

1 9 6 3
Nr 10 (25)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

Biblioteka

PRZEGLĄD ZAGADNIENI ŁĄCZNOŚCI



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności

Nr.

PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI

ROK 3

WARSZAWA 1963

NR 10/25/

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne

Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler
Z-ca Przewodniczącego - mgr inż. Władysław Cetner

Członkowie:

inż. Edmund Janowski, doc. Sławomir Jasiński,
mgr Kazimierz Kotowski, mgr inż. Adam Moniuszko,
mgr inż. Józef Możejko

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Ośrodek

Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH REKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 360. Druk ukończono
w marcu 1964 r.

**PRZEGLĄD
ZAGADNIENÍ ŁĄCZNOŚCI**

Radiofonia jednowstęgową

SPIS TREŚCI

	Str.
Leonard R. Kahn - Odpowiedni system jednowstęgowy - Opracował H. Helbing	1

ODPOWIEDNI SYSTEM JEDNOWSTĘGOWY^{1/}

Leonard R. Kahn, senior member, IRE. Compatible Single Sideband. Proceedings of the IRE, Vol.49, No. 10, October 1961, str. 1503-1527.

1. WSTĘP

Fakt, że istnieje poważny brak miejsca w eterze dla stacji radiofonicznych, jak również stacji radiokomunikacyjnych, pracujących w zakresie wielkich częstotliwości, został przekonywująco naświetlony w szeregu poważnych artykułach.

Jednym ze sposobów znacznego złagodzenia tego stanu rzeczy jest wprowadzenie systemu jednowstęgowego. W związku z tym, jak i innymi jeszcze zaletami ilość pracujących na świecie nadajników jednowstęgowych w ciągu ostatniego dziesięciolecia znacznie się zwiększyła. Istnieją jednak służby, które nie mogą ponosić wydatków i zezwolić na komplikacje, jakie towarzyszą wprowadzeniu zwykłego systemu jednowstęgowego do eksploatacji. Do takich służb należy zaliczyć radiofonię i szereg systemów komunikacji radiowej.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie nowego typu systemu jednowstęgowego, nazwanego odpowiednim, oznaczanego w literaturze amerykańskiej inicjałami CSSB /Compatible Single Sideband/, który może nadawać się dla radiofonii i dla większości służb komunikacji ruchomej.

^{1/} Na podstawie oryginału opracował H. Helbing.

Rozpatrzona w tym artykule technika systemu CSSB została niedawno określona przez CCIR w następujący sposób: "Nadawanie jednowstęgowe uważa się wtedy za odpowiednie, gdy może być ono odbierane na istniejących, zwykłych odbiornikach dwuwstęgowych, bez dokonywania w nich jakichkolwiek zmian, a jakość odbioru jest zadowalająca".

Zasadniczą przewagą systemu CSSB nad zwykłą emisją jednowstęgową jest więc to, że może on być odbierany na normalnych odbiornikach znajdujących się w mieszkaniach lub samochodach milionów abonentów radiowych na całym świecie.

Właściwy sprzęt, umożliwiający adaptację istniejących nadajników, został wyprodukowany i wszechstronnie zbadany w celu upewnienia się o pełnym przystosowaniu systemu do pracy z typowymi nadajnikami AM, jak również normalnymi odbiornikami AM.

Już od wielu lat czynione są próby zredukowania w radiofonii zakłóceń, pochodzących od innych współ i sąsiedniokanałowych emisji za pomocą nadawania jednowstęgowego.

Proponowane metody, choć pomysłowe, nie wytrzymały jednak kalkulacji. Dawne, powstałe w Wielkiej Brytanii i Holandii pomysły nadawania dwuwstęgowego składników małych częstotliwości, a jednowstęgowego składników dużych częstotliwości akustycznych nie dawały dostatecznej redukcji zakłóceń, pochodzących od innych nadawań w tym samym kanale i wymagały zmiany wielu będących w użyciu nadajników. Działanie tych systemów opierało się na fakcie, że głębokość modulacji wywołana dużymi częstotliwościami akustycznymi jest mała i że wobec tego zwykła e-

misja jednowstęgowa z pełną falą nośną daje tylko nieznacznie odkształconą obwiednię.

Niedawno ukazały się rosyjskie publikacje, wskazujące, że w ZSRR prowadzone są intensywne prace badawcze nad tym zagadnieniem. System rosyjski nazwano "optymalnej modulacji", lecz wydaje się, że tłumienie drugiej wstęgi bocznej w tym systemie jest niewielkie i że obwiednia ma stosunkowo znaczne zniekształcenia.

Ostatnio został opublikowany w PIRE artykuł prof. Chakrabarti, przedstawiający opracowany w uniwersytecie Kalkuta "odpowiedni" system jednowstęgowy. Technika, którą opracował Chakrabarti była parę lat temu próbowana przez autora /Kahna/, lecz następnie zarzucona, wobec skomplikowania sprzętu potrzebnego do syntezy emisji o wymaganym typie, jak również dlatego, że pod paru innymi względami ustępuje ona metodzie tutaj opisaney. Tym niemniej należy zwrócić uwagę na znaczny postęp prac nad omawianym zagadnieniem, prowadzonych niezależnie w instytutach badawczych szeregu krajów świata.

Pierwszy sprzęt, oparty w działaniu na metodzie tu opisaney, został zainstalowany w sierpniu 1956 roku na megawatowej radiostacji Głosu Ameryki w Monachium. Sprzęt ten jest uproszczoną wersją systemu CSSB.

2. ZAGADNIENIE UŻYCIA ZWYKŁEGO SYSTEMU JEDNOWSTĘGOWEGO Z PEŁNĄ FALĄ NOŚNĄ W SŁUŻBIE RADIOFONICZNEJ AM

Przede wszystkim należy wyjaśnić dlaczego zwykły system jednowstęgowy z pełną falą nośną nie nadaje się do

odbioru na typowym odbiorniku radiofonicznym AM. Otóż obwiednia sygnału zawierającego tylko dwa składniki, nośny plus jeden boczny, jest bardzo zniekształcona przy dużych głębokościach modulacji. W rzeczywistości, gdy składnik boczny zbliża się do poziomu składnika fali nośnej, zniekształcenia obwiedni rosną do 24%. Po detekcji diodowej lub innej liniowej, jaka jest stosowana w typowym odbiorniku radiofonicznym AM, kształt obwiedni jest przekazywany do uszu słuchacza. Powstające w tym systemie, przy dużych głębokościach modulacji, zniekształcenia obwiedni są przykro odczuwalne.

System, który daje tak duże zniekształcenia nie nadaje się nawet do zwykłej, dobrej służby komunikacyjnej, a cóż dopiero mówić o radiofonicznej, gdzie wymagana jest duża wierność przenoszenia dźwięków.

3. PRAKTYCZNE UWAGI

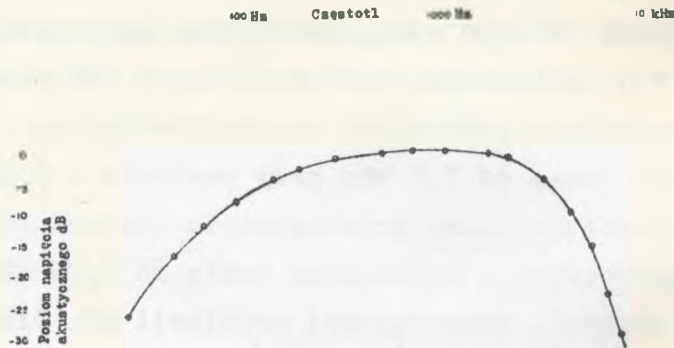
Rozpatrując nowy, dowolny system, który ma być odpowiedni do istniejącego sprzętu, trzeba mieć przedtem dokładne rozeznanie charakterystyk tego sprzętu. Wnikliwe badania i próby będących w użyciu nadajników AM wykazały, że prawie wszystkie nadajniki radiofoniczne i znaczna większość nadajników komunikacyjnych doskonale się nadają do służby CSSB. Na ogół, charakterystyki zniekształceń liniowych i nieliniowych są znacznie lepsze dla nadajników niż dla odbiorników. Jest to zrozumiałe ze względu na znacznie mniejsze ograniczenia w koszcie nadajników, bo ich ilość jest zwykle niewspółmiernie mniej-

sza od ilości odbiorników. W rezultacie ograniczenia jakościowe systemu CSSB, zresztą jak i normalnego systemu AM sprowadzają się do ograniczeń, powstałych z winy odbiorników.

Szereg badań i pomiarów wykazało, że typowy odbiornik AM, przeznaczony do odbioru radiofonicznego, poważnie ogranicza nadawane pasmo częstotliwości. W niedawno opracowanym przeglądzie charakterystyk, znany badacz zagadnień radia i telewizji R.B. Dome z General Electric Company wykazuje, że szerokość przenoszonego pasma częstotliwości przez przeciętny odbiornik radiofoniczny jest bardzo mała. W swym przeglądzie Dome przytacza: "Na zbadanych 135 odbiorników radiofonicznych 50% miało zestrojony wzmacniacz pośredniej częstotliwości na mniejszą szerokość pasma od 7,5 kHz przy poziomie - 6 dB, co odpowiada dostatecznemu przekazywaniu zakresu częstotliwości akustycznych w najlepszym razie do 3,75 kHz przy odbiorze zwykłej, dwuwstęgowej modulacji AM. Dla 29% badanych odbiorników szerokość przenoszonego pasma była mniejsza od 9,5 kHz przy poziomie - 6 dB, dając tym sposobem możliwość zadowalającego odbioru częstotliwości akustycznych najwyżej do 4,75 kHz w systemie dwuwstęgowym AM. Ponadto badania wykazały, że w tym samym systemie tylko 9% odbiorników mogło przekazywać słuchaczowi zadowalająco /poziom - 6 dB/ częstotliwości akustyczne w zakresie do 5,75 kHz i nieco większym.

Należy tutaj zaznaczyć, że podane charakterystyki odbiorników rynkowych pokrywają się z przytaczanymi przez Brytyjczyków.

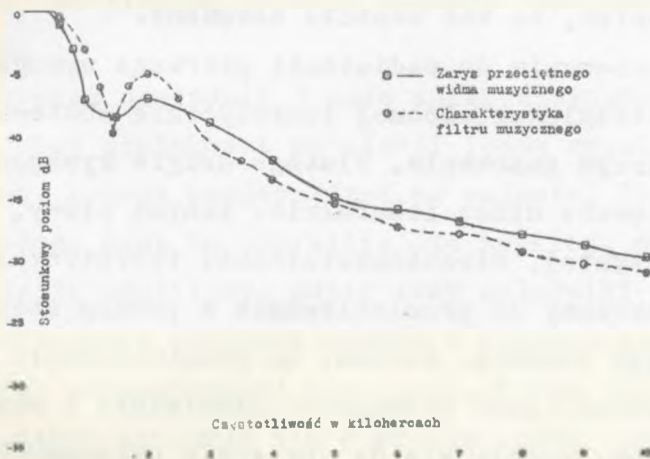
Przyczyną takiego ograniczenia charakterystyk częstotliwościowych w odbiornikach jest potrzeba zachowania kompromisu między redukcją sąsiedniokanałowych zakłóceń a wiernością odtwarzania. Ponadto w mniej kosztownych odbiornikach, ilość obwodów strojonych i transformatorów pośredniej częstotliwości musi być jak najmniejsza, co ma na ogół ujemny wpływ na kształt krzywej selektywności. Rysunek 1 przedstawia ogólną charakterystykę częstotliwościową typowego odbiornika rynkowego nowoczesnej konstrukcji.



Rys. 1. Charakterystyka częstotliwościowa typowego odbiornika radiofonicznego RCA. Model 9-C-7-EE

Drugą zasadniczą sprawą, która musi być wzięta pod uwagę przy analizie systemu CSSB, jest rodzaj informacji przeznaczonej do przesyłania. System CSSB został przewidziany do służby radiofonicznej i radiotelefonicznej. W związku z tym należy rozpatrzeć charakterystyki widmowe drgań powstających podczas muzyki i mowy.

Jak wiadomo, muzyka i mowa tworzą sygnały szerokopasmowe w tym sensie, że zajmują one szereg oktaw. Jednak rozkład energii w tym pasmie jest nierównomierny, przy czym umiarkowanie małe częstotliwości niosą jej znacznie więcej niż duże częstotliwości akustyczne. Tym niemniej, częstotliwości w zakresie powiedzmy od 3 do 5 kHz, choć niosą stosunkowo małą część energii, nie mogą być wyeliminowane bez szkody dla zrozumiałości. Daje się to szczególnie odczuć w warunkach odbioru o złym stosunku sygnału do szumu. Na rysunku 2 przedstawiono przeciętne charakterystyki częstotliwościowe typowej fali muzycznej. Charakterystyki te zaczerpnięto z pracy V.O.Voila.



Rys. 2. Charakterystyka widmowa drgań powstających podczas muzyki i mowy

4. ZASADNICZY KSZTAŁT PRZEBIEGU CSSB

Idealny przebieg CSSB odznacza się następującymi charakterystykami:

- 1/ obwiednia odtwarza sygnał modulujący bez nieliniowych zniekształceń,
- 2/ widmo jest ograniczone częstotliwościowo do pasma rozciągającego się tylko z jednej strony przebiegu nośnego na szerokość równą największej częstotliwości akustycznej sygnału modulującego.

Z dalszego ciągu rozważań będzie widać, że oba powyższe wymagania przeczą sobie i że ich jednoczesne spełnienie będzie można uzyskać w praktyce tylko z dużym przybliżeniem, co też zostało dokonane.

W zastosowaniu do radiofonii pierwsze wymaganie, dotyczące nieznieskształconej teoretycznie obwiedni, jest o zasadniczym znaczeniu. Dlatego drugie wymaganie może być traktowane nieco liberalnie. Innymi słowy, domagając się czystej, nieznieskształconej teoretycznie obwiedni, dopuszczamy do promieniowania w pewnym stopniu drugiej wstęgi bocznej. Jednak, to promieniowanie drugiej wstęgi bocznej jest stosunkowo niewielkie i system CSSB w zupełności nadaje się do uprzednio wskazanych zastosowań. Każdy sygnał jednowstęgowy jest sygnałem o złożonej modulacji. Znaczy to, że sygnał jednowstęgowy ma zarówno składniki modulacji amplitudy, jak i składniki modulacji fazy. Aby przedstawić sygnał jednowstęgowy, należy więc określić obie funkcje: modulacji amplitudy i modulacji fazy.

W przypadku systemu CSSB zakładamy, że obwiednia jest teoretycznie wolna od zniekształceń. Jeżeli doprowadzony do idealnego nadajnika CSSB sygnał modulujący ma przebieg sinusoidalny, wtedy kształt obwiedni drgań wielkiej częstotliwości powinien być również ściśle sinusoidalny. Drugą określającą funkcją tej złożonej modulacji jest składnik fazy i prace nad systemem CSSB koncentrują się wokół zagadnienia właściwej funkcji modulacji fazy i sposobu jej realizacji. Od funkcji modulacji fazy wymaga się, aby zmodulowany według niej przebieg wielkiej częstotliwości wytworzył drgania, które po modulacji amplitudy, zgodnej z sygnałem doprowadzanym do nadajnika dało widno jednowstęgowe. Z dalszego ciągu opisu będzie wynikać, że modulacja fazy przebiegu wielkiej częstotliwości jest nieliniową funkcją sygnału doprowadzanego do nadajnika.

Aby uzyskać obwiednię o mało zniekształconym przebiegu przy dużej głębokości modulacji jedną częstotliwością akustyczną, trzeba rozporządzać co najmniej trzema składnikami widma. Jest to oczywiście dla zwykłej, dwuwstęgowej modulacji amplitudy, gdzie trzy składniki /nośny plus symetrycznie położone górno- i dolnowstęgowy/ są nadawane przy sinusoidalnej modulacji. W tym przypadku składnik nośny znajduje się w środku widma, mając z jednej strony składnik górno- a z drugiej dolnowstęgowy.

W systemie CSSB natomiast, składnik nośny znajduje się z jednej strony widma, a dwa pozostałe, jako składniki pierwszego i drugiego rzędu, występują w jednej wstędze bocznej. Dla dużych głębokości modulacji te trzy

składniki są niezbędne. Jednak dla małych głębokości modulacji, jak to będzie dalej wykazane, wystarczają tylko dwa składniki - nośny i boczny pierwszego rzędu.

Ponieważ w mowie i muzyce składniki dużych częstotliwości mają stosunkowo małe amplitudy, wystarcza więc im widmo jednowstęgowe dwuskładnikowe i w ten sposób szerokość pasma przebiegu CSSB może być w przybliżeniu równa szerokości pasma modulującego sygnału akustycznego.

Wobec tego, że opracowana metoda uzyskiwania przebiegu CSSB jest stosunkowo zawiła, wydaje się wskazane opisać pokrótce wysiłki, jakie były w tym celu zrobione. Przede wszystkim do określenia struktury aktualnego przebiegu w systemie CSSB przyjęto jako "model" matematyczny przebieg w.cz. o widmie trójskładnikowym dla przypadku modulacji jedną częstotliwością akustyczną.

Przyczyna, dla której nie zastosowano w praktyce modelowego przebiegu, jest dwojakiego rodzaju. Po pierwsze, taki przebieg z widmem o właściwym stosunku fazy i amplitudy jest bardzo trudno uzyskać. Po drugie, trójskładnikowy model daje obwiednię z prawie 5% zniekształceniami. Natomiast opracowany przebieg CSSB jest teoretycznie wolny od zniekształceń obwiedni i w praktyce daje ich tylko około 1%, przez co jest on lepszy od matematycznego modelu.

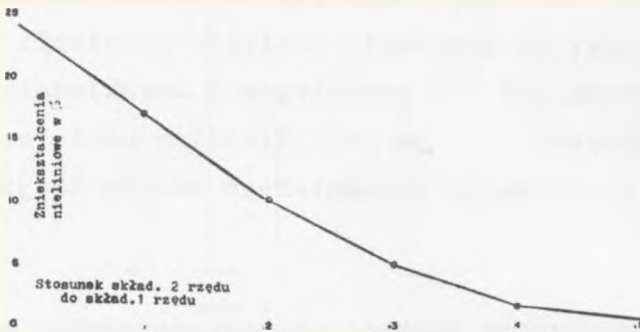
Z chwilą, gdy względne amplitudy składników widma przebiegu CSSB zostały określone, obliczono udział modulacji fazy w tworzeniu tego modelu trójskładnikowego. Uzyskany wynik skonfrontowano z charakterystykami modulacji fazy różnych przebiegów o widmie dwuskładnikowym /no-

śny plus jeden boczny/. Przyjęto przebieg z widmem o dwóch składnikach, gdyż daje się on łatwo realizować. Badania wykazały, że sumowanie udziałów modulacji fazy w tworzeniu dwóch różnych przebiegów o dwuskładnikowych widmach odpowiada z dużym przybliżeniem udziałowi modulacji fazy w tworzeniu wspomnianego modelu trójskładnikowego.

5. MATEMATYCZNY "MODEL" TRÓJSKŁADNIKOWEGO WIDMA PRZEBIEGU CSSB I SPOSÓB UZYSKANIA PRZYBLIŻEŃ

Z podanego w rozdz. 2 opisu przebiegu jednowstęgowego z pełną falą nośną widać, że przebieg o dwuskładnikowym widmie daje obwiednię wysoce zniekształconą i jest przez to nie do przyjęcia jako system odpowiedni. Dlatego staje się konieczne nadawanie dodatkowych składników w celu uzyskania przebiegu odpowiedniego dla typowych odbiorników radiofonicznych AM. W praktyce, wystarcza jeden dodatkowy składnik boczny, ułożony we właściwej wstędze bocznej w odstępnie podwójnej częstotliwości modulującej od częstotliwości nośnej.

Rysunek 3 podaje wartości zniekształceń obwiedni przy maksymalnej głębokości modulacji dla trójskładnikowego widma przebiegu w.cz. przy różnym stosunku wielkości składnika drugiego do składnika pierwszego rzędu. Badano sinusoidalny przebieg modulacji i przyjęto, że poziom składnika nośnego zmienia się o wartość składnika drugiego rzędu, tj. tak, że suma tych dwóch składników równa się amplitudzie niemodulowanego przebiegu nośnego. Z wy-



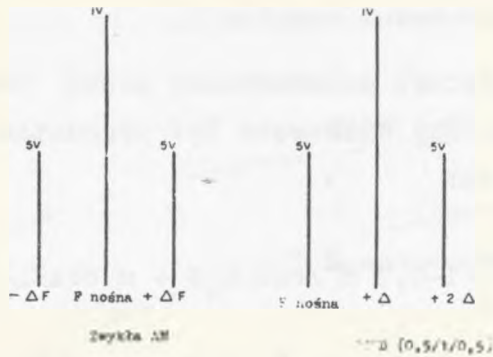
Rys. 3. Zniekształcenia obwiedni przy maksymalnej głębokości modulacji dla trójskładnikowego widma "modelowego" przebiegu CSSB, przy różnym stosunku wielkości składnika drugiego rzędu do składnika pierwszego rzędu

kresu widać, że zniekształcenia zmieniają się od zera dla stosunku 0,5 do około 24% dla zerowego stosunku składników drugiego do pierwszego rzędu. Oczywiście 24-procentowa wartość zniekształceń obwiedni odpowiada granicznemu przypadkowi, kiedy widmo przebiegu w.cz. ma tylko dwa składniki.

Dla stosunku 0,5 przy 100% głębokości modulacji jedną częstotliwością, poziom składnika nośnego równa się amplitudzie składnika bocznego drugiego rzędu. Wynika to z powyżej podanych zależności.

Przypadek ten różni się od normalnej, dwuwstęgowej 100% modulacji AM tylko przesunięciem częstotliwości gdyż składnik nośnej występuje tutaj z jednej strony widma zamiast w jego środku /rys. 4/.

Chociaż za przyjęciem modelowego stosunku 0,5 przemawia brak zniekształceń obwiedni, to jednak inne wzglę-



Rys. 4. Widmo przebiegu zwykłej modulacji AM oraz CSSB o stosunku składników nośny /boczny 1 rzędu/ boczny 2 rzędu wynoszącym $0,5/1/0,5$

dy zmieniają nieco wybór. Tymi innymi względami są wymagania niższego stosunku składnika bocznego drugiego do składnika pierwszego rzędu. Gdy dwa sygnały akustyczne o zbliżonym poziomie są doprowadzane do nadajnika CSSB, wtedy promieniowane przy stosunku amplitud 0,5 niepożądane widmo boczne jest znaczne. Z tych względów jest zalecany niższy stosunek składnika bocznego drugiego do składnika pierwszego rzędu i jego wartość około 0,3 wydaje się być najodpowiedniejsza.

Inną przyczyną przemawiającą za użyciem stosunku składników nośnej /boczny 1 rzędu/ boczny 2 rzędu o proporcji amplitud $0,7/1/0,3$ jest potrzeba niedopuszczania do poszerzenia pasma emisji przy mniejszych głębokościach modulacji. Przyjęcie dla maksymalnej głębokości modulacji większego składnika bocznego drugiego rzędu niż podany byłoby niezgodne z tą potrzebą, gdyż wtedy

niepożądane składniki widma wypadłyby zbyt duże dla mniejszych głębokości modulacji.

Wobec powyższego matematyczny model trójskładnikowego widma przebiegu CSSB może być przedstawiony następującym równaniem:

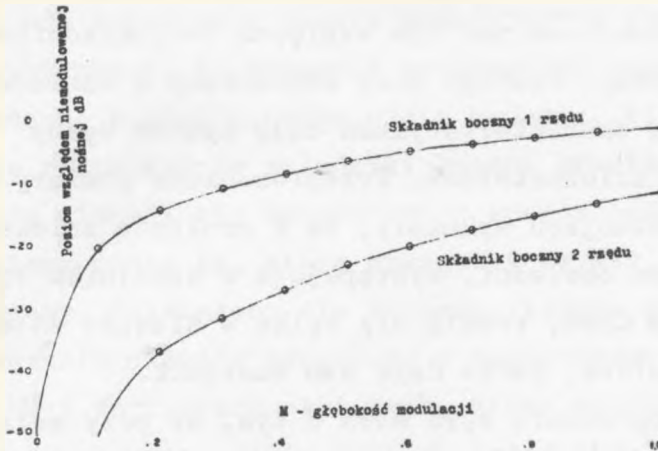
$$e = E \left[1 - 0,3 m^2 / \cos \omega_c t + m \cos / \omega_c + \omega_a / t + \right. \\ \left. + 0,3 m^2 \cos / \omega_c + 2\omega_a / t \right] \quad /1/$$

gdzie:

- E - napięcie przebiegu nośnego bez modulacji,
- m - współczynnik głębokości modulacji,
- ω_c - częstotliwość kątowna przebiegu nośnego,
- ω_a - częstotliwość kątowna akustycznego sygnału modulującego.

Z równania /1/ wynika, że przy płytkiej modulacji składnik boczny drugiego rzędu jest bardzo mały. Jest to również w zgodzie z tym, co było powiedziane o zwykłym systemie jednowstęgowym z przebiegiem nośnym, gdzie przy płytkiej modulacji zniekształcenia obwiedni są bardzo małe. Dlatego też w systemie CSSB wymagania na składniki boczne drugiego rzędu maleją wraz ze zmniejszającą się głębokością modulacji /rys. 5/.

Ponadto równanie /1/ mówi o liniowej zależności składnika bocznego pierwszego rzędu i kwadratowej zależności składnika bocznego drugiego rzędu od współczynnika głębokości modulacji. Amplituda nośnej przy małych głębokościach modulacji równa się średniej amplitudzie prze-



Rys. 5. Wykres poziomu składników bocznych pierwszego i drugiego rzędu dla różnych głębokości modulacji w "modelowym" przebiegu CSSB o stosunku składników nośny /boczny 1 rzędu/ boczny 2 rzędu wynoszącym 0,7/1/0,3 przy maksymalnej głębokości modulacji

biegu w.cz. i stopniowo maleje, gdy głębokość modulacji rośnie. Chociaż model podaje tylko w sposób przybliżony zależności uzyskane w praktyce, to jednak był on bardzo pomocny przy rozwiązywaniu technicznym systemu CSSB.

Należy zaznaczyć, że wartość średnia amplitud aktualnego przebiegu CSSB jest stała i nie zmienia się z głębokością modulacji. Oczywiście, gdy nadajnik daje zniekształcenia i związane z tym zmiany nośnej przy pracy ze zwykłą modulacją AM, wtedy również wystąpią takie same zmiany przy pracy w systemie CSSB.

Należy tu podkreślić, że zastosowany w aktualnym systemie CSSB sposób tworzenia funkcji modulacyjnych jest

taki, że obwiednia jest teoretycznie wolna od zniekształceń i przewyższa pod tym względem trójskładnikowy model matematyczny. Dlatego przy współpracy z odbiornikiem o idealnych charakterystykach cały system byłby zupełnie wolny od zniekształceń. Przeprowadzone pomiary na szeregu radiostacjach wykazały, że w praktyce zniekształcenia nieliniowe obwiedni, występujące w nadajniku łącznie z adapterem CSSB, różnią się tylko o niecałe 1% od tych zniekształceń, jakie daje sam nadajnik.

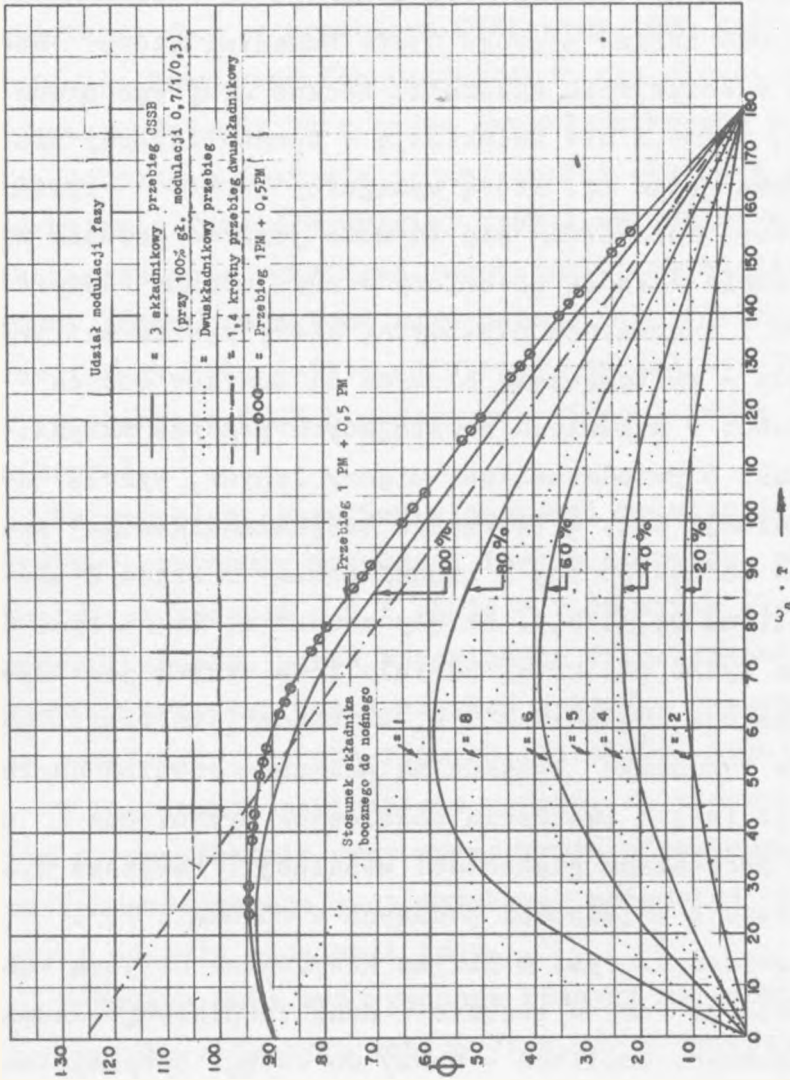
Już poprzednio była mowa o tym, że przy małej głębokości modulacji są nadawane tylko składniki widma przebiegu w.cz. - nośny plus jednowstęgowy boczny. Ponieważ w mowie i muzyce składniki o większych częstotliwościach mają na ogół stosunkowo małą amplitudę, to szerokość zajmowanego pasma częstotliwości przez widmo CSSB równa się w przybliżeniu szerokości pasma modulującego sygnału akustycznego, podobnie jak to ma miejsce w zwykłym systemie jednowstęgowym. Nadawanie małych częstotliwości akustycznych o dużej amplitudzie wymaga natomiast dodatkowego składnika bocznego, drugiego rzędu w widmie w.cz. Powyższy składnik drugiego rzędu mieści się jednak w pasmie zajmowanym przez sygnał akustyczny i tym sposobem nie poszerza go, lecz tylko zwiększa zagęszczenie widma przebiegu w.cz.

Rysunek 5 podaje przebieg zmian składników bocznych pierwszego i drugiego rzędu wraz ze zmianą głębokości modulacji dla przebiegu modelowego, wyrażonego równaniem /1/. Widać, że przy współczynniku modulacji mniejszym od 0,3 składnik drugiego rzędu jest więcej niż 30 dB poni-

żej poziomu składnika nośnej. To jest przyczyną, że widmo mieści się istotnie w pasmie modulujących częstotliwości akustycznych. Na poparcie podanego tu rozumowania, przeprowadzono bardzo szeroko ujęte badania, które dowiodły, że rzeczywiście składniki boczne drugiego rzędu zagęszczają widmo i nie zwiększają w sposób istotny szerokości pasma ponad tę, którą wymagałby zwykły system jednowstęgowy. Należałoby się tu może jeszcze powołać na fakt stosowania układów preemfazy w nadajnikach radiofonicznych FM i nagraniach płytowych, który wynika z tej samej zasady - występowania słabych składników dużych częstotliwości w drganiach powstających podczas muzyki.

Na rysunku 6 przedstawiono, między innymi, wykres udziału modulacji fazy w tworzeniu trójskładnikowego modelu CSSB - nośny /boczny 1 rzędu/ boczny 2 rzędu o proporcji amplitud $0,7/1/0,3$. Należy zauważyć, że na rys. 6 są pokazane tylko półokresy udziału i że wykres jest nieparzystą funkcją względem $t = 0$, to znaczy, że $f/t/ = -f/-t/$. Na tym samym rysunku są pokazane również udziały modulacji fazy w tworzeniu modelowych przebiegów o mniejszych procentach głębokości modulacji. Powyższe wykresy uzyskano z zależności podanych w równaniu $/1/$.

Przedstawione na rys. 6 krzywe kropkowane dotyczą udziału modulacji fazy w tworzeniu dwuskładnikowego widma, mającego stosunek amplitud - nośny do wstęgi bocznej taki, jaki został podany przy krzywej. Widać że, z wyjątkiem bardzo małych głębokości modulacji, nakreślone dla tego przypadku krzywe znacznie się różnią od pożądaných w systemie CSSB.



Rys. 6. Wykres udziału modulacji fazy w tworzeniu "modelowego" przebiegu CSSB, jak również przebiegu o dwuskładnikowym widmie dla różnych głębokości modulacji

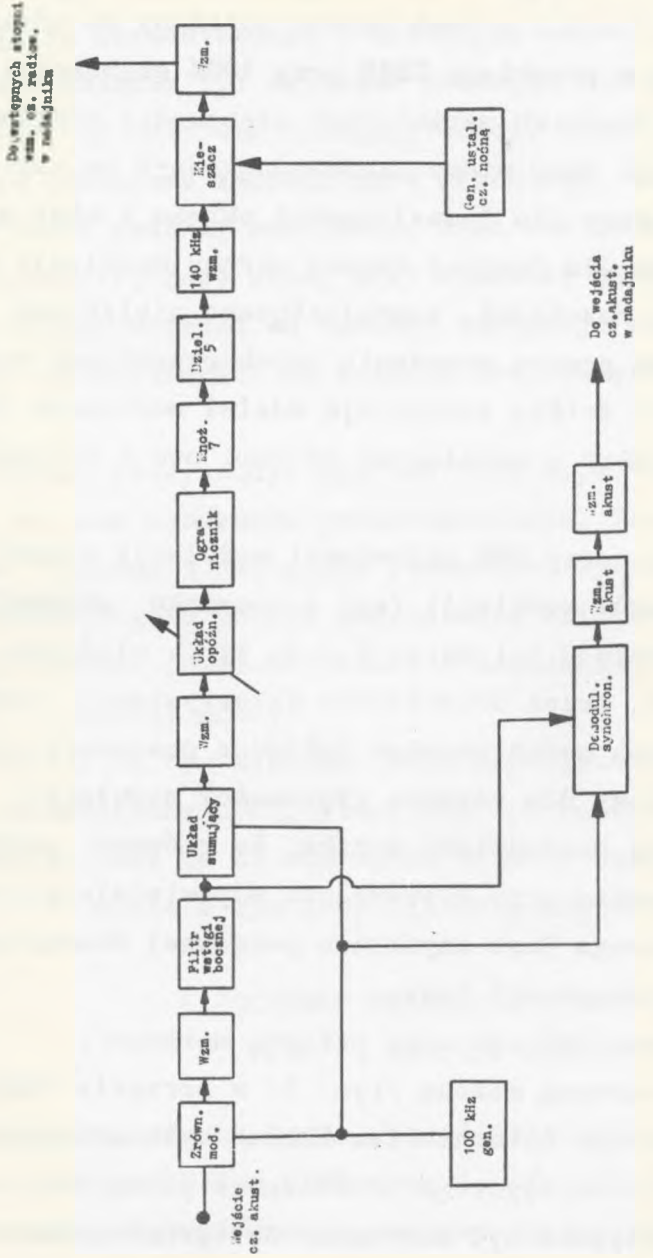
Przebieg modulacji fazy utworzony przez dodanie dwóch wykresów modulacji fazy widma dwuskładnikowego o stosunku amplitud - 1 i 0,5 - jest bardzo zbliżony do udziału modulacji fazy w przebiegu CSSB przy 100% głębokości modulacji. Przy średnich wartościach głębokości modulacji wykres modulacji fazy widma dwuskładnikowego ma zbyt duże odchylenie fazy dla jednej części okresu i zbyt małe odchylenie fazy dla drugiej części okresu modulacji. Aby to zagadnienie rozwickłać, zaprojektowano nieliniowe układy, które za pomocą sumowania dwóch przebiegów modulacji fazy dość ściśle odtwarzają udział modulacji fazy w przebiegach CSSB z modelowymi widmami dwu i trójskładnikowymi.

Na przykład, przy 60% głębokości modulacji dodanie do siebie przebiegów modulacji fazy o stosunku składników boczny do nośnego 0,5 i około 0,1 da wynik właściwy. W podobny sposób, przez odpowiednie wykorzystanie nakreślonych krzywych można uzyskać dokładne pasowanie udziału modulacji fazy dla różnych głębokości modulacji.

Z tego co tu powiedziano wynika, że głównym problemem do rozwiązania przy wytwarzaniu odpowiedniego systemu jednowstęgowego jest uzyskanie pożądanej charakterystyki udziału modulacji fazy.

Powyższe może być wykonane różnymi metodami.

Szeroko stosowaną metodą /rys. 7/ w sprzęcie CSSB produkcji "Badawczego Laboratorium Kahna" było wytwarzanie normalnego, jednowstęgowego przebiegu z pełną falą nośną, który następnie był kierowany do ogranicznika w celu wyłowienia z niego udziału modulacji fazy. Uzyskana w



Rys. 7. Schemat blokowy systemu CSSB o 1,4-krotnie zwiększonym udziale modulacji fazy

ten sposób wartość udziału była jednak niewystarczająca i dlatego była ona odpowiednio zwiększona za pomocą powielacza harmonicznego i dzielnika częstotliwości. Wymagany mnożnik 1,4 uzyskano stosując 7-krotny powielacz i 5-krotny dzielnik częstotliwości. Chociaż tą metodą można wytwarzać zadowolające przebiegi, to jednak ma ona jeden poważny mankament. Jest bardzo czuła na przemodulowanie, gdyż wtedy przy większej wartości składników wstęgi bocznej od nośnego następuje raptowny przeskok częstotliwości na wyjściu jednowstęgowego generatora.

Nowsze rozwiązanie systemu CSSB typu "1 PM plus 0,5 PM" nie boi się znacznego przemodulowania. Ten typ systemu CSSB, opisany w następnym rozdziale, wytwarza przebieg o wystarczająco dobrym oddzieleniu wstęgi bocznej podczas okresów przemodulowania i doskonałej izolacji podczas normalnej pracy.

Specjalny typ systemu CSSB, zaprojektowany do celów radiokomunikacyjnych, który daje pewne zniekształcenie obwiedni lecz za to minimalne promieniowanie pozapasmowe, nie będzie w tym artykule rozpatrywany.

6. SCHEMAT BLOKOWY SYSTEMU CSSB TYPU "1 PM PLUS 0,5 PM"

Na schemacie blokowym rys. 8 jest pokazana zasada tworzenia przebiegu CSSB nową metodą "1 PM plus 0,5 PM". Przebieg jednowstęgowy wytwarzany przez zwykły generator jednowstęgowy za pomocą zrównoważonego modulatora i

filtru pasmowego. W produkowanym sprzęcie zastosowano wysoce selektywny filtr kwarcowy typu mostkowego. Charakterystyka przenoszenia tego filtra jest zasadniczo płaska od 50 Hz do 8000 Hz powyżej częstotliwości nośnej. Przebieg jednowstęgowy bez nośnej jest wzmacniany i następnie doprowadzany do wtórnika katodowego. Wtórnik katodowy, zapewniając małą impedancję wyjścia, jest użyty do sterowania dwóch nieliniowych układów o podobnej, lecz nie jednakowej charakterystyce. Oba nieliniowe układy mniej tłumią przebiegi o większym, niż przebiegi o mniejszym poziomie. Powyższe układy są potrzebne ze względu na to, że wartość uwypuklenia udziału modulacji fazy zmienia się od około 1,5 przy 100% głębokości modulacji do jedności przy bardzo małych głębokościach modulacji.

Nieliniowy układ nr 1 łączy się z układem sumującym, w którym przebieg nośny jest dodawany do wstęgi bocznej. Przebieg nośny przechodzi przez regulowany przesuwnik fazy w celu właściwego zgrania faz w obu kanałach. Poziom nośnej jest tak dobrany, że przy wystarczającym do 100% głębokości modulacji poziomie wstęgi bocznej, składniki nośny i wstęgi bocznej są sobie równe.

W ten sposób uzyskuje się charakterystykę udziału modulacji fazy w tworzeniu dwuskładnikowego widma, zaznaczonego na rys. 6 jako "stosunek wstęgi bocznej do nośnego równa się 1". Po wyjściu z układu sumującego przebieg jest wzmacniany, a następnie opóźniany. Zadaniem układu opóźniającego jest wyrównanie nieznacznych różnic czasowych przenoszenia, występujących w kanałach

1 PM i 0,5 PM. Po wyjściu z układu opóźniającego przebieg jest doprowadzany do mieszacza.

Rozpatrując teraz kanał 0,5 PM z rys. 6 widać, że nieliniowy układ nr 2 łączy się z drugim układem sumującym, w którym do przebiegu nośnego o poziomie dwukrotnie większym od przebiegu wstęgi bocznej przy 100% głębokości modulacji jest dodawany ten sam przebieg wstęgi bocznej. W ten sposób uzyskuje się przy 100% głębokości modulacji stosunek składników wstęgi bocznej do nośnego - 0,5. Po wyjściu z układu sumującego składniki widma są przesunięte do zakresu 600 kHz za pomocą mieszacza i generatora 500 kHz. Po przejściu przez 600 kHz wzmacniacz przebieg dochodzi do mieszacza, w którym następuje zdudnienie z przebiegiem doprowadzanym przez kanał 1 PM. Z wyjścia mieszacza jest wyławiana część sumaryczna, leżąca w zakresie 700 kHz.

Wyłowiony przebieg ma charakterystykę fazową, odpowiadającą sumie udziałów modulacji fazy 1 PM i 0,5 PM przy 100% głębokości modulacji. Przy bardzo małych głębokościach modulacji, dzięki nieliniowym układom, stosunkowy udział modulacji fazy obniża się i jak to widać z rys. 6 ma przebieg bardzo zbliżony do udziału modulacji fazy w tworzeniu trójskładnikowego widma CSSB.

Powyższy, złożony przebieg jest następnie doprowadzany do ogranicznika, który usuwa zbędną modulację amplitudy, pozostawiając tylko czystą modulację fazy. Po przemianie częstotliwości, odpowiednio do wymaganej na częstotliwość nośną, uzyskany przebieg z modulacją fazy służy do wysterowania wzmacniaczy w.cz. w różnego typu

nadajnikach, jak klasy C z modulacją anodową, siatkową, Doherty, Chireux lub Ampliphase.

W nadajniku przebieg nośny o charakterystyce fazowej "1 PM plus 0,5 PM" jest modulowany amplitudowo przez sygnał akustyczny, uzyskiwany z demodulacji synchronicznej przebiegu jednowstęgowego. Ponieważ demodulator synchroniczny wprowadza tylko nieznaczne zniekształcenia do sygnału akustycznego, wyławianego ze zwykłego przebiegu jednowstęgowego, to wytwarzana modulacją AM obwiednia może być prawie bez zniekształceń nieliniowych. Przyczyna, dla której zastosowano dość skomplikowany sposób uzyskiwania modulacji AM, jest ta, że widmo oryginalnego systemu akustycznego, choć ma wszystkie potrzebne składniki, to jednak są one inaczej zfazowane, niż ich odpowiedniki po filtrze pasmowym, znajdującym się w generatorze jednowstęgowym. Dlatego, aby móc modulować amplitudowo nadajnik oryginalnym sygnałem akustycznym, należałoby zastosować rozbudowany układ kompensacji przesuwu fazy w kanałach 1 PM i 0,5 PM, co nie byłoby praktycznym posunięciem.

Ponieważ na opisywany tutaj system CSSB składają się udziały modulacji fazy i modulacji amplitudy, to dowolny, będący dziś w eksploatacji typ nadajnika AM może być przystosowany do pracy w systemie CSSB, po dokonaniu tylko małych zmian w nadajniku lub całkowicie bez nich.

7. ANALIZA WIDMOWA PRZEBIEGU CSSB

Przeprowadzenie dokładnej analizy widmowej przebiegu CSSB jest zagadnieniem bardzo skomplikowanym ze względu

na to, że system ten zawiera szereg układów nieliniowych i bierze w nim udział modulacja fazy z nieskończone szerokim widmem częstotliwości. Dlatego, rozważony tu został tylko stosunkowo prosty przypadek modulacji jedną częstotliwością akustyczną. Oczywiście tak ograniczona analiza nie jest kompletna, lecz wydaje się, że jej podanie może przyczynić się do lepszego zrozumienia zasad tworzenia przebiegu CSSB, podobnie jak była ona pomocna przy opracowywaniu systemu. Przeprowadzenie szerszej analizy, z różnymi typami sygnałów modulacyjnych dałoby bez wątpienia ciekawe wyniki, lecz prace te byłyby nader żmudna i obszerna. Ponadto nie wiadomo, jaki przebieg dla mowy i muzyki należałoby przyjąć za typowy, a dowolnie wybrany, wobec wielkiej ilości kombinacji mógłby być kwestionowany.

Wielce interesującą technikę analizy systemu CSSB zastosował H. Martens z Europejskiej Unii Radiofonicznej. Wykorzystał on do tego celu maszynę analogową, zakładając dużą ilość różnych możliwości działania układów. Wobec braku publikacji z pełnymi danymi systemu CSSB Martens uznał, że uzyskane wyniki analizy są ograniczone. Należy zauważyć, że pełne wykorzystanie danych całego systemu CSSB w maszynie analogowej jest sprawą bardzo skomplikowaną.

Obecnie opisana zostanie metoda analizy, za pomocą której znaleziono widmo CSSB dla modulującego sygnału o jednej częstotliwości akustycznej. Ponieważ promieniowanie niepożądanych składników energii jest zwykle największe przy maksymalnej głębokości modulacji, wobec tego ten przypadek jest rozpatrywany.

Przebieg, składający się z dwóch jednakowej wielkości sinusoid, po przejściu przez ogranicznik ma widmo wyrażone następującym równaniem:

$$e_{mp} \ 1/1 = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} A_n \cos/\omega_{c1} + n\omega_a/t \quad /2/$$

gdzie:

ω_{c1} - częstotliwość kątowna przebiegu nośnego,
 ω_a - częstotliwość kątowna akustycznego sygnału modulującego

$A_0 = +1$	$A_{+1} = -1/3$
$A_{-1} = +1$	$A_{+2} = +1/5$
$A_{-2} = -1/3$	$A_{+3} = -1/7$
$A_{-3} = +1/5$	$A_{+4} = +1/9$
$A_{-4} = -1/7$	itd.
itd.	

Amplitudy składników zostały znormalizowane, tak że składnik częstotliwości nośnej A_0 i składnik dolny pierwszego rzędu A_{-1} mają amplitudę równą jedności. W tym przypadku założono, że dolna wstęga boczna jest właściwa, choć z równym powodzeniem w analizie można by uwzględnić, że dotyczy to górnej wstęgi bocznej. Ponadto za czas początkowy $t = 0$ przyjęto moment, kiedy składniki nośny i dolnej wstęgi bocznej są ściśle w fazie.

Jest ciekawe, że powyższe widmo jest równoważne widmu, jakie powstaje w systemie dwuwstęgowej modulacji ze stłumionym składnikiem nośnym, przy prostokątnym sygnale mo-

dulującym. Częstotliwość podstawowego składnika sygnału prostokątnego wynosi wtedy $-\omega_a/2$.

Widmo udziału modulacji fazy w tworzeniu przebiegu jednowstęgowego o stosunku składników wstęgi bocznej do nośnego wynoszącym 0,5, można przedstawić następującym wzorem:

$$e_{pm} \ 1/0,5 = \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} B_m \cos/\omega_{c2} + m\omega_a/t \quad /3/$$

Wartości B_m mogą być znalezione w sposób podobny do opisanego przez autora /L.R.Kahna/ w artykule, traktującym o ogranicznikach. Obwody rezonansowe, znajdujące się w układzie anody mieszacza, są dostrojone do sumarycznej częstotliwości dwóch doprowadzonych do mieszacza przebiegów. W ten sposób ~~użytkowy~~ na wyjściu mieszacza przebieg modulacji fazy ma charakterystykę odpowiadającą sumie udziałów modulacji fazy w tworzeniu widm dwuskładnikowych o stosunku składników wstęgi bocznej do nośnego - 1 i 0,5.

$$\begin{aligned} e_{pm} \ 1/1 \times e_{pm} \ 1/0,5 &= \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} A_n \cos/\omega_{c1} + n\omega_a/t \times \\ &\times \sum_{m=-\infty}^{m=+\infty} B_m \cos/\omega_{c2} + m\omega_a/t = \\ &= \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \sum_{m=-\infty}^{m=+\infty} \frac{A_n B_m}{2} \cos \left[\omega_{c1} + \omega_{c2} + /n+m/\omega_a \right] t + \end{aligned}$$

$$+ \frac{A_n B_m}{2} \cos \left[\omega_{c1} - \omega_{c2} + /n-m/\omega_a \right] t \quad /4/$$

Ponieważ układ anody mieszacza wyławia częstotliwości leżące w pobliżu sumy dwóch częstotliwości doprowadzanych wobec tego czynnik drugi równania /4/ może nie być brany pod uwagę w dalszej analizie.

Z tablicy przedstawionej na rys. 9 można zorientować się w metodzie, jaka została użyta do obliczenia wypadkowego widma modulacji fazy. Górny rząd przedstawia widmo udziału modulacji fazy w tworzeniu przebiegu 1 PM, a pierwsza lewa kolumna – widmo udziału modulacji fazy w tworzeniu przebiegu 0,5 PM. Iloczyn składników tych widm znajduje się w środkowej części tablicy. /Uzyskane wartości nie są mnożone przez 0,5, jak to wynika ze wzoru trygonometrycznego, gdyż ważny jest tylko ich stosunek/. Każdy składnik w kolumnie przyczynia się do ostatecznego wyniku, który jest ujęty w dolnym rzędzie, przedstawiając sobą amplitudę nowych składników częstotliwościowych. Powyższe składniki są bocznymi do składnika sumarycznej częstotliwości obu przebiegów nośnych $/\omega_{c1} + \omega_{c2}/$. Na przykład, jeżeli składnik trzeciego rzędu dolnej wstęgi bocznej zostanie pomnożony przez składnik pierwszego rzędu górnej wstęgi bocznej, to wynikiem tego będzie składnik o częstotliwości równej sumie częstotliwości nośnych minus podwójna częstotliwość akustycznego sygnału modulującego. Iloczyny z odpowiednimi znakami są następnie do siebie dodawane. Wyniki sumowania poszczególnych kolumn przedstawiają sobą widmo złożonej modulacji fazy. Powyż-

Widmo widma modułacji fazy w przedziale 1PM	$\omega_{d1} - 4\omega_a$ -0.143 v	$\omega_{d1} - 3\omega_a$ +0.200	$\omega_{d1} - 2\omega_a$ -0.333	$\omega_{d1} - \omega_a$ +1.0	ω_{d1} +1.0	$\omega_{d1} + \omega_a$ -0.333	$\omega_{d1} + 2\omega_a$ +0.200	$\omega_{d1} + 3\omega_a$ -0.143	$\omega_{d1} + 4\omega_a$ +0.111
$\omega_{d1} + 6\omega_a$ +0.0031				+001	-001	+001	-001	+001	-001
$\omega_{d1} + 5\omega_a$ -0.0068			-001	+002	-002	+003	-001	+002	-007
$\omega_{d1} + 4\omega_a$ +0.0150			-004	+005	-007	+011	-005	+015	+015
$\omega_{d1} + 3\omega_a$ -0.0345	+003		-004	+017	-028	+083	-035	-035	+011
$\omega_{d1} + 2\omega_a$ +0.0834	-008	+009	-012	+075	-045	+225	+083	-028	+017
$\omega_{d1} + \omega_a$ -0.2252	-025	+032	-045	+934	-311	+187	+075	-045	+032
ω_{d1} +0.9342	-133	+187	-311	+259	+934	+052	+187	-133	+104
$\omega_{d1} - \omega_a$ +0.2586	+052	-086	+259	+011	+011	+005	-004	+029	-024
$\omega_{d1} - 2\omega_a$ -0.0335	+011	-034	-034	+002	-001	+001	-001	+003	
$\omega_{d1} - 3\omega_a$ +0.0085	+009	+009	-003						
$\omega_{d1} - 4\omega_a$ -0.0027	-003	+001	-001						
Widmo widma modułacji fazy w przedziale 1PM	-097	+121	-152	+1.306	+577	-380	+262	-191	+147
	-4 ω_a	-3 ω_a	-2 ω_a	- ω_a	$\omega_{d1} + \omega_{d2}$	+ ω_a	+2 ω_a	+3 ω_a	+4 ω_a

Rys. 9. Zestawienie obliczeń widma modułacji fazy w systemie CSSB typu "1 PM + 0,5 PM"

Widmo widma modułacji fazy w przedziale 1PM + 0,5PM	$-4\omega_a$ -097	$-3\omega_a$ +121	$-2\omega_a$ -152	$-\omega_a$ +1.306	$\omega_{d1} + \omega_{d2}$ +577	ω_a -380	$+2\omega_a$ +262	$+3\omega_a$ -191	$+4\omega_a$ +147
Węzły boczne symetryczne sinusoidalną 100% modułacją AM	+038 +061	-049 -076	+061 +653	-0.076 +0.289	+653 -190	+289 +131	-190 -096	+131 +074	-096 -069
Widmo wypadkowe	+002	-004	+562	+1.519	+1.040	-040	-024	+014	-018
Poziom widma wypadk. dB	-57.7	-51.	-8.6	0	-3.3	-31.7	-36	-40.7	-38.6
			Szkładnik drugiego rzędu	Szkładnik pierwszego rzędu	Szkładnik nośny				

Rys. 10. Zestawienie obliczeń widma systemu CSSB dla idealnego nadajnika

sze widmo jest modulowane amplitudowo we współpracującym nadajniku, dając w rezultacie odpowiedni przebieg jednowstęgowy.

Na rysunku 10 przedstawiono widmo takiego przebiegu, jako wynik modulacji amplitudy składników modulacji fazy. W tym przypadku każdy ze składników modulacji fazy zachowuje się tak, jakby był składnikiem nośnym i przy modulacji amplitudy tworzy obok siebie w odstępie częstotliwości modulującej dwa symetryczne składniki boczne. Zestaw składników wytworzonych przez modulację amplitudy widma modulacji fazy jest widmem przebiegu CSSB. W obliczeniach do rys. 10 przyjęto brak zniekształceń, gdy tymczasem na rys. 11 w podobnie przeprowadzonej analizie założono 3% zniekształcenie obwiedni drugą harmoniczną.

W obliczeniach widma modulacji fazy przyjęto, że w kanałach 1 PM i 0,5 PM są oddzielne ograniczniki. Przeprowadzone doświadczenia z typem rozwiązania jak na rys. 8 wskazują, że to samo widmo złożonej modulacji fazy uzyskuje się przy jednym ograniczniku, umieszczonym we wspólnym kanale 1 PM + 0,5 PM. Oczywiście, analizę można wykonać również dla tego przypadku, a sposób jej przeprowadzenia znaleźć w pracy autora o ogranicznikach.

Dodatkowe składniki widma w drugiej wstędze bocznej powstają w chwili, gdy modulujący sygnał akustyczny ma więcej niż jedną częstotliwość. O poziomie tych składników można się zorientować z poniżej podanej analizy.

Poziom składnika nośnego jest funkcją poziomu sygnału modulującego. Gdy dwa tony o jednakowej amplitudzie i o łącznym szczytowym poziomie, wystarczającym do 100% modu-

Wzrost modulacji fazy 12% → 0,52%	-4 ^o _a	-3 ^o _a	-2 ^o _a	-1 ^o _a	+1 ^o _a	+2 ^o _a	+3 ^o _a	+4 ^o _a
	+075	+121	-152	+1.306	+577	-380	+262	+147
Wzrost bocznego wyrobku zawieszenia 97% modulacja fazy	-023	-047	+059	-074	+633	+280	-184	-093
	-047	-074	+633	+280	-184	+127	-093	+071
Składniki bocznego wyrobku przez 3% zmniejszenie obrotów p-harmonika	+001	-001	+002	-002	+002	-020	-009	-004
	+002	-020	-008	+006	-004	+003	-002	+002
Widmo wypakowane	+001	-021	+534	+1.516	+1.024	+010	-026	+015
Polowa widma wypak. dB	-63	-37.1	-9	0	-3.4	-43.6	-35.4	-40.1
				Składnik pięrnego zakonu	Składnik rodny			

Rys. 11. Zestawienie obliczeń widma systemu CSSB dla nadajnika,
dającego 3% zniekształcenie obwiedni

lacji, są doprowadzone do nadajnika, wtedy głębokość uzyskanej modulacji będzie się wahać od 0% do 100%, zależnie od względnej fazy obu tonów modulujących. Chwilowa przeciwfaza obu składników daje wynik zero i chwilową głębokość modulacji 0%, a w innych chwilach składniki sumują się i głębokość modulacji osiąga 100%. W związku z tym amplituda nośnej /dla stosunku składników nośnego do wstęgi bocznej - 0,7/1/0,3/ zmienia się od 0,7 przy 100% modulacji do 1 przy 0% modulacji. Zmiany te występują z częstotliwością dudnień między dwoma tonami modulującymi.

Oczywiście, takie zmiany amplitudy nośnej odpowiadają modulacji AM, przy której powstają dwie wstęgi boczne. W każdej wstędze bocznej jest składnik o wartości $1-0,7//4$. $E_{\text{nośnej}} = 0,075 \cdot E_{\text{nośnej}}$. Jak widać, każdy z tych składników jest nieco poniżej 23 dB w stosunku do amplitudy niemodulowanej nośnej lub 29 dB poniżej szczytowego poziomu mocy obwiedni. Niestety, jeden z tych składników znajduje się w drugiej wstędze bocznej widma CSSB. W miarę tego jednak, jak amplituda dwutonowego sygnału akustycznego maleje, maleje również składnik znajdujący się w drugiej wstędze bocznej. Ponadto, składnik ten maleje wraz z rosnącą różnicą amplitud obu tonów modulujących.

Występujący w mowie i muzyce odstęp pomiędzy dwoma silnymi tonami o zbliżonej amplitudzie jest normalnie mały i nie przekracza zazwyczaj 100 czy 200 herców. Dzięki temu wywołane dudnieniami niepożądane składniki widma znajdują się w pobliżu nośnej i nie mogą zwiększać w

sposób zasadniczy zakłóceń sąsiedniokanałowych.

Należy zdawać sobie sprawę, że omawiane składniki widma, choć są z punktu widzenia szerokości zajmowanego pasma przez emisję CSSB niepożądane, to jednak nie wprowadzają one zniekształceń obwiedni i nie są słyszane ani też nie mogą być zmierzone po detekcji obwiedni w odbiorniku. W rzeczywistości, wszystkie składniki są potrzebne do tego, aby obwiednia była wolna od zniekształceń i jeżeli odbiornik pewne składniki tłumi, to tym samym zniekształca w mniejszym lub większym stopniu odbiór. Na szczęście omawiane składniki znajdują się tuż w pobliżu składnika nośnego i w praktyce są dobrze przenoszone przez odbiornik, tak że obwiednia pozostaje prawie wolna od zniekształceń.

Zalety i doświadczalne szacowanie systemu CSSB

Jedną ze służb, w których system CSSB może znaleźć główne zastosowanie, jest radiofonia AM. Dlatego pomiary wykonane w warunkach pracy radiofonicznej są specjalnie ciekawe i będą tu podane.

Wszystkie próby były wykonane za pomocą oryginalnego układu ze zwiększonym 1,4 razy udziałem modulacji fazy. Z prób przeprowadzonych później wynikało, że użycie nowego rozwiązania CSSB typu "1 PM + 0,5 PM" może dać dodatkowe korzyści.

8. SZACOWANIE METODĄ "KSZTAŁTOWANEGO SZUMU"

Jednym z zasadniczych zagadnień, występujących przy porównaniu wartości sprzętu opracowanego do celów przenoszenia sygnałów mowy i muzyki, jest określenie metody, pozwalającej na właściwe oszacowanie wyników z charakterystycznego dla przenoszonych sygnałów rozkładu widma.

Oczywiście, użycie do tego celu sygnałów sinusoidalnych o jednakowej amplitudzie w zakresie aż do 15 kHz byłoby nieżyciowe choćby dlatego, że metoda ta przekreśliłaby przyjęty dziś przeciwnakłóceniowy standard na 10kHz odstęp między przebiegami nośnymi w sąsiednich kanałach. W związku z tym, opracowano nową metodę, pozwalającą na właściwe porównanie systemu CSSB ze zwykłym AM. Zastosowana metoda została przychylnie zaopiniowana przez wybitnego specjalistę R.N. Harmona i może być pomocna przy szacowaniu innych systemów.

Nowa metoda może być nazwana "kształtowanego szumu" ze względu na przyjęty sposób szacowania. Przede wszystkim zaprojektowano i wykonano filtr o charakterystyce przenoszenia, odpowiadającej wykresowi widma muzycznego z rys. 2. Następnie, wprowadzono widmo białego szumu do filtru, a z jego wyjścia korzystano do przeprowadzenia prób szacunkowych. Tym sposobem został ominięty problem pomiarów statystycznych i dla danej charakterystyki filtru uzyskiwano jednoznaczny wynik. Oczywiście, dokładność szacunku w dużej mierze zależy od krzywej, kształtującej widmo białego szumu. Należy tu wspomnieć, że toczy się obecnie gorący spór o właściwy rozkład energii w

widmie sygnałów mowy i muzyki. Ponieważ własne możliwości badań w tej dziedzinie są ograniczone, trzeba było skorzystać ze źródeł miarodajnych.

Dla zdania sobie sprawy z występujących trudności można dodać, że jedna z niedawno ogłoszonych publikacji /J.G. McKnighta/ kwestionuje możliwość uzyskania właściwej, pełnowartościowej krzywej rozkładu energii w widmie. Jednak szacunek przy pomocy dużej ilości wzorców widma jest dużo trudniejszy i niekoniecznie dokładniejszy, tym bardziej, że po pewnym czasie "wzorcy" mogą być uznane za nietypowe. W każdym bądź razie na podstawie opublikowanych danych można stwierdzić, że prawdopodobieństwo występowania w sygnałach mowy i muzyki stosunkowo znacznych składników o częstotliwości ponad 3 czy 4 kHz jest znikome i wobec tego można liczyć, że składniki boczne drugiego rzędu tych częstotliwości będą niewielkie /rys.2/.

9. PORÓWNANIE CHARAKTERYSTYK CZĘSTOTLIWOŚCIOWYCH I STOSUNKU SYGNAŁU DO SZUMU

W celu ujęcia liczbowego przewagi systemu CSSB nad zwykłym AM w charakterystyce częstotliwościowej i stosunku sygnału do szumu zostanie najpierw rozpatrzony przypadek użycia odbiorników o idealnie prostokątnych charakterystykach selektywności. Później będą wzięte pod uwagę charakterystyki typowego, niedrogiego odbiornika radiofonicznego.

Jeżeli do odbioru dwuwstęgowej modulacji AM ma być użyty idealny odbiornik, to jego pasmo przenoszenia wiel-

kiej i pośredniej częstotliwości powinno być dwukrotnie większe od najwyższej, nadawanej częstotliwości akustycznej. To znaczy, przy nadawaniu składników do 10 kHz, szerokość pasma wyniesie - 20 kHz. Tymczasem do odbioru tych samych składników, lecz nadawanych systemem CSSB, wymagana szerokość pasma wynosi tylko - 10 kHz. Z tego wynika, że stosunek sygnału do szumu jest lepszy o 3 dB w systemie CSSB, gdyż moc bezładnego szumu jest proporcjonalna do szerokości pasma. Co się tyczy szumów impulsowych, to ich moc rośnie z kwadratem szerokości pasma. W tym przypadku przewaga systemu CSSB nad zwykłym AM dla parametru stosunek sygnału do szumu wynosi 6 dB.

Podane wartości poprawy stosunku sygnału do szumu dotyczą odbiorników AM z idealnie prostokątną charakterystyką selektywności, gdy tymczasem będące w powszechnym użyciu typowe odbiorniki mają charakterystyki selektywności dalekie od ideału. W praktyce, ze względów ekonomicznych, pasmo przenoszenia tych odbiorników jest nawet znacznie węższe od wymaganego dla dwuwstęgowej modulacji, co w rezultacie prowadzi do gorszej zrozumiałości na skutek obciążenia wyższych składników modulacji.

Bardzo trudno jest znaleźć wartość poprawy stosunku sygnału do szumu przy wzięciu pod uwagę względnych ważności różnych składników widma mowy i muzyki. Dotyczy to specjalnie tych przypadków, gdzie wchodzi w grę układy o zaokrąglonych charakterystykach selektywności.

Na przykład, jeżeli składnik mowy o częstotliwości 3500 Hz jest tłumiony 7 dB, a składnik 2000 Hz - 1 dB, wtedy wartość stosunku sygnału do szumu dla składnika

3500 Hz będzie obniżona względem 2000 Hz o 6 dB. A więc, wypadkowa, skuteczna wartość stosunku sygnału do szumu jest zależna od charakterystyki częstotliwościowej odbiornika i nie da się w sposób łatwy wyrazić jedną cyfrą.

Z wyjątkiem różnicy w szerokości pasma, charakterystyki częstotliwościowe prostokątnych krzywych selektywności w idealnych odbiornikach AM i CSSB są identyczne. Dlatego, przy takich odbiornikach nie będzie żadnej różnicy w charakterystykach częstotliwościowych obu systemów.

Jednak, o czym była już mowa, szerokości pasma zarówno odbiorników produkcji krajowej, jak i zagranicznej pozostawiają wiele do życzenia. W rzeczywistości, niekorzystne dla wielkich częstotliwości akustycznych charakterystyki odbiorników obniżają wartość odtwarzania muzycznego i często zmniejszają zrozumiałość mowy. Źródła fachowe podają, że zanik charakterystyki powyżej 3000 Hz obniży zrozumiałość spółgłoski "s" ze 100% do 40%, angielskiego "th" ze 100% do 81%. Powyższe wyniki pomiarów zostały uzyskane przy względnie dobrym stosunku sygnału do szumu, przy czym stwierdzono, że w gorszych warunkach obniżenie zrozumiałości, spowodowane obcięciem charakterystyki częstotliwościowej od góry, jest jeszcze większe.

Dzięki lepszemu wykorzystaniu charakterystyki selektywności odbiornika, system CSSB zwiększa obszar zadowalającego odbioru, a specjalnie jest korzystny dla słuchaczy znajdujących się w strefie granicznej o niepewnym odbiorze.

Z przedstawionej na rys. 1 ogólnej charakterystyki częstotliwościowej typowego, niedrogiego odbiornika wynika, że poziomowi - 3 dB odpowiada górna częstotliwość graniczna o wartości zaledwie 2,6 kHz. Badania laboratoryjne wykazały, że taki odbiornik użyty w systemie CSSB może być odstrojony o 2 lub 3 kHz i tym sposobem lepiej przenosić składniki /muzyki lub mowy/ o większej częstotliwości akustycznej.

Stwierdzono, że wielkość odstrojenia odbiornika zależy od wartości stosunków sygnału do szumu i sygnału do zakłóceń. Odbiornik będzie mniej odstrajany w lepszych warunkach pracy niż w gorszych. Jest szereg czynników, które składają się na dopuszczalne zwiększenie odstrojenia.

Wielkość odstrojenia, jak zwykle słuchacz toleruje, zależy od stopnia odczuwania powstających przy tym zniekształceń. W warunkach złego stosunku sygnału do szumu, szum zagłusza zniekształcenia i słuchacz w naturalnej dążności do bardziej intensywnego dźwięku i lepszego odbioru wysokich tonów odstraja się dalej od nośnej. Tym sposobem, dzięki lepszemu wykorzystaniu w systemie CSSB charakterystyki selektywności, słuchacz uzyskuje poprawę charakterystyki częstotliwościowej całego odbiornika, co ma szczególnie duże znaczenie wtedy, kiedy przy normalnym dostrojeniu szum zbliża się do poziomu słabych składników akustycznych o większych częstotliwościach. Dlatego, przeciętny słuchacz będzie sam, bez każdorazowego instruowania, odstrajał odbiornik bliżej lub dalej od nośnej zależnie od warunków odbioru, kierując się intensywnością i zrozumiałością treści dźwiękowej.

10. ZAKŁÓCENIA OD INNYCH NADAWAŃ W TYM SAMYM KANALE

Do rozpatrzenia zakłóceń, pochodzących od innych nadawców w tym samym kanale, użyty będzie najpierw, podobnie jak w rozdz. 9, odbiornik o idealnie prostokątnej charakterystyce selektywności. W przypadku pracy dwóch stacji radiofonicznych systemem CSSB na tej samej częstotliwości nośnej, lecz z przeciwnie położonymi wstęgami bocznymi, zakłócenia wzajemnego przesłuchu tych współkanałowych emisji przy użyciu idealnego odbiornika będą odpowiadać poziomowi drugiej wstęgi bocznej, promieniowanej przez stację przeciwną. Mianowicie, gdy na obu stacjach wartość stosunku właściwej wstęgi bocznej do drugiej wynosi 30 dB, wtedy przy jednakowym natężeniu pola obu stacji w miejscu odbiorczym tłumienność przesłuchu międzystacyjnego wyniesie również 30 dB. Jeżeli z różnic natężenia pola w miejscu odbioru powstaje dodatkowe tłumienie, wtedy tłumienność przesłuchu międzystacyjnego wyniesie 30 dB plus wartość, która wynika z różnic natężenia pola.

W przypadku gdy ten sam kanał zajmują emisje dwóch stacji, z których jedna pracuje systemem CSSB, a druga normalnym dwuwstęgowym AM, wtedy przy użyciu idealnego odbiornika tłumienność przesłuchu emisji AM w odbiorze CSSB wyniesie około 7 dB. To tłumienie przesłuchu wynika częściowo z zaporowej filtracji w odbiorniku jednej wstęgi bocznej zakłócającego przebiegu AM i częściowo z kwa-

draturowego powiązania składnika nośnego ze składnikami pozostałej wstęgi bocznej. Z podanej przyczyny głębokość modulacji AM, zakłócającego przebiegu AM, jest obniżona o nieco więcej niż 50%.

Słuchacze dwuwstęgowej emisji AM, przez dostrojenie się do jednej ze wstęg bocznych, mogą przy użyciu idealnego odbiornika obniżyć o 30 dB wartość zakłóceń wywołanych przez stację CSSB, lecz, na skutek takiego dostrojenia i odbioru tylko jednej wstęgi bocznej, oryginalna głębokość modulacji spada o 7 dB i jednocześnie powstają 11% zniekształcenia obwiedni. W rezultacie, słuchacze stacji AM zyskują na stosunku sygnału do zakłóceń 23 dB, ale tracą na wierności odtwarzania przez wprowadzenie dodatkowych zniekształceń. Oczywiście, życzący sobie mogą dostrojać odbiornik po dawnemu do nośnej, uzyskując wyniki podobne do tych, jakie mieli, gdy obie stacje pracowały normalnym, dwuwstęgowym systemem AM.

Jednak największe korzyści daje praca obu stacji systemem CSSB z emisją przeciwnie położonych wstęg bocznych. Gdyby dwie stacje CSSB wykorzystywały tę samą wstęgę boczną, to nie byłoby ani poprawy, ani też pogorszenia sytuacji zakłóceńowej. Oczywiście, inne korzyści, jakie daje system CSSB, pozostają tutaj w dalszym ciągu w mocy.

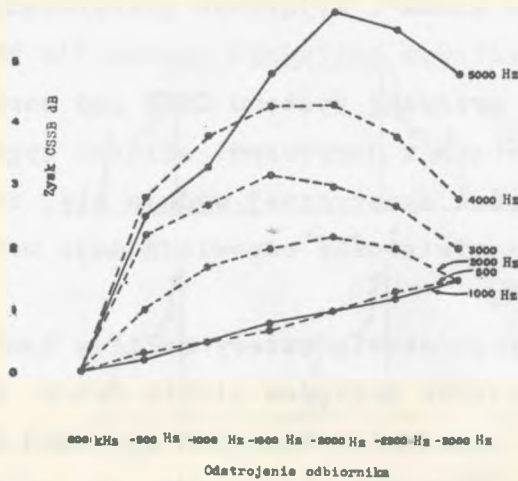
Charakterystyki selektywności zwykłych, domowych odbiorników, jak o tym była już mowa, są dalekie od idealnych. Chociaż, odbiorniki o doskonałej charakterystyce selektywności są w obecnym stanie techniki wykonalne i dałyby optymalne zabezpieczenie przeciwzakłóceńowe, to jednak w praktyce należy się liczyć z będącym dziś w po-

wszechnym użyciu zwykłym odbiornikiem radiofonicznym. Dlatego podczas analizy zakłóceń wywołanych przez inne emisje współkanałowe przeprowadzono z takim, niedrogim odbiornikiem próby laboratoryjne, które potwierdziły powyżej przytoczone wnioski. Rys. 12 i rys. 13 podają różne stany tych zakłóceń, gdy pożądana stacja nadaje CSSB lub gdy obie stacje pracują tym systemem. Z wykresów widać, że dla słabych składników dużych częstotliwości akustycznych można osiągnąć maksymalny zysk od 10 do 15 dB.

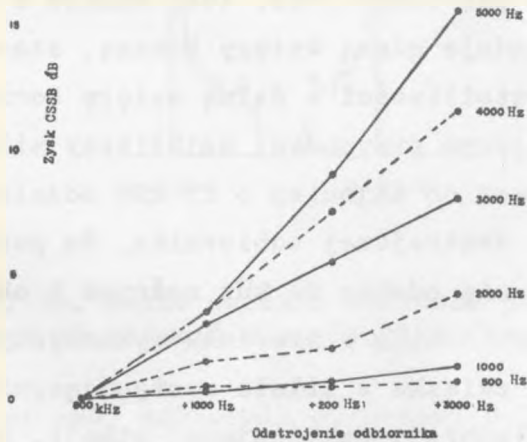
Dodatkową zaletą systemu CSSB jest jego mniejsza wrażliwość na zmianę fazy przebiegu nośnego, w szczególności przy mniejszych głębokościach modulacji. Spowodowane jest to brakiem drugiej wstęgi bocznej i tym, że dla dwuskładnikowego widma, jakie występuje przy płytkiej modulacji, faza przebiegu nośnego nie wpływa na charakterystykę obwiedni. Gdy częstotliwości przebiegów nośnych sygnału zakłócającego i odbieranego są do siebie zbliżone, wtedy powstaje kombinowana nośna o modulowanej fazie z małą częstotliwością dudnień między obu składnikami nośnymi. Ponieważ system CSSB jest mniej wrażliwy na różnice fazowe, powinien on być również mniej czuły na zniekształcenia wywołane tą formą zakłóceń.

11. ZAKŁÓCENIA WYWOŁANE NADAWANIAM W SĄSIEDNICH KANAŁACH

We wszystkich badaniach, z wyjątkiem inaczej zaznaczonych, przyjęto 10 kHz jako typowy odstęp między kanałami. Wszystkie pomiary zakłóceń powstałych od sąsiedniokanałowych emisji zostały wykonane uprzednio opisaną metodą



Rys. 12. Zmniejszenie zakłóceń, pochodzących od innych nadawców we wspólnym kanale dla systemu CSSB w zależności od sposobu dostrojenia odbiornika. Nadajnik zakłócający pracuje AM



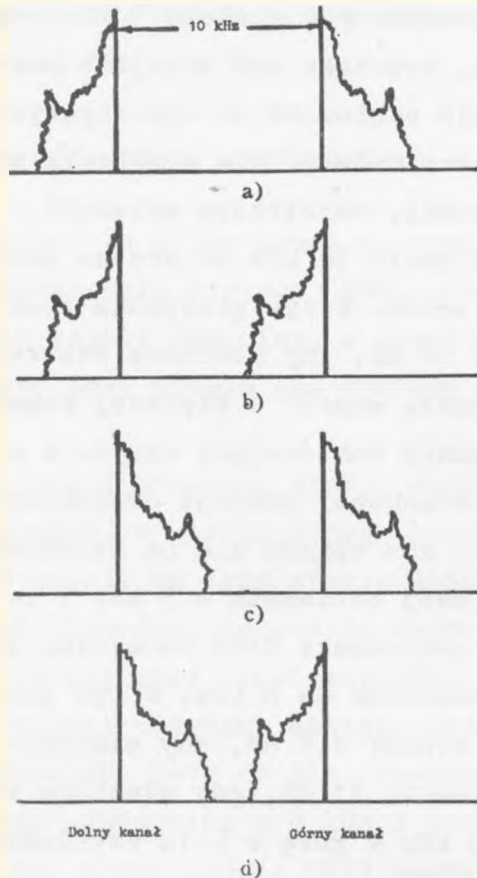
Rys. 13. Zmniejszenie zakłóceń, pochodzących od innych nadawców we wspólnym kanale dla systemu CSSB w zależności od sposobu dostrojenia odbiornika. Nadajnik zakłócający również pracuje CSSB

"kształtowanego szumu". Wyjątkowo przeprowadzone próby modulacji prawidłowym bezładnym szumem /do 20 kHz/ wykazały znaczną przewagę systemu CSSB nad normalnym AM, jednak przy próbach z dorywczymi silnymi sygnałami o dużej częstotliwości akustycznej wydaje się, że bardziej zbliżoną do rzeczywistości odpowiedź daje metoda "kształtowanego szumu".

Rysunek 14 przedstawia cztery możliwe kombinacje położenia wstępnych bocznym względem siebie dwóch radiostacji, pracujących na sąsiednich kanałach systemem CSSB. Wydaje się, że trzy pierwsze układy znacznie polepszają warunki przeciwwakłócieniowe. Czwarty układ natomiast nie zmienia w zasadniczy sposób tych warunków po przejściu z normalnego systemu AM na CSSB.

W układzie pierwszym /rys. 14a/ stacja o większej częstotliwości nadaje górną wstępną boczną, stacja zaś o mniejszej częstotliwości - dolną wstępną boczną. W tym najkorzystniejszym przypadku, najbliższy silny składnik zakłócający jest co najmniej o 13 kHz oddalony od środkowej pozycji dostrojonej odbiornika. Na powyższą cyfrę 13 kHz składa się odstęp 10 kHz nośnych i około 3 kHz odstrojenie odbiornika w kierunku wykorzystywanej wstęgi bocznej, w związku z silnie występującymi składnikami emisji sąsiedniej, zakłócającej stacji. Osiągnięty w tych warunkach zysk, w stosunku do dwuwstępowej modulacji AM, wynosi 17 dB.

Rysunek 14b przedstawia układ wstępnych bocznym dwóch sąsiedniokanałowych stacji CSSB, nadających dolną wstępną. W tym przypadku słuchacz stacji mniejszej częstotli-



Rys. 14. Różne warunki zakłóceń pochodzących od nadawania w sąsiednich kanałach

wości odstroji swój odbiornik od nośnej o 3 kHz w dół. Z tego wynika, że najbliższy składnik zakłócający znajduje się w odstępnie około 5 kHz od środka pasma przenieszonego przez odbiornik. Osiągnięty w tych warunkach zysk wynosi nieco więcej niż 11 dB.

W następnym z kolei układzie /rys. 14c/ wstęgi górne są nadawane przez obie stacje. W tym przypadku, słu-

chacz stacji o większej częstotliwości dostraja swój odbiornik do częstotliwości o około 3 kHz większej od odbieranej nośnej, słuchacz zaś stacji o mniejszej częstotliwości dostraja odbiornik do wykorzystywanej przez siebie częstotliwości nośnej. Dla słuchacza stacji o mniejszej częstotliwości, najbliższy składnik zakłócający jest oddalony o około 10 kHz od środka pasma przenoszonego przez odbiornik. W tym przypadku zysk w stosunku do AM wynosi około 10 dB, gdy słuchacz dostraja się do nośnej. Dla słuchacza stacji o większej częstotliwości, najbliższy składnik zakłócający znajduje się w odstępnie około 5 kHz od środkowej pozycji dostrojonej odbiornika. Uzyskana cyfra 5 kHz opiera się na założeniu, że słuchacz dostraja swój odbiornik o 3 kHz i że kwarcowy filtr wstęgi bocznej przystawki CSSB nadajnika ogranicza emisję silnych składników do 8 kHz. W tym przypadku zysk w stosunku do AM wynosi 1,5 dB, gdy słuchacz dostraja się do nośnej i przeszło 11 dB, gdy słuchacz stosuje metodę odstrajania o 3 kHz w górę w celu uzyskania optymalnych warunków odbioru.

W układzie czwartym /rys. 14d/ stacja o większej częstotliwości nadaje dolne pasmo, stacja zaś mniejszej częstotliwości - górne pasmo. Taki układ wstęp obu stacji jest najmniej korzystny i słuchacze poszczególnych stacji powinni dostrajać swe odbiorniki do wykorzystywanej nośnej w celu uzyskania najlepszego odbioru w okolicach, w których występują wzajemne zakłócenia. W tym przypadku jedyną przewagą systemu CSSB jest to, że składniki o większej częstotliwości są ograniczone do 8 kHz,

podczas gdy obecnie nie mają one ograniczenia. Biorąc ten czynnik pod uwagę uzyskuje się nieznaczną korzyść wynoszącą około 1 dB.

12. ROWNOLEGŁA PRACA SYSTEMU CSSB I NORMALNEGO AM

Jest oczywiste, że gdyby nawet wszystkie kraje zgodziły się na stosowanie systemu CSSB, przejście do tej formy nadawania zajmie parę lat, w czasie którym będą musiały pracować obok siebie oba systemy CSSB i normalny AM.

Rozpatrując pracę mieszaną stacji sąsiednich najpierw dla przypadku, w którym wstęga boczna stacji CSSB jest z dala od emisji AM /gdy stacja CSSB pracuje na mniejszej częstotliwości, to nadaje dolną wstęgę boczną, a gdy pracuje na większej częstotliwości, to nadaje górną wstęgę boczną/ uzyskano następujące wartości zysku w stosunku do AM: 7-10 dB dla słuchacza stacji CSSB, przy odstrojeniu odbiornika o 3 kHz i 10-12 dB dla słuchacza stacji AM. Gdyby stacja CSSB nadawała bliższą wstęgę boczną do emisji AM, wtedy słuchacz stacji CSSB dostraja się do nośnej i nic nie polepsza ani też pogarsza swej sytuacji zakłóceńowej. Również słuchacz stacji AM w tym układzie wstęg bocznych nie odczuje zmiany systemu. Dzieje się to dlatego, że traci on około 6 dB w związku ze zwiększonym poziomem wstęgi bocznej sygnału CSSB, lecz jednocześnie zyskuje tyle dzięki ograniczeniu składników bocznych tej emisji do odstępu większego niż 2 kHz od częstotliwości nośnej odbierane-

go sygnału AM. Przeprowadzone pomiary dla tego przypadku wykazały w rzeczywistości nieznaczną przewagę systemu CSSB /zysk od 1 do 4 dB przy 10 kHz odstępie przebiegów nośnych omawianych stacji/.

13. BLIŻSZE ROZPATRZENIE NAJMNIJ DOGODNYCH WARUNKÓW ZAKŁÓCEŃ W EKSPLOATACJI SYSTEMU CSSB

Każda propozycja, dotycząca stosowania nowego systemu radiokomunikacyjnego powinna wziąć szczególnie pod uwagę najmniej dogodne warunki, jakie stwarza praca wprowadzanego systemu. Oznacza to rozpatrzenie układu, w którym składniki wstęgi bocznej CSSB są najbliższej położone częstotliwości sygnału odbieranego. Okazuje się, że nawet w tych warunkach wystąpi nieznaczące zmniejszenie wzajemnych zakłóceń w stosunku do wywoływanych przez obecnie stosowany normalny system AM.

Wymagania na sprzęt CSSB ograniczają widmo do 8 kHz. To ograniczenie zostało podyktowane potrzebą zmniejszenia wzajemnych zakłóceń w tym najgorszym przypadku, gdyż z dokładnej analizy widma CSSB wynikało ich pewne zwiększenie bez stosowania filtra 8 kHz. Tym też należy tłumaczyć nieznaczący zysk od 1 do 4 dB, jaki uzyskano praktycznie w warunkach najmniej korzystnych.

Oczywiście jest to najmniej korzystne położenie wstęgi bocznej CSSB, gdyż inne układy z większym odstępem częstotliwościowym od sygnału odbieranego dają znacznie lepsze rezultaty. W praktyce mogą jednak występować sporadycznie takie najmniej korzystne przypadki, w związku

z czym powstała konieczność ograniczenia w sprzęcie CSSB widma wielkiej częstotliwości.

14. ZMNIEJSZENIE ZAKŁÓCEŃ WYWOŁYWANYCH PRZEZ ODBIORNIKI TELEWIZYJNE

Jednym z poważniejszych źródeł zakłóceń w odbiorze radiofonicznym są słabo ekranowane odbiorniki telewizyjne. Mianowicie, większość wzmacniaczy poziomego odchylenia promieniuje znaczne widmo harmoniczných częstotliwości, które rozciąga się poprzez cały radiofoniczny zakres średniofalowy, a nawet sięga fal krótkich. To daje efekt podobny do uruchomienia 68 dodatkowych, średniofalowych nadajników radiofonicznych o dużej mocy.

W 1958 roku została rozesłana ankieta przez badawcze laboratorium Kahna do około 1500 osobników w Nowym Yorku i okolicy. Adresy wybrano na chybił trafił z różnych książek telefonicznych. Dziesięciu odpowiedziało, że nie posiadają odbiorników radiowych, 205 uznało, że zakłócenia telewizyjne nie przeszkadzają, 211 zaś stwierdziło, że przeszkadzają w odbiorze radiofonicznym. Z powyższego wynika, że przeszło 50% tych, którzy odpowiedzieli na ankietę ma skażony odbiór radiofonii przez odbiorniki telewizyjne. Ważność tego problemu została potwierdzona w dyskusji z licznymi specjalistami radiowymi ze Stanów Zjednoczonych i Kanady. Jednym ze sposobów zaradczych jest oczywiście lepsze ekranowanie odbiorników telewizyjnych, lecz niestety, takie rozwiązanie prowadzi do ich podrożenia. Ponadto trudno oczekiwać, aby odbiorniki te-

lewizyjne, będące już w eksploatacji mogły być odpowiednio przerobione.

System CSSB natomiast daje rozwiązanie tego problemu dla wielu kanałów radiofonicznych. Przede wszystkim już sam fakt, że w systemie CSSB poziom składników o większej częstotliwości wybranego sygnału jest podwyższony daje poprawę stosunku sygnału do zakłóceń. Ponadto wybór wstęgi bocznej z dala od składnika zakłócającego może dać znaczną poprawę w odbiorze.

W celu potwierdzenia tych teoretycznych wniosków przeprowadzono szereg doświadczeń z przeciętnym odbiornikiem, dostrojonym na optimum odbioru CSSB, przy czym dla uniknięcia zakłóceń stacja CSSB nadawała odpowiednią wstęgę boczną.

Zbadano różnice, możliwe warianty odstępu składnika zakłócającego, zmieniając za każdym razem dostrojenie odbiornika. Osiągnięty zysk był znaczny, gdyż dochodził do 16 dB dla dużego dostrojenia i sporego odstępu składnika zakłócającego.

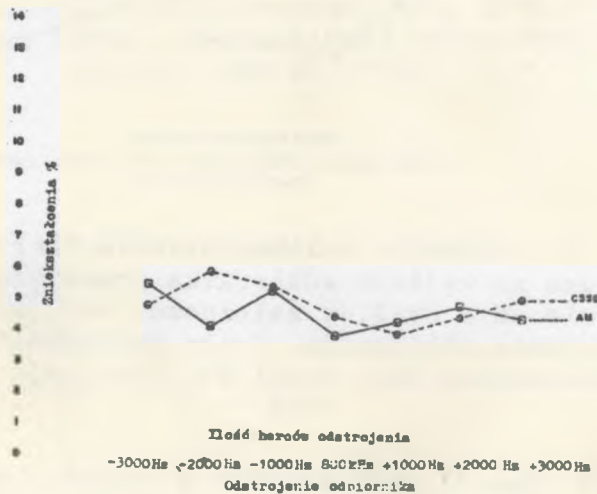
15. ZMNIEJSZENIE NIEKÓRYCH ZNIEKSZTAŁCENÍ WYWOŁYWANYCH PRZEZ ZANIKI

Była już o tym mowa, że system CSSB jest nieczuły na zmianę fazy nośnej przy płytkiej modulacji, w związku z czym można się spodziewać, że będzie on dawał mniejsze zniekształcenia przy zanikach. Wykonane w laboratorium badania nie dały jednak na to decydującej odpowiedzi. Kwestia ta będzie mogła być wyjaśniona dopiero po dłuż-

szych próbach, przeprowadzonych w rzeczywistych warunkach propagacyjnych.

16. POMIARY WPLYWU Odstrojenia odbiornika W SYSTEMIE CSSB

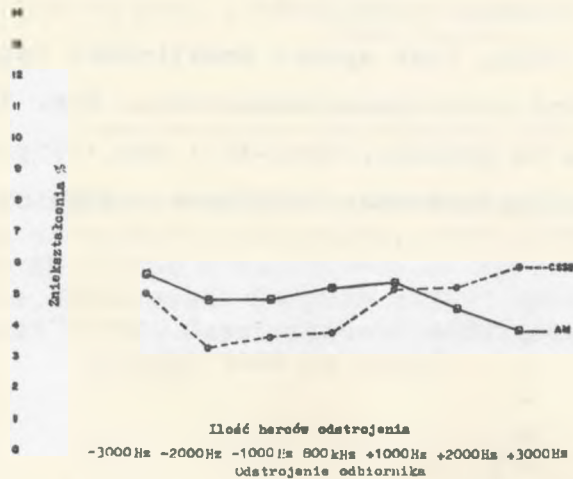
Jedną z głównych wątpliwości, jaką należy wyjaśnić przy ocenie CSSB, jest sprawa wrażliwości tego systemu na niedokładne dostrojenie odbiornika. Rys. 15-19 dają odpowiedź na to pytanie. Rys. 15 i rys. 17 przedstawiają pełne zniekształcenia nieliniowe całego systemu zdję-



Rys. 15. Całkowite zniekształcenia nieliniowe mierzone na wyjściu odbiornika pracującego w systemie AM i CSSB, w zależności od sposobu dostrojenia odbiornika. Próby przeprowadzono z odbiornikiem RCA, Model X1. Modulacja 1000 Hz /95%/

te dla dwóch typowych odbiorników przy 95% głębokości modulacji częstotliwością 1000 Hz nadajników CSSB i AM.

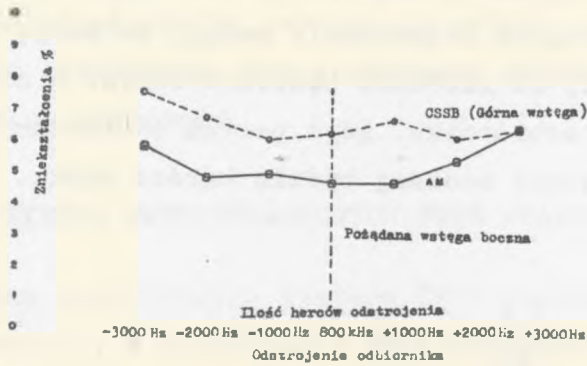
Rys. 16 przedstawia podobny wykres dla pierwszego typu odbiornika, lecz przy modulacji nadajników częstotliwością 3 kHz, zamiast 1000 Hz. We wszystkich przypadkach nadawana była w CSSB górna wstęga boczna.



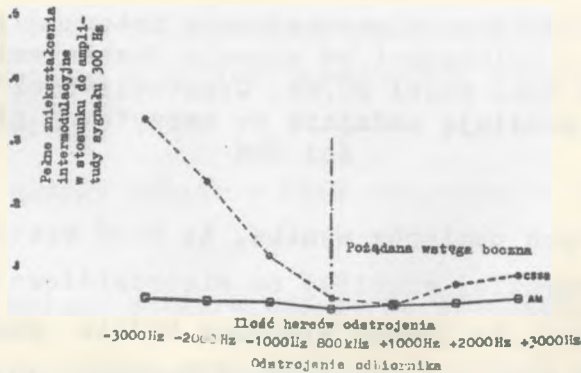
Rys. 16. Całkowite zniekształcenia nieliniowe mierzone na wyjściu odbiornika pracującego w systemie AM i CSSB, w zależności od sposobu dostrojenia odbiornika. Próby przeprowadzone z odbiornikiem RCA, Model X1. Modulacja 3000 Hz
/95%/

Rysunki 18 i 19 dają pojęcie o wartości występujących zniekształceń intermodulacyjnych. Do prób użyty został sygnał zawierający składniki 300 Hz i 3000 Hz, przy czym poziom tego ostatniego składnika wyniósł jedną czwartą poziomu składnika 300 Hz. Szczytowa głębokość modulacji dla tej próby wynosiła 85%.

Powyższe badania wykazały, że przy znacznych nawet odstrojeniach odbiornika w systemie CSSB zniekształcenia

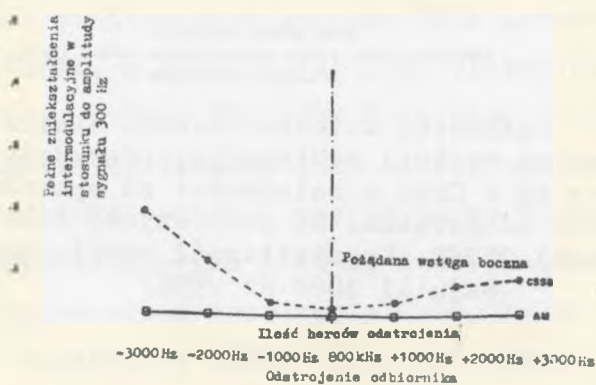


Rys. 17. Całkowite zniekształcenia nieliniowe, mierzone na wyjściu odbiornika, pracującego w systemie AM i CSSB w zależności od sposobu dostrojenia odbiornika. Do prób użyto odbiornik RCA, Model 9C7EE. Częstotliwość modulująca nadajniki 1000 Hz /95%/



Rys. 18. Ogólne zniekształcenia intermodulacyjne systemu w zależności od sposobu dostrojenia odbiornika RCA, Model X1. Częstotliwości 300 i 3000 Hz modulują nadajnik do szczytowej głębokości 85%

nieliniowe są niewielkie, jednak zniekształcenia intermodulacyjne szybko rosną wraz z dostrajaniem się słuchacza do drugiej /tłumionej/ wstęgi bocznej. Należy jednak zauważyć, że słuchacz będzie wiedział o niewłaściwym dostrojeniu odbiornika, gdyż poziom odbieranej audycji z tłumionej wstęgi bocznej będzie bardzo niski.



Rys. 19. Ogólne zniekształcenia intermodulacyjne systemu w zależności od sposobu dostrojenia odbiornika RCA. Model 9C7EE. Częstotliwości 300 i 3000 Hz moduluje nadajnik do szczytowej głębokości 85%

Z powyższych pomiarów wynika, że choć system CSSB jest stosunkowo bardziej wrażliwy na nieprawidłowe dostrojenie odbiornika, to jednak słuchacz będzie dostatecznie dobrze zorientowany w prawidłowym dostrojeniu na podstawie siły odbioru.

Właściwym jednak sprawdzianem systemu jest możliwość zmniejszenia zakłóceń od sąsiednich lub współkanałowych nadawań, jak również od wynikających z sąsiedztwa odbior-

ników telewizyjnych. Dzięki elastyczności dostrojenia odbiornika do stacji CSSB system ten umożliwia zmniejszenie tych zakłóceń. Wobec powyższego, wydaje się, że wpływ odstrojenia odbiornika jest z nawiązką skompensowany zmniejszeniem zakłóceń.

17. WYNIKI PRZEPROWADZONYCH PRÓB PRAKTYCZNYCH

W próbach praktycznych systemu CSSB uczestniczyło szereg radiostacji, a mianowicie: KDKA Pittsburgh, WGBB Freeport, Long Island NY, WMGM Nowy York, WABC Nowy York i WSM - Nashville. Ponadto jest szereg radiostacji rządowych Ameryki Północnej i stacji zagranicznych w Europie, Południowej Ameryce i Azji, jak również w Kanadzie, które są wyposażone w urządzenia CSSB. Jedna tylko z radiostacji, mianowicie WGBB z Freeport o mocy 250 watów /jedyna o małej mocy uczestnicząca w próbach/ rozpisała ankietę na temat zwiększonego poziomu i lepszego odtwarzania. Uzyskane z ankiety wiadomości przedstawiają się następująco:

- a/ polepszony odbiór z CSSB stwierdziło 118 słuchaczy,
- b/ bez zmiany odbioru podało 26 słuchaczy,
- c/ gorszy odbiór przy CSSB zanotowało 7 słuchaczy.

Niektórzy ze 118 pozytywnie wypowiadających się słuchaczy określilo odbiór jako lepszy niż kiedykolwiek lub bardzo głośny i wyraźny lub też stwierdziło, że udało im się wyeliminować zakłócenia stacji Brooklyn i mają

teraz odbiór głośny i wyraźny na swych starych odbiornikach.

W większości doświadczalnych stacji radiofonicznych, sprzęt CSSB uzyskał średnio około 30 dB tłumienności drugiej wstęgi bocznej. Powyższa wartość dla stacji dużych mocy /wiele stacji pracowało z mocą 200 kW mocy szczytowej/ jest porównywalna dodatnio z uzyskiwanymi przy zwykłych systemach jednowstęgowych. Szereg różnych typów nadajników było wykorzystywanych do prób, jak systemu Doherty, modulacji zwykłej anodowej i siatkowej. W większości radiostacji sprzęt CSSB pracował bez żadnej regulacji. w ciągu 3-miesięcznej próbnej eksploatacji i w tym czasie nigdy nie był przekraczany 30 dB poziom tłumienności drugiej wstęgi bocznej.

Próby określające przydatność systemu CSSB do komunikacji lotniczej zostały przeprowadzone przez Aeronautical Radio Inc, współdziałowców linii lotniczych. Próby te, które trwały około 3 miesięcy, wykazały przydatność systemu CSSB na równi z innymi jednowstęgowymi w łączności ziemia-samolot i samolot-ziemia.

18. ZESTAWIENIE ZALET SYSTEMU CSSB

Zalety systemu CSSB w stosunku do zwykłego systemu AM w radiofonii mogą być ujęte następująco:

1. Lepszy stosunek sygnału do szumu dla danej wierności odtwarzania. Zysk ten wynika z szerokości pasma odbiornika, która w systemie CSSB może być o połowę mniejsza niż w systemie AM. Dlatego biały szum zostaje zmniejsz-

szony o 3 dB, a szum impulsowy o 6 dB. Wydaje się, że zwykły odbiornik radiofoniczny z punktu widzenia ekonomii i zabezpieczeń zakłóceń jest lepiej w praktyce przystosowany do systemu CSSB niż AM.

2. Lepsza wierność odtwarzania, w związku z uprzednio przytoczonym wywodem, że pasmo częstotliwości przenoszona przez odbiornik jest zbyt wąskie dla systemu AM, gdy tymczasem w systemie CSSB może ono być wykorzystane właściwiej; do przenoszenia składników o większych częstotliwościach.

3. Zmniejszenie zakłóceń pochodzących od innych nadawców we wspólnym i sąsiednich kanałach:

- a/ dla słuchaczy programów nadawanych systemem CSSB,
- b/ dla słuchaczy programów stacji, którzy poprzednio odczuwali zakłócenia wywoływane przez inną stację, obecnie pracującą systemem CSSB.

4. Umożliwienie zmniejszenia zakłóceń wywoływanych przez niedostatecznie ekranowane odbiorniki telewizyjne, dzięki temu, że w wielu przypadkach radiofoniczna stacja nadawcza może korzystać z odpowiedniejszej wstęgi bocznej, mniej narażonej na zakłócenia.

Zalety systemu CSSB w służbie radiokomunikacyjnej są takie same, jakie zostały podane dla służby radiofonicznej, a ponadto:

5. W porównaniu ze zwykłym systemem jednowstęgowym, system CSSB podobnie jak typowy AM, dzięki nadawaniu przebiegu nośnego, nie jest czuły na efekt Dopplera.

6. Do pracy CSSB nadają się istniejące odbiorniki, jak również typy, które są na ogół tańsze od specjalnych odbiorników, używanych w zwykłym systemie jednowstęgowym.

7. W CSSB mogą być w pełni wykorzystane zalety obcinaczy szczytów mowy, które dają od 6 do 9 dB zysku i jednocześnie pozwalają na mniejszy dogład sprzętu podczas eksploatacji. Powyższe nie może być zastosowane w zwykłej modulacji jednowstęgowej.

W porównaniu ze zwykłą modulacją jednowstęgową system CSSB jest jednak bardziej wrażliwy na zaniki selektywne. Przewiduje się, że CSSB poza radiofonią AM może znaleźć zastosowanie w radiotelefonicznych służbach ruchomych oraz w innej łączności fonicznej, gdzie koszty i prostota sprzętu są decydującymi czynnikami.

19. WNIOSKI

Pasma częstotliwości zajmowane przez system CSSB nie różni się w istocie od tego, jakie wykorzystuje zwykła modulacja jednowstęgowa, gdyż występujące w mowie i muzyce składniki mają tylko na małych częstotliwościach wystarczającą amplitudę do tworzenia w systemie CSSB znacznych składników drugiego rzędu.

CSSB znacznie obniża zakłócenia pochodzące od innych nadawań we wspólnym i sąsiednich kanałach, ponieważ ten nowy typ modulacji zajmuje tylko około połowy tej szerokości pasma częstotliwości, jaką wymaga zwykła modulacja AM. Opisana została metoda tworzenia przebiegu CSSB i przedstawiony odpowiedni sprzęt, za pomocą którego

istniejący, zwykły nadajnik AM może skutecznie pracować tym nowym systemem. Przeprowadzone pomiary wskazują na to, że większość teoretycznie uzasadnionych zalet systemu CSSB sprawdza się w praktyce.

