

1 9 6 8

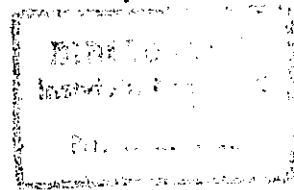
Nr 31

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PROBLEMY
ŁĄCZNOŚCI



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI



PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 8

WARSZAWA 1968

NR 31

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

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

Członkowie:

mgr inż. Władysław Adaszewski, inż. Edmund Janowski,
prof. Stefan Jasiński, dr Stanisław Włoszczowski,
mgr inż. Adam Moniuszko, mgr inż. Józef Mozejko,
mgr Zofia Życińska

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 500. Druk ukończono
w grudniu 1968 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

SPIS TREŚCI

Str.

R. Zienkiewicz - Pomiary linii radiowych
i kablowych metodą białego szumu

1



Ryszard Zienkiewicz

POMIARY LINII RADIOWYCH I KABLOWYCH
METODĄ BIAŁEGO SZUMU

1. WSTĘP. ZASADA POMIARU

Rozwój łączności jest nierozzerwalnie związany ze zwiększeniem krotności przesyłanych sygnałów zbiorczych. Wprowadzenie nowych systemów o dużych krotnościach powoduje szereg nowych, nieznanych dotąd trudności. Urządzenia stają się coraz bardziej skomplikowane, a stawiane im wymagania coraz ostrzejsze i bardziej różnorodne.

Jednym z podstawowych parametrów każdego łącza jest stosunek sygnału do szumu. Pomiar tego stosunku w pasmie naturalnym nie następuje trudności i wykonywany jest przeważnie jako dwa pomiary niezależne, tj. pomiar poziomu sygnału i poziomu szumu. Na wyjściu urządzenia przesyłającego sygnały wielokrotne stosunek sygnału do szumu, zmierzony w sposób klasyczny, nie będzie odpowiadał wartości rzeczywistej, występującej przy eksploatacji tego urządzenia. W czasie eksploatacji stosunek sygnału do szumu będzie zawsze gorszy. Mianowicie przy przesyłaniu sygnału wielokrotnego, wskutek różnych zniekształceń, moc szumu w danym kanale będzie zależna od poziomów sygnałów w innych kanałach przesyłanych wspólnie przez to samo urządzenie wielokrotne. W szczególności, w powszechnie stosowanych telefonicznych urządze-

niach wielokrotnych z przesuwem częstotliwości, na skutek zniekształceń nieliniowych powstaną sygnały o częstotliwościach harmonicznych i kombinowanych, leżące w pasmach innych kanałów niż powodujące je sygnały pierwotne. Ze względu na związane z tym zjawiskiem przemiany częstotliwości i równoczesne występowanie zniekształceń nieliniowych różnych rzędów zakłócenia te na wyjściu urządzenia w pasmie naturalnym danego kanału będą zauważalne jako szum.

W rezultacie poziom szumu na wyjściu danego kanału jest zależny od występowania innych kanałów. Stąd wynika, że prawidłowy pomiar stosunku sygnału do szumu musi uwzględniać zjawisko obecności sygnałów w innych kanałach wspólnego systemu transmisyjnego. Jednak często istnieje potrzeba zmierzenia stosunku sygnału do szumu w urządzeniu nie wyposażonym w krotnice /urządzenia zwielokrotniające/, a przewidzianym do przesyłania sygnału wielokrotnego, jak np. we wzmacniaku czy nawet całej linii radiowej lub przewodowej. W takich przypadkach dotychczas wykonywano szereg pomiarów pośrednich mierząc stosunek sygnału do szumu bez obciążenia i niezależnie różne rodzaje zniekształceń nieliniowych. Pomiary takie są skomplikowane, nie odzwierciedlają warunków rzeczywistych, a wyniki ich muszą być jeszcze przeliczane.

Sz szczególnie duże trudności występowały przy pomiarach linii radiowych o modulacji częstotliwości, ponieważ zniekształcenia nieliniowe sygnału wielokrotnego mogą pojawiać się na wyjściu takich linii wskutek wielu różnych zjawisk /jak np. zniekształceń fazowych lub od-

bicia energii o zmodulowanej częstotliwości/ wpływających w różny sposób na poszczególne składowe transmitowanego sygnału, mające różne częstotliwości.

Z tego powodu, specjalnie w zastosowaniu do techniki linii radiowych opracowano nową metodę pomiaru, odzwierciedlającą w przybliżeniu warunki rzeczywiste i dającą wyniki bezpośrednie. Jest to tzw. metoda szumu białego. Zgodnie z tą metodą sygnał wielokrotny zastąpiony jest sygnałem o widmie ciągłym i o takiej samej szerokości pasma, czyli zastąpiony jest wycinkiem pasma szumu białego. W takim sygnale zastępczym, przed doprowadzeniem go do urządzenia badanego, część widma o pasmie szerokości kilku kHz zostaje wycięta za pomocą odpowiedniego zaporowego filtra nadawczego /rys. 1 wkładka po str. 70/.

Wyjście urządzenia badanego jest połączone ze specjalnym miernikiem, który mierzy poziom w wąskim pasmie wyciętym przez filtr nadawczy. Przeważnie wykonywane są dwa pomiary: jeden przy załączonym filtrze nadawczym i drugi przy wyłączonym filtrze. Te dwa pomiary odpowiadają pomiarowi szumu i pomiarowi poziomu sygnału. Różnica tych poziomów, określona za pomocą tłumika wbudowanego do miernika szumu pozwala określić stosunek sygnału do szumu i to niezależnie od szerokości pasma wykorzystywanego miernika szumu. Ponieważ w czasie pomiaru do wejścia urządzenia badanego jest doprowadzone widmo ciągłe, więc metoda ta automatycznie uwzględnia wszystkie możliwe sposoby powstawania szumu dodatkowego /niezależnie od rodzaju zniekształceń wywołujących ten

szum dodatkowy/ i nadaje się dobrze do pomiarów różnych urządzeń, w których sygnał wielokrotny jest przekształcany, a więc nadaje się dobrze do pomiarów urządzeń linii radiowych.

Ze względu na wspomniane zalety opisana powyżej metoda pomiaru została już w 1956 r. zalecona przez CCIR do pomiarów linii radiowych przesyłających sygnały wielokrotne z podziałem częstotliwości, tj. do pomiarów linii radiowych o modulacji częstotliwości. W następnych latach w związku z rozwojem techniki urządzeń i budową linii radiowych o coraz większych krotnościach, zalecenie CCIR określające parametry metody białego szumu było stale uzupełniane /przy czym równocześnie był zmieniany numer tego zalecenia/ tak, że w rezultacie przyjęte w 1963 r. na X Zebraniu Plenarnym CCIR zalecenie nr 399 obejmowało już podstawowe parametry dotyczące omawianej metody, jak: poziomy i pasma wykorzystywanych sygnałów, częstotliwości środkowe kanałów pomiarowych, charakterystyki filtrów itp. dla przypadków pomiarów linii radiowych o różnych krotnościach od 60 do 2700.

Zalety metody szumu białego spowodowały zainteresowanie tą metodą i nawet wykorzystywanie jej również do pomiarów linii przewodowych. W związku z tym powstało dążenie do takiego międzynarodowego ujednoczenia omawianej metody, aby te same przyrządy pomiarowe mogły być wykorzystywane do pomiarów linii radiowych i kablowych i, aby po obu stronach mierzonej linii mogły być wykorzystywane przyrządy pomiarowe różnych firm, a równocześnie była zapewniona wymagana przez CCITT dokład-

ność pomiarów ± 1 dB. Tak sformułowane zagadnienie stało się podstawą prac Mieszanej Komisji Specjalnej C /Szumy/ - działającej w ramach CCITT - CCIR. Prace Komisji Specjalnej C chociaż jeszcze nie zostały całkowicie zakończone, doprowadziły już do uchwalenia na XI Zebraniu Plenarnym CCIR w 1966 r. w Oslo nowego, znacznie zmodyfikowanego tekstu Zalecenia nr 399 /oznaczonego jako zalecenie nr 399-1/ oraz doprowadziły do tego, że na najbliższym IV Zebraniu Plenarnym CCITT, które odbędzie się w 1968 r., zapewne będzie przyjęty nowy tekst zalecenia nr G 228 /Niebieska Księga tom III/, w którym będzie stwierdzone, że aparatura pomiarowa odpowiadająca zaleceniu CCIR nr 399-1 przy wykorzystaniu jej do pomiarów systemów kablowych może zapewniać całkowitą dokładność pomiaru ± 1 dB /załącznik 1 i 2/.

Należy zwrócić uwagę, że w przypadku pomiarów linii radiowych lub kablowych przystosowanych do przesyłania sygnałów o krotności mniejszej od 60 /np. 12 lub 24/ zastosowanie metody białego szumu może dawać pewne dodatkowe błędy omówione w rozdz. 4 niniejszej pracy. Z tego powodu określone wyżej zalecenia CCIR i CCITT nie przewidują stosowania metody białego szumu do pomiarów linii przystosowanych do przesyłania sygnałów o krotności mniejszej od 60, choć praktycznie omawiana metoda jest również stosowana w tych przypadkach, a szczególnie do pomiarów linii radiowych.

2. SPOSÓB WYKONYWANIA POMIARÓW I OBLICZANIA MOCY SZUMU W KANAŁE TELEFONICZNYM

2.1. Sposób wykonywania pomiarów

2.1.1. Zestawy przyrządów pomiarowych

Zgodnie z zasadą pomiaru opisaną powyżej w rozdz. 1, każdy zestaw przyrządów do pomiarów metodą białego szumu składa się z dwóch podstawowych części: nadawczej i odbiorczej /rys. 1/.

Część nadawcza zestawu zawiera generator sygnału o jednorodnym widmie ciągłym /generator szumu/ i pewną liczbę filtrów środkowozaporowych /filtrów nadawczych/ o częstotliwościach środkowych odpowiadających częstotliwościom kanałów pomiarowych. Pasma szumu wytwarzanego w generatorze powinno być ograniczone, a jego częstotliwości graniczne powinny odpowiadać częstotliwościom granicznym pasma zajętego przez kanały telefoniczne. Charakterystyki filtrów ograniczających pasmo sygnału z generatora, powinny odpowiadać ściśle określonym wymaganiom /pkt. 3.1. i 3.2. w tekście zalecenia CCIR nr 399-1 podanym w załączniku 1/. Poziom sygnału z generatora powinien być również ściśle określony, przy czym jego wartość powinna być zgodna z wartością określoną niżej w rozdz. 2.1.2. Filtry środkowozaporowe powinny skutecznie tłumić wszystkie przebiegi o częstotliwościach zawartych w pasmie zaporowym filtru o szerokości około 3 kHz, natomiast nie powinny zauważalnie tłumić przebie-

gów o innych częstotliwościach zawartych w całym pasmie sygnału z generatora. Częstotliwości środkowe i charakterystyki filtrów środkowozaporowych są określone w tabl. 3 oraz w pkt. 4 i 5 Zalecenia CCIR nr 399-1 /Załącznik 1/.

Część odbiorczą zestawu stanowi selektywny miernik poziomu. Ze względu na wymaganą dużą selektywność, której nie zapewniają zwykle przestrajane mierniki poziomu, w skład zestawów pomiarowych wchodzi specjalne mierniki wyposażone w odpowiednią liczbę wymienianych /przełączanych/ filtrów środkowoprzepustowych, z których każdy odpowiada jednemu środkowozaporowemu filtrowi nadawczemu.

Większość produkowanych zestawów pomiarowych jest przystosowana do pomiaru urządzeń posiadających wejścia i wyjścia niesymetryczne /z reguły 75Ω /. W związku z tym, w przypadku pomiaru linii symetrycznych lub mających wejścia i wyjścia symetryczne jest konieczne stosowanie odpowiednich transformatorów symetryzujących, przy czym należy zwrócić uwagę, aby zniekształcenia wnoszone przez te transformatory, a szczególnie zniekształcenia nieliniowe były wystarczająco małe.

2.1.2. Ustawienie poziomu generatora szumu

Moc szumu doprowadzona do wejścia urządzenia badanego zależy od krotności sygnału przenoszonego przez urządzenie badane i od nominalnego poziomu w punkcie, do którego jest dołączony generator szumu /poprzez filtry nadawcze/.

Jeżeli założyć, że generator jest dołączony w punkcie o poziomie zerowym, to bezwzględny poziom mocy szumu z generatora dla danej krotności: $10 \lg \bar{P}/n/$ może być określony na podstawie zależności podanych w zaleceniu CCITT nr G 223 /Niebieska Księga tom III/:

$$10 \lg \bar{P}/n/ = -15 + 10 \lg n \quad /dBm_0/ \text{ dla } n \geq 240$$

$$10 \lg \bar{P}/n/ = -1 + 4 \lg n \quad /dBm_0/ \text{ dla } 12 \leq n < 240$$

gdzie n jest liczbą kanałów telefonicznych badanego systemu. Poziomy otrzymane z powyższych zależności są nazywane konwencjonalnymi poziomami obciążenia.

Jeżeli poziom nominalny na wejściu urządzenia badanego jest różny od zerowego, to poziom szumu z generatora musi być odpowiednio zmieniony. Np. w przypadku doprowadzenia sygnału do punktu systemu odpowiadającego punktowi połączenia T', określone w zaleceniu CCIR nr 280 /Genewa 1963/, bezwzględne poziomy mocy sygnału obciążającego są podane w kolumnie 4 tabl. 1 Zalecenia CCIR nr 399-1 /Załącznik 1/. Podobnie w przypadku krotności 60 i nominalnym poziomie wejściowym -45 dBr, do wejścia urządzenia badanego należy doprowadzić szum z generatora o poziomie bezwzględnym.:

$$10 \lg P = +6,1 \text{ dBm}_0 - 45 \text{ dBr} = -38,9 \text{ dBm}$$

Należy zaznaczyć, że w niektórych wymaganiach dotyczących określonego rodzaju urządzeń, np. w wymaganiach RWPG są określone inne poziomy sygnału obciążającego, tym samym w przypadku pomiarów takich urządzeń poziom sygnału z generatora powinien być odpowiednio zmieniony.

Włączenie filtrów środkowozaporowych pomiędzy wyjściem generatora a wejściem urządzenia badanego na ogół nie zmniejsza mocy szumu w sposób zauważalny, gdyż filtry tłumią stosunkowo wąskie pasma. Przy pomiarach urządzeń o małej krotkości, gdy wpływ ten jest bardziej zauważalny, można go uwzględnić dla niektórych przypadków określonych dalej w rozdz. 4. W tym celu każdy z filtrów nadawczych powinien mieć określoną tzw. skuteczną szerokość pasma tłumienia B_{sk} - określaną oddzielnie dla każdego egzemplarza filtru/. Ponieważ moc sygnału z generatora jest proporcjonalna do szerokości pasma, zmniejszenie mocy wywołane wtrąceniem filtru wyrażone w dB może być określone jako:

$$\Delta P_f = 10 \lg \frac{B_{sk}}{B_w}$$

gdzie:

B_{sk} - skuteczna szerokość pasma tłumienia filtru włączonego pomiędzy generatorem a wejściem urządzenia badanego,

B_w - szerokość pasma szumu z generatora.

Włączenie transformatora dopasowującego na ogół nie powoduje zmian mocy sygnału, gdyż straty transformatora przeważnie są pomijalne. Należy jednak zwrócić uwagę, że nominalne poziomy wejściowe urządzeń mogą określać albo poziom odniesiony do mocy 1 mW /tzw. poziom mocy - ostatnio powszechnie stosowany/, albo też poziom odniesiony do napięcia 0,775 V /tzw. poziom napięciowy/. Je-

żeli poziom wyrażony w neperach jest poziomem mocy $\frac{1}{2} \ln \frac{P}{1 \text{ mW}}$, to poziom w dBm można otrzymać ze znanej zależności:

$$P \text{ /dBm/} = P \text{ /N/} \cdot 8,69$$

Jeżeli natomiast nominalny poziom urządzenia badanego jest poziomem napięciowym wyrażonym w neperach $\ln \frac{U}{0,775 \text{ V}}$, to poziom odniesiony do mocy 1 mW wyraża się wzorem:

$$P \text{ /dBm/} = P \text{ /N/} \cdot 8,69 + 10 \lg \frac{600 \text{ /}\Omega\text{/}}{R}$$

gdzie:

R - jest nominalną opornością w punkcie, gdzie jest określony poziom napięciowy / Ω /

Np. gdy R = 75 Ω

$$10 \lg \frac{600}{75} = 9,03 \text{ dB}$$

Ta sama poprawka, tzn.: $10 \lg \frac{600 \text{ /}\Omega\text{/}}{R}$, obowiązuje w przypadku, gdy poziom nominalny jest poziomem napięciowym wyrażonym w decybelach $20 \lg \frac{U}{0,775 \text{ V}}$:

$$P \text{ /dBm/} = P' \text{ /dB/} + 10 \lg \frac{600 \text{ /}\Omega\text{/}}{R}$$

Uwaga. W większości spotykanych zestawów poziom wyjściowy z generatora należy ustawiać po połączeniu wyjścia generatora poprzez filtry nadawcze /i ewentualnie trans-

formator/ z wejściem urządzenia badanego, przy czym wszystkie filtry nadawcze muszą być włączone. Włączenie dowolnego z filtrów środkowozaporowych powoduje zwykle odbicia energii, które przeważnie zniekształcają wskazania miernika poziomu generatora.

2.1.3. Wykonywanie pomiarów

Istnieje kilka sposobów wykonywania pomiarów, do których są odpowiednio przystosowane różne zestawy pomiarowe, produkowane przez poszczególne firmy.

Największą dokładność pomiarów można uzyskać mierząc stosunek gęstości szumu-za pośrednictwem zmiany tłumienia dokładnego tłumika, przy zachowaniu tego samego wychylenia wskazówki miernika. Ten sposób pomiaru zgodnie z propozycją wspomnianej wyżej w rozdz. 1 Komisji Specjalnej C CCITT -CCIR ma być zalecony /włączony do zmodyfikowanego tekstu zalecenia G - 228/ na najbliższym IV Zebraniu Plenarnym CCITT jako jedyny sposób zapewniający wymaganą dokładność pomiaru /załącznik 2/. Uwzględniając dalej, że praktycznie każdy zestaw po ewentualnym uzupełnieniu miernika szumu dołączeniem do jego wejścia precyzyjnego tłumika skokowego umożliwia wykonywanie pomiarów w określony powyżej sposób, wydaje się celowe podanie dokładnego opisu czynności wymaganych przy tym sposobie pomiaru.

a. Przy wyłączonych filtrach nadawczych należy ustawić przełącznik miernika szumu na wybranej częstotliwości pomiarowej i przy możliwie dużym tłumieniu tłumika

odbiorczego tak regulować wzmacnieniem miernika, aby otrzymać określone, wyraźnie rozróżnialne, położenie wskazówki.

- Uwagi:
1. Należy zwracać uwagę, aby wychylenie wskazówki spowodowane przez szumy własne miernika /przy odłączonym jego wejściu od urządzenia badanego/ nie było zbyt duże.
 2. Jeżeli przy maksymalnym wzmacnieniu wychylenie jest zbyt małe, co może zachodzić, gdy miernik jest połączony z punktem o stosunkowo małym poziomie, to należy zmniejszyć tłumienie tłumika w mierniku np. o 20 dB.

b. Należy włączyć, po stronie nadawczej, filtr zaporowy o częstotliwości odpowiadającej wybranej częstotliwości pomiarowej miernika. Następnie należy ustawić tłumik miernika w taki sposób, aby wskazówka przyrządu znalazła się w tym samym położeniu, jak przy pomiarze /a/. Wartość tłumienia, która musiała być wyłączona, odpowiada stosunkowi sygnału do szumu całkowitego /tj. sumy: szumu cieplnego i szumu zniekształceń nieliniowych/.

c. Jeżeli interesujący jest pomiar szumu cieplnego /bez szumu zniekształceń nieliniowych/, to należy teraz tak wyłączyć generator szumu, aby jego oporność wyjściowa nie była zmieniona /np. wyłączyć z sieci lub zmniejszyć do zera jego poziom wyjściowy/ i ponownie tak zmniejszyć tłumienie tłumika w mierniku szumu, aby wska-

zówka przyrządu znalazła się w tym samym położeniu, jak przy pomiarze /a/. Wartość tłumienia, która musiała być wyłączona w stosunku do pomiaru /a/ odpowiada stosunkowi sygnału do szumu ciepłego urządzenia.

2.2. Sposób obliczenia mocy szumu w kanale telefonicznym o szerokości pasma 3,1 kHz
/300 + 3400 Hz/

Moc szumu w kanale telefonicznym zależy od mocy sygnałów przesyłanych równocześnie w innych kanałach. Dlatego w czasie pomiaru poziom szumu z generatora musi odpowiadać wypadkowemu poziomowi sygnału przesyłanego przez urządzenie badane. Poziom ten jest zależny zarówno od krotkości, jak i od stopnia równoczesnego wykorzystania poszczególnych kanałów. Przy pomiarach najczęściej wykorzystuje się poziomy szumu zalecane przez CCITT i CCIR i określone przez zależności podane wyżej w rozdz. 2.1.2.

Dla najczęściej spotykanych krotkości otrzymamy poziomy szumu podane na tabl. 1.

Pomierzony zestawem stosunek sygnału do szumu S_w/N_w nie jest bezpośrednio równy stosunkowi sygnału do szumu na wyjściu urządzenia w pasmie naturalnym. Przy obliczeniu należy uwzględnić:

1/ współczynnik psfometryczny p , który musi być uwzględniony, ponieważ przyjęty sposób wykonywania pomiarów narzuca konieczność stosowania miernika szumu bez filtru psfometrycznego. Przyjmując, że widmo szumu w pasmie jednego kanału telefonicznego o szerokości 3,1kHz

jest płaskie, co w przypadku interesujących krotkości jest praktycznie zawsze spełnione, otrzymuje się wartość p równą 2,5 dB - pkt. 4 zalecenia CCITT nr G-223 - Niebieska Księga tom III;

2/ różnicę pomiędzy nominalnym poziomem pomiarowym sygnału jednego kanału a poziomem wykorzystywanego w opisywanej metodzie sygnału o widmie ciągłym /szumu/. Różnica ta wyrażona w dB jest równa:

$$10 \lg \frac{B_w}{B_1} - 10 \lg \bar{P}/n/$$

gdzie:

B_w - szerokość pasma widma szumu /równa szerokości pasma sygnału wielokrotnego/ w kHz;

B_1 - szerokość pasma sygnału jednego kanału telefonicznego równa 3,1 kHz;

$10 \lg \bar{P}/n/$ - poziom sygnału o widmie ciągłym /szumu/ przykładany w punkcie o poziomie względnym zero, a wyrażony w dB w stosunku do poziomu zerowego.

W rezultacie zmierzony za pomocą zestawu stosunek sygnału do szumu S_w/N_w określa w poniższy sposób stosunek sygnału do szumu S_1/N_1 w kanale telefonicznym:

$$\frac{S_1}{N_1} = \frac{S_w}{N_w} + p + 10 \lg \frac{B_w}{B_1} - 10 \lg \bar{P}/n/ = \frac{S_w}{N_w} + k$$

gdzie:

$\frac{S_1}{N_1}$ - stosunek sygnału do szumu w pasmie naturalnym /przy założeniu, że całkowity szum wnoszony jest przez urządzenie mierzone/ wyrażony w dB,

$\frac{S_w}{N_w}$ - pomierzony zestawem stosunek sygnału do szumu w pasmie wielokrotnym, wyrażony w dB,

k - współczynnik o wartości stałej dla danego pasma, danej krotności i określonego poziomu sygnału pomiarowego /szum z generatora/.

Wartości współczynnika k dla poziomów zalecanych przez CCITT i CCIR są podane w tabl. 1.

Jak już zaznaczono, zmierzony zestawem stosunek sygnału do szumu nie uwzględnia szumu wnoszonego przez urządzenia wielokrotne^{x/}. Aby uwzględnić ten ostatni, stosunki sygnału do szumu przelicza się na moce szumu odniesione do punktu o zerowym poziomie względnym, przy czym moce szumu wyraża się w pikowatach. Przy założeniu, że poszczególne źródła szumu są niezależne, moce szumu mogą być dodawane.

Psefometryczna moc szumu w pasmie naturalnym i w punk-

^{x/} Szum urządzeń wielokrotnych może być również zmierzony zestawem po połączeniu ze sobą odpowiednio wszystkich wejść /o pasmie naturalnym/ jednej krotnicy z wszystkimi wyjściami /o pasmie naturalnym/ drugiej krotnicy. Zestaw pomiarowy łączy się z mierzoną parą krotnic po stronie pasma wielokrotnego.

T a b l i c a 1

Wartość współczynnika k

Krot- ność	Pasmo Bw /kHz/	Poziom szumu z ge- neratora wg CCITT i CCIR, przykłada- ny w punkcie o po- ziomie zerowym	$10 \lg \bar{P}/n/$ /dBm0/	$\frac{\bar{P}/n/}{n}$ /μW/	Średnia moc szu- mu przypadająca na 1 kanał w punk- cie o poziomie zerowym	Współczynnik k /dB/
n						
1	2		3	4		5
12	6- 54					+11,1
	12- 60					+11,1
	60- 108	3,3		180		+11,1
	6- 60					+12,0
24	6- 108					+13,1
	12- 108		4,5		120	+12,9
60	12- 252					15,3
	60- 300 1/2		6,1		68	
120	12- 552					17,6
	60- 552 1/2		7,3		45	17,2

c.d. tabl. 1

1	2	3	4	5
240		8,8	32	19,0 ^{2/}
300	64- 1296	9,8	32	19,0 ^{2/}
	60- 1364			
	60- 1296 ^{1/}			
600	60- 2540	12,8	32	18,8 ^{2/}
	60- 2660			
	60- 2600 ^{1/}			
960	60- 4100 ^{1/}	14,8	32	18,8 ^{2/}
1800	316- 8160 ^{1/}	17,5	32	19,0 ^{2/}
2700	316-12360	19,3	32	19,1 ^{2/}

1/ Pasma zalecone przez CCIR - załącznik 1.

2/ Mimo stałej wartości średniej mocy szumu przypadającej na 1 kanał wartość współczynnika k dla różnych systemów o krotnościach powyżej 240 nieco się zmienia, ponieważ szerokości pasm wykorzystywanych przez poszczególne systemy nie są wprost proporcjonalne do krotności tych systemów. W większości produkowanych zestawów pomiarowych te różnice są pomijane.

cie o poziomie zerowym może być obliczona ze stosunku sygnału do szumu w zwykły sposób:

$$N_1 \text{ pW} = 10^{\frac{90 \text{ dB}_{\text{pW}} - S_1/N_1}{10}} \quad \text{/pW/}$$

Skrót dB_{pW} oznacza, że dana wartość jest stosunkiem mocy rozpatrywanej do mocy 1 pW, wyrażonym w decybelach.

W celu uniknięcia żmudnych rachunków powyższe zależności zostały przedstawione w postaci tablic /tabl.2-6/.

Zestaw pomiarowy umożliwia nie tylko pomiar stosunku sygnału do szumu całkowitego /szum cieplny + szum powodowany przez zniekształcenia/, ale i stosunku sygnału do szumu cieplnego. Aby zmierzyć ten ostatni, wystarczy wykonać dodatkowy pomiar szumu na wyjściu badanego urządzenia przy wyłączonym generatorze szumu na wejściu tego urządzenia.

2.3. Tablice umożliwiające określenie psfometrycznej mocy szumu na podstawie stosunku sygnału do szumu zmierzonego za pomocą zestawu

Podane dalej tabl. 2-6 umożliwiają szybkie określenie psfometrycznej mocy szumu wnoszonego przez urządzenie badane w zależności od zmierzonego stosunku sygnału do szumu dla krotności n równych: 12; 24; 60; 120 i 240 lub więcej.

W tablicach podano wyniki przeliczeń pomierzonego stosunku sygnału do szumu $\frac{S_W}{N_W}$ na psfometryczną moc

szumu N_1 /dB_{pW}/ wyrażoną w decybelach w stosunku do mocy 1 pW. Podane w tablicach wartości mocy szumu wprowadzonego przez urządzenie badane N_1 są wartościami mocy w punkcie o poziomie zerowym przy założeniu, że poziom szumu doprowadzonego do wejścia urządzenia badanego jest zgodny z zaleceniami CCIR i CCITT. Przeliczenia dla poszczególnych krotności n wykonano na podstawie zależności:

$$N_1 /dB_{pW}/ = 90 \text{ dB}_{pW} - \frac{S_w}{N_w} + k/$$

Uwzględniając wartości współczynnika k , określone dla poszczególnych krotności w tabl. 1, zależność powyższą można przedstawić w postaci:

$$N_1 /dB_{pW}/ = 78,9 \text{ dB}_{pW} - \frac{S_w}{N_w} \quad \text{dla } n = 12 \text{ i } k = 11,1 \text{ dB} \\ \text{/tabl. 2/}$$

$$N_1 /dB_{pW}/ = 77,1 \text{ dB}_{pW} - \frac{S_w}{N_w} \quad \text{dla } n = 24 \text{ i } k = 12,9 \text{ dB} \\ \text{/tabl. 3/}$$

$$N_1 /dB_{pW}/ = 74,7 \text{ dB}_{pW} - \frac{S_w}{N_w} \quad \text{dla } n = 60 \text{ i } k = 15,3 \text{ dB} \\ \text{/tabl. 4/}$$

$$N_1 /dB_{pW}/ = 72,8 \text{ dB}_{pW} - \frac{S_w}{N_w} \quad \text{dla } n = 120 \text{ i } k = 17,2 \text{ dB} \\ \text{/tabl. 5/}$$

$$N_1 /dB_{pW}/ = 71,0 \text{ dB}_{pW} - \frac{S_w}{N_w} \quad \text{dla } n \geq 240 \text{ i } k = 19,0 \text{ dB} \\ \text{/tabl. 6/}$$

Moc szumu N_1 /dB_{pW}/ wyrażoną w decybelach w stosunku do mocy 1 pW przeliczono również na moc szumu wyrażoną

T a b l i c a 2

Psofometryczna moc szumu w zależności od zmierzzonego stosunku sygnału do szumu
dla $n = 12$ -- $/k = 11,1 \text{ dB/}$

S_w/N_w /dB/	N_1 /dB _{pW} /	N_1 /pW/
1	2	3
20	58,9	$7,76 \cdot 10^5$
21	57,9	$6,16 \cdot 10^5$
22	56,9	$4,89 \cdot 10^5$
23	55,9	$3,89 \cdot 10^5$
24	54,9	$3,09 \cdot 10^5$
25	53,9	$2,45 \cdot 10^5$
26	52,9	$1,95 \cdot 10^5$
27	51,9	$1,55 \cdot 10^5$
28	50,9	$1,23 \cdot 10^5$
29	49,9	$9,77 \cdot 10^4$
30	48,9	$7,76 \cdot 10^4$
31	47,9	$6,16 \cdot 10^4$
32	46,9	$4,89 \cdot 10^4$
33	45,9	$3,89 \cdot 10^4$
34	44,9	$3,09 \cdot 10^4$
35	43,9	$2,45 \cdot 10^4$
36	42,9	$1,95 \cdot 10^4$
37	41,9	$1,55 \cdot 10^4$
38	40,9	$1,23 \cdot 10^4$
39	39,9	$9,77 \cdot 10^3$
40	38,9	$7,76 \cdot 10^3$

c.d. tabl. 2

1	2	3
41	37,9	$6,16 \cdot 10^3$
42	36,9	$4,89 \cdot 10^3$
43	35,9	$3,89 \cdot 10^3$
44	34,9	$3,09 \cdot 10^3$
45	33,9	$2,45 \cdot 10^3$
46	32,9	$1,95 \cdot 10^3$
47	31,9	$1,55 \cdot 10^3$
48	30,9	$1,23 \cdot 10^3$
49	29,9	977
50	28,9	776
51	27,9	616
52	26,9	489
53	25,9	389
54	24,9	309
55	23,9	245
56	22,9	195
57	21,9	155
58	20,9	123
59	19,9	97,7
60	18,9	77,6
61	17,9	61,6
62	16,9	48,9
63	15,9	38,9
64	14,9	30,9
65	13,9	24,5
66	12,9	19,5

c.d. tabl. 2

1	2	3
67	11,9	15,5
68	10,9	12,3
69	9,9	9,77
70	8,9	7,76
71	7,9	6,16
72	6,9	4,89
73	5,9	3,89
74	4,9	3,09
75	3,9	2,45
76	2,9	1,95
77	1,9	1,55
78	0,9	1,23

T a b l i c a 3

Psofometryczna moc szumu w zależności od zmie-
 rzonego stosunku sygnału do szumu
 dla $n = 24$ / $k = 12,9$ dB/

S_w/N_w /dB/	N_1 /dB _{PW} /	N_1 /PW/
1	2	3
18	59,1	$8,13 \cdot 10^5$
19	58,1	$6,76 \cdot 10^5$
20	57,1	$5,13 \cdot 10^5$
21	56,1	$4,07 \cdot 10^5$
22	55,1	$3,24 \cdot 10^5$
23	54,1	$2,57 \cdot 10^5$

c.d. tabl. 3

1	2	3
24	53,1	$2,04 \cdot 10^5$
25	52,1	$1,62 \cdot 10^5$
26	51,1	$1,29 \cdot 10^5$
27	50,1	$1,02 \cdot 10^5$
28	49,1	$8,13 \cdot 10^4$
29	48,1	$6,46 \cdot 10^4$
30	47,1	$5,13 \cdot 10^4$
31	46,1	$4,07 \cdot 10^4$
32	45,1	$3,94 \cdot 10^4$
33	44,1	$2,57 \cdot 10^4$
34	43,1	$2,04 \cdot 10^4$
35	42,1	$1,62 \cdot 10^4$
36	41,1	$1,29 \cdot 10^4$
37	40,1	$1,02 \cdot 10^4$
38	39,1	$8,13 \cdot 10^3$
39	38,1	$6,46 \cdot 10^3$
40	37,1	$5,13 \cdot 10^3$
41	36,1	$4,07 \cdot 10^3$
42	35,1	$3,24 \cdot 10^3$
43	34,1	$2,57 \cdot 10^3$
44	33,1	$2,04 \cdot 10^3$
45	32,1	$1,62 \cdot 10^3$
46	31,1	$1,29 \cdot 10^3$
47	30,1	$1,02 \cdot 10^3$
48	29,1	813
49	28,1	646
50	27,1	513

c.d. tabl. 3.

1	2	3
51	26,1	407
52	25,1	324
53	24,1	257
54	23,1	204
55	22,1	162
56	21,1	129
57	20,1	102
58	19,1	81,3
59	18,1	64,6
60	17,1	51,3
61	16,1	40,7
62	15,1	32,4
63	14,1	25,7
64	13,1	20,4
65	12,1	16,2
66	11,1	12,9
67	10,1	10,2
68	9,1	8,13
69	8,1	6,46
70	7,1	5,13
71	6,1	4,07
72	5,1	3,24
73	4,1	2,57
74	3,1	2,04
75	2,1	1,62
76	1,1	1,29
77	+0,1	1,02

T a b l i c a . 4

Psofometryczna moc szumu w zależności od zmierzono-
 rzonego stosunku sygnału do szumu
 dla $n = 60$ / $k = 15,3$ dB/

S_w/N_w /dB/	N_1 /dB _{pW} /	N_1 /pW/
1	2	3
15	59,7	$9,33 \cdot 10^5$
16	58,7	$7,41 \cdot 10^5$
17	57,7	$5,88 \cdot 10^5$
18	56,7	$4,67 \cdot 10^5$
19	55,7	$3,71 \cdot 10^5$
20	54,7	$2,95 \cdot 10^5$
21	53,7	$2,34 \cdot 10^5$
22	52,7	$1,86 \cdot 10^5$
23	51,7	$1,43 \cdot 10^5$
24	50,7	$1,17 \cdot 10^5$
25	49,7	$9,33 \cdot 10^4$
26	48,7	$7,41 \cdot 10^4$
27	47,7	$5,88 \cdot 10^4$
28	46,7	$4,67 \cdot 10^4$
29	45,7	$3,71 \cdot 10^4$
30	44,7	$2,95 \cdot 10^4$
31	43,7	$2,34 \cdot 10^4$
32	42,7	$1,86 \cdot 10^4$
33	41,7	$1,48 \cdot 10^4$
34	40,7	$1,17 \cdot 10^4$
35	39,7	$9,33 \cdot 10^3$
36	38,7	$7,41 \cdot 10^3$

c.d. tabl. 4.

1	2	3
37	37,7	5,88.10 ³
38	36,7	4,67.10 ³
39	35,7	3,71.10 ³
40	34,7	2,95.10 ³
41	33,7	2,34.10 ³
42	32,7	1,86.10 ³
43	31,7	1,48.10 ³
44	30,7	1,17.10 ³
45	29,7	933
46	28,7	741
47	27,7	588
48	26,7	467
49	25,7	371
50	24,7	295
51	23,7	234
52	22,7	186
53	21,7	148
54	20,7	117
55	19,7	93,3
56	18,7	74,1
57	17,7	58,8
58	16,7	46,7
59	15,7	37,1
60	14,7	29,5
61	13,7	23,4
62	12,7	18,6

c.d. tabl. 4

1	2	3
63	11,7	14,8
64	10,7	11,7
65	9,7	9,33
66	8,7	7,41
67	7,7	5,88
68	6,7	4,67
69	5,7	3,71
70	4,7	2,95
71	3,7	2,34
72	2,7	1,86
73	1,7	1,48
74	0,7	1,17

T a b l i c a 5

Psofometryczna moc szumu w zależności od zmierzzonego stosunku sygnału do szumu

dla $n = 120$ / $k = 17,2$ dB/

S_w/N_w /dB/	N_1 /dB _{pW} /	N_1 /pW/
1	2	3
14	58,8	$7,58 \cdot 10^5$
15	57,8	$6,02 \cdot 10^5$
16	56,8	$4,78 \cdot 10^5$
17	55,8	$3,80 \cdot 10^5$
18	54,8	$3,02 \cdot 10^5$
19	53,8	$2,40 \cdot 10^5$

c.d. tabl. 5

1	2	3
20	52,8	$1,90 \cdot 10^5$
21	51,8	$1,51 \cdot 10^5$
22	50,8	$1,20 \cdot 10^5$
23	49,8	$9,55 \cdot 10^4$
24	48,8	$7,58 \cdot 10^4$
25	47,8	$6,02 \cdot 10^4$
26	46,8	$4,78 \cdot 10^4$
27	45,8	$3,80 \cdot 10^4$
28	44,8	$3,02 \cdot 10^4$
29	43,8	$2,40 \cdot 10^4$
30	42,8	$1,90 \cdot 10^4$
31	41,8	$1,51 \cdot 10^4$
32	40,8	$1,20 \cdot 10^4$
33	39,8	$9,55 \cdot 10^3$
34	38,8	$7,58 \cdot 10^3$
35	37,8	$6,02 \cdot 10^3$
36	36,8	$4,78 \cdot 10^3$
37	35,8	$3,80 \cdot 10^3$
38	34,8	$3,02 \cdot 10^3$
39	33,8	$2,40 \cdot 10^3$
40	32,8	$1,90 \cdot 10^3$
41	31,8	$1,51 \cdot 10^3$
42	30,8	$1,20 \cdot 10^3$
43	29,8	955
44	28,8	758
45	27,8	602
46	26,8	478

1	2	3
47	25,8	380
48	24,8	302
49	23,8	240
50	22,8	190
51	21,8	151
52	20,8	120
53	19,8	95,5
54	18,8	75,8
55	17,8	60,2
56	16,8	47,8
57	15,8	38,0
58	14,8	30,2
59	13,8	24,0
60	12,8	19,0
61	11,8	15,1
62	10,8	12,0
63	9,8	9,55
64	8,8	7,58
65	7,8	6,02
66	6,8	4,78
67	5,8	3,80
68	4,8	3,02
69	3,8	2,40
70	2,8	1,90
71	1,8	1,51
72	0,8	1,20

T a b l i c a 6

Psofometryczna moc szumu w zależności od zmierzzonego stosunku sygnału do szumu
dla $n \geq 240$ /k = 19,0 dB/

S_w/N_w /dB/	N_1 /dB _{pW} /	N_1 /pW/
1	2	3
13	58	$6,31 \cdot 10^5$
14	57	$5,01 \cdot 10^5$
15	56	$3,98 \cdot 10^5$
16	55	$3,16 \cdot 10^5$
17	54	$2,51 \cdot 10^5$
18	53	$1,99 \cdot 10^5$
19	52	$1,58 \cdot 10^5$
20	51	$1,26 \cdot 10^5$
21	50	$1,00 \cdot 10^5$
22	49	$7,94 \cdot 10^4$
23	48	$6,31 \cdot 10^4$
24	47	$5,01 \cdot 10^4$
25	46	$3,98 \cdot 10^4$
26	45	$3,16 \cdot 10^4$
27	44	$2,51 \cdot 10^4$
28	43	$1,99 \cdot 10^4$
29	42	$1,58 \cdot 10^4$
30	41	$1,26 \cdot 10^4$
31	40	$1,00 \cdot 10^4$
32	39	$7,94 \cdot 10^3$
33	38	$6,31 \cdot 10^3$
34	37	$5,01 \cdot 10^3$

1	2	3
35	36	$3,98 \cdot 10^3$
36	35	$3,16 \cdot 10^3$
37	34	$2,51 \cdot 10^3$
38	33	$1,99 \cdot 10^3$
39	32	$1,58 \cdot 10^3$
40	31	$1,26 \cdot 10^3$
41	30	$1,00 \cdot 10^3$
42	29	794
43	28	631
44	27	501
45	26	398
46	25	316
47	24	251
48	23	199
49	22	158
50	21	126
51	20	100
52	19	79,4
53	18	63,1
54	17	50,1
55	16	$\times 39,8$
56	15	31,6
57	14	25,1
58	13	19,9
59	12	15,8
60	11	12,6

c.d. tabl. 6

1	2	3
61	10	10,0
62	9	7,94
63	8	6,31
64	7	5,01
65	6	3,98
66	5	3,16
67	4	2,51
68	3	1,99
69	2	1,58
70	1	1,26

w pikowatach N_1 pW w punkcie o poziomie zerowym

$$N_1 / \text{pW} / = 10 \frac{N_1 / \text{dB}_{\text{pW}} /}{10}$$

2.4. Pomiary przy obciążeniu różnym od zalecanego przez CCIR i CCITT

W niektórych przypadkach może być interesujące określenie stosunku sygnału do szumu i psfometrycznej mocy szumu przy innym obciążeniu, tj. przy innej mocy szumu doprowadzonej do wejścia urządzenia niż zalecana przez CCIR i CCITT. Takie przypadki mogą między innymi zachodzić przy pomiarach systemów lub poszczególnych urządzeń linii radiowych odpowiadających ujednoczonym wymaganiom RWPG.

W omawianym przypadku jest najwygodniej określić moc szumu, przy której ma być wykonany pomiar w stosunku do mocy szumu określonej w zaleceniach CCIR i CCITT. Wówczas w łatwy sposób można określić psfometryczną moc szumu w punkcie o poziomie zerowym, wykorzystując załączone tablice obliczone dla poziomów zalecanych /tabl. 2-6/. Np. jeżeli moc szumu doprowadzona do wejścia urządzenia jest większa o 2 dB od mocy zalecanej, to zmierzony stosunek sygnału do szumu należy zmniejszyć o 2 dB i dla tej odniesionej /zmniejszonej/ wartości odnaleźć na odpowiedniej tablicy odpowiadającą psfometryczną moc szumu /przykład 4 rozdz. 3.2.1/.

2.5. Określenie optymalnego poziomu sygnału

Zestaw przyrządów do pomiaru stosunku sygnału do szumu może być również wykorzystywany w celu określenia optymalnego poziomu wejściowego /czy wyjściowego/ danego urządzenia przewidzianego do przesyłania sygnałów wielokrotnych. Poziomem optymalnym jest tu nazwany poziom, przy którym sumaryczna moc szumu /szumu termicznego i szumu "zniekształceń nieliniowych"/ jest najmniejsza.

W takim przypadku należy wykonać szereg pomiarów stosunku sygnału do szumu przy różnych mocach szumu doprowadzonego do wejścia urządzenia. Ta moc szumu, przy której uzyskuje się największy stosunek sygnału do szumu /uwzględnia się tylko bezpośrednio zmierzone wartości stosunku - bez jakichkolwiek przeliczeń/, określa optymalny poziom. Przy czym odejmując od tej mocy wartość podaną w

trzeciej kolumnie tabl. 1, można otrzymać optymalny poziom wejściowy dla danego urządzenia /przykład 5 w rozdz. 3.2.2./.

3. PRZYKŁADOWE WYNIKI POMIARÓW LINII RADIOWYCH I KABLOWYCH ORAZ SPOSÓB INTERPRETACJI WYNIKÓW

Zgodnie z informacjami przedstawionymi w poprzednich rozdziałach, pomiary całych linii radiowych czy kablowych jak i poszczególnych urządzeń wchodzących w skład tych linii mogą być wykonywane w zasadzie w taki sam sposób, jeżeli tylko zarówno wejście jak i wyjście badanej linii czy urządzenia będzie przystosowane do transmisji sygnału zbiorczego o takim samym pasmie podstawowym.

Z tego względu rozdz. 3.1 i 3.2. podające przykładowe wyniki pomiarów linii radiowych i kablowych powinny być traktowane łącznie, gdyż informacje tam podane wzajemnie się uzupełniają.

Wykonując pomiary dowolnej linii należy się starać, aby wszystkie sygnały pilotujące transmitowane przy normalnej pracy tej linii były również transmitowane w czasie pomiaru. W przeciwnym razie, w przypadku pomiaru linii kablowej może nastąpić zakłócenie pracy układów automatycznej regulacji poziomów, a w przypadku linii radiowej - niepełne obciążenie badanego systemu oraz nieprawidłowa praca układów włączających urządzenia rezerwowe.

W przypadku odcinka linii kablowej lub dowolnego u-

urządzenia transmisyjnego wchodzącego w skład tej linii pomiar szumu może być wykonany bezpośrednio i tym samym każde z urządzeń może być oddzielnie zbadane i ocenione.

W przypadku linii radiowej sygnał doprowadzony do wejścia linii już na wstępie w urządzeniu zwanym modulatorem jest przekształcany na sygnał w.cz. o modulowanej częstotliwości, ten ostatni sygnał jest transmitowany wzdłuż linii i przeważnie dopiero na końcu linii /w demodulatorze/ jest ponownie przekształcany do postaci sygnału pierwotnego o pasmie podstawowym. Dlatego w przypadku pomiarów linii radiowej przeważnie nie ma możliwości pomiarów szumu wnoszonego przez poszczególne urządzenia linii, a nawet często nie ma możliwości pomiarów poszczególnych odcinków badanej linii. Tym samym w przypadku pomiarów linii radiowych często istnieje potrzeba szczegółowej analizy otrzymanych wyników w celu określenia, który z elementów badanej linii pracuje nieprawidłowo. Temu zagadnieniu jest poświęcony rozdz. 3.3.

3.1. Przykładowe wyniki pomiarów linii radiowych

P r z y k ł a d 1.

Pomierzono urządzenia linii radiowej przewidziane do przesyłania sygnału 600-krotnego o pasmie 60 - 2660 kHz i zestawione w postaci tzw. "sztucznej trasy" składającej się z 4 odcinków. Tłumienie wprowadzone na każdym odcinku "sztucznej trasy" było równe tłumieniu wprowadzonemu przez odcinek "wolnej przestrzeni" o długości 50 km, powiększonemu o wartość 7 dB odpowiadającą płytkiemu zanikowi.

Nominalny poziom wejściowy w punkcie dołączenia generatora szumu: -15 dBm.

Na podstawie tabl. 1 ustawiono odpowiednie pasmo i poziom wyjściowy z generatora równy:

$$-15 \text{ dBm} + 12,8 \text{ dB} = -2,2 \text{ dBm}$$

Następnie włączając i wyłączając filtry nadawcze /70, 534, 1248 i 2438 kHz/ zmierzono różnice poziomów po stronie odbiorczej. Otrzymane wyniki i odpowiadające im poziomy szumów całkowitych są zestawione w tabl. 7.

T a b l i c a 7

Przykład 1. Wyniki pomiarów A /przy obciążeniu/

Częstotliwość pomiarowa	Pomierzona różnica poziomów	k	S_1/N_1	N_1 pW ^{x/}
/kHz/	S_w/N_w /dB/	/dB/	/dB/	/pW/
70	52	19	71	79
534	48	19	67	199
1248	46	19	65	316
2438	46	19	65	316

^{x/} Na podstawie tabl. 6.

Włączając i wyłączając generator szumu /przy wyłączonych filtrach nadawczych/ zmierzono różnice poziomów po stronie odbiorczej.

Otrzymane wyniki i odpowiadające im poziomy szumu cieplnego są podane w tabl. 8.

Przykład 1. Wyniki pomiarów B /bez obciążenia/

Częstotliwość pomiarowa	Pomierzona różnica poziomów	k	S_1/N_1	$N_{1c}^x/$
/kHz/	S_w/N_w /dB/	/dB/	/dB/	/pW/
70	53	19	72	63
534	50	19	69	126
1248	50	19	69	126
2438	49	19	68	158

^{x/} Na podstawie tabl. 6.

Wykorzystując otrzymane wyniki można łatwo obliczyć szum powodowany przez zniekształcenia /szum intermodulacji/ jako różnicę: $N_{1pW} - N_{1c}$.

W danym przypadku moce tego szumu są równe odpowiednio: 16; 73; 190 i 158 pW.

P r z y k ł a d 2.

W linii radiowej określonej w przykładzie 1 powiększono tłumienie każdego z odcinków o dalsze 18 dB, co w rezultacie odpowiadało pracy linii przy równoczesnym bardzo głębokim zaniku o wartości 25 dB, na każdym odcinku. /Praktycznie tak głębokie zaniki nie występują równocześnie na wielu odcinkach/.

Pomiary wykonane analogicznie jak w przykładzie 1 dały wyniki przedstawione poniżej w tabl. 9.

T a b l i c a 9

Przykład 2. Wyniki pomiarów

	Częstotliwość pomiarowa /kHz/			
	70	534	1248	2438
Zmierzona różnica poziomów S_w/N_w przy obciążeniu /dB/	47,5	35	31	29
Zmierzona różnica poziomów S_w/N_w bez obciążenia /dB/	48	35,5	32	30
Moc szumu całkowitego N_1^x /pW/	220	3980	12600	15800
Moc szumu cieplnego N_{1c}^x /pW/	199	3550	10000	12600
Moc szumu intermodulacji $/N_1 - N_{1c}^{xx}/$ /pW/	21	430	2600	3200

^{x/} Na podstawie tabl. 6.

^{xx/} Ze względu na stosunkowo znaczne moce szumu cieplnego wartości mocy szumu intermodulacji obliczone z zależności $/N_1 - N_{1c}/$ są obarczone dużym błędem.

W rzeczywistości moc szumu intermodulacji mało zależy od tłumienia odcinków.

P r z y k ł a d 3.

Zmierzone dwukierunkową linię radiową składającą się z dwóch odcinków i mającą długość około 110 km. Każdy z kierunków linii był wyposażony w 2 tory, oznaczone jako

tor "niebieski" i tor "czerwony". Wszystkie tory były przystosowane do przesyłania sygnału 120-krotnego o pasmie 60 - 552 kHz.

Nominalny poziom wejściowy był równy -45 dBm.

Na podstawie tabl. 1 ustawiono odpowiednie pasmo i poziom wyjściowy z generatora równy:

$$-45 \text{ dBm} + 7,3 \text{ dB} = -37,7 \text{ dBm}$$

Następnie wykonano pomiary szumu całkowitego i szumu cieplnego przy określonym powyżej poziomie sygnału z generatora przyjętym w dalszym ciągu jako "0 dB" oraz przy kilku poziomach większych i mniejszych od tego poziomu.

Pomiary wykonano oddzielnie dla każdego kierunku i toru oraz przy wszystkich możliwych kombinacjach połączeń w pętlę na jednym końcu linii. Przykłady otrzymanych wyników są pokazane w postaci wykresów na rys. 2 i 3 str. 71. Na rysunkach 4 i 5 str. 72 przedstawiono wyniki próby analizy sumowania się szumu dla 2 torów połączonych szeregowo. Analizę przeprowadzono nanosząc na każdy z rysunków wyniki pomiarów linii składającej się z 2 odcinków /oznaczone sumą cyfr np. 1 + 2/, jak i oddzielnie wyniki pomiarów każdego z odcinków wchodzących w skład tej pętli /oznaczone cyframi np. 1/. Równocześnie na każdym z rysunków zaznaczono krzywe odpowiadające sumarycznej mocy szumu, obliczonej na podstawie zsumowania wyników pomiarów odcinków składowych. Przeprowadzono dwa różne sumowania: jedno przy założeniu, że szумы dodają się mocowo /krzywa oznaczona ΣP /, a drugie przy założeniu, że szумы dodają się napięciowo /krzywa oznaczona ΣU /.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że znając moce szumu wprowadzone przez każdy z dwóch odcinków składowych, w przypadku badanej stosunkowo krótkiej linii nie można przewidzieć mocy szumu wprowadzonej przez odcinek wypadkowy. Dalsze wnioski wynikające z tej analizy i wszystkie wyniki pomiarów są podane w części III dokumentacji nr I-153 Instytutu Łączności [6].

Na rysunku 6 str. 73 pokazano wyniki pomiarów jednego z torów mierzonego jako tor przeznaczony do przesyłania sygnałów telefonicznych o krotności 60 i o pasmie 312-552 kHz. Dla porównania, na tym samym rysunku zaznaczono również charakterystykę tego samego toru mierzonego jako tor o krotności 120. Komentarz omawiający te wyniki jest podany również w wyżej wspomnianej pracy [6].

3.2. Przykładowe wyniki pomiarów linii kablowych

P r z y k ł a d 4. /Sposób wykonywania pomiaru i obliczania wyników przy obciążeniu różnym od zalecanego przez CCIR i CCITT/.

Pomierzono linię przewodową o długości $l = 300$ km, przeznaczoną do przesyłania sygnału o krotności 24 i o pasmie 12 ... 108 kHz.

Nominalny poziom wejściowy odniesiony do mocy 1 mW był równy $+0,2$ N / $+1,74$ dBm/ na oporności 135 ómów - symetr.

Ze względu na wejście symetryczne i inną oporność pomiędzy wyjściem zespołu filtrów nadawczych a wejściem

urządzenia badanego włączono odpowiedni transformator. Ponieważ tłumienie tego transformatora było praktycznie pomijalne, zgodnie więc z tabl. 1 poziom szumu z generatora powinien wynosić:

$$+1,74 \text{ dBm} + 4,5 \text{ dB} = +6,25 \text{ dBm}$$

Pomiary wykonano przy różnych poziomach uzyskując wyniki zestawione dla częstotliwości pomiarowej 70 kHz, w tabl. 10, str. 42 i 43.

W podobny sposób zestawiono wyniki pomiarów wykonanych przy częstotliwościach 15 i 105 kHz. Całość wyników jest przedstawiona na rys. 7 str. 73.

P r z y k ł a d 5. /Określenie optymalnego poziomu/

Należy określić optymalny poziom, tj. poziom sygnału odpowiadający minimalnej mocy szumu całkowitego na wyjściu urządzenia badanego, wykorzystując pomiary, których wyniki podano w przykładzie 4.

U w a g a . W celu uproszczenia przeprowadzono rachunki tylko dla jednej częstotliwości pomiarowej.

Rozpatrując tylko dwa pierwsze rzędy tabl. 10 znajdziemy największy zmierzony stosunek sygnału do szumu "przy obciążeniu" równy 49 dB, przy poziomie szumu doprowadzonego do wejścia urządzenia badanego równym +4,25 dBm. Stąd, uwzględniając wartość podaną w trzeciej kolumnie tabl. 1 dla rozpatrywanego pasma i krotności, otrzymamy optymalny poziom wejściowy urządzenia badanego:

$$+4,25 \text{ dBm} - 4,5 \text{ dB} = - 0,25 \text{ dBm.}$$

Przykład 4. Wyniki pomiarów
Częstotliwość pomiarowa 70 kHz

Moc szumu doprowadzona do wejścia /dBm/	+2,25	+4,25	+6,25	+8,25	+10,25	+12,25
1	2	3	4	5	6	7
Zmierzony stosunek syg- nału do szumu "przy ob- ciążeniu" /wg 2.1.3.b/ /dB/	48	49	48	44	41	38
Zmierzony stosunek syg- nału do szumu "bez ob- ciążenia" /wg 2.1.3.c/ /dB/	49	51	53	55	57	59
Moc szumu doprowadzona do wejścia w stosunku do mocy zalecanej przez CCITT i CCIR /dB/	-4	-2	0	+2	+4	+6

1	2	3	4	5	6	7
Odniesiony stosunek syg- nału do szumu "przy ob- ciążeniu" /dB/	52	51	48	42	37	32
Psofometryczna moc szumu w punkcie o poziomie ze- rówym i "przy obciąże- niu" /pW/	324	407	813	$3,24 \cdot 10^3$	$1,02 \cdot 10^4$	$3,24 \cdot 10^4$
Odniesiony stosunek syg- nału do szumu "bez ob- ciążenia" /dB/	53	53	53	53	53	53
Psofometryczna moc szu- mu w punkcie o poziomie zerowym i "bez obciąże- nia" /pW/	257	257	257	257	257	257

x/Na podstawie tabl. 3.

Przy takim poziomie nominalnym stosunek sygnału do szumu "przy obciążeniu" będzie równy 49 dB, a "bez obciążenia" 51 dB /patrz tabl. 10/. Uwzględniając odpowiednie przeliczenia /tabl. 3/ otrzymamy psfometryczną moc szumu "przy obciążeniu" równą 646 pW, a "bez obciążenia" 407 pW. Porównując te wartości z wartościami podanymi w tabl. 10 dla mocy szumu doprowadzonej do wejścia równej + 3,25 dBm /określonej na podstawie poziomu nominalnego/, otrzymamy zmniejszenie sumarycznej mocy szumu o:

$$813 \text{ pW} - 646 \text{ pW} = 167 \text{ pW}$$

Przy czym ze względu na obniżenie poziomu wejściowego moc szumów "bez obciążenia" /tłowych/ wzrosła o:

$$407 \text{ pW} - 257 \text{ pW} = 150 \text{ pW}$$

a moc szumów powodowanych przez zniekształcenia zmalała o:

$$/813 \text{ pW} - 257 \text{ pW}/ - /646 \text{ pW} - 407 \text{ pW}/ = 317 \text{ pW}$$

Zgodnie z powyższym rozumowaniem zakładając, że zmienia się nominalny poziom wejściowy, a poziom szumu doprowadzonego z generatora do wejścia badanej linii jest stały w stosunku do poziomu nominalnego i zawsze odpowiada poziomowi zalecanemu przez CCITT wyniki pomiarów przedstawione na rys. 7 można odpowiednio przekształcić. W wyniku takiego przekształcenia otrzymamy przedstawioną na rys. 8 str. 74 zależność mocy szumu w kanale pomiarowym $/N_p/$ od zmian nominalnego poziomu na wejściu badanego term $/\Delta U/$.

Przykład 6.

Zmierzono szereg torów linii kablowej o długości około 130 km. Wszystkie tory były w zasadzie jednakowe i przystosowane do transmisji sygnałów o krotności 60. Na rys. 9 str. 74 pokazano typowy przebieg charakterystyki /uzyskanej w taki sam sposób, jak charakterystyka z rys. 7 str. 73 / dla toru pracującego prawidłowo, a na rys. 10 str. 75 pokazano analogiczną typową charakterystykę toru, w którym niektóre urządzenia pracowały nieprawidłowo.

3.3. Sposób interpretacji wyników dla przypadku linii radiowej

Prawidłowa interpretacja wyników pomiaru linii radiowej, szczególnie w przypadku pomiaru linii uszkodzonej, polega na określeniu, które z wielu urządzeń badanej linii może być głównym źródłem zmierzonego szumu. W celu orientacji, na tabl. 11 przedstawiono typowy przykład podziału mocy szumu na poszczególne składowe, założony przy obliczeniach pewnej linii radiowej. Obliczenia zostały wykonane przy ogólnie przyjmowanym założeniu, że poszczególne źródła szumu są wzajemnie niezależne i moce poszczególnych składowych szumu dodaje się arytmetycznie w celu uzyskania wypadkowej mocy szumu na końcu linii^{x/}. Rachunki wykonano niezależnie dla trzech ka-

^{x/} Jak wynika z przykładu 3, to założenie może być nieślusne w przypadku linii stosunkowo krótkich.

nałów telefonicznych, z których każdy jest zbliżony do jednej z odpowiednich częstotliwości kanałów pomiarowych /Porównaj załącznik 1/.

Dane przedstawione na tabl. 11 zostały uzyskane przy założeniu zastosowania ujednocnionej charakterystyki preemfazy zalecanej przez CCIR /Zalecenie nr 275-I Oslo 1966 r./ dla wszystkich telefonicznych linii radiowych o modulacji częstotliwości i dlatego dane te mogą być traktowane jako typowe. Analizując poszczególne wartości łatwo zauważyć, że zespół modulator - demodulator jest głównym źródłem szumu w kanale najniższym, natomiast szum wprowadzany przez urządzenia radiowe dominuje w kanałach najwyższych.

Lokalizując uszkodzenie w linii radiowej należy zawsze starać się zmierzyć każdy zespół modulatora i demodulatora /tworząc pętlę p.cz. na każdej stacji końcowej przez połączenie modulatora i demodulatora dwóch przeciwnych kierunków transmisji/, a następnie mierzyć pętle utworzone kolejno z coraz większej liczby odcinków - również przez łączenie odpowiednich obwodów p.cz. na kolejnych stacjach przekaźnikowych.

W przypadku gdy dominuje szum tłowy /cieplny/ w zespole modulator-demodulator, a w modulatorze zastosowano dwa generatory klistronowe, można się spodziewać, że nadmierny szum jest spowodowany przez zużyty klistron.

Podobnie w przypadku gdy występuje w zespole modulator-demodulator nadmierny szum intermodulacji, wówczas można się spodziewać, że charakterystyka modulacji nie jest wystarczająco liniowa.

T a b l i c a 11

Podział mocy szumu na poszczególne składowe dla przypadku linii radiowej przystosowanej do krotkości 960 i składającej się z 5 odcinków bez demodulacji i jednego kompletu modulator-demodulator
/Wyniki obliczeń przy projektowaniu/

	Moc szumu wyrażona w pW dla kanału o częstotliwości		
	70 kHz	2438 kHz	3886 kHz
Zespół modulator-demodulator			
- szum tłowy	200	50	25
- szum powodowany przez zniekształcenia /szum intermodulacji/	185	55	30
- ogólna moc szumu	385	105	55
Urządzenia radiowe 5 odcinków linii			
- szum tłowy przy zaniku 7 dB na każdym odcinku	$5 \times 3 = 15$	$5 \times 85 = 425$	$5 \times 95 = 475$
- szum powodowany przez zniekształcenia /szum intermodulacji/	$5 \times 30 = 150$	$5 \times 62 = 310$	$5 \times 62 = 310$
- ogólna moc szumu	165	735	785
Cała linia			
- szum tłowy	215	475	500
- szum powodowany przez zniekształcenia /szum intermodulacji/	335	365	340
- ogólna moc szumu na końcu linii	550	840	840

W przypadku gdy jeden z odcinków linii wprowadza zbyt dużą składową szumu tłowego /ciepłnego/, jest pożądane sprawdzenie, czy poziom tego szumu jest stały, czy też zależy od tłumienia badanego odcinka. /Na ogół, ze względów praktycznych zamiast zmieniać tłumienie odcinka, obniża się o kilka dB moc odpowiedniego nadajnika/. W pierwszym przypadku można podejrzewać niewłaściwą pracę generatorów pomocniczych nadajników i odbiorników, a w drugim zbyt duże tłumienie pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem lub zbyt małą moc nadajnika czy zbyt duży współczynnik szumu odbiornika.

Znaczny poziom szumu intermodulacji wnoszonego przez jeden odcinek linii jest przeważnie spowodowany przez odbicie energii w liniach zasilających anteny lub przez nadmierne zniekształcenia fazowe wprowadzone przez filtry b.w.cz. lub p.cz.

W celu wyraźnego rozróżnienia składowej szumu tłowego /szumu ciepłego/ od składowej szumu powodowanego przez zniekształcenie /szumu intermodulacji/ zaleca się wykonywanie pomiarów nie tylko przy poziomie sygnału pomiarowego /poziomie szumu z generatora/ równym poziomowi zalecanemu przez CCIR i CCITT, ale również przy poziomach nieco mniejszych np. o 2 i 4 dB i nieco większych np. o 2 i 4 dB, od tego poziomu.

Reasumując można stwierdzić, że chociaż w przypadku linii radiowej pomiary przy wykorzystaniu metody białego szumu nie pozwalają na bezpośredni pomiar urządzeń transmisyjnych wchodzących w skład badanej linii, to jednak wykonując szereg pomiarów zgodnie z podanymi wyżej

wskazówkami istnieje możliwość stosunkowo dokładnej oceny pracy tych urządzeń i lokalizacji elementów uszkodzonych. Jest to bardzo istotne, ponieważ dotychczas nie istnieją inne metody pozwalające na pomiar składowych szumu, jakie są wnoszone przez urządzenia przesyłające sygnały o zmodulowanej częstotliwości.

4. DOKŁADNOŚĆ POMIARU I ŹRÓDŁA BŁĘDÓW

4.1. Dokładność pomiaru

Fakt, że poziom szumu w kanale telefonicznym zależy od obecności i poziomów sygnałów innych kanałów telefonicznych, stanowiący podstawę wprowadzenia omawianej metody pomiaru, powoduje duże trudności przy określaniu dokładności pomiarów wykonywanych zgodnie z tą metodą. Główna trudność jest związana z ustaleniem, jaki sygnał doprowadzony do wejścia badanej linii lub urządzenia należy uznać jako sygnał nie wprowadzający błędu pomiaru.

Na podstawie prac Holbrooka i Dixona /3/, CCITT w zaleceniu G 223 /Niebieska Księga tom III/ ustaliła poziomy mocy sygnału zbiorczego, które powinny być przyjmowane przy obliczaniu szumu wprowadzonego przez urządzenia linii radiowych i przewodowych. Te poziomy zostały również przyjęte jako poziomy sygnału pomiarowego przy pomiarze metodą białego szumu i w związku z tym zostały podane powyżej w tabl. 1.

We wspomnianym zaleceniu CCITT uznała, że przy krotkościach większych lub równych 60, zastosowanie do pomiarów i obliczeń sygnału o ciągłym widmie jednorodnym

/szumu białego/ jest "dobrym przybliżeniem", natomiast przy krotnościach mniejszych, z powodu znacznej różnicy pomiędzy sygnałami rzeczywistymi i sygnałami o widmie ciągłym pomiary przy wykorzystaniu tego ostatniego sygnału będą "mniej realistyczne".

Wszystkie dotychczasowe międzynarodowe dyskusje na temat dokładności pomiaru metody białego szumu opierają się na wyżej przytoczonych zdaniach CCITT, to jest na założeniu, że zastosowanie sygnału pomiarowego o widmie idealnie ciągłym i jednorodnym w przypadku pomiaru urządzeń systemów o krotnościach 60 i więcej, nie wnosi żadnych błędów /naturalnie przy prawidłowym poziomie tego sygnału/, natomiast zastosowanie tego samego sygnału do pomiarów urządzeń systemów o krotnościach mniejszych od 60, jest związane z wprowadzeniem błędu, którego wartość nie może być określona. Warto zauważyć, że takie podejście w związku z brakiem innej odpowiedniej metody oznacza również, iż linie i urządzenia systemów o krotnościach mniejszych od 60 nie mogą być oceniane co do ich zgodności z wymaganiami CCITT. Pewnym wyjaśnieniem takiego stanu rzeczy jest brak międzynarodowych linii o małych krotnościach^{x/}.

^{x/} Ze względu na to, że zastosowanie systemów o małych krotnościach /24; 60 i 132/ jest aktualne w międzynarodowej telekomunikacji satelitarnej, obecnie na terenie CCIR i CCITT jest rozpatrywana propozycja odpowiedniego uzupełnienia zalecenia CCIR nr 399-I. Między innymi dyskutuje się wprowadzenie nowych częstotliwości kanałów pomiarowych, np. 16; 98 i 240 kHz [5].

W praktyce większość budowanych zestawów do pomiaru metodą białego szumu jest przystosowana również do pomiarów linii i urządzeń systemów o małych krotnościach /przeważnie od 12/ i pomiary takich linii i urządzeń są często wykonywane, szczególnie w przypadku małowymiarowych linii radiowych.

4.2. Błędy pomiaru

4.2.1. Błędy spowodowane przez niedoskonałe przyrządy

a/ Generator szumu

Ze względu na duże znaczenie prawidłowej wartości poziomu sygnału obciążającego badaną linię czy urządzenie poziom szumu na wyjściu generatora powinien być dokładnie znany i powinna istnieć możliwość odpowiedniej jego regulacji /załącznik 2 pkt. 2.1/.

Następnym źródłem błędu wprowadzonego przez generator może być nieprawidłowa szerokość pasma szumu. Zarówno zbyt wąskie pasmo szumu jak i zbyt szerokie może być powodem nieprawidłowego obciążenia badanej linii, szczególnie, jeżeli w urządzeniach tej linii zastosowano układy preemfazy.

W końcu należy zwrócić uwagę na jednorodność i ciągłość widma sygnału z generatora /załącznik 1 pkt. 2.2/, gdyż sygnał ten jest nie tylko źródłem mierzonych zakłóceń, ale zgodnie z zaleconą metodą pomiaru służy również do cechowania miernika szumu.

b/ Środkowozaporowe filtry nadawcze

Środkowozaporowy filtr nadawczy może być źródłem trzech rodzajów błędów pomiaru, a mianowicie: błędu spowodowanego przez tłumienie filtru w pasmie zbliżonym do pasmo zaporowego filtru, błędu spowodowanego przez zbyt małe tłumienie statyczne filtru i błędu spowodowanego przez zbyt małe tłumienie dynamiczne filtru. Wymienione błędy są kolejno omówione poniżej.

Błąd spowodowany przez tłumienie filtru w pasmie zbliżonym do pasma zaporowego filtru

Rzeczywisty filtr środkowozaporowy wprowadza nie tylko tłumienie składowych o częstotliwościach zawartych w pasmie zaporowym, ale ze względu na nie idealną charakterystykę tłumią również składowe o częstotliwościach zbliżonych leżących poza pasmem zaporowym. Wskutek tego pewna część widma sygnału z generatora nie dochodzi do wejścia badanego urządzenia, a więc obciążenie badanego urządzenia zostaje zmniejszone^{x/}. Wpływ tego zjawiska na wynik pomiaru zależy przede wszystkim od rzędu zakłóceń intermodulacyjnych występujących w badanym urządzeniu.

W przypadku zakłóceń intermodulacyjnych drugiego rzę-

^{x/} We wszystkich dotychczas spotykanych zestawach miernik poziomu wyjściowego generatora szumu jest dołączony przed filtrem środkowozaporowym, a to ze względu na zniekształcenia widma sygnału, jakie są wprowadzane przez diodę miernika.

du, to jest gdy istnieje składowa napięcia na wyjściu badanego urządzenia, proporcjonalna do drugiej potęgi napięcia doprowadzonego do wejścia tego urządzenia, można łatwo udowodnić [7], że częstotliwość każdej składowej sygnału powstałego wskutek zakłócenia f_o będzie równa:

$$f_o = |f_1 \pm f_2|$$

gdzie:

f_1 i f_2 są częstotliwościami dowolnych składowych sygnału pierwotnego.

Zgodnie z zasadą pomiaru i z powyższym równaniem, zakłócenia intermodulacyjne drugiego rzędu mogą powstawać od składowych sygnału pierwotnego, mających częstotliwości odległe co najmniej o f_d od częstotliwości f_o /średkowej częstotliwości filtra/, przy czym f_d jest najmniejszą częstotliwością składową sygnału pierwotnego /z generatora/. Ponieważ zwykle f_d jest stosunkowo duża w porównaniu do szerokości pasma, w którym tłumienie rozpatrywanego filtra jest zauważalne, włączenie nieidealnego filtra środkowozaporowego z reguły nie powoduje błędów pomiaru w przypadku zakłóceń intermodulacyjnych drugiego rzędu.

W przypadku zakłóceń intermodulacyjnych trzeciego rzędu, tj. gdy istnieje składowa napięcia na wyjściu badanego urządzenia, proporcjonalna do trzeciej potęgi napięcia doprowadzonego do wejścia tego urządzenia częstotliwość składowej sygnału powstałego wskutek zakłócenia f_o będzie równa [7]:

$$f_0 = |f_1 \pm f_2 \pm f_3|$$

gdzie:

f_1 ; f_2 i f_3 podobnie jak poprzednio są częstotliwościami dowolnych składowych sygnału pierwotnego.

Jak łatwo zauważyć, analizując powyższą zależność, zakłócenia intermodulacyjne trzeciego rzędu mogą powstawać wskutek oddziaływania składowych o częstotliwościach dowolnie bliskich do f_0 /środkowej częstotliwości filtru/. Tym samym włączenie nieidealnego filtra środkowo-zaporowego z reguły powoduje błąd pomiaru, gdy w urządzeniu badanym występują zakłócenia intermodulacyjne trzeciego rzędu. Wspomniany błąd będzie największy, jeżeli na wejściu badanego urządzenia został zastosowany układ preemfazy, a włączony filtr będzie filtrem najwyższego kanału pomiarowego. Ocenę wartości spodziewanych błędów umożliwia wykres podany na rys. 11 str. 75 oraz dane zawarte w tabl. 12 - przytoczone na podstawie dokumentów roboczych Komisji C [5].

W praktyce w większości spotykanych urządzeń zakłócenia intermodulacyjne trzeciego rzędu są zakłóceniami dominującymi. Z tego względu często zaleca się, aby równocześnie z włączeniem filtru odpowiednio powiększyć poziom sygnału z generatora [8]. W tym celu jest używane pojęcie skutecznej szerokości pasma tłumienia filtru równe liczbowo szerokości pasma idealnego filtru mającego charakterystykę idealnie prostokątną i mającego na wyj-

ściu tę samą moc, jak filtr rzeczywisty. Naturalnie powiększenie poziomu sygnału z generatora nie eliminuje całkowicie omawianego błędu.

T a b l i c a 12

Przewidywane maksymalne błędy /wartości ujemne/ przy pomiarze szumu intermodulacji trzeciego stopnia, powodowane przez włączenie filtrów środkowozaporowych o charakterystykach zgodnych z danymi tabl.3 zalecenia CCIR nr 399-I /załącznik 1/

Filtr środkowozaporowy	Maksymalny błąd /wartość ujemna/ w przypadku pomiaru szumu intermodulacji trzeciego stopnia
70	0,5
270	1,8
534	1,6
1248	1,5
2438	1,3
3886 /LC/	1,5
3886 /kwarcowy/	pomijalny
5340	pomijalny
7600	pomijalny
11700	pomijalny

Błąd spowodowany przez zbyt małe tłumienie statyczne filtra

Ze względu na to, że selektywność miernika szumu jest przystosowana do określonej charakterystyki filtra nadawczego, zastosowanie filtra o zbyt wąskiej cha-

rakterystyce może spowodować dodatkowy błąd pomiaru, np. przy zastosowaniu do pomiaru na drugim końcu badanej linii miernika szumu innej firmy. Pomiar "szumu własnego" zestawu, wykonany przy bezpośrednim połączeniu filtra nadawczego z miernikiem szumu /przy zwarcie urządzenia badanego/, pozwala na wykrycie tego rodzaju błędu powodującego zwiększenie "szumu własnego" zestawu.

Błąd spowodowany przez zbyt małe tłumienie dynamiczne filtra

Niektóre elementy, z których jest zbudowany omawiany filtr, mogą mieć własności zależne od amplitudy sygnału. W takim przypadku nawet przy właściwej charakterystyce statycznej filtra na jego wyjściu mogą się pojawić składowe o częstotliwościach, które powinny być tłumione przez filtr. /Z tego względu należy zwracać uwagę, aby nie zamieniać miejscami zacisków wejściowych i wyjściowych filtra!/. Omawiany błąd powoduje powiększenie "szumu własnego" i może być wykryty przez pomiar tego szumu w wykorzystywanym zestawie.

c/ Miernik szumu

Błędy wprowadzane przez miernik szumu zależą od stosowanej metody wykonywania pomiaru.

Stosunkowo dużo błędów może być wprowadzonych, jeżeli jest mierzony bezwzględny poziom szumu. W takim przypadku błąd może być spowodowany między innymi przez znia-

nę wzmocnienia wzmacniaczy miernika /mierzone poziomo są przeważnie bardzo małe i wszystkie mierniki mają wbudowane wzmacniacze/ oraz przez różnicę pomiędzy aktualną szerokością pasma miernika a szerokością pasma przyjętą przy jego skalowaniu.

W celu uniknięcia wymienionych błędów Komisja C zaleca /patrz załącznik 2/, aby wykonywać pomiar różnicy poziomów zgodnie ze wskazówkami podanymi powyżej w rozdz. 2.1.3.

W przypadku wykonywania pomiaru zgodnie z zaleceniem Komisji C dokładność pomiaru zależy głównie od dokładności skalowania zastosowanego tłumika skokowego.

Miernik szumu może również wprowadzać błędy pomiaru, jeżeli jego selektywność statyczna lub dynamiczna będzie zbyt mała. Te ostatnie błędy powodują powiększenie "szumu własnego" i mogą być wykryte przez pomiar tego szumu dla całego zestawu /pkt. b - powyżej i załącznik 1 i 2/.

4.2.2. Błędy związane z techniką wykonywania pomiaru

Pierwszy rodzaj błędu związanego z techniką wykonywania pomiaru został już omówiony powyżej w rozdz.

4.2.1.c.

Dalszy błąd może być spowodowany przez równoczesne włączenie kilku środkowozaporowych filtrów nadawczych, zamiast tylko jednego filtra. Zgodnie z analizą przeprowadzoną powyżej w rozdz. 4.2.1.b., w przypadku pomiaru urządzenia z układem preemfazy równoczesne włą-

czenie kilku filtrów będzie powodowało największy błąd, jeżeli jeden z włączonych filtrów będzie filtrem najwyższego kanału pomiarowego. Jeżeli przy tym pomiar będzie wykonywany przy innym kanale pomiarowym niż najwyższy, to błąd pomiaru może wystąpić we wszystkich przypadkach, to jest zarówno w przypadku gdy w urządzeniu badanym dominują zakłócenia intermodulacyjne trzeciego rzędu, jak i w przypadku gdy w urządzeniu badanym dominują zakłócenia intermodulacyjne drugiego rzędu.

Wymienione względy powodują, że w czasie pomiaru należy włączać tylko jeden filtr nadawczy /załącznik 2 pkt. 2.3./.

4.2.3. Błędy związane z ograniczoną liczbą kanałów pomiarowych

Metoda białego szumu przy dzisiejszym stanie techniki pozwala na wykonywanie pomiarów tylko dla określonych kanałów pomiarowych. W przypadku jeżeli w badanym urządzeniu lub badanej linii radiowej nie występują zakłócenia o widmie prążkowym /powodowane np. przez sinusoidalny sygnał zakłócający/, takie ograniczenie pomiarów nie jest istotne.

W przypadku pomiarów niektórych linii kablowych, w których występują zakłócenia intermodulacyjne drugiego rzędu, zaobserwowano szczególnie w dolnej części transmitowanego pasma częstotliwości zmienność zmierzonego poziomu szumu w zakresie kilku decybeli /zależność częstotliwościowa/. To zjawisko nie zostało dotychczas wyjaśnione teoretycznie [5].

Zakłócenia o widmie prążkowym mogą powodować zarówno pewne sygnały wytwarzane w urządzeniach badanej linii /np. w linii radiowej sygnały kanału służbowego transmitowane we wspólnym pasmie zbiorczym poniżej pasma zajętego przez sygnał wielokrotny/, jak i sygnały pochodzenia zewnętrznego /np. w przypadku gdy badana linia kablowa przebiega obok silnej radiostacji, której częstotliwość nośna leży w zakresie pasma podstawowego badanej linii/. W obecności zakłóceń o widmie prążkowym pomiar metodą białego szumu daje wyniki prawidłowe dla częstotliwości kanałów pomiarowych, jednak w tym przypadku mogą powstać duże błędy przy interpelowaniu wyników dla kanałów leżących w pasmach pośrednich pomiędzy kanałami pomiarowymi.

4.3. Zagadnienia związane z zastosowaniem metody białego szumu do pomiarów linii radiowych i kablowych przystosowanych do transmisji sygnałów o krotności mniejszej od 60

Zastąpienie widma sygnału zbiorczego przez wycinek ciągłego widma jednorodnego, tj. przez wycinek białego szumu, jest związane z dwoma przybliżeniami.

Po pierwsze, w sygnale zbiorczym /wielokrotnym/ występują luki pomiędzy sygnałami poszczególnych kanałów telefonicznych, a więc widmo sygnału zbiorczego nie jest ciągłe. Po drugie, trzeba zauważyć, że w danym momencie czasu, w sygnale zbiorczym tylko stosunkowo nieduża część kanałów telefonicznych transmituje sygnały. W wa-

runkach rzeczywistych nawet gdy sumaryczny poziom sygnału zbiorczego jest stały, moce sygnałów transmitowanych w poszczególnych kanałach telefonicznych stale się zmieniają i następuje jak gdyby ciągle przemieszczanie się energii z jednych kanałów do drugich. Wskutek tego w warunkach rzeczywistych poziom szumów intermodulacyjnych w każdym z kanałów wykorzystywanych jako kanał pomiarowy na ogół będzie się ciągle zmieniał. Zgodnie z powyższym, chcąc określić moc szumu wprowadzoną przez linię o małej krotności, należałoby wykonać szereg pomiarów przy różnych kombinacjach obciążeń w poszczególnych kanałach, a następnie opracować wyniki tych pomiarów w sposób statystyczny. Taki sposób wykonywania pomiarów jest zbyt uciążliwy i dlatego wydaje się, że metoda białego szumu będzie również stosowana do pomiarów różnych nowo opracowywanych urządzeń i linii przewidzianych do transmisji sygnałów o krotności mniejszej od 60 x/.

W związku z omawianym w tym punkcie zastosowaniem metody białego szumu należy zwrócić uwagę, że dotychczas w zasadzie wszystkie linie kablowe i urządzenia wchodzące w ich skład były projektowane i mierzone na podstawie wymagań określających bezpośrednio wartości współczynników zniekształceń nieliniowych drugiego i trzeciego rzędu. Wartości tych współczynników dla poszczególnych urządzeń i systemów są określone w odpowiednich za-

x/ Odnośnik str. 50, pkt. 4.1.

leceniach CCITT /2/, przy czym dotychczas nie ma jednoznacznych zależności wiążących wartości tych współczynników z odpowiadającymi im mocami szumu intermodulacyjnego.

5. ZESTAW POMIAROWY OPRACOWANY I WYKONANY W INSTYTUCIE ŁĄCZNOŚCI

5.1. Opis zestawu

W Instytucie Łączności w latach 1963-1965 opracowano dwa zbliżone modele zestawów do pomiaru stosunku sygnału do szumu, oparte na metodzie białego szumu [6].

W tych samych latach również w IL zostało wykonanych kilka modeli użytkowych tych zestawów.

Przy opracowywaniu zestawów oparto się na obowiązującym w tym czasie pierwotnym tekście zalecenia CCIR nr 399 /Genewa 1963 r./, przy czym wprowadzono dodatkowe częstotliwości pomiarowe i dodatkowe pasma szumu w generatorze, tak że wykonane zestawy - a szczególnie model 2 - nadawały się do pomiarów w zasadzie wszystkich spotykanych na terenie kraju linii kablowych i radiowych o krotności od 12 do 300 włącznie.

Ze względu na małe różnice pomiędzy modelem 1 i modelem 2 poniżej będzie opisany tylko model 2 zestawu.

Zestaw składa się z trzech zasadniczych przyrządów:

- generatora szumu - rys. 12 str. 76,
- zespołu środkowozaporowych filtrów nadawczych - rys. 13 str. 76,

- miernika szumu - rys. 14 str. 77.

Generator wraz z zespołem filtrów zaporowych stanowi wyposażenie strony "nadawczej", natomiast całe wyposażenie strony "odbiorczej" jest umieszczone w mierniku szumu. Działanie poszczególnych elementów najlepiej można wyjaśnić posługując się uproszczonym schematem blokowym zestawu, przedstawionym na rys. 1, oraz bardziej szczegółowymi schematami /blokowymi/, przedstawionymi na rys. 15 - 20 str. 77*78.

Szum o widmie ciągłym jest wytwarzany w generatorze lampowym oznaczonym na rysunku jako generator szumu, a następnie jest wzmacniany we wzmacniaczu szerokopasmowym /rys. 15 i 16 s. 77, 78/. Pasmo szumu na wyjściu wzmacniacza jest znacznie szersze od pasma wykorzystywanego przy pomiarach. Ograniczenie pasma zapewniają filtry: górno- i dolnoprzepustowy. Ponieważ przy pomiarach różnych systemów telekomunikacyjnych o różnych krotnościach konieczne jest zapewnienie pasm pomiarowych odpowiadających poszczególnym systemom, to przyrząd zaopatrzone w kilka filtrów o różnych częstotliwościach granicznych i dwa przełączniki. Pierwszy z przełączników umożliwia wybór jednego z filtrów górnoprzepustowych, a drugi jednego z filtrów dolnoprzepustowych. Częstotliwości graniczne poszczególnych filtrów są tak wybrane, aby umożliwić tworzenie pasm odpowiadających najczęściej stosowanym systemom teletransmisyjnym. Charakterystyki filtrów zarówno górno- jak i dolnoprzepustowych odpowiadają zaleceniu CCIR nr 399.

W zakresie małych częstotliwości szum wytwarzany w generatorze wskutek zjawiska migotania odbiega od szumu białego. W celu usunięcia niepożądanego wpływu tego zjawiska, występującego wyraźnie przy dolnej częstotliwości granicznej 6 kHz, zastosowano włączony na stałe filtr górnoprzepustowy 60 kHz i układ przemiany /przesunięcia/ częstotliwości włączany w przypadku wykorzystywania pasma szumu od 6 lub 12 kHz.

Wyjście filtrów połączone jest z regulatorem pozwalającym na zmianę poziomu w sposób ciągły. Następnie szum o ograniczonym pasmie jest doprowadzony do wzmacniacza mocy. Wzmacniacz mocy ma małe zniekształcenia nieliniowe, dużą dynamikę i impedancję wyjściową 75Ω . Do wyjścia wzmacniacza mocy dołączone są miernik poziomu i tłumik skokowy. Miernik wskazuje wartość skuteczną i wyskalowany jest w przedziale od +10 do +15 dBm, co 1 dBm. Tłumik umożliwia skokowe zmniejszenie określonego powyżej poziomu. Tłumienie może być regulowane od 0 do 59 dB. Najmniejsza zmiana tłumienia tłumika skokowego jest równa 3 dB. W rezultacie możliwe jest ustawienie każdego poziomu od +15 do -49 dBm. Wyjście tłumika połączone jest z gniazdem współosiowym, umieszczonym na płycie czołowej generatora. Gniazdo to łączy się kablem współosiowym z zespołem filtrów zaporowych, który jest umieszczony w oddzielnej obudowie /rys. 17 str. 78 /. Poszczególne filtry mogą być włączane i wyłączane niezależnie. Tłumienie każdego z filtrów przekracza 80 dB w pasmie o szerokości powyżej 3 kHz.

Schemat szczegółowy typowego filtra środkowozaporo-

wego jest pokazany na rys. 18 str. 78 . Na rys. 19 str. 79 jako przykład podano charakterystykę filtra nadawczego dostrojonego do częstotliwości 270 kHz.

Wyjście zespołu filtrów o impedancji 75 omów jest niesymetryczne względem ziemi. Wyjście to może być połączone bezpośrednio z urządzeniem mierzonym, np. jak na rys. 1 - wkładka z nadajnikiem linii radiowej. Można też połączyć je przez dodatkowy tłumik względnie przez transformator symetryzujący.

Wyjście urządzenia badanego, np. odbiornika linii radiowej, może być połączone bezpośrednio z miernikiem szumu /rys. 20 str. 79/. Wejście miernika szumu jest również niesymetryczne, o impedancji 75 omów.

Gniazdo wejściowe miernika jest połączone z tłumikiem o tłumienności zmienianej w granicach od 0 do 101 dB, skokami co 1 dB. Następnie szum jest wzmacniany. W celu zmniejszenia niepożądanego mocy, tj. ograniczenia widma szumu doprowadzonego do wzmacniacza, pomiędzy tłumikiem a wzmacniaczem włączono filtr środkowoprzepustowy. Zależnie od wybranej środkowej częstotliwości pomiarowej włączone są różne filtry. Każdy filtr ma wbudowany transformator podwyższający napięcie wyjściowe i poprawiający tym samym współczynnik szumu miernika.

Wyjście wzmacniacza wstępnego połączone jest z mieszaczem /układem przemiany częstotliwości/ również przez filtr dostrojony do wybranej środkowej częstotliwości pomiarowej. Do mieszacza są też doprowadzone drgania pomocnicze wytworzone przez heterodynę /generator pomocniczy/. Częstotliwość drgań pomocniczych jest zmieniana

tak, że dla każdej wybranej środkowej częstotliwości pomiarowej, przebiegi na wyjściu mieszacza będą zawsze miały częstotliwość pośrednią równą 160 kHz.

Filtry wbudowane do wzmacniacza częstotliwości pośredniej mają charakterystykę węższą niż filtry wejściowe, dzięki czemu następuje zawsze jednakowe ograniczenie pasma przebiegów mierzonych, niezależnie od wybranej częstotliwości pomiarowej. Przenoszone pasmo wzmacniacza pośredniej częstotliwości jest równe około 1,5 kHz. Do wyjścia wzmacniacza częstotliwości pośredniej jest dołączony miernik poziomu. W skład odbiornika wchodzi jeszcze generator cechowania wytwarzający drgania o częstotliwości 70 kHz o stałej amplitudzie. Po włączeniu tego generatora można sprawdzić działanie całego przyrządu oraz ustawić nominalne wzmocnienie całkowite. Do regulacji wzmocnienia zastosowano oddzielny regulator połączony ze wzmacniaczem pośredniej częstotliwości.

5.2. Dane techniczne zestawu

5.2.1. Generator szumu

Generator szumu wytwarza sygnał o widmie ciągłym w pasmie o częstotliwościach granicznych:

dolnych: 6, 12 lub 60 kHz

górných: 60, 108, 252, 300, 552 lub 1364 kHz.

Wszystkie filtry ograniczające pasmo są wbudowane do przyrządu. Filtry zapewniają tłumienie powyżej 25 dB dla sygnałów o częstotliwościach o 10% większych od czę-

stotliwości krańca pasma /filtry dolnoprzepustowe/ i dla sygnałów o częstotliwościach o 20% mniejszych od częstotliwości krańca pasma /filtry górnoprzepustowe/. Charakterystyka szumu na wyjściu generatora odpowiada zaleceniu CCIR nr 399 /Genewa 1963 r./.

Moc wyjściowa generatora /poziom maksymalny/ +15 dBm.

Poziom minimalny -49 dBm.

Regulacja poziomu szumu skokowa i ciągła.

Impedancja wyjściowa 75 omów, niesymetryczna.

5.2.2. Zespół zaporowych filtrów nadawczych

Częstotliwości środkowe filtrów: 15, 50, 70, 105, 230, 270, 534, 1248 kHz.

Charakterystyki tłumienia filtrów odpowiadają zaleceniu CCIR nr 399 /Genewa 1963 r./, to znaczy w pasmie o szerokości 3 kHz tłumienie przekracza 80 dB, a przy częstotliwościach oddalonych od częstotliwości środkowej f_0 o $\pm /0,02 f_0 + 4/$ kHz, tłumienie przekracza 3 dB.

Każdy z filtrów może być włączany i wyłączany niezależnie. Impedancja wejściowa i wyjściowa 75 omów, w układzie niesymetrycznym względem ziemi.

5.2.3. Miernik szumu

Środkowe częstotliwości mierzonego szumu: 15, 50, 70, 105, 230, 270, 534, 1248 kHz.

Szerokość pasma przebiegów mierzonych - niezależna od częstotliwości i równa około 1500 Hz.

Współczynnik szumów około 12 dB.

Impedancja wejściowa 75 omów niesymetryczna.

Na wejściu wbudowany tłumik skokowy 0 + 101 dB. Skoki co 1 dB.

5.2.4. Dane ogólne zestawu /bez transformatorów symetryzujących/

Szumy własne zestawu przy połączeniu bezpośrednio generatora, filtrów i odbiornika oraz przy poziomie wyjściowym generatora +5 dBm, wynoszą około -80 dB /ustawienie tłumików/. Szumy własne zestawu zezwalają zatem na pomiar szumów, wnoszonych przez urządzenie badane, o psufometrycznej mocy odniesionej do poziomu zerowego, równej 1 pW.

5.2.5. Transformator symetryzujący

Impedancja wejściowa: 75 omów niesymetryczna.

Impedancja wyjściowa: 150 omów symetryczna.

Charakterystyka przenoszenia: płaska w zakresie od 6 do 552 kHz, dopuszczalny spadek przy skrajnych częstotliwościach 0,7 dB.

Szumy własne zestawu połączonego przez dwa transformatory są nieznacznie większe od podanych w rozdz.5.2.4.

6. ZAKOŃCZENIE

Opisana metoda pomiaru pozwala na łatwe i bardzo szybkie pomiary jakości transmisji /stosunku sygnału do szu-

mu/ w różnych liniach kablowych i radiowych przeznaczonych do przesyłania telefonicznych sygnałów zbiorczych, jak i w różnych urządzeniach wchodzących w skład tych linii. Metoda może być stosowana uniwersalnie, przy czym sposób wykonywania pomiarów nie zależy od rodzaju badanej linii czy urządzenia. Szczególnie przy konserwacji urządzeń, wyszukiwaniu i wymianie uszkodzonych elementów, dobieraniu punktów pracy itp. oddaje ona ogromne usługi.

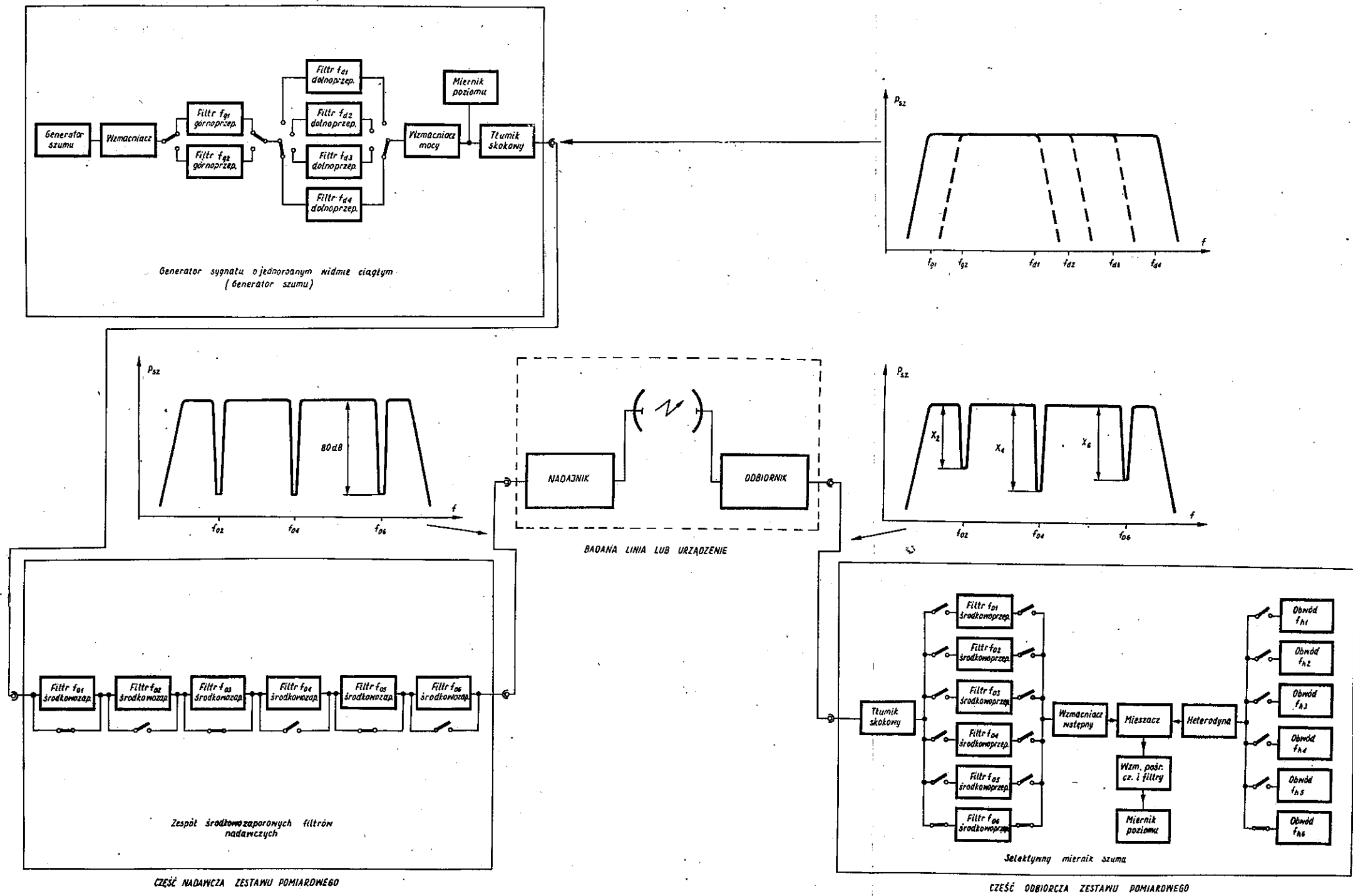
Wyniki pomiarów w odróżnieniu od wyników pomiarów uzyskiwanych innymi metodami są bezpośrednio porównywalne z wymaganiami opartymi na zaleceniach CCIR i CCITT oraz obliczeniami projektowymi linii lub urządzeń.

Wymienione zalety powodują, że opisana metoda już obecnie jest bardzo szeroko stosowana w wielu krajach przy rozmaitych pomiarach linii radiowych i kablowych. Należy się spodziewać, że również na terenie kraju metoda białego szumu będzie coraz szerzej stosowana i to zarówno w technice linii radiowych, jak i w technice linii kablowych. Jest to tym bardziej uzasadnione, iż prace prowadzone na terenie CCITT i CCIR nad dokładnością tej metody i podstawowymi jej parametrami zostały już w zasadzie zakończone, a obecnie prowadzone prace przewidują dalsze rozszerzenie zakresu stosowania metody do nowych systemów o krotnościach bardzo dużych /system 60 MGz/ i bardzo małych /systemy łączności satelitarnej/.

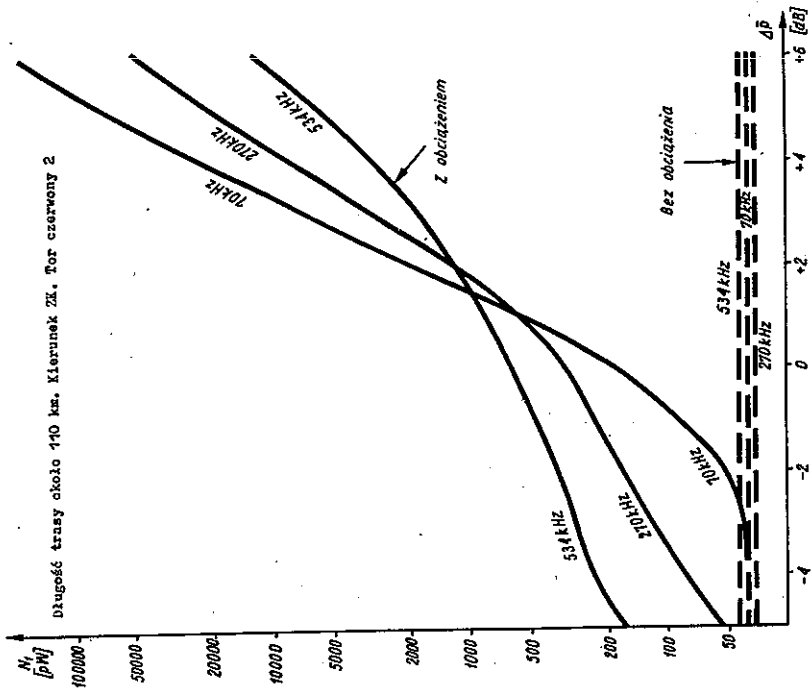
WYKAZ LITERATURY

1. CCIR. Documents of the X th Plenary Assembly Geneva 1963. ITU Geneva 1963 oraz Documents of the XI th Plenary Assembly Oslo 1966. ITU Geneva 1967.
2. CCITT. Documents of the III Plenary Assembly Geneva. 1964. Blue Book Vol. III. ITU Geneva 1965 oraz dokumenty robocze Komisji Specjalnej C /CCIR-CCITT/.
3. Holbrook B.D., Dixon J.T.: Load Rating Theory for Multichannel Amplifiers. Bell System Technical Journal 1939. t. 18, nr 4.
4. Yeh L.P.: Noise - Loading Test of Complete Frequency - Division Multiplex Point - to - Point Communication System. Communication and Electronics 1962, nr 59.
5. Dudziewicz J.: Sprawozdanie z podróży służbowej do Genewy na zebranie Mieszanej Komisji Specjalnej C /Szumy/ w ramach CCITT/CCIR w dniach 26.II-1.III.1968. Instytut Łączności 1968 r.
6. Zienkiewicz R., Wójcikiewicz J., Derski J.: Zestaw do pomiaru stosunku sygnału do szumu. Część I i II. /Dok. Techn. I - 144/. Instytut Łączności 1964 r. oraz Zestaw do pomiaru stosunku sygnału do szumu - Model 2. Część I i III. Instytut Łączności 1965 r. /Dok Techn. I - 153/.
7. Rotkiewicz W., Rotkiewicz P.: Technika odbioru radiowego - Miernictwo. Rozdział 2 punkt 2.5.6.1. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1963 r.

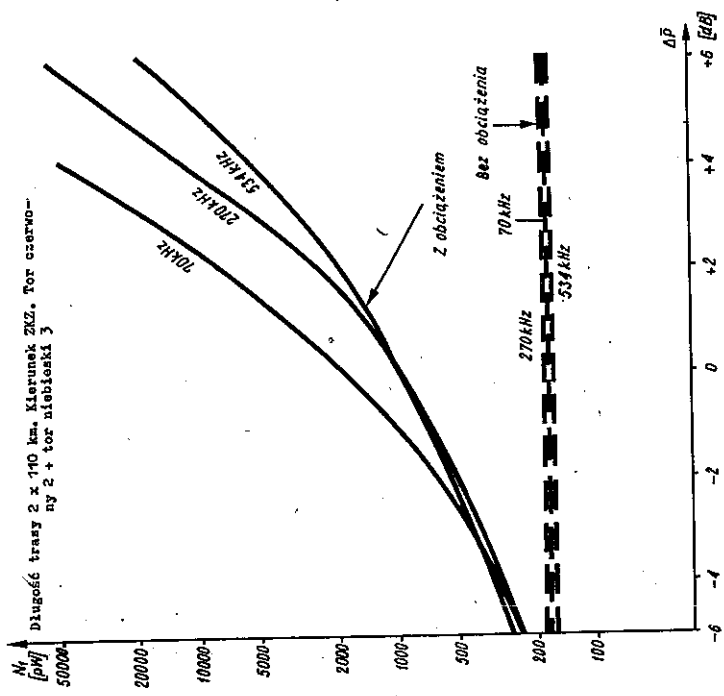
8. Gribben H.C.: Intermodulation - Measurement on Low Capacity Link Systems. Marconi Instrumentation. 1963, t. 9, nr 1.
9. Gribben H.C.: Intermodulation Measurement of Multi - Channel Telephone Systems. Telecommunications. 1963, t. 12, nr 2.
10. Praca zbiorowa. Nowyje rozrabotki w oblasti kontrolno-izmieritelnej apparatury. Swiazizdat. Moskwa 1962 r.
11. Instrukcje i katalogi dotyczące zestawów pomiarowych firm Marconi, Siemens, Wandel i Goltermann i innych.



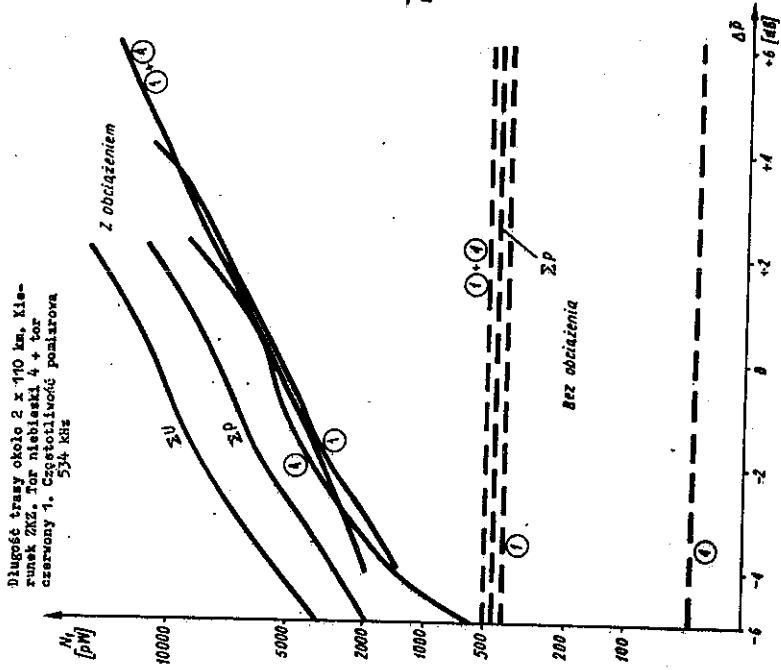
Rys. 1. Schemat blokowy ilustrujący zasadę pomiaru metodą białego szumu



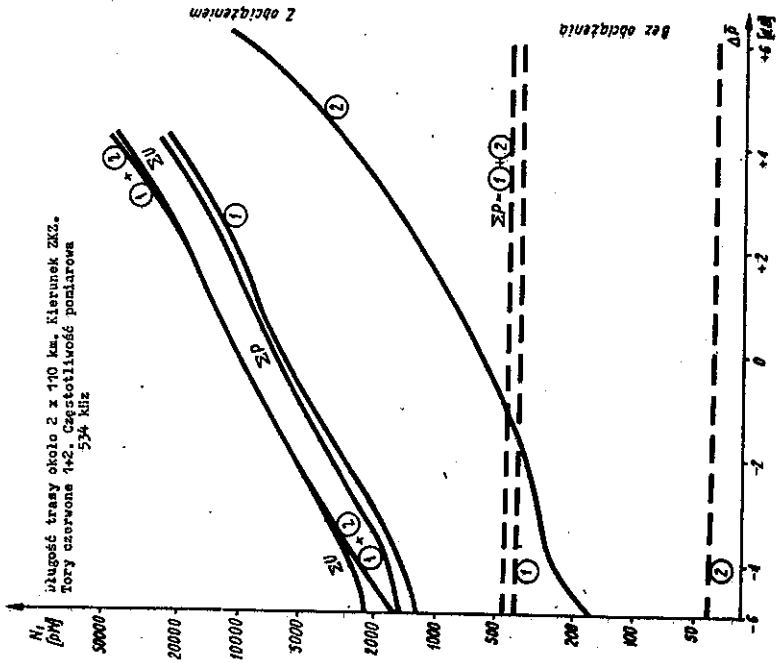
Rys. 2. Przykład 3. Psrofometryczna moc szumu w funkcji obciążenia



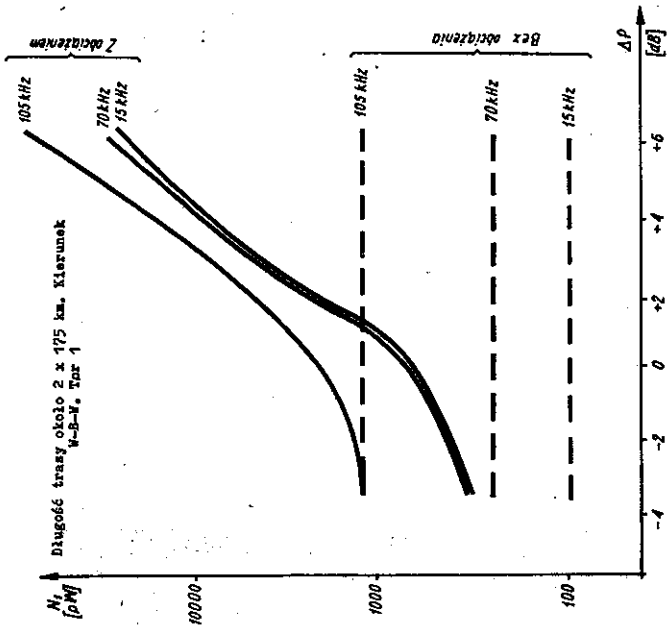
Rys. 3. Przykład 3. Psrofometryczna moc szumu w funkcji obciążenia



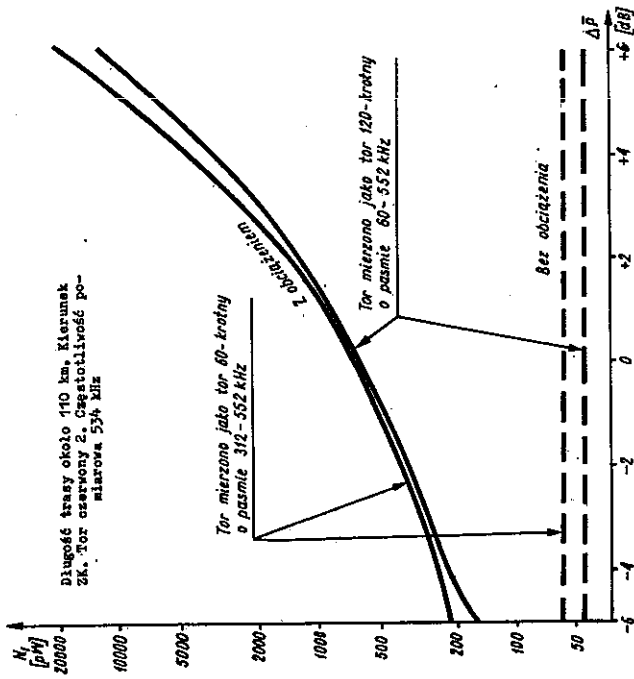
Rys. 5. Przykład 3. Profometryczna moc szumu w funkcji obciążenia



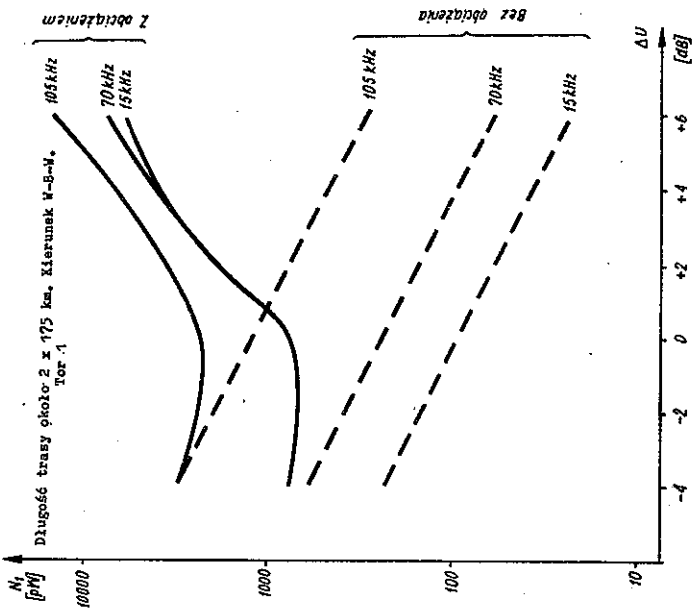
Rys. 4. Przykład 3. Profometryczna moc szumu w funkcji obciążenia



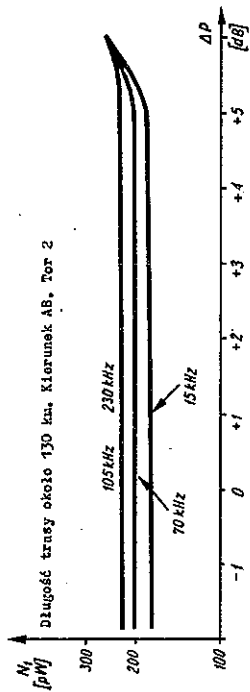
Rys. 7. Przykład 4. Psfometryczna moc szumu w funkcji obciążenia



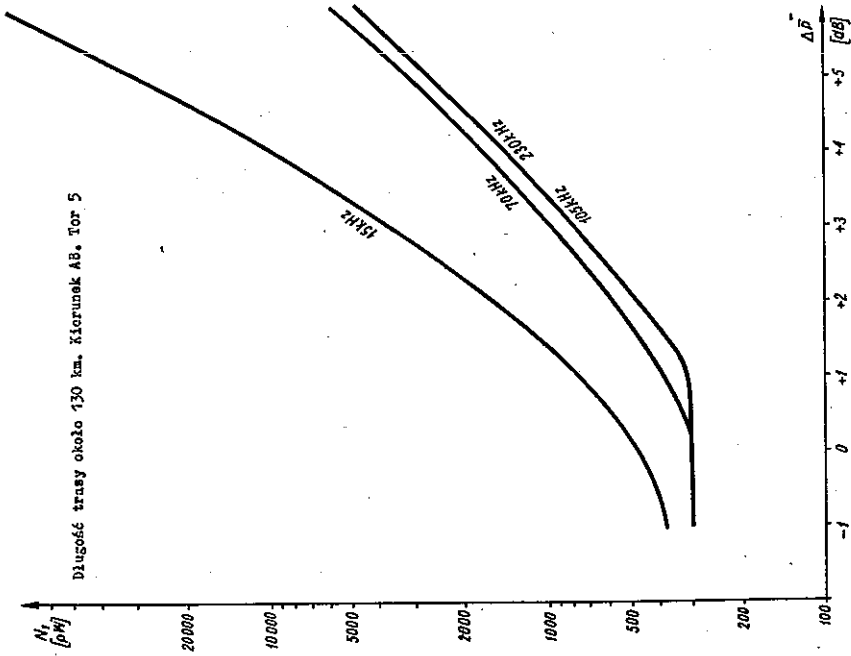
Rys. 6. Przykład 3. Psfometryczna moc szumu w funkcji obciążenia



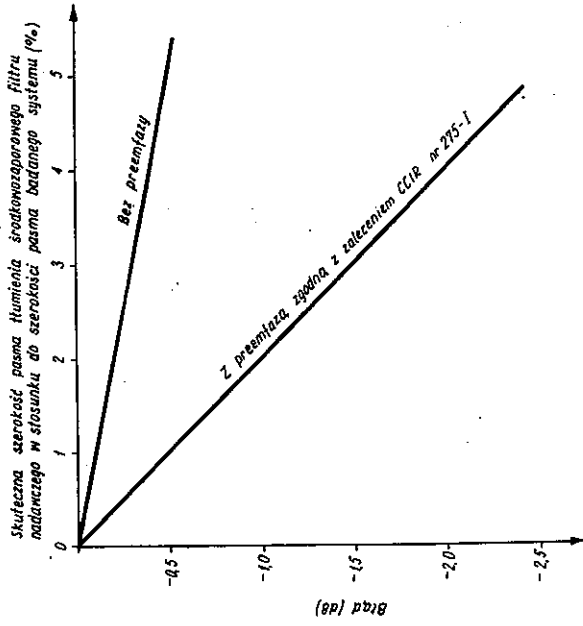
Rys. 8. Przykład 5. Psofometryczna moc szumu w funkcji poziomu przyjmowanego jako poziom nominalny



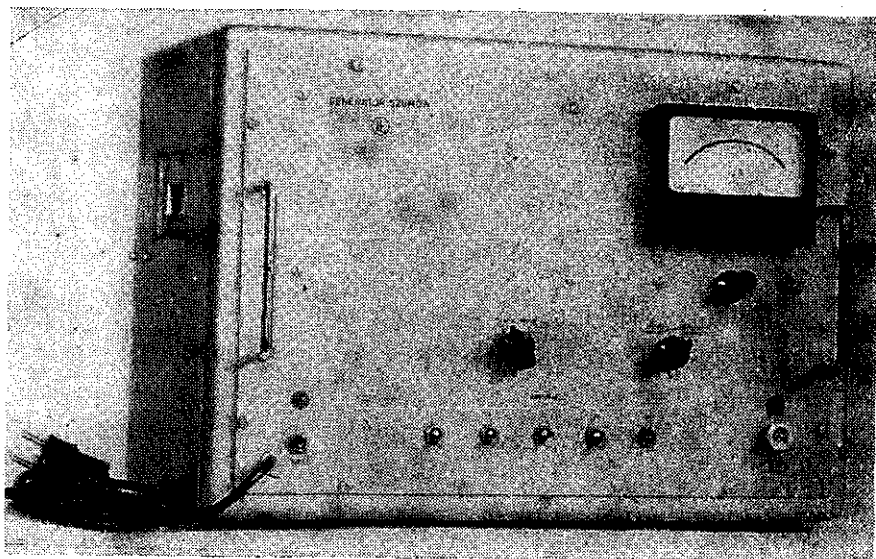
Rys. 9. Przykład 6. Psofometryczna moc szumu w funkcji obciążenia



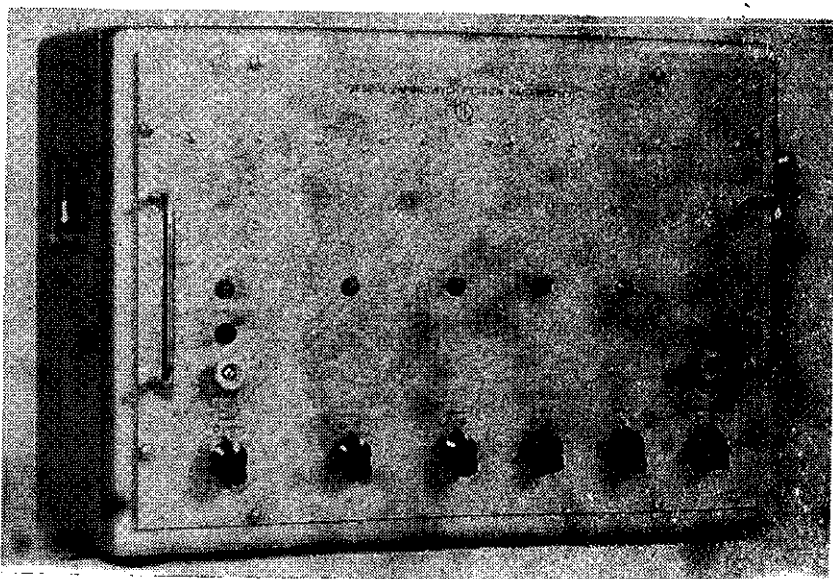
Rys. 10. Przykład 6. Psufometryczna moc szumu
 w funkcji obciążenia



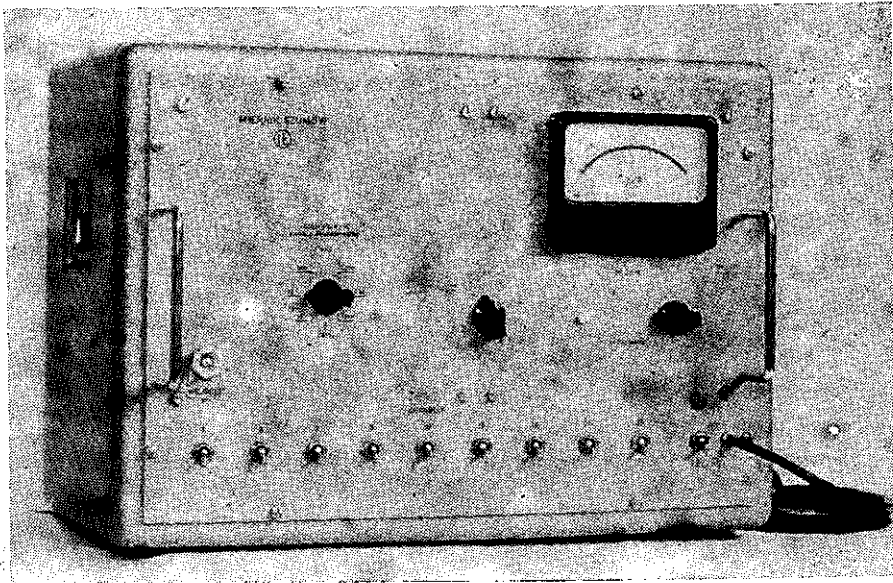
Rys. 11. Błąd przy pomiarze szumu intermodu-
 lacyjnego trzeciego rzędu /dla kanału pomia-
 rowego o największej częstotliwości/ w zależ-
 ności od względnej skutecznej szerokości pa-
 sma tłumienia środkowozaporowego filtru na-
 dawczego



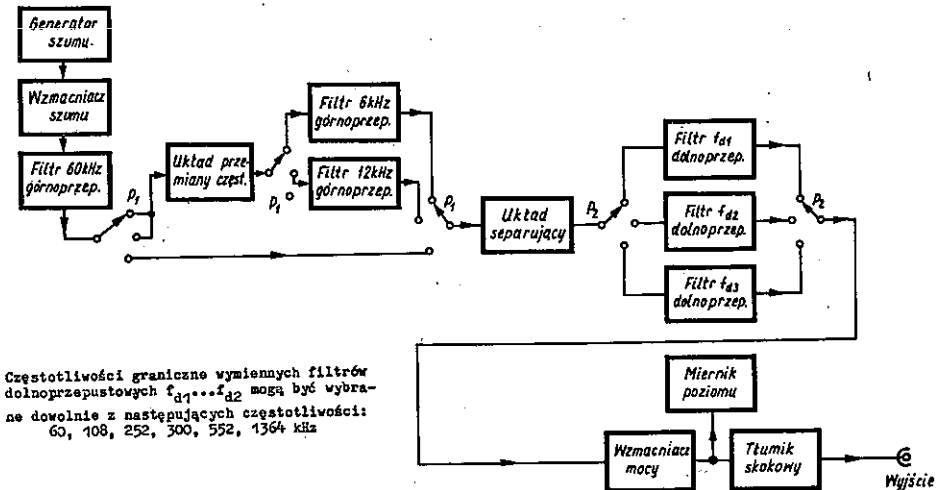
Rys. 12. Generator szumu



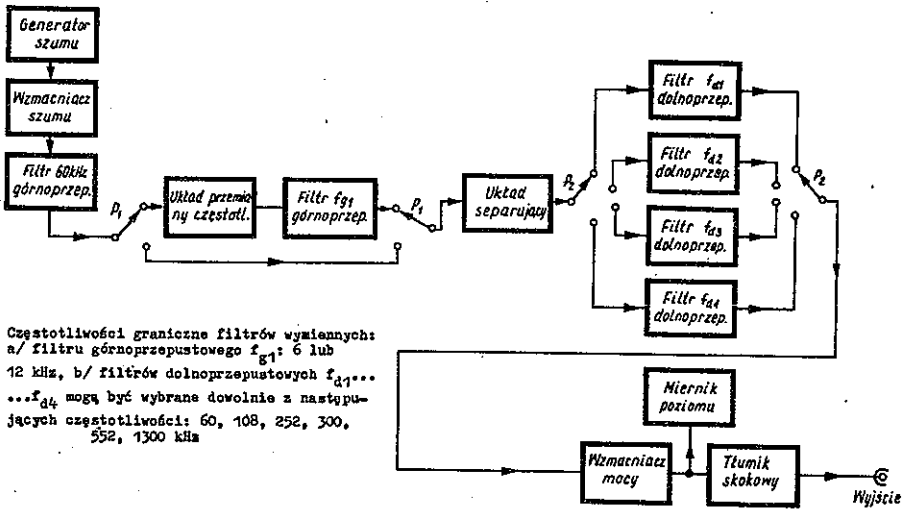
Rys. 13. Zespół zaporowych filtrów nadawczych



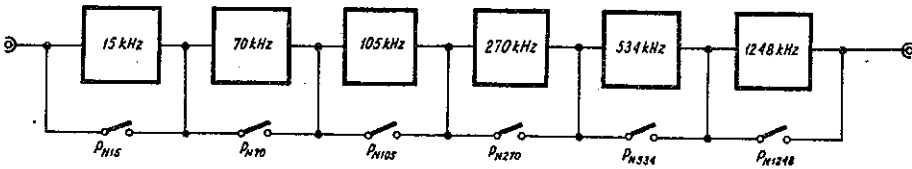
Rys. 14. Miernik szumu



Rys. 15. Schemat blokowy generatora szumu w przypadku wykorzystywania trzech filtrów górnoprzepustowych i trzech filtrów dolnoprzepustowych

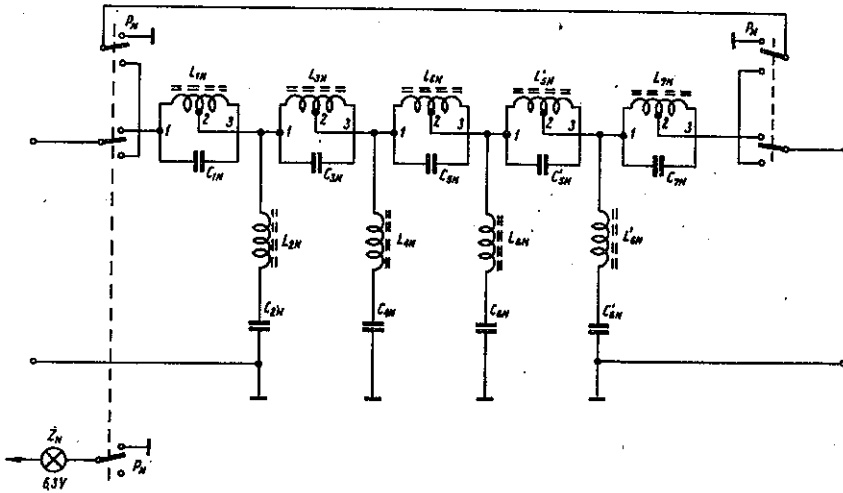


Rys. 16. Schemat blokowy generatora szumu w przypadku wykorzystania dwóch filtrów górnoprzepustowych i czterech filtrów dolnoprzepustowych

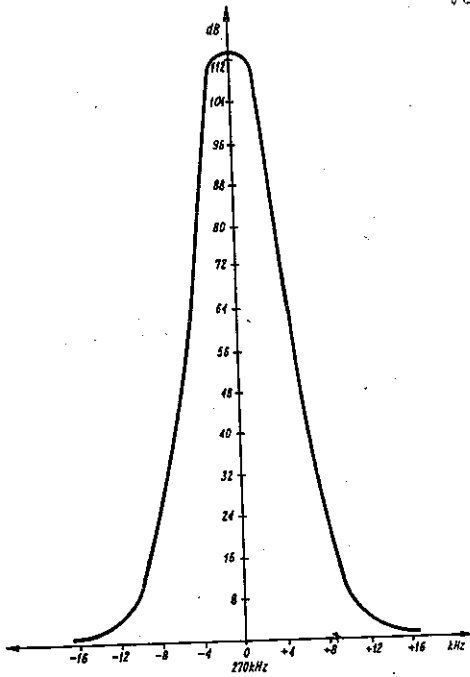


Uwaga. Zaznaczone częstotliwości środkowe filtrów są podane przykładowo

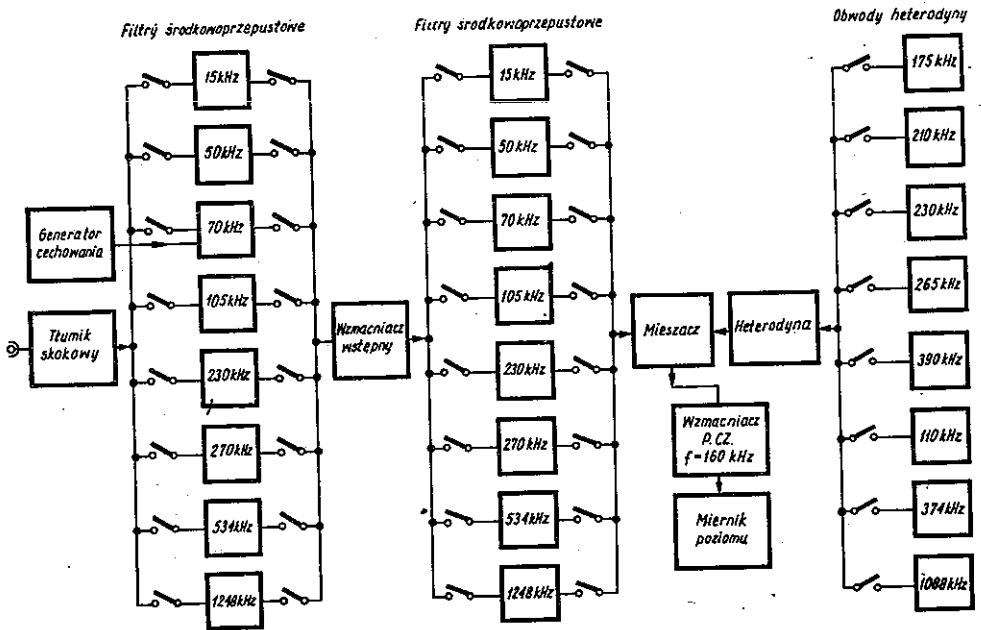
Rys. 17. Schemat blokowy zespołu środkowozaporowych filtrów nadawczych



Rys. 18. Schemat nadawczego filtra środkowozaporowego



Rys. 19. Charakterystyka nadawczego filtra środkowozaporowego 270 kHz



Rys. 20. Schemat blokowy części odbiorczej zestawu pomiarowego /miernika szumu/

ZALECENIE 399-1

TELEFONICZNE LINIE RADIOWE
O ZWIELOKROTNIENIU CZĘSTOTLIWOŚCIOWYM

Pomiar jakości transmisji za pomocą sygnału
o jednorodnym widmie ciągłym

CCIR

/1956-1959-1963-1966/

b i o r a c p o d u w a g ę z e :

- /a/ jest pożądane, aby pomiary jakości transmisji telefonicznych linii radiowych o zwielokrotnieniu częstotliwościowym były wykonywane w warunkach ściśle zbliżonych do warunków rzeczywistej pracy;
- /b/ właściwości statystyczne sygnału o jednorodnym widmie ciągłym /białego szumu/ są podobne do właściwości telefonicznego sygnału zbiorczego, w przypadku gdy liczba kanałów nie jest zbyt mała;
- /c/ wykorzystanie sygnału o jednorodnym widmie ciągłym do pomiarów rozpatrywanych linii radiowych jest szeroko rozpowszechnione;
- /d/ jest konieczne znormalizowanie wykorzystywanych w tym celu częstotliwości i szerokości pasm kanałów pomiarowych;
- /e/ jest konieczne znormalizowanie minimalnej tłumienności i szerokości pasm filtrów zaporowych, które mogą być wykorzystywane w generatorze białego szumu;

/f/ CCITT określiło średnie wartości mocy akustycznej w kanałach telefonicznych przyjmowane przy planowaniu łączy telefonicznych dla godzin największego ruchu /Zalecenie CCITT nr G 222, Czerwona Księga, tom III/;

j e d n o m y ś l n i e z a l e c a c o n a -
s t ę p u j e :

1. Jakość transmisji linii radiowych o zwielokrotnieniu częstotliwościowym powinna być mierzona za pomocą sygnału o jednorodnym widmie ciągłym w pasmie częstotliwości wykorzystywanym dla kanałów telefonicznych;

2. Minimalny poziom sygnału pomiarowego o jednorodnym widmie ciągłym powinien być zgodny z konwencjonalną wartością obciążenia określoną przez CCITT w Zaleceniu G 222. W przypadku doprowadzenia sygnału do punktu systemu odpowiadającemu punktowi połączenia T', określone w Zaleceniu CCIR nr 280, absolutne poziomy mocy sygnału obciążającego są podane w kolumnie 4 tabl. 1;

2.1. Część nadawcza zestawu powinna umożliwiać uzyskanie na wyjściu włączonego filtra środkowozaporowego sygnału obciążającego o poziomie większym o co najmniej 10 dB od poziomu nominalnego określonego powyżej;

2.2. W całym pasmie odpowiadającym pasmu podstawowemu badanego systemu wartość skuteczna napięcia szumu białego mierzona w pasmie o szerokości około 2 kHz nie powinna się zmieniać więcej niż o $\pm 0,5$ dB. Określona regularność widma powinna być spełniona przy różnych poziomach aż do +6 dB w stosunku do poziomu mocy określone-

T a b l i c a 1

Liczba kanałów telefonicznych	Względny poziom mocy w punkcie T, dBm	Konwencjonalny poziom obciążenia	Nominalny poziom mocy sygnału obciążającego w punkcie T, dBm
60	-36	6,1	-29,9 †
120	-36	7,3	-26,2
600	-36	12,8	-23,2 †
	-33		-20,2 †
900	-36	14,8	-21,2 †
	-33		-18,2 †
4260	-33	16,0	-17,0 †
1800	-33	17,5	-15,5 †
2700	-33	19,3	-13,7 †

go w kolumnie 4 tabl. 1. Powyższy warunek ma na celu zapewnienie prawidłowego cechowania urządzenia odbiorczego za pomocą sygnału pomiarowego;

2.3. Na wyjściu urządzenia nadawczego sygnał pomiarowy o widmie ciągłym powinien mieć współczynnik szczytu równy około 12 dB w stosunku do wartości skutecznej;

3. Tablica 2 zawiera wykaz nominalnych skutecznych częstotliwości granicznych /skuteczna częstotliwość graniczna jest częstotliwością graniczną idealnego filtra mającego charakterystykę idealnie prostokątną i mającego na wyjściu tę samą moc jak filtr rzeczywisty/ oraz ich tolerancji dla proponowanych filtrów ograniczających pasmo w przypadku różnych badanych systemów. /W celu zmniejszenia liczby wymaganych filtrów, w niektórych przypadkach wprowadzono kompromisowe wartości nominalnych skutecznych częstotliwości granicznych w porównaniu do rzeczywistych częstotliwości granicznych określających odpowiednie pasma badanych systemów. Podane tolerancje zapewniają, w przypadku zastosowania w badanym systemie preemfazy zgodnej z Zaleceniem 275-1, wartości wynikających z nich błędów cechowania nie przekraczające $\pm 0,1$ dB oraz błędy przy pomiarze szumu intermodulacyjnego nie przekraczające $\pm 0,2$ dB/.

3.1. Tłumienie filtrów dolnoprzepustowych powinno być równe co najmniej 20 dB przy częstotliwościach większych o ponad 10% od nominalnej częstotliwości granicznej i równe co najmniej 25 dB przy częstotliwościach większych o ponad 20% od nominalnej częstotliwości granicznej.

Tłumienie filtrów górnoprzepustowych powinno być równe co najmniej 25 dB przy częstotliwościach mniejszych o ponad 20% od nominalnej częstotliwości granicznej.

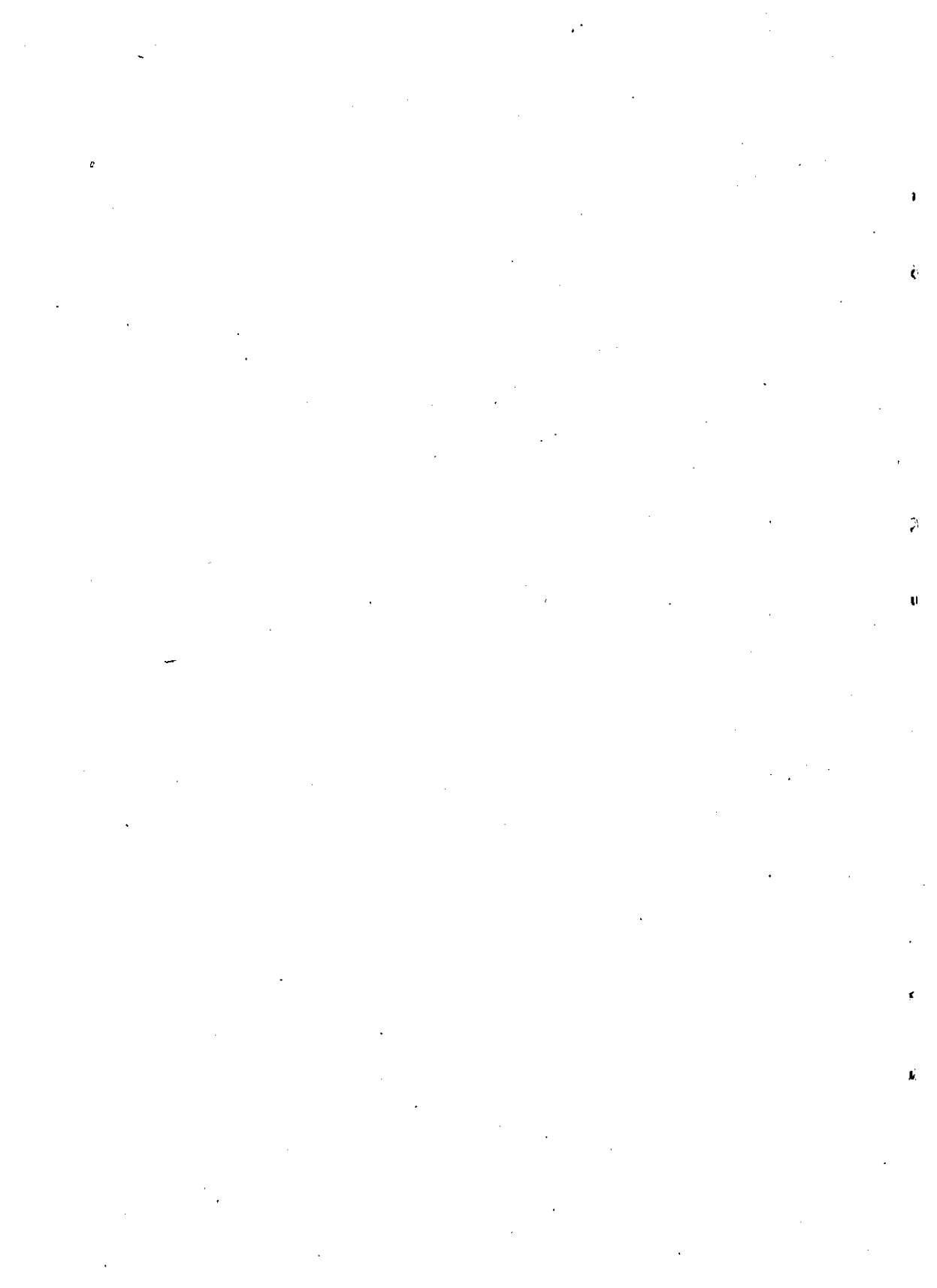
3.2. W celu ograniczenia wpływu filtrów określających pasmo na kanały pomiarowe rozrzut tłumienia wprowadzany przez dowolną parę filtrów, to jest jeden filtr górnoprzepustowy i jeden dolnoprzepustowy, nie powinien przekraczać 0,2 dB w zakresie częstotliwości, obejmującym zewnętrzne kanały pomiarowe.

3.3. Zamiast częstotliwości kanałów pomiarowych poprzednio zalecanych /8002 kHz i 12150 kHz/ lub proponowanych /5450 kHz/ proponuje się stosowanie nowych częstotliwości: 5340, 7600 i 11700 kHz. Ta zmiana powinna umożliwić uzyskanie większej dokładności pomiarów wskutek powiększenia zbyt małych odstępów pomiędzy częstotliwościami skrajnych górnych kanałów pomiarowych a częstotliwościami granicznymi widma sygnału. Równocześnie uzyskuje się ekonomię konstrukcji.

4. Na tablicy 3 podano proponowane tymczasowe charakterystyki każdego z pasm zaporowych na wyjściu urządzenia nadawczego. Podane wartości powinny być zachowane w zakresie temperatur od 10 do 40°C.

5. W przypadku bezpośredniego połączenia z urządzeniem nadawczym wyposażonym w filtry środkowozaporowe spełniające wymagania podane wyżej w § 4, bez zapasu, urządzenie odbiorcze powinno wskazać stosunek sygnału do szumu równy co najmniej 67 dB. Wymaganie to powinno

Krotność w yst. / Liczba kanałów	Granice pasma zajętego przez kanały telefoniczne	Skuteczne częstotliwości graniczne filtrów ograniczających pasmo	filtr górno-przepust.	filtr dolno-przepust.	Częstotliwości dysponowanych kanałów pomiarowych	
					kHz	kHz
60	60-300	60±1	300±2	70	270	
120	60-552	60±1	552±4	70	270	534
300	60-1300 64-1296	60±1	1296±8	70	270	534 1248
600	60-2540 64-2660	60±1	2600±20	70	270	534 1248 2438
960	60-4028 64-4024	60±1	4100±30	70	270	534 1248 2438 3886
900	316-4188	316±5	4100±30			534 1248 2438 3886
1260	60-5636 60-5564	60±1	5600±50	70	270	534 1248 2438 3886 5340
1200	316-5564	316±5	5600±50			534 1248 2438 3886 5340
1800	322-8120 312-8204 316-8204	316±5	8160±75			534 1248 2438 3886 5340 7600
2700	312-12336 316-12388 312-12388	316±5	12360±100			534 1248 2438 3886 5340 7600 11700



T a b l i c a 3

Często- tliwość środkowa f_c	Szerokość pasma /w kHz/ w stosunku do f_c , wewnątrz którego tłumienie powinno być co najmniej				Szerokość pasma /w kHz/ w stosunku do f_c , na zewnątrz którego tłumienie nie powin- no być większe od	
	70 dB	55 dB	30 dB	3 dB	0,5 dB	
70	$\pm 1,5$	$\pm 2,2$	$\pm 3,5$	± 12	-	
270	$\pm 1,5$	$\pm 2,3$	$\pm 2,9$	± 8	-	
534	$\pm 1,5$	$\pm 3,5$	$\pm 7,0$	± 15	-	
1248	$\pm 1,5$	$\pm 4,0$	$\pm 11,0$	± 35	-	
2438	$\pm 1,5$	$\pm 4,5$	$\pm 19,0$	± 60	-	
3886	$\pm 1,5$	± 15	± 30	± 110	-	
5340	$\pm 1,5$	$\pm 1,8$	$\pm 3,5$	± 12	± 100	
7600	$\pm 1,5$	$\pm 2,2$	$\pm 4,0$	± 14	± 140	
11700	$\pm 1,5$	$\pm 2,4$	$\pm 4,6$	± 16	± 200	
	$\pm 1,5$	$\pm 3,0$	$\pm 7,0$	± 20	± 300	

Uwaga 1. Podane wartości tłumienia są wartościami względnymi odniesionymi do wartości tłumienia filtrów środkowozaporowych dla najmniejszych częstotliwości pasma podstawowego.

Uwaga 2. Zalecane charakterystyki filtrów dla częstotliwości od 70 do 2348 kHz są oparte na założeniu, że filtry są zbudowane przy wykorzystaniu cewek i kondensatorów /LC/. Charakterystyki filtrów dla częstotliwości 5340 kHz i większych zakładają zastosowanie filtrów kwarcowych. Dla filtru 3886 kHz podano wartości alternatywne umożliwiające projektantowi wybór jednego z dwóch rodzajów filtrów.

Uwaga 3. Selektywność odbiornika dostrojonego do częstotliwości 3886 kHz powinna być przystosowana do parametrów środkowozaporowego filtru kwarcowego.

być spełnione przy nominalnym poziomie mocy sygnału obciążającego.

5.1. Skuteczna szerokość pasma odbiornika powinna być większa od 1,7 kHz.

6. Dodatkowe kanały pomiarowe mogą być stosowane po uzgodnieniu pomiędzy zainteresowanymi Administracjami.

Uwaga. Powyższe dane zostały oparte na założeniu, że wynikowa dokładność będzie równa ± 2 dB lub lepsza, co wystarcza dla pomiarów eksploatacyjnych linii radiowych. Zwraca się uwagę na Zalecenie CCITT G 228, w którym są przedyskutowane metody pomiaru.

Propozycja Komisji C /CCIR - CCITT/ -
zmiany zalecenia CCITT nr G.228
opracowana na zebraniu w Genewie w dniach
26.II - 1.III.1968 r.

/Poniższy tekst jest tłumaczeniem tekstu
dokumentu roboczego Komisji C nr 21/

POMIAR SZUMU W SYSTEMACH KABLOWYCH
PRZY WYKORZYSTANIU JAKO OBCIĄŻENIA
BEZŁADNEGO SZUMU O WIDMIE CIĄGLYM

1. Zasada metody pomiaru opisanej w zaleceniu CCIR nr 399-I^{1/} ma duże znaczenie również dla CCITT, ponieważ nawiązuje ona ściśle do założeń dotyczących obliczeń szumu /patrz zalecenie CCITT nr G.223 - Niebieska Księga tom III/ i ponieważ z dobrym wynikiem była i jest stosowana w technice linii radiowych.

Ogólna dokładność pomiaru, w przypadku pomiarów eksploatacyjnych, jest równa ± 2 dB. Lepsza dokładność jest pożądana w przypadku wykonywania pomiarów systemów kablowych w celu ich oceny w porównaniu ze stawianymi im wymaganiami. Dla tego typu pomiarów zaleca się stosowanie następującej techniki pomiaru i określonych poniżej poprawek.

^{1/} Patrz załącznik 1.

2. Technika pomiaru

2.1. Ustawienie poziomu sygnału obciążającego

Poziom sygnału obciążającego powinien być ustawiony na wartość nominalną przy wykorzystaniu miernika wskazującego prawidłowo wartość skuteczną. Maksymalny błąd, włącznie z błędem odczytu, nie powinien przekraczać $\pm 0,15$ dB.

2.2. Cechowanie miernika szumu

Miernik szumu powinien być przecechowany za pomocą sygnału odbieranego, bezpośrednio przed włączeniem środkowozaporowego filtra nadawczego.

2.3. Włączanie środkowozaporowych filtrów nadawczych

Wykonując pomiar należy włączać /równocześnie/ tylko jeden filtr środkowozaporowy. Ogranicza to błędy pomiaru szumu intermodulacyjnego.

2.4. Powtórne ustawienie poziomu sygnału obciążającego

Normalnie, po włączeniu środkowozaporowego filtra nadawczego, poziom sygnału obciążającego powinien być ponownie ustawiony na wartość nominalną. W przypadku gdy celem pomiarów jest zbadanie zakłóceń intermodulacyjnych drugiego rzędu, lub jeżeli jest wiadomo, że te zakłócenia dominują, można uzyskać większą dokładność pomiaru powiększając poziom sygnału tylko o wartość tłumienia

wtrącenia w pasmie przepustowym włączonego filtra środkowozaporowego.

2.5. Pomiar miernikiem szumu

Stosunek gęstości mocy szumu określa się mierząc zmianę, jaką należy wykonać w ustawieniu tłumienia, tak aby wychylenie wskazówki miernika szumu było takie same, jak przy cechowaniu miernika.

W ten sam sposób należy postępować przy każdej częstotliwości pomiarowej.

3. Poprawki

3.1. Cechowanie miernika szumu

Cechowanie miernika szumu powinno uwzględniać następujące zjawiska:

Nieregularność źródła szumu

Tolerancja określająca regularność widma jest równa $\pm 0,5$ dB. Cechowanie powinno być dokonywane oddzielnie dla każdego generatora szumu.

Błędy związane ze skuteczną szerokością pasma

Poprawka dotyczy: po pierwsze - różnicy pomiędzy nominalnie zajętą szerokością pasma badanego systemu a aktualną szerokością pasma zawartego pomiędzy skutecznymi częstotliwościami granicznymi filtrów ograniczających pasmo generatora, i po drugie - różnicy pomiędzy nominal-

nie zajętą szerokością pasma a całkowitą szerokością pasma zajętego przez kanały telefoniczne /np. 4.n. [kHz]/^{1/}

Selektywność filtrów ograniczających pasmo szumu, przy częstotliwości pomiarowej

Te poprawki powinny zapewniać cechowanie miernika z dokładnością $\pm 0,2$ dB.

3.2. Zjawisko związane z środkowozaporowymi filtrami nadawczymi

Skuteczna szerokość pasma środkowozaporowych filtrów nadawczych powoduje powstanie ujemnego błędu^{2/} w przypadku pomiaru szumu intermodulacyjnego trzeciego rzędu. Ten błąd jest proporcjonalny do skutecznej szerokości pasma filtru /w przybliżeniu odpowiadającej punktom 3dB/ odniesionej do szerokości pasma badanego systemu. W przypadku systemu bez preemfazy luka o szerokości 1% pasma systemu powoduje ujemny błąd około 0,05 dB. W przypadku stosowania preemfazy, gdy równocześnie całkowita moc sygnału jest nie zmieniona^{3/}, błąd rośnie proporcjonalnie

^{1/}Ta ostatnia poprawka jest automatycznie uwzględniona w przypadku obliczenia wartości współczynnika "k" zgodnie ze wskazówkami podanymi powyżej w pkt. 2.2. /przyp. autora artykułu/.

^{2/}To jest błęd, w wyniku którego zmierzona wartość jest mniejsza od wartości rzeczywistej /przyp. autora artykułu/.

^{3/}To jest skorygowana po włączeniu środkowozaporowego filtru nadawczego /przyp. autora artykułu/.

do przyrostu gęstości mocy sygnału przy częstotliwości pomiarowej. Przybliżona poprawka uwzględniająca ten błąd jest więc możliwa, jeżeli będzie określona proporcjonalna wartość szumu intermodulacyjnego trzeciego rzędu.

3.3. Szum związany z zestawem pomiarowym

Konieczność wprowadzenia poprawki może zaistnieć w przypadku, gdy mierzony stosunek sygnału do szumu jest większy od około 55 dB /przy założeniu, że poziom sygnału obciążającego jest równy wartości konwencjonalnej/ lub gdy poziom względny w punkcie pomiaru jest bardzo mały.

4. Ogólna dokładność

Po zastosowaniu poprawek wymienionych powyżej w pkt. 3.1. pomiary samego szumu cieplnego mogą być wykonywane z dużą dokładnością /lepszą niż $\pm 0,5$ dB/.

Zakładając, że zostaną wprowadzone poprawki dotyczące skutecznej szerokości luki /poruszone powyżej w pkt. 3.2./ ogólna dokładność pomiaru powinna być lepsza niż ± 1 dB.

5. Ograniczenia dotyczące metody pomiaru sygnałem o widmie ciągłym i jednorodnym

Mimo iż pomiary wykonywane przy określonych częstotliwościach mogą mieć określoną powyżej dokładność, to jednak nie zawsze można wyciągnąć stąd wnioski dotyczą-

ce charakterystyki szumu w pasmach zawartych pomiędzy tymi częstotliwościami. Dla każdego konkretnego systemu należy zbadać, czy taka interpretacja jest uzasadniona.

Szumy intermodulacyjne, w szczególności drugiego rzędu, w niektórych systemach kablowych mogą zmieniać się w funkcji częstotliwości w zakresie kilku decybeli, dotyczy to specjalnie dolnej części transmitowanego pasma częstotliwości. W razie potrzeby całkowitą charakterystykę szumu można wyznaczyć wykonując ciągle pomiary w funkcji częstotliwości, wykorzystując dodatkowe przyrządy pomiarowe^{1/}.

^{1/} Ze względu na ograniczoną selektywność dynamiczną nawet najlepszych znanych przestrajanych selektywnych mierników poziomu oraz ze względu na brak przestrajanych filtrów środkowozaporowych takie pomiary mogą być wykonywane tylko poza pasmem zajmowanym przez sygnał obciążający z generatora szumu /przyp. autora artykułu/.

