski poziom szumów. Pasma audio rozciąga się do 15kHz, co wystarcza do większości zastosowań hi-fi.

Do demodulacji FM jest potrzebny układ znacznie bardziej skomplikowany niż do AM. Istnieje wiele układów do tego celu, przed laty były rozpowszechnione takie jak Foster-Seeley'a i detektor stosunkowy, pokazane na **rys. 6**. W układach tych do przetworzenia zmian częstotliwości na zmiany napięcia są wykorzystywane różne fazy w obwodzie transformatorowym.

Obecnie do demodulacji FM powszechnie używa się pętli synchronizacji fazowej (PLL - ang. Phase Locked Loop)) ze względu na ich doskonałe właściwości. Takie demodulatory są stosunkowo tanie, ponieważ nie wymagają kosztownych w produkcji, specjalnych cewek. Układ PLL nadąża za częstotliwością odbieranego sygnału. Napięcie dostrajające oscylator odpowiada sygnałowi audio, zostaje więc ono wyprowadzone i wzmacnione.

oprac. KP  
Cd. w EDW 9/96



Rys. 6. Detektory FM: a) Foster-Seeley'a i b) detektor stosunkowy.

## Stereo

Gdy przyjęły się programy FM oczywistością stała się potrzeba ich rozszerzenia do programów stereo. Obecnie stosowany system emisji stereo pozwala nadal używać w dotychczasowy sposób zwykłych odbiorników mono bez jakiegokolwiek pogorszenia jakości odbioru. Osiąga się to drogą dołączenia dodatkowej informacji stereo poza normalnym pasmem audio. Nadajnik wysyła nadal sygnał mono w dotychczasowy sposób.

Sygnał ten jest tworzony jako suma kanałów lewego i prawego, czyli L + R. Jeżeli jest ponadto nadawany sygnał odpowiadający różnicy kanałów lewego i prawego, czyli L - R, to z sumy obu sygnałów można otrzymać kanał lewy, a z ich różnicy kanał prawy.

Następnym problemem jest znalezienie sposobu nadawania sygnału L - R. Jest to jednak stosunkowo łatwe. Standardowe transmisje FM mogą przenosić sygnały o pasmie znacznie szerszym niż potrzebne. Sygnał mono, czyli L + R, jest nadawany w normalny sposób. Natomiast sygnał L - R zostaje umieszczony powyżej normalnego pasma audio przez zmodulowanie podnośnej 38kHz. Sama podnośna zostaje następnie stłumiona, pozostają więc jedynie wstęgi boczne. To tak, jakby umieścić transmisję AM tuż powyżej pasma audio i usunąć nośną.

W celu ułatwienia odtworzenia sygnałów w odbiorniku, do transmisji zostaje dodany ton pilotujący, o częstotliwości 19kHz, dokładnie dwukrotnie niższej od częstotliwości podnośnej 38kHz. Wszystkie te informacje, sygnał L + R, ton pilotujący 19kHz i wstęgi boczne L - R, modulują częstotliwość podstawową FM (zob **rys. 7**).

Sygnał odebrany przez odbiornik przechodzi przez wszystkie jego stopnie i zostaje zdemodulowany, odtwarzając sygnał audio wraz z wszystkimi dodatkami. Jeżeli jest to odbiornik mono, to po wzmacnieniu słyszalny będzie tylko sygnał

mono L + R. Jeżeli jest to odbiornik stereo, to zdemodulowany sygnał zostaje skierowany do dekodera stereo. Obecnie wszystkie obwody do tego potrzebne mogą mieścić się w jednym układzie scalonym.

Dekoder poszukuje przede wszystkim tonu pilotującego 19kHz. Jeżeli go nie ma, to znaczy że transmisja jest mono i dekodowanie sygnału stereo nie jest potrzebne. Jeżeli pilot został wykryty, zostaje on skierowany do podwajacza, aby odtworzyć podnośną 38kHz, albo posłużyć do synchronizacji oscylatora 38kHz, jak przedstawia **rys. 8**.

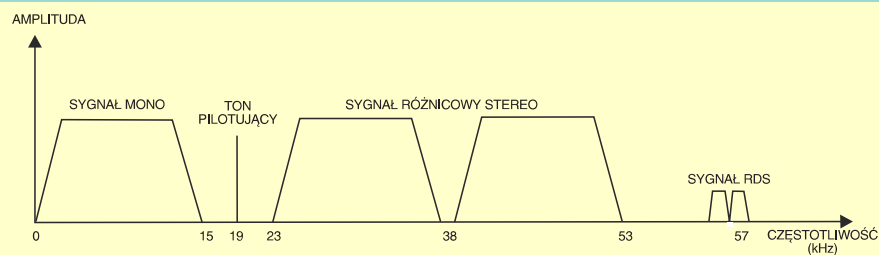
Podnośna i wstęgi boczne zostają doprowadzone do miksera, który wydziela sygnał L - R. Mając już oba sygnały, odtworzenie kanałów L i R jest tylko sprawą ich zdemultipleksowania przez dodanie i odjęcie. Zostają one następnie oddzielnie wzmacnione w normalnym wzmacniaczu stereo.

## Radio Data System

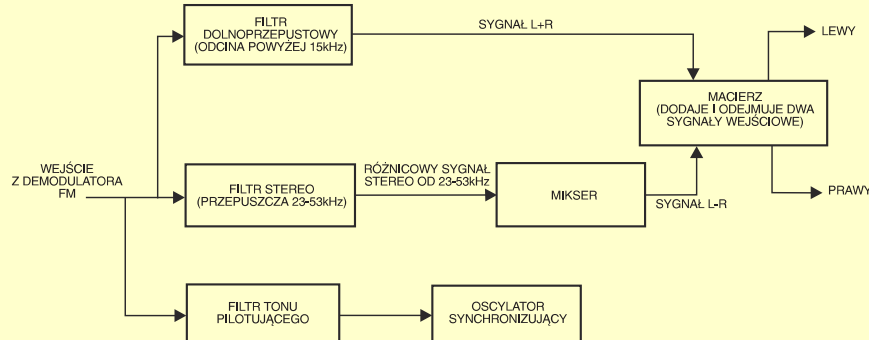
Pomysł umieszczenia na podnośnej dodatkowych informacji może być realizowany na różne sposoby. Jednym z nich jest wprowadzony przed kilku laty RDS, czyli Radio Data System, za pomocą którego przesyłane są dane wraz z sygnałem audio. Na pomieszczenie przesyłanych danych jest dużo miejsca.

System ten powstał w wyniku trudności identyfikacji odbieranej radiostacji. Jest to problem dobrze znany. Podczas przestrajania odbiornika w pasmie UKF FM, napotyka się na wiele stacji, ale jedynym sposobem ich identyfikacji jest słuchanie aż do odebrania pozwalających na rozpoznanie nadawcy wiadomości. Podobne kłopoty napotykają również słuchacze w samochodach, przemieszczających się z obszaru odbioru jednej stacji do następnej. Próby rozwiązania zarówno tych, jak i innych trudności doprowadziły do powstania RDS.

Dane są przesyłane powyżej pasma słyszalnego, podobnie jak w przypadku sygnału stereo.



Rys. 7. Widmo przebiegu modulującego UKF FM (zawiera sygnał stereo i dane)



Rys. 8. Schemat blokowy typowego dekodera stereo.

Tabela 1. Skróty RDS

<b>AF</b>	Alternative Frequencies, częstotliwości zamienne Wykaz częstotliwości radiostacji w pobliskim obszarze. Umożliwia odbiornikowi wybór najlepszego sygnału.
<b>CT</b>	Clock Time and Date, czas i data Dane zawierające czas i datę do wyświetlania przez odbiornik. Sygnał ten umożliwia wyświetlanie dokładnego czasu i daty, który nie spieszy się ani nie spóźnia, jak zegary niezależne. Dostosowuje się on sam do czasu letniego.
<b>EON</b>	Enhanced Other Networks, uwzględnianie innych stacji Transmisja skorelowanych z innymi radiostacjami informacji, dotyczących ruchu drogowego i innych.
<b>MS</b>	Music/Speech, muzyka/mowa Umożliwia zmianę głośności muzyki względem mowy
<b>PI</b>	Programme Identification, identyfikacja programu Jest to kod radiostacji, stosowany wraz z danymi AF do automatycznego przestrajania do najlepszego sygnału w wybranym obszarze.
<b>PIN</b>	Programme Identification Number, numer identyfikacyjny programu Jest to kod określonego programu, pozwalający na przełączenie się radioodbiornika (i ewentualnie odtwarzacza) do odbioru tego programu.
<b>PTY</b>	Programme Type Selection, wybór rodzaju programu Kod pozwalający na wybieranie odbioru jednego z 15 rodzajów programów a nie radiostacji.
<b>PS</b>	Programme Service Name, nazwa radiostacji Dane umożliwiające wyświetlanie przez odbiornik nazwy odbieranej radiostacji.
<b>RT</b>	Radio Text, radio tekst Umożliwia wyświetlanie przez odbiornik informacji o odbieranym programie.

W tym przypadku częstotliwość podnośna RDS wynosi 57kHz, trzykrotnie więcej od częstotliwości tonu pilotującego 19kHz.

Do przesyłania danych jest używany system modulacji fazowej. Pod wieloma względami jest on bardzo podobny do systemu modulacji częstotliwości, tylko że zamiast częstotliwości zmie-

niana jest faza sygnału. W trakcie zmiany fazy zmienia się częstotliwość, po czym powraca do normalnej wartości. Znajdując się powyżej zmultipleksowanych segmentów audio i stereo nadawanego sygnału, składowa RDS zupełnie z nimi nie koliduje. W ten sposób system ten zachowuje pełną kompatybilność z istniejącymi odbiornikami i transmisjami.

Do odtworzenia danych, w procesie demodulacji w odbiorniku jest używany ton pilotujący 19kHz. W przypadku transmisji mono ton ten musi być generowany w odbiorniku. Tolerancja tej częstotliwości wynosi 6Hz, może więc on być generowany bez większych trudności. Dane po odebraniu muszą zostać przetworzone, do czego zazwyczaj jest używany mikroprocesor, co jest naturalne wobec liczby funkcji stosowanych w większości współczesnych odbiorników. Umożliwia on implementowanie większości udostępnianych przez RDS udogodnień bez dodatkowego wyposażenia.

RDS udostępnia wiele bardzo pożytecznych funkcji. Odbiornik przechowuje w pamięci kod identyfikacyjny radiostacji wraz z jej częstotliwością. Oprócz tego kod odbiornik może zapamiętać informację, że dana radiostacja mieści się na liście wybranych przez słuchacza nadajników, wyświetlając jej nazwę, np. "BBC R4". Nadajniki także wysyłają odpowiednie kody częstotliwości. Odbiornik jest wtedy wyposażony w listę częstotliwości na danym obszarze, na którym znajdują się te nadajniki. Odbiornik może porównywać wszystkie częstotliwości z listy, może więc wybrać nadajnik o najlepszym sygnale.

## Wiadomości o warunkach jazdy

Inną pożyteczną możliwością RDS jest ułatwienie odbioru komunikatów drogowych. Radiostacje regularnie nadające komunikaty o warunkach jazdy informują o tym w swoim kodzie, odbiornik może więc informować, czy odbierana radiostacja zawiera je w swoim programie. Kod ten jest oprócz tego wysyłany w momencie nadawania komunikatu. Może to być wykorzystywane do automatycznego zwiększania głośności, jeżeli została ona ustawiona na niską, lub zatrzymać odtwarzanie kasy, umożliwiając wysłuchanie komunikatu. Odbiorniki oznaczone EON (Enhanced Other Networks) mogą automatycznie przestając się do właśnie nadającej komunikat radiostacji. Obecnie tylko stacje BBC nadają kody EON. Jest to bardzo użyteczne i BBC radzi każdemu kupującemu radio z RDS, aby upewnił się czy jest ono wyposażone w system EON. Takie od-

biorniki są wyraźnie oznaczone logo EON.

Nadawanie w systemie EON wymaga dokładnej koordynacji pomiędzy poszczególnymi nadajnikami sieci. BBC używa do tego celu centralnego komputera. Gdy któraś lokalna radiostacja BBC zamierza nadać komunikat o warunkach jazdy, sygnalizuje to centralnemu komputerowi. Komputer z kolei wysyła polecenia do odpowiednich nadajników sieci, które sygnalizują w swoich danych RDS, która stacja zamierza nadać komunikat. Umożliwia to odbiornikom przestrojenie się celem odebrania wiadomości. Po zakończeniu nadawania sygnał sterujący znika i odbiorniki mogą powrócić do przerwanej odbioru swoich stacji.

Dla odbiorników wyposażonych w RDS jest przeznaczonych wiele skrótów, oznaczających na poszczególne możliwości. Zostały one zestawione w tabeli 1.

## System danych AM

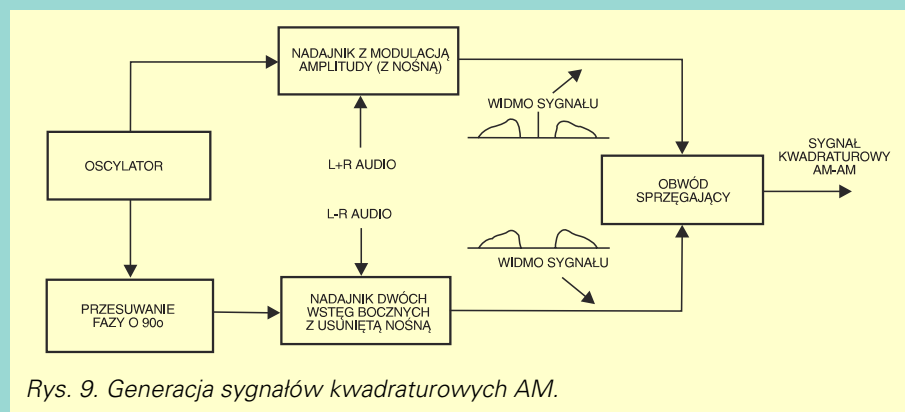
Wszyscy, którzy narzekają na trudności identyfikacji radiostacji w pasmie UKF FM, mieliby jeszcze większe kłopoty na falach krótkich. Trudno się więc dziwić, że podobny system identyfikacyjny został zaproponowany dla pasm krótkofalowych. Został on nazwany AMDS (A.M. Data System, system danych AM) i jest jeszcze w fazie eksperymentalnej, chociaż niektóre radiostacje, w tym BBC World Service, już włączyły go do swoich programów w celu obserwowania jego działania i skuteczności.

Wśród proponowanych udogodnień na pierwszych miejscach znajduje się wiele zawartych w RDS. W szczególności użyteczne są zamienne częstotliwości wraz z nazwami programów lub radiostacji. Komunikaty o ruchu drogowym zostały także włączone do tego systemu, jednak raczej na falach średnich, będących z natury pasmem raczej lokalnym.

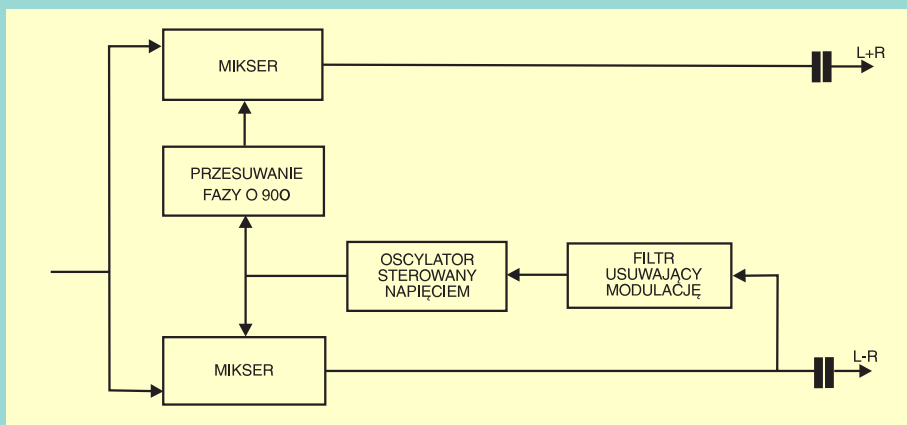
Inaczej niż w transmisjach UKF FM, w których jest możliwe skorzystanie z umieszczonej powyżej pasma audio podnośnej, w transmisjach AM trzeba było znaleźć inną metodę przesyłania dodatkowych informacji. Wykorzystano do tego modulację fazową częstotliwości nośnej z maksymalną szybkością przenoszenia 200 bitów na sekundę. Detektor sygnału audio odbiera tylko zmiany amplitudy, modulacja fazy nie powinna więc być słyszalna. W ten sposób można równolegle przesyłać sygnały audio i danych.

## C-QUAM

Radiofonia rozwija się głównie w zakresie UKF FM. Dźwięk wysokiej jakości, stereo,



Rys. 9. Generacja sygnałów kwadraturowych AM.



Rys. 10. Demodulacja sygnałów kwadraturowych AM.

a ostatnio RDS, odciągają słuchaczy od tradycyjnych średniofalowych transmisji AM. Jest to szczególnie ostro odczuwane w USA, gdzie wiele rozgłośni ma koncesje tylko na fale średnie i chciałoby przyciągnąć odbiorców z powrotem z UKF. Jednym z pomysłów odmłodzenia AM jest wprowadzenie stereo. Próbowano wielu metod, ale tylko jedna zdobyła szersze uznanie. Jest to system C-QUAM firmy Motorola. Nazwa wzięła się ze skrótu Compatible QUadrature Amplitude Modulation (kompatybilna kwadraturowa modulacja amplitudy). W systemie tym sygnał mono L + R jest nadawany niemal w zwyczajny sposób przez modulację amplitudy fali nośnej. Informacja stereo jest natomiast nakładana na falę nośną kwadraturowo, czyli z przesunięciem fazy o 90° w stosunku do sygnału głównego. Zwyczajne odbiorniki reagują tylko na sygnał zmodulowany przez L + R, bez żadnych niepożądanych efektów. Odbiorniki stereo natomiast są w stanie zdekodować całą informację i odtworzyć bez trudności oba kanały.

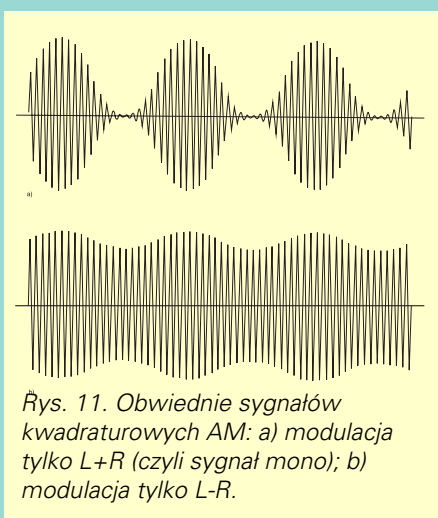
Pierwszym stadium wytwarzania w nadajniku sygnałów C-QUAM jest generacja zwykłego systemu kwadraturowego AM. W tym celu na tej samej częstotliwości nośnej zostają umieszczone dwa sygnały, ale dla jednego z nich nośna jest przesunięta o 90°. Jeden ze sposobów osiągnięcia tego jest przedstawiony na rys. 9.

Standardowy nadajnik AM emituje sygnał mono L + R w zwykły sposób. Różnicowy sygnał stereo L - R moduluje drugą częstotliwość nośną, do czego służy układ zwany zrównoważonym modulatorem. Dostarcza on samych wstęp bocznych z usuniętą nośną. Oba sygnały zostają następnie zsumowane, wzmacnione i nadane. Użyta jest ta sama częstotliwość nośna, więc wstęgi boczne nakładają się w sensie częstotliwości, w odbiorniku mogą jednak zostać od siebie oddzielone.

W odbiorniku (rys. 10) częstotliwość nośna jest użyta do generacji sygnału odniesienia, sterującego dwoma niezbędnymi w procesie demodulacji zrównoważonymi mikserami. Sygnał ten dla jednego z nich zostaje przesunięty o 90°.

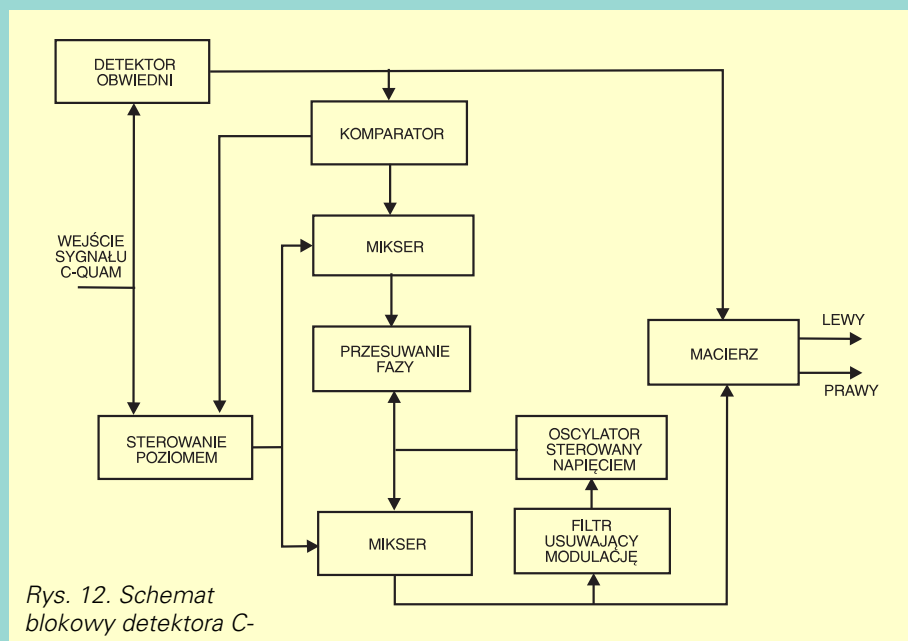
Zrównoważony demodulator jest czuły na fazę, zatem jedna jego część może demodulować tylko sygnał L + R, a druga L - R. Dwa te sygnały są następnie demultipleksowane w taki sam sposób jak przy transmisjach UKF FM, otrzymując przez dodawanie i odejmowanie kanały L i R.

Ta podstawowa forma kwadraturowej modulacji amplitudy nie jest niestety zadowalająca.



Rys. 11. Obwiednie sygnałów kwadraturowych AM: a) modulacja tylko L+R (czyli sygnał mono); b) modulacja tylko L-R.

Działa dobrze z użyciem poprawnego demodulatora, jednak nie jest w pełni kompatybilna z większością będących w użytku detektorów AM, które reagują tylko na amplitudę, w rezultacie czego zniekształcenia są większe. Problem nie istnieje, gdy poziom sygnału L - R jest zerowy, ponieważ odebrany sygnał jest taki sam, jak z normalnego nadajnika. Jednakże przy większym sygnale L - R zniekształcenia są większe.



Rys. 12. Schemat blokowy detektora C-QUAM

Przyczyną tego zjawiska jest brak w procesie demodulacji własnej częstotliwości nośnej sygnału L - R. Jest to przedstawione na rys. 11.

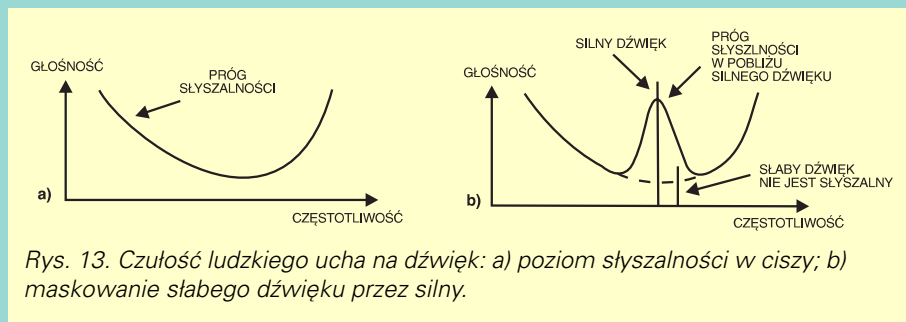
Jeżeli nadawana jest sinusoida tylko w kanale L + R, przybierze ona postać pokazaną na rys. 11a, i może zostać w normalny sposób bez zniekształceń zdemodulowana w każdym odbiorniku. Jeżeli jednak ten sam sygnał jest nadawany tylko w lewym lub tylko w prawym kanale, to obecny jest tylko sygnał L - R, a jego przebieg wygląda tak, jak na rys. 11b. Po jego zdemodulowaniu w zwykłym odbiorniku, łatwo spostrzec, że zniekształcenia będą bardzo duże! Można więc sobie wyobrazić, że w przypadkach pośrednich, gdy istnieją oba sygnały, L + R i L - R, poziom zniekształceń będzie znaczny, zależnie od poziomu sygnału L - R.

## Poprawka

Niezakłócanie przez transmisje C-QUAM normalnego odbioru w odbiornikach mono udało się uzyskać w prosty sposób. Sygnał audio L + R służy do zwyczajnej modulacji częstotliwości nośnej. Informacja fazowa, która byłaby dodana do tego sygnału przez sygnał L - R, zostaje wydzielona i użyta do modulacji fazowej głównego oscylatora nadajnika. Generuje on sygnał, który jest bardzo zbliżony do kwadraturowego sygnału AM, ale kompatybilny z istniejącymi odbiornikami.

W celu uatrakcyjnienia systemu C-QUAM dla producentów odbiorników i operatorów nadajników Motorola produkuje układ scalony demodulatora sygnałów C-QUAM.

Schemat blokowy stopnia, stosowanego w odbiornikach do demodulacji sygnałów C-QUAM, jest przedstawiony na rys. 12. Detektor obwiedni odbiera sygnał L + R w zwyczajny sposób. Sygnał ten jest doprowadzany do układu sterowania poziomem, gdzie zostaje przetworzony w kwadraturowy sygnał AM. Może on teraz zostać zdemodulowany przez dwa detektory synchroniczne czyli miksery i generator sterowany napięciem, wydzielający sygnał L - R. Z sygnałów L + R i L - R przez dodanie i odjęcie mogą zostać odtworzone kanały L i R.



Rys. 13. Czulość ludzkiego ucha na dźwięk: a) poziom słyszalności w ciszy; b) maskowanie słabego dźwięku przez silny.

## DAB

Dzięki rewolucyjnym postępom elektroniki coraz to nowe pomysły stają się wykonalne i znajdują zastosowanie w istniejących systemach radiofonicznych. Transmisje UKF FM pomimo stosunkowo wysokiej jakości nie mogą dorównać powszechnym obecnie dyskom kompaktowym. Szumy tła, zwłaszcza w systemach stereo, oraz wierność odtwarzania mogłyby zostać poprawione tylko przez wprowadzenie nowego systemu.

Słuchacze radia w samochodach są narażeni na zniekształcenia powstające czasie przejazdu przez miejsca, w których powstają odbicia fal radiowych. Ich przyczyną jest równoczesny odbiór sygnału głównego z opóźnionym sygnałem odbitym. Napotykają oni także na trudności, gdy w czasie jazdy opuszczając obszar zasięgu jednego nadajnika chcą odnaleźć częstotliwość następnego. Bez wielkiej księgi z częstotliwościami nadajników może to się okazać bardzo trudnym zadaniem. Odnalezienie wybranej radiostacji jest trudne także z powodu wielkiej ich liczby. Dwa ostatnie problemy w znacznej mierze należą do obszaru zastosowania RDS, podstawowe mogą zostać rozwiązane za pomocą najnowszej technologii układów scalonych, na czym opiera się nowo zaproponowany system DAB (Digital Audio Broadcasts, radiofonia cyfrowa).

## Start DAB

Rozwiązanie to jest już mocno zaawansowane i BBC właśnie uruchomiła pierwszą na świecie sieć DAB na terenie i wokół Londynu. Zostanie ona wkrótce rozszerzona na obszary innych dużych populacji i na łączące je drogi. W ten sposób programy wysokiej jakości zostaną udostępnione maksymalnej liczbie słuchaczy, i w domach, i przemierzających się samochodami.

W opracowanie nowego systemu DAB zainwestowano wiele wysiłku, powinien on bowiem zaspokajać wszelkie wymagania w przeciągu dłuższego czasu, sięgającego w przyszłe stulecie. Przede wszystkim powinien on zapewnić transmisję programów o jakości CD tak w warunkach domowych jak i w samochodach. Nowy system powinien spełniać szereg dalszych wymagań, powinien dać się łatwo dostrajać, skutecznie wykorzystywać widmo i nadawać się do emisji i przez naziemne i satelitarne nadajniki.

## Odbicia

Zapotrzebowanie na ruchome radioodbiorniki ma duży wpływ na sposób nadawania. Odbicia sygnałów cyfrowych, podobnie jak analogowych, wywołują zniekształcenia odbioru. Jeden

bit danych łączy się z następnym, ponieważ sygnał odbity może nadejść z opóźnieniem wielu mikrosekund.

W używanym w telewizji z wielkim powodzeniem cyfrowym systemie audio, NICAM, wysyła się 728k bitów na sekundę. Nie napotyka się jednak na takie kłopoty z odbiciami, ponieważ sygnał odbiera się przy pomocy anteny kierunkowej. Antena ta musi zapewniać odbiór bezodbiciowy, aby obraz był pozbawiony podwójnych konturów a dźwięk zniekształceń.

Odbiór bez szkodliwych skutków odbić jest możliwy przy szybkości nie większej niż 7k znaków na sekundę. Pojedyncza częstotliwość nośna przy tej szybkości przesyłania danych nie nadaje się do transmisji wysokiej jakości sygnałów audio. Opracowano w tym celu nowe techniki, zdolne do przesyłania sygnałów bardzo dobrej jakości.

Pierwsza z tych technik polega na przesyłaniu tylko tych dźwięków, które są słyszalne dla ucha ludzkiego. Wykazano, że człowiek nie słyszy wszystkich dźwięków w zakresie pasma audio. Istnieje minimalny poziom progowy, poniżej którego dźwięki nie są słyszalne. Poziom ten jest wyższy i w zakresie wyższych i w zakresie niższych częstotliwości, jak przedstawia rys. 13. Stwierdzono także, że silny dźwięk maskuje słabsze dźwięki o sąsiednich częstotliwościach.

Nadając zgodnie z tą zasadą tylko dźwięki słyszalne, pasmo audio do 20kHz można przesyłać z szybkością 128k bitów na sekundę, sześciokrotnie mniejszą od wymaganej dla przesłania wszystkich danych. Technika ta jest zresztą używana nie tylko w radiofonii, zastosowano ją z powodzeniem w nowych cyfrowych kasetach kompaktowych (DCC) o systemie kodowania

cze bardziej ograniczona, ale stosuje się za to szereg częstotliwości nośnych w systemie zwanym COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex). Osiągnięto w ten sposób dostatecznie niską szybkość przesyłania danych, zachowując równocześnie zdolność do przeniesienia wymaganej ich ilości. W systemie tym używa się 1500 kanałów o niskiej szybkości, które zajmują w widmie około 1,5MHz. Sygnał ten zawiera 5 kanałów stereo, wybieranych w odbiorniku za pomocą przycisku. Całkowita szerokość pasma wynosi 1,75MHz, w którym kanały są rozmieszczone co 250kHz, jak pokazano na rys. 14.

Warto zwrócić uwagę na poprawę wykorzystania częstotliwości. Obecnie każda ze służb lokalnych BBC zajmuje 2,2MHz. Takie pasmo jest konieczne, ponieważ kanały mogą być dublowane tylko wtedy, gdy prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji z odległym nadajnikiem jest znikome.

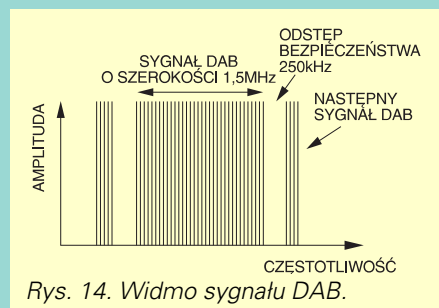
Nowy system DAB z wielotorowym sygnałem jest odporny także na zakłócenia powodowane przez inne radiostacje, więc częstotliwości mogą być wielokrotnie dublowane, co ułatwia pokrycie obszaru. Można więc stosować "pokrycie dywanowe" bez potrzeby przestrajania odbiornika, gdy pojazd przemieszcza się z obszaru jednego nadajnika na obszar następnego.

Odbiorniki nowego systemu będą w dużym stopniu uzależnione od tzw. cyfrowego przetwarzania sygnału, odtwarzającego sygnał audio. Projektowane są na jego użytek specjalne układy scalone, a producenci odbiorników są zaangażowani w ich projektowaniu. Zapewne pierwsze odbiorniki będą drogie, będą jednak tanieć ze wzrostem sprzedaży.

## Zakończenie

Radio stało się ważną częścią codziennego życia. Ciągłe przybywa radiostacji, a ludzie ich słuchają więcej niż dotąd. Wrz. z wprowadzaniem w życie nowych idei ich rozwój dotrzymuje kroku rosnącym wymaganiom. Radio nie pozostaje więc w zamierzonej przeszłości. Rozwija się równocześnie z liderami wrz. ze współczesną technologią.

Ian Poole



Rys. 14. Widmo sygnału DAB.

PASC i w dyskach kompaktowych Sony o systemie ATRAC.

Chociaż taki system kodowania sygnałów audio jest bardzo użyteczny do redukcji szybkości przesyłania danych, to nie wystarcza do eliminacji zakłóceń wywoływanych przez odbicia fal radiowych. W tym celu ilość danych zostaje jesz-