

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

REFERATY
PROBLEMOWE

Zeszyt 92

Zbigniew Kowalski

BŁĘDY WYZNACZANIA
ZMODYFIKOWANEJ TŁUMIENNOŚCI ODNIESIENIA



Warszawa 1988

621.395.018.8

INSTITUT ŁACZNOŚCI

KOŁO ZAKŁADOWE STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

BIURO
WYDAWACTWA
UL. POLSKA 10
00-950 WARSZAWA

REFERATY PROBLEMOWE

Zeszyt 92

Zbigniew Kowalski

BŁĘDY WYZNACZANIA

ZMODYFIKOWANEJ TŁUMIENNOŚCI ODNIESIENIA

Warszawa 1988

5-9926

Zespół Redakcyjny:

doc. dr inż. Stanisław Sońta, mgr inż. Andrzej Stagrowski
mgr inż. Krystyna Frączek

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności
Nr 5-9926

Opracował:

dr inż. Zbigniew Kowalski (tel.: 128.246)
Zakład Postawowych Problemów Telekomunikacji (Z-24)

Instytut Łączności
04-894 Warszawa, ul. Szachowa 1

Praca CPBR 8.5 - 98.C

Opiniował: prof. dr inż. Jerzy Dudziewicz

Maszynopis referatu dostarczono dnia 1988-12-20

Referat dotyczy zmodyfikowanej tłumienności odniesienia LR (\equiv Loudness Rating), wyznaczonej na podstawie obiektywnych pomiarów tłumienności. Przystawiono metodę i wyniki analizy wpływu niepewności wyznaczania tłumienności punktowych na dokładność oceny wielkości LR. Wykazano, że przy stosowaniu zalecanego przez CCITT algorytmu obliczeń wielkości LR (patrz wzór (65)) występują błędy niepewności miary, których wartość rośnie przy wzroście zniekształceń tłumieniowych badanych obiektów. Jest to dodatkowym argumentem za stosowaniem uproszczonego algorytmu obliczeń wielkości LR (patrz wzór (60)), który ponadto spełnia postulat linearności i addytywności miary (co wykazano w [7]).

Redaktor: mgr Krystyna Juskiewicz

Montaż tekstu: AUTOR z zastosowaniem edytora WORD-STAR 3.40
Wydruk w trybie graficznym za pomocą programu LETTRIX-POLGOTHIC

Wpłynęło do Działu Wydawniczego Instytutu Łączności
w Warszawie, ul. Szachowa 1 dnia 1988-12-28

Nakład 70 egz.

Zbigniew Kowalski

BŁĘDY WYZNACZANIA
ZMODYFIKOWANEJ TŁUMIENNOŚCI ODNIESIENIA

S P I S T R E S C I

	Str.:
1. Wprowadzenie	1
2. Matematyczna definicja zmodyfikowanej tłumienności odniesienia	3
3. Ogólne zależności matematyczne w przypadku niepewnych danych pomiarowych	6
4. Wrażliwość oszacowań tłumienności głośności	8
5. Obciążenie oszacowań tłumienności głośności	12
6. Wpływ niepewności wyznaczenia tłumienności punktowych na dokładność oceny zmodyfikowanej tłumienności odniesienia	13
7. Wnioski	15
Podziękowanie	15
Wykaz literatury	16
Dodatki: Uzasadnienia i wyprowadzenia wzorów	16
Dodatek 1: Tłumienność głośności L_w wzorca IRS	16
Dodatek 2: Pochodne funkcji $L(\{A_k\})$; $k=1, \dots, p$	17
Dodatek 3: Aproksymacja funkcji $\hat{W}_L(D_g; m)$	19
Wykaz dotychczas opublikowanych zeszytów <i>Referatów Problemowych IL</i>	21

BŁĘDY WYZNACZANIA
ZMODYFIKOWANEJ TŁUMIENNOŚCI ODNIESIENIA

1. WPROWADZENIE

Podstawowym czynnikiem wpływającym na słyszalność rozmów telefonicznych jest tłumienie energii sygnałów, przesyłanych drogami połączeniowymi tworzonymi w sieci. Na podstawie międzynarodowych uzgodnień drogi te, zwane łańcuchami telefonicznymi, przyjęto charakteryzować tłumiennością odniesienia, skalarną wielkością, ustanowioną w 1928 roku.

Przyjęto zasadę, że *tłumiennosc odniesienia* jest wyznaczana na podstawie subiektywnych wrażeń jednakowej głośności dźwięków mowy, transmitowanej na przemian przez badany obiekt (łańcuch telefoniczny albo jego ogniwo) oraz przez wzorzec odniesienia *).

Przeprowadzone badania wykazały jednak, że ocena tłumienności odniesienia obiektu, uzyskana na podstawie jednorazowego porównania ze wzorcem, jest obarczona bardzo dużą niepewnością. W celu zwiększenia dokładności oceny tłumienności badanego obiektu, jego porównanie ze wzorcem odniesienia jest przeprowadzane wielokrotnie, przy czym porównania te są dokonywane przez członków specjalnie dobranej (głównie ze względu na dobry słuch) i odpowiednio przeszkolonej ekipy telefonometrycznej. Podczas pomiarów każdy członek ekipy (występujący dwukrotnie: raz jako mówiący, drugi raz jako nasłuchujący) dokonuje oceny tłumienności badanego obiektu, współpracując kolejno ze wszystkimi pozostałymi jej członkami. Dlatego przy liczebności ekipy telefonometrycznej równej N osób, liczba porównań badanego obiektu ze wzorcem wynosi:

$$P = N \cdot (N-1) \quad (1)$$

Zakładając, że każde porównanie jest takiej samej dokładności (o błędzie standardowym σ , **), jako ocenę tłumienności badanego obiektu przyjmuje się wartość średnią z wyników poszczególnych porównań, tzn.:

$$A = 1/P \cdot \sum_{\substack{j, i=1 \\ i \neq j}}^N A_{ji} \quad (2)$$

gdzie: A_{ji} oznacza wynik pomiaru tłumienności uzyskany w przypadku, gdy j -ty członek ekipy mówi, zaś i -ty słucha.

*) Ze względu na przyjętą zasadę, wyznaczanie tłumienności odniesienia może się odbywać tylko w warunkach laboratoryjnych i tylko wtedy, gdy wejście i wyjście badanego obiektu jest zlokalizowane przy wzorcu telefonometrycznym. Dlatego oceny tłumienności odniesienia ogniwa sieci telefonicznej (oraz łańcuchów tych ogniw) są pomiarowo niesprawdzalne w warunkach eksploatacyjnych.

**) Skrócowa nazwa odchylenia standardowego losowych błędów niepewności wyników pomiarów rozważanej wielkości.

Ta uśredniona ocena tłumienności badanego obiektu wykazuje błąd standardowy równy:

$$\sigma = \sigma_0 / \sqrt{P} \quad (3)$$

gdzie P jest określone wzorem (1).

Wartość liczbowa wielkości σ_0 jest wyznaczana sekwencyjnie dla danej ekipy telefonometrycznej na podstawie wszystkich dotychczas przeprowadzanych badań n obiektów, przyjmując że:

$$\sigma_0^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \{1/n \cdot \sum_{K=1}^n S_K^2\} \quad (4)$$

gdzie:

$$S_K^2 = 1/(P_K - 1) \cdot \sum_{\substack{j,l=1 \\ i \neq j}}^{N_K} (A_{Kj} - A_K)^2 \quad (5)$$

przy czym: N_K jest liczebnością ekipy telefonometrycznej, badającej K -ty obiekt, P_K jest określona wzorem (1) liczbą porównań, a A_K - określona wzorem (2) uśredniona ocena tłumienności badanego obiektu.

Ze względu na przyjętą zasadę subiektywnej metody oceny, mimo stosowania powtórzeń, uśrednione wyniki pomiarów tłumienności odniesienia nadal są mało dokładne, przy czym zależą one od składu osobowego ekipy telefonometrycznej i od aktualnego stanu samopoczucia jej operatorów. Z punktu widzenia zastosowań praktycznych powtarzalność wyników pomiarów tłumienności odniesienia jest zupełnie niezadowalająca, stwierdzono bowiem występowanie rozbieżności ocen dochodzące nawet do 8 dB w przypadku, gdy pomiary są przeprowadzane przez różne ekipy względem różnych wzorców odniesienia.

Jak to wynika z badań niestałości ocen *) ekipy telefonometrycznej Laboratorium CCITT w Genewie, przeprowadzonych w latach 1982-1985 [4], rezultaty pomiarów tłumienności odniesienia każdego obiektu są realizacjami nie zmiennej losowej (jak dotychczas sądzono), lecz procesu stochastycznego. Okazało się, że oprócz występowania losowych błędów ocen, których odchylenie standardowe σ , było rzędu jednego decybelu, zachodziły powolne zmiany w czasie t wartości średnich ocen $A(t)$, obliczanych wg wzoru (2). W okresie trzech lat przeprowadzania badań zakres zmian (rozdęgnię) wartości średnich ocen tłumienności odniesienia obiektu, wielokrotnie mierzonego przez ekipę telefonometryczną Laboratorium CCITT był rzędu kilku decybeli **).

*) Badania te polegały na wyznaczaniu w okresie kilku lat tłumienności odniesienia stabilnego aparatu telefonicznego względem wzorca podstawowego NOSFER, przy czym parametry elektroakustyczne porównywanych układów były kontrolowane z dokładnością do 0,2 dB.

**) Zaobserwowany rozstęp wartości średnich wynosił: 2,5 dB dla nadawczego kierunku transmisji, 3,3 dB dla kierunku odbiorczego oraz aż 5,2 dB dla całego łańcucha [4].

Przeprowadzone badania wykazały, że powszechnie stosowany statyczny model wyznaczania błędów ocen tłumienności odniesienia nie jest adekwatny do rzeczywistości. W szczególności wzór (4) umożliwia oszacowanie wartości tylko *Krótkookresowego* błędu standardowego σ , ocen tłumienności odniesienia.

W takiej sytuacji istotne zwiększenie dokładności ostatecznych ocen tłumienności odniesienia, otrzymywanych subiektywnymi metodami pomiarowymi jest możliwe tylko przez wielokrotne powtórzenie poszczególnych serii badań, przy zachowaniu stosunkowo znacznych odstępów czasu między tymi seriami (co najmniej około miesiąca).

Oczywiście w praktyce nie ma sensu stosowanie powyższej metody osiągania dużej dokładności ocen tłumienności odniesienia, byłoby to bowiem bardzo czasochłonne i kosztowne.

Ekonomicznie uzasadnioną alternatywą istotnego zwiększenia dokładności ocen tłumienności odniesienia jest przejście z subiektywnych na obiektywne metody pomiarowe, wykazujące o rząd wielkości mniejszy błąd standardowy σ , jednorazowego pomiaru badanego obiektu.

Na IX Zgromadzeniu Plenarnym CCITT (w listopadzie 1988 r.) uzgodniono, że przy projektowaniu sieci telefonicznych zamiast dotychczas obowiązującej, *klasycznej* tłumienności odniesienia, należy stosować *zmodyfikowaną* tłumienność odniesienia, której pomiary mogą być przeprowadzane *również* metodami obiektywnymi.

Celem niniejszego referatu jest próba odpowiedzi na pytanie, jaka jest dokładność ocen nowej skalarnej miary, zdefiniowanej na podstawie obiektywnie mierzonych wielkości elektrycznych i akustycznych, którą przyjęto oznaczać symbolem LR (Loudness Rating).

2. MATEMATYCZNA DEFINICJA ZMODYFIKOWANEJ TLUMIENNOŚCI ODNIESIENIA

Wyznaczaną na podstawie pomiarów obiektywnych wielkość LR określono w zaleceniu P.79 CCITT [1] jako różnicę:

$$LR = L - L_w \quad (6)$$

gdzie L jest tłumiennością głośności badanego obiektu (czwornika: akustycznego, elektrycznego, akustoelektrycznego, lub elektroakustycznego), natomiast L_w - tłumiennością głośności wzorca odniesienia IRS *) (czwornika tego samego rodzaju co i badany obiekt).

Tłumienność głośności L czwornika dowolnego rodzaju zdefiniowano jako funkcjonalną tłumienności $A(f)$ tego czwornika, określony w pasmie akustycznym o częstotliwościach granicznych $[f_d, f_g]$ następującym wzorem:

$$L = -10/m \cdot \lg \int_{f_d}^{f_g} 10^{-A(f) \cdot m/10} g(f) df \quad (7)$$

*) IRS \equiv Intermediate Reference System - patrz [6, pkt. 4.1].

gdzie m jest współczynnikiem wzrostu głośności, $A(f)$ jest częstotliwościową charakterystyką tłumienności *) tego czwórnika, zaś $g(f)$ jest funkcją gęstości wagi unormowaną w rozważanym pasmie częstotliwości. Należy zaznaczyć, że CCITT dopuszcza stosowanie kilku rodzajów pasm częstotliwości. W tym opracowaniu będziemy rozważać tylko jeden rodzaj pasma: telefonii naturalnej (o częstotliwościach granicznych $f_d = 300$ Hz i $f_g = 3400$ Hz).

Wielkość L określonego czwórnika (o niezmiennych właściwościach transmisyjnych) jest zatem liczbą, której wartość zależy od funkcji $A(f)$; należy zwrócić uwagę, że wielkość L_w jest z założenia (patrz Dodatek 1) stałą charakteryzującą znamionową tłumienność wzorca IRS.

Jak wykazano w pkt.2 opracowania [7], tłumienność głośności można również wyrazić w postaci sumy:

$$L = A_c + \Delta L \quad (8)$$

gdzie $A_c \equiv A(f_c)$ jest tłumiennością rozważanego czwórnika dla częstotliwości odniesienia (centralnej częstotliwości pasma):

$$f_c = \sqrt{(f_d \cdot f_g)}, \quad (9)$$

natomiast

$$\Delta L = -10/m \cdot \lg \int_{f_d}^{f_g} \frac{-D(f) \cdot m/10}{10} g(f) df \quad (10)$$

jest przyrostem tłumienności głośności rozważanego czwórnika, wywołanym jego zniekształceniami tłumieniowymi $D(f)$, określonymi względem częstotliwości f_c :

$$D(f) = A(f) - A_c \quad (11)$$

W Dodatku 1 opracowania [7] wykazano, że w przypadku gdy wartość parametru m dąży do zera, zachodzą związki:

$$\lim_{m \rightarrow 0} L = \int_{f_d}^{f_g} A(f) \cdot g(f) df \equiv L_0 \quad (12)$$

albo:

$$\lim_{m \rightarrow 0} L = A_c + \Delta L_0 \equiv L_0 \quad (13)$$

gdzie:

$$\Delta L_0 = \int_{f_d}^{f_g} D(f) \cdot g(f) df \quad (14)$$

*) Należy zwrócić uwagę, że niniejsze rozważania dotyczą tłumienności dowolnego rodzaju, a więc: falowej, skróśnej oraz skutecznej (lub jej szczególnej postaci: wynikowej). W konkretnych zastosowaniach dotyczących projektowania oraz utrzymania sieci telefonicznej konieczne jest precyzowanie rodzaju tłumienności [8,rozd.3], [17,rozd.4].

W praktyce pomiarowej badania właściwości czwórników są przeprowadzane przy ustalonych częstotliwościach $f_K \in [f_d, f_g]$ (gdzie $K=1, \dots, p$; p jest liczbą punktów pomiarowych), a wartość tłumienności głośności jest określana na podstawie przybliżonej równości *):

$$L \approx -10/m \cdot \lg \sum_{K=1}^p G_K \cdot 10^{-A_K \cdot m/10} \equiv \dot{L} \quad (15)$$

w której $A_K \equiv A(f_K)$, natomiast $G_K = g(f_K) \cdot \Delta f_K$ są unormowanymi współczynnikami wagowymi dla częstotliwości f_K znajdującymi się wewnątrz odpowiednich wstęg o szerokości Δf_K ; współczynniki te spełniają warunek:

$$\sum_{K=1}^p G_K = 1 \quad (16)$$

Uwzględniając, że zniekształcenia tłumieniowe występujące dla częstotliwości f_K wynoszą:

$$D_K = A_K - A_C \quad (17)$$

można wyrażenie (15) przedstawić w postaci (8), gdzie:

$$\Delta L \approx -10/m \cdot \lg \sum_{K=1}^p G_K \cdot 10^{-D_K \cdot m/10} \equiv \dot{\Delta L} \quad (18)$$

W przypadku gdy wartość parametru $m = 0$, zachodzą przybliżone związki:

$$L_0 \approx \sum_{K=1}^p G_K \cdot A_K \equiv \dot{L}_0 \quad (19)$$

albo:

$$L_0 = A_C + \Delta L_0 \quad (20)$$

gdzie:

$$\Delta L_0 \approx \sum_{K=1}^p G_K \cdot D_K \equiv \dot{\Delta L}_0 \quad (21)$$

W pkt.2.2 opracowania [7] przeprowadzono analizę wartości różnic

$$\dot{R} = \dot{L} - \dot{L}_0 = \dot{\Delta L} - \dot{\Delta L}_0 \quad (22)$$

*) Uwaga: w tym opracowaniu *punktowe aproksymaty* wielkości pasmowych (zdefiniowanych z zastosowaniem całki określonej w pasmie częstotliwości) są oznaczone symbolem zawierającym kropkę ponad odpowiednim znakiem, a więc: \dot{L} , \dot{L}_0 , \dot{R}

i wykazano, że wielkość \dot{R} można aproksymować prostym wyrażeniem

$$\dot{R} \approx -r.m.D_g^2 \quad (23)$$

w którym

$$r \approx 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ [dB}^{-1}\text{]}$$

natomiast $D_g \equiv D(f_g)$ jest wartością zniekształceń tłumieniowych, występujących dla częstotliwości f_g górnej granicy pasma przesyłowego.

Ze wzoru (23) widać, że dla obiektów o dostatecznie małych zniekształceniach tłumieniowych D_g wartość różnic R staje się praktycznie nieistotna, ponieważ $|R| < 0,1$ dB przy $D_g < 6$ dB.

Oznacza to, że dla poszczególnych ogniw sieci telefonicznej tłumienność głośności L można dostatecznie dokładnie wyznaczać na podstawie prostych wzorów: (19) albo (20) i (21).

Podane w tym punkcie zależności matematyczne umożliwiają wyznaczenie wartości tłumienności głośności L (lub L_0) obiektu (czwornika) w przypadku, gdy tłumienności punktowe $\{A_1, \dots, A_p\}$ (lub $\{A_c, D_1, \dots, D_p\}$) tego obiektu są dokładnie znane. W praktyce pomiarowej taki przypadek nigdy nie zachodzi - wyniki pomiarów zawsze są niedokładne.

3. OGÓLNE ZALEŻNOŚCI MATEMATYCZNE W PRZYPADKU NIEPEWNYCH DANYCH POMIAROWYCH

Przyjmijmy, że wartości punktowych tłumienności czwornika są wyznaczone niedokładnie, a mianowicie, że przy dowolnej częstotliwości $f_K \in [f_d, f_g]$ wykazują taką samą wartość σ , błędu standardowego niepewności, nie wykazując jednocześnie błędu poprawności. Przy takim założeniu punktowe oszacowanie A_K tłumienności rozważanego obiektu (o ustalonej częstotliwościowej charakterystyce $A(f)$ tłumienności) przy dowolnej częstotliwości f_K jest *zmienną losową* *) o wartości oczekiwanej równej:

$$E\{A_K\} = \bar{A}_K \quad (24)$$

i o wariancji równej (dla każdej częstotliwości):

$$V\{A_K\} = \sigma^2 \quad (25)$$

Wartość liczbowa wielkości σ^2 może być wyznaczana sekwencyjnie dla danego urządzenia pomiarowego na podstawie wszystkich dotychczas przeprowadzanych (przy dowolnej częstotliwości f_K) n pomiarów tłumienności A_{K_i} (gdzie $i=1, \dots, n$) stabilnego obiektu (o niezmiennych właściwościach transmisyjnych), przyjmując że:

$$\sigma^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{K_i}^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{K_i} \right)^2 \right\} \quad (26)$$

*) Uwaga: w tym opracowaniu symbole *zmiennych losowych* są oznaczone kursywą, a więc: A_K , L , L_0

W rozważanym przypadku oszacowanie \hat{L} tłumienności głośności też jest zmienną losową:

$$\begin{aligned}\hat{L} &= -10/m \cdot \lg \sum_{k=1}^p G_k \cdot 10^{-A_k \cdot m/10} = \\ &= -1/\mu \cdot \ln \sum_{k=1}^p G_k \cdot \exp(-\mu \cdot A_k)\end{aligned}\quad (27)$$

gdzie

$$\mu = m \cdot \ln(10)/10 \quad (28)$$

Przy dodatkowym założeniu wzajemnej niezależności błędów niepewności ocen tłumienności punktowych, tzn.:

$$\text{Cov}(A_k, A_{k'}) = 0; \quad k, k' = 1, \dots, p; \quad k' \neq k \quad (29)$$

oraz wprowadzeniu oznaczenia:

$$\bar{L} = -1/\mu \cdot \ln \sum_{k=1}^p G_k \cdot \exp(-\mu \cdot \bar{A}_k) \quad (30)$$

otrzymujemy następujące przybliżone wyrażenia, określające parametry rozkładu oszacowania tłumienności głośności [9, §25]:

- wartość oczekiwana:

$$E\{\hat{L}\} \approx \bar{L} + (\sigma_i^2/2) \cdot \sum_{k=1}^p \left[\frac{\partial^2 \hat{L}}{\partial A_k^2} \Big|_{A_k = \bar{A}_k} \right] \quad (31)$$

- wariancja:

$$V\{\hat{L}\} \approx \sigma_i^2 \cdot \sum_{k=1}^p \left[\frac{\partial \hat{L}}{\partial A_k} \Big|_{A_k = \bar{A}_k} \right]^2 \quad (32)$$

W przypadku gdy współczynnik $m = 0$, oszacowania tłumienności głośności są określone następującymi wzorami:

- zmienna losowa:

$$\hat{L}_0 = \sum_{k=1}^p G_k \cdot A_k \quad (33)$$

- wartość oczekiwana:

$$E\{\hat{L}_0\} = \sum_{k=1}^p G_k \cdot \bar{A}_k \equiv \bar{L}_0 \quad (34)$$

- wariancja:

$$V\{\dot{L}_0\} = \sigma_1^2 \cdot \sum_{K=1}^P G_K^2 \quad (35)$$

4. WRAZLIWOSC OSZACOWAN TLUMIENNOSCI GLOSNOSCI

Wprowadźmy obecnie pojęcie *wrażliwości* wielkości \dot{L}_0 na błędy niepewności danych punktowych, określonej następująco:

$$W_{L_0} = \sqrt{V\{\dot{L}_0\}} / \sigma_1 \quad (36)$$

Uwzględniając (35) otrzymamy:

$$W_{L_0} = \left[\sum_{K=1}^P G_K^2 \right]^{1/2} \quad (37)$$

W przypadku gdy wszystkie współczynniki wagowe są jednakowe, tzn. gdy dla każdego $K=1, \dots, P$ jest spełniony warunek:

$$G_K = 1/P \quad (38)$$

określona wzorem (37) *wrażliwość* wielkości \dot{L}_0 osiąga minimum równe:

$$\min \{W_{L_0}\} = 1/\sqrt{P} \quad (39)$$

Analogicznie do (36), *wrażliwość* wielkości \dot{L} na błędy niepewności danych punktowych zostaje określona jako:

$$W_L = \sqrt{V\{\dot{L}\}} / \sigma_1 \quad (40)$$

Uwzględniając, że (patrz Dodatek 2.1):

$$\begin{aligned} V\{\dot{L}\} &\approx \sigma_1^2 \cdot \frac{\sum_{K=1}^P [G_K \cdot \exp(-\nu \cdot \bar{A}_K)]^2}{\left[\sum_{K=1}^P G_K \cdot \exp(-\nu \cdot \bar{A}_K) \right]^2} = \\ &= \sigma_1^2 \cdot \frac{\sum_{K=1}^P [G_K \cdot \exp(-\nu \cdot \bar{D}_K)]^2}{\left[\sum_{K=1}^P G_K \cdot \exp(-\nu \cdot \bar{D}_K) \right]^2} \end{aligned} \quad (41)$$

gdzie

$$\bar{D}_K = \bar{A}_K - \bar{A}_C \quad (42)$$

otrzymamy:

$$W_L = \frac{\left[\sum_{k=1}^p [G_k \cdot \exp(-\nu \cdot \bar{D}_k)]^2 \right]^{1/2}}{\sum_{k=1}^p G_k \cdot \exp(-\nu \cdot \bar{D}_k)} \quad (43)$$

Należy zwrócić uwagę, że określona wzorem (43) wrażliwość wielkości L zależy nie tylko od wartości współczynników wagowych G_k , lecz również od wartości współczynnika m (patrz wzór (28)), a także od wartości zniekształceń tłumieniowych D_k rozważanego kanału, rosnąc wraz ze wzrostem tych zniekształceń. W przypadku gdy te zniekształcenia dążą do zera, występuje minimum wrażliwości równe:

$$\min \{W_L\} = W_{L0} \quad (44)$$

przy czym W_{L0} jest określone wzorem (37).

W celu wyznaczenia liczbowych zależności wrażliwości W_L od zniekształceń tłumieniowych kanału, przyjmijmy (identycznie jak w pkt.2.1 opracowania [7]), że *górne ograniczenie* tych zniekształceń wynosi:

$$\hat{D}_k = D_g \cdot u_k^2 \quad (45)$$

gdzie D_g jest wartością zniekształceń tłumieniowych, występujących dla częstotliwości f_g górnej granicy pasma przesyłowego, natomiast współczynniki u_k ($k=1, \dots, p$) są określone wzorem:

$$u_k = u(f_k) = \frac{\lg(f_k/f_c)}{\lg(f_g/f_c)} \quad (46)$$

Wprowadzając oznaczenie: $c = \ln(10)/10$ oraz podstawiając (28) i (45) do (43) otrzymujemy:

$$\hat{W}_L \approx \frac{\left[\sum_{k=1}^p [G_k \cdot \exp(-c \cdot m \cdot D_g \cdot u_k^2)]^2 \right]^{1/2}}{\sum_{k=1}^p G_k \cdot \exp(-c \cdot m \cdot D_g \cdot u_k^2)} \quad (47)$$

Następnie przyjmując podane w tabl.1 wartości częstotliwości f_k i współczynników wagowych G_k , otrzymujemy zależność $\hat{W}_L(D_g; m)$ przedstawioną graficznie na rys.1.

Przeprowadzona analiza numeryczna tej zależności umożliwiła wyznaczenie funkcji aproksymującej o postaci (patrz Dodatek 3):

$$\hat{W}_L \approx W_{L0} + m \cdot (k_0 + k_1 \cdot D_g + k_2 \cdot D_g^2) \quad (48)$$

przy czym występujące w tym wzorze współczynniki wynoszą:

$$\begin{aligned} W_{L0} &= 3,082 \cdot 10^{-1} \\ K_0 &= -4,02 \cdot 10^{-3} \\ K_1 &= 3,27 \cdot 10^{-3} \text{ [dB}^{-1}\text{]} \\ K_2 &= 2,42 \cdot 10^{-5} \text{ [dB}^{-2}\text{]} \end{aligned}$$

Możliwa jest również nieco mniej dokładna, ale za to prostsza postać liniowej funkcji aproksymującej, a mianowicie:

$$\hat{W}_L \approx W_{L0} + m \cdot (K_0' + K_w \cdot D_g) \quad (49)$$

gdzie

$$\begin{aligned} K_0' &= -1,7 \cdot 10^{-2} \\ K_w &= 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ [dB}^{-1}\text{]} \end{aligned}$$

Warto zwrócić uwagę, że ze względu na wynikającą z (39) nierówność:

$$W_{L0} \geq 1/\sqrt{p} \quad (50)$$

zachodzi związek:

$$\hat{W}_L \leq W_{L0} \cdot [1 + \sqrt{p} \cdot m \cdot (K_0' + K_w \cdot D_g)] \quad (51)$$

a ponieważ $K_0' < 0$, więc:

$$\hat{W}_L < W_{L0} \cdot (1 + K_w \cdot \sqrt{p} \cdot m \cdot D_g) \quad (52)$$

Tablica 1

Wartości parametrów: m , p , f_k , G_k
do wyznaczania tłumienności głośności w pasmie telefonicznym
(wg «Handbook on Telephonometry» [2, pkt. 4.6.3])

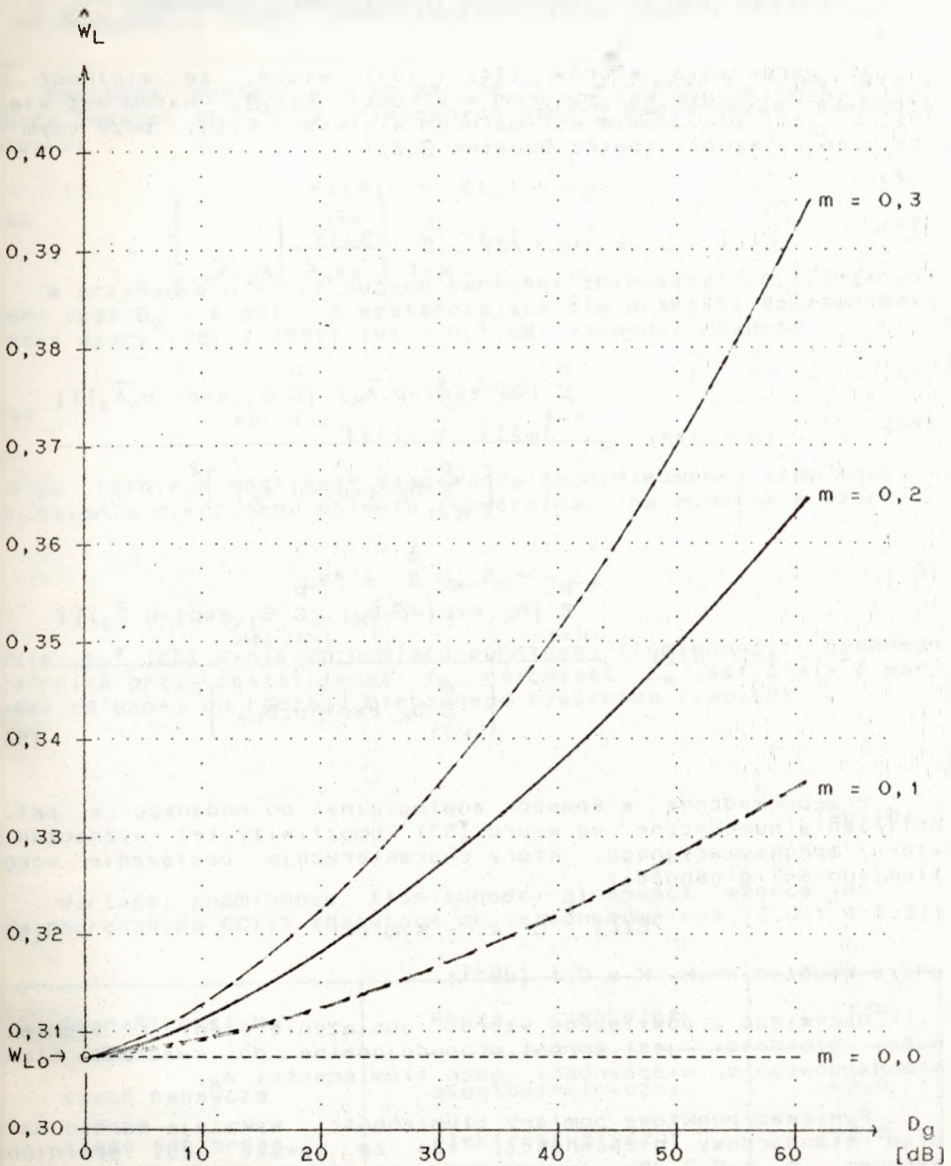
Współczynnik wzrostu głośności: $m = 0,2$;

Liczba punktów aproksymacji całki przez sumę: $p = 11$.

K	Częstotliwość f_k [Hz] *)	Współczynnik G_k
1	315	0,05
2	400	0,1
3	500	0,1
4	630	0,1
5	800	0,1
6	1000	0,1
7	1250	0,1
8	1600	0,1
9	2000	0,1
10	2500	0,1
11	3150	0,05

*) Wartości ustalone przez ISO
(International Standard Organization)

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności
Nr 5-9926



Rys.1. Zależność górnej granicy \hat{W}_L wrażliwości tłumienności głośności na błędy niepewności danych punktowych od zniekształceń tłumieniowych D_g czwórnika dla górnej częstotliwości f_g (=3400 Hz) pasma telefonicznego

5. OBCIĄŻENIE OSZACOWAN TŁUMIENNOŚCI GŁOSNOŚCI

Z porównania wzorów (34) i (31) widać, że wielkość \bar{L}_0 jest nieobciążonym estymatorem wielkości $E\{\bar{L}_0\}$, natomiast wielkość \bar{L} jest obciążonym estymatorem wielkości $E\{\bar{L}\}$, przy czym to obciążenie wynosi (patrz Dodatek 2.2):

$$E\{\bar{L}\} - \bar{L} \approx (\sigma_s^2/2) \cdot \sum_{K=1}^p \left[\frac{\partial^2 \bar{L}}{\partial A_K^2} \Big|_{A_K = \bar{A}_K} \right] =$$

$$= - (\sigma_s^2 \cdot \mu/2) \cdot \frac{\sum_{K=1}^p \{G_K \cdot \exp(-\mu \cdot \bar{A}_K) \cdot [\sum_{j=1; j \neq K}^p G_j \cdot \exp(-\mu \cdot \bar{A}_j)]\}}{\left[\sum_{K=1}^p G_K \cdot \exp(-\mu \cdot \bar{A}_K) \right]^2} =$$

$$= - (\sigma_s^2 \cdot \mu/2) \cdot \frac{\sum_{K=1}^p \{G_K \cdot \exp(-\mu \cdot \bar{D}_K) \cdot [\sum_{j=1; j \neq K}^p G_j \cdot \exp(-\mu \cdot \bar{D}_j)]\}}{\left[\sum_{K=1}^p G_K \cdot \exp(-\mu \cdot \bar{D}_K) \right]^2} \quad (53)$$

Przeprowadzone w sposób analogiczny do podanego w pkt.4 obliczenia numeryczne wg wzoru (53) umożliwiły też wyznaczenie wzoru aproksymacyjnego, który charakteryzuje obciążenie oceny tłumienności głośności:

$$E\{\bar{L}\} - \bar{L} \approx -k \cdot m \cdot \sigma_s^2 \quad (54)$$

gdzie współczynnik $k \approx 0,1$ [dB⁻¹].

Jak widać z powyższego wzoru, obciążenie oceny \bar{L} tłumienności głośności jest wprost proporcjonalne do kwadratu błędu standardowego σ_s niepewności ocen tłumienności A_K .

Ponieważ punktowe pomiary tłumienności wykazują bardzo mały błąd standardowy niepewności, tak że zawsze jest spełniony warunek: $\sigma_s < 0,3$ dB, wyznaczone ze wzoru (54) dla $m = 0,2$ obciążenie nie przekracza wartości $2 \cdot 10^{-3}$ dB, a więc jest zupełnie nieistotne. Dlatego w praktyce można zawsze przyjmować:

$$E\{\bar{L}\} \approx \bar{L} \quad (55)$$

6. WPŁYW NIEPEWNOŚCI WYZNACZANIA TŁUMIENNOŚCI PUNKTOWYCH NA DOKŁADNOŚĆ OCENY ZMODYFIKOWANEJ TŁUMIENNOŚCI ODNIESIENIA

Ponieważ występująca we wzorze (6) wielkość L_w jest stałą (patrz Dodatek 1), przy niepewnych danych pomiarowych zachodzą związki:

$$E\{LR\} = E\{L\} - L_w \quad (56)$$

oraz

$$V\{LR\} = V\{L\} \quad (57)$$

W przypadku niezbyt dużych wartości zniekształceń tłumieniowych (gdy $D_g < 6$ dB), z wystarczającą dla praktyki dokładnością (patrz wzory (22) i (23): $|R| < 0,1$ dB) zachodzi równość:

$$L \approx L_0 \quad (58)$$

oraz

$$E\{L\} \approx E\{L_0\} \quad (59)$$

a więc istnieje możliwość szacowania zmodyfikowanej tłumienności odniesienia mierzonego obiektu (czwornika) na podstawie wzoru:

$$LR^* \approx \sum_{K=1}^p G_K \cdot A_K^* - L_w \quad (60)$$

gdzie A_K^* jest wynikiem pomiaru punktowej tłumienności badanego czwornika przy częstotliwości f_K , natomiast L_w jest stałą o wartości zależnej od rodzaju mierzonego czwornika (tabl.2).

Tablica 2

Wartości znamionowe tłumienności głośności wzorca IRS
(Wg podręcznika CCITT «Handbook on Telephonometry» [2, pkt.4.6.3])

Charakterystyka	Rodzaj czwornika	L_w [dB]
część nadawcza	akustoelektryczny	+3,0
część odbiorcza	elektroakustyczny	-12,0
część łącząca	elektryczny	0,0
cały łańcuch	akustyczny	-9,0

Błąd standardowy takiego oszacowania

$$\sigma = \sqrt{V\{LR\}} \approx \sqrt{V\{L_0\}} \equiv \sigma_0 \quad (61)$$

na podstawie (36) wynosi:

$$\sigma_0 = \sigma_1 \cdot W_{L_0} \quad (62)$$

gdzie W_{L_0} jest określone wzorem (37), przy czym ze względu na warunek (39) zawsze jest spełniona nierówność:

$$\sigma_0 \geq \sigma_1 / \sqrt{p} \quad (63)$$

gdzie p jest liczbą danych (wyników punktowych pomiarów tłumienności w pasmie $[f_d, f_g]$).

Warto zwrócić uwagę, że przy podanych w tabl.1 wartościach współczynników G_k błąd standardowy σ_0 wielkości L_0 jest tylko nieznacznie większy od minimalnego, ponieważ w tym przypadku stosunek:

$$\frac{W_{L_0}}{\min\{W_{L_0}\}} = W_{L_0} \cdot \sqrt{p} \approx 1,022 \quad (64)$$

Oznacza to, że z punktu widzenia błędów niepewności ocen zmodyfikowanej tłumienności odniesienia, wyznaczanej na podstawie punktowych pomiarów tłumienności, w pkt.4.6.3 podręcznika CCITT «Handbook on Telephonometry» [2] przyjęto korzystne wartości współczynników G_k .

Natomiast w przypadku dużych wartości zniekształceń tłumieniowych (np. gdy $D_0 > 20$ dB), ze względu na znaczne wartości różnic $R = L - L_0$ których moduł przekracza kilka decybeli, teoretycznie biorąc należałoby wyznaczać wartości LR na podstawie nie uproszczonych wzorów (56) i (15), przy czym, uwzględniając związek (55), mamy:

$$LR^* \approx -L_w - 10/m \cdot \lg \sum_{k=1}^p G_k \cdot 10^{-A_k^* \cdot m/10} \quad (65)$$

Błąd standardowy takiego oszacowania

$$\sigma = \sqrt{V\{LR\}} \approx \sqrt{V\{L\}} \quad (66)$$

na podstawie (40) wynosi:

$$\sigma = \sigma_1 \cdot W_L \quad (67)$$

gdzie oszacowanie wartości współczynnika W_L można uzyskać ze wzoru:

$$W_L^* \approx \frac{\left[\sum_{k=1}^p [G_k \cdot \exp(-\mu \cdot A_k^*)]^2 \right]^{1/2}}{\sum_{k=1}^p G_k \cdot \exp(-\mu \cdot A_k^*)} \quad (68)$$

Przy danej wartości zniekształceń tłumieniowych D_g dla częstotliwości f_g górnej granicy pasma telefonicznego, górna granica wartości współczynnika W_L może być oceniona na podstawie wykresu podanego na rys.1 albo też na podstawie wzorów: (48) lub (52).

7. WNIOSKI

W odróżnieniu od wielkości klasycznej, zmodyfikowana tłumienność odniesienia wykazuje małe błędy niepewności wyznaczania, jeśli tylko jest ona wyznaczana metodą obiektywną, tzn. na podstawie punktowych pomiarów tłumienności badanego obiektu (czwórnik: akustycznego, elektrycznego, akustoelektrycznego albo też elektroakustycznego).

Przyjmując podane w pkt.4.6.3 podręcznika CCITT «Handbook on Telephonometry» [2] wartości współczynników G_K , uzyskuje się bliską teoretycznie minimalnej (patrz wzór (64)) wartość błędu standardowego σ niepewności wyznaczania wielkości LR; wartość ta zależy jednak od zastosowanego algorytmu obliczeń - odpowiednie wzory podano w poprzednim punkcie referatu. Należy podkreślić, że przy stosowaniu zalecanego przez CCITT algorytmu (65) występują większe wartości σ niż przy stosowaniu uproszczonego algorytmu (60) i to tym większe, im większe są zniekształcenia tłumieniowe badanego obiektu. *Przy badaniach dowolnego rodzaju ogniów sieci telefonicznej* (które z reguły wykazują małe zniekształcenia tłumieniowe) zachodzi praktyczna zgodność wyników obliczeń wielkości LR według obu algorytmów i dlatego *zawsze można stosować uproszczony algorytm (60)*.

Różnice ocen wielkości LR, uzyskanych z zastosowaniem obu algorytmów stałyby się istotne w przypadku, gdyby badanymi obiektami były dalekosiężne łańcuchy telefoniczne o bardzo dużych zniekształceniach tłumieniowych (przy 60 dB te różnice mogą dochodzić do 5 dB! [7]).

Jednakże w praktyce eksploatacyjnej całych łańcuchów telefonicznych nigdy nie mierzy się, dlatego - zdaniem autora - nigdy *nie ma potrzeby stosowania algorytmu (65)*, może z wyjątkiem specjalnie prowadzonych badań laboratoryjnych.

Na zakończenie autor pragnie zwrócić uwagę Czytelników na formalną zbieżność definicji wielkości L_0 określonej wzorem (12), z której wywodzi się algorytm (60), z definicją tłumienności pasmowej, określonej wzorem (5) w publikacji [5].

PODZIĘKOWANIE

Autof wyraża wdzięczność Panu prof.dr inż. Jerzemu Dudziewiczowi za bardzo wnikliwie uwagi do pierwotnej wersji referatu, dzięki którym jego ostateczna postać zyskała na ścisłości i komunikatywności.

WYKAZ LITERATURY

1. CCITT: Red Book, Vol.V. ITU, Geneva 1985.
2. CCITT: Handbook on Telephonometry. ITU, Geneva 1987.
3. CCITT: Report COM XII - R.5 (period 1985/88).
4. CCITT: Contribution COM XII - 4 (period 1985/88).
5. Kowalski Z.: Pasmowe tłumienności czwórników i ortotelefoniczna tłumienność odniesienia. Referaty Problemowe Instytutu Łączności, zeszyt 31, 1980.
6. Kowalski Z.: Ewolucja tłumienności odniesienia jako miary jakości łańcuchów telefonicznych. Referaty Problemowe Instytutu Łączności, zeszyt 88, 1988.
7. Kowalski Z.: Zmodyfikowana tłumienność odniesienia kanałów i łańcuchów telefonicznych. Referaty Problemowe Instytutu Łączności, zeszyt 90, 1988.
8. Nowicki W.: Podstawy teletransmisji. Tom I. WKiŁ, Warszawa 1971.
9. Praca zbiorowa: Rachunek prawdopodobieństwa w problemach i zadaniach. PWN, Warszawa 1979.
10. Jaworski J.: Matematyczne podstawy metrologii. WNT, Warszawa 1979.
11. Rumszycki L.: Matematyczne opracowanie wyników eksperymentu. WNT, Warszawa 1973.
12. Tatariewicz J., Witowski A.: 2⁵ numerycznych programów w języku BASIC. SIGMA, Warszawa 1987.
13. Troskoleński A.: Słownik podstawowych pojęć metrologii. Pomiary-Automatyka-Kontrola, nr: 7, 8-9, 10, 11, 12 z r.1970, oraz nr: 1, 2, 3 i 4 z r.1971.
14. Polska norma PN-71/N-02050: Metrologia. Nazwy i określenia.
15. Polska norma PN-74/N-01051: Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna.
16. Projekt (z r.1988) nowelizacji polskiej normy PN/N-02050: Metrologia. Nazwy i określenia.
17. Dudziewicz J.: Pomiary teletransmisyjne. WKiŁ, Warszawa 1975.
18. Zyszkowski Z.: Miernictwo akustyczne. WNT, Warszawa 1987.

D O D A T K I

(Uzasadnienia i wyprowadzenia wzorów)

DODATEK 1. Tłumiennosc głośności L_w wzorca IRS

Są możliwe dwa punkty widzenia na wielkość L_w występująca przy wyznaczaniu zmodyfikowanej tłumienności odniesienia metodą obiektywną: I - wywodzący się z zasad obowiązujących przy pomiarach przeprowadzanych metodą subiektywną oraz II - wynikający z postulatu uzyskania możliwie największej dokładności aktualnie przeprowadzanych pomiarów. W artykule przyjęto II punkt widzenia.

I: W przypadku wyznaczania tłumienności odniesienia metodą subiektywną badany obiekt jest porównywany ze wzorcem, którego właściwości transmisyjne są kontrolowane metodami obiektywnymi. Parametry transmisyjne realnie istniejącego wzorca odniesienia ulegają zmianom w czasie, przy czym kalibracja umożliwia sprawozdanie tych zmian do określonego przedziału niepewności. Takiemu realnemu wzorcowi można by zatem przypisać określone wartości parametrów rozkładu tłumienności głośności, a mianowicie: wartość średnią \bar{L}_w oraz odchylenie standardowe σ_w .

II: W przypadku wyznaczania tłumienności odniesienia metodą obiektywną badany obiekt *nie* jest porównywany ze wzorcem, natomiast jest mierzona wartość L tłumienności głośności tego obiektu. Spełnienie postulatu zgodności obiektywnych i subiektywnych ocen zmodyfikowanej tłumienności odniesienia można uzyskać, wyznaczając różnice: wyników pomiarów L tłumienności głośności badanych obiektów (czwórników) oraz wartości znamionowych L_w tłumienności głośności wzorca IRS (czwórnika takiego samego rodzaju, jak badany obiekt). W tym przypadku zatem wielkość L_w charakteryzująca wzorzec IRS jest stałą, a więc: $\sigma_w \equiv 0$.

DODATEK 2: Pochodne funkcji $L(\{A_k\})$; $k=1, \dots, p$

Punktowe oszacowanie tłumienności głośności L jest funkcją p argumentów: A_1, \dots, A_p , określona wzorem:

$$L = -1/\mu \cdot \ln \Sigma_p \quad (D2-1)$$

gdzie

$$\mu = \ln(10) \cdot m/10 \quad (D2-2)$$

$$\Sigma_p = \sum_{k=1}^p S_k \quad (D2-3)$$

$$S_k = G_k \cdot \exp(-\mu \cdot A_k) \quad (D2-4)$$

Dodatek 2.1: wyprowadzenie wzoru (41)

pierwsza pochodna cząstkowa:

$$\frac{\partial L}{\partial A_k} = -1/\mu \cdot \frac{1}{\Sigma_p} \cdot \frac{d}{dA_k} \Sigma_p \quad (D2-5)$$

a ponieważ

$$\frac{d}{dA_k} \Sigma_p = \frac{d}{dA_k} \sum_{j=1}^p S_j = \frac{d}{dA_k} S_k = -\mu \cdot G_k \cdot \exp(-\mu \cdot A_k) \quad (D2-6)$$

wieć:

$$\frac{\partial L}{\partial A_K} = \frac{G_K \cdot \exp(-\nu \cdot A_K)}{\sum_{j=1}^p G_j \cdot \exp(-\nu \cdot A_j)} = \frac{S_K}{\Sigma_p} \quad (D2-7)$$

a zatem:

$$\sum_{k=1}^p \left[\frac{\partial L}{\partial A_K} \right]^2 = \frac{\sum_{k=1}^p [S_K]^2}{\left[\Sigma_p \right]^2} = \frac{\sum_{k=1}^p [G_K \cdot \exp(-\nu \cdot A_K)]^2}{\left[\sum_{k=1}^p G_K \cdot \exp(-\nu \cdot A_K) \right]^2} \quad (D2-8)$$

Dodatek 2.2: wyprowadzenie wzoru (53)

druga pochodna cząstkowa:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial A_K} \left[\frac{\partial L}{\partial A_K} \right] &= \frac{\partial}{\partial A_K} \left[\frac{S_K}{\Sigma_p} \right] = \frac{\Sigma_p \cdot (S_K)' - S_K \cdot (\Sigma_p)'}{(\Sigma_p)^2} = \\ &= \frac{\Sigma_p \cdot (-\nu \cdot S_K) - S_K \cdot (-\nu \cdot S_K)}{(\Sigma_p)^2} = \frac{-\nu \cdot S_K \cdot (\Sigma_p - S_K)}{(\Sigma_p)^2} = \\ &= \frac{-\nu \cdot G_K \cdot \exp(-\nu \cdot A_K) \cdot \left[\sum_{j=1; j \neq K}^p G_j \cdot \exp(-\nu \cdot A_j) \right]}{\left[\sum_{k=1}^p G_K \cdot \exp(-\nu \cdot A_K) \right]^2} \quad (D2-9) \end{aligned}$$

a zatem:

$$\sum_{k=1}^p \left[\frac{\partial^2 L}{\partial A_K^2} \right] = \frac{-\nu \cdot \sum_{k=1}^p \{ G_K \cdot \exp(-\nu \cdot A_K) \cdot \left[\sum_{j=1; j \neq K}^p G_j \cdot \exp(-\nu \cdot A_j) \right] \}}{\left[\sum_{k=1}^p G_K \cdot \exp(-\nu \cdot A_K) \right]^2} \quad (D2-10)$$

DODATEK 3: Aproksymacja funkcji $\hat{W}_L(D_g; m)$

Zastosowano aproksymację określoną wzorem (47) funkcji $\hat{W}_L \equiv \hat{W}_L(D_g; m)$ wielomianem n -tego stopnia o postaci:

$$W_n(D_g; m) = \sum_{k=0}^n a_k \cdot D_g^k \quad (D3-1)$$

gdzie współczynniki

$$a_k \equiv a_k(m) \quad (D3-2)$$

zostały wyznaczone opisaną w [11, rozdz.3] metodą minimalizacji średniokwadratowej różnic wartości funkcji \hat{W}_L i wielomianu W_n w N ($>n$) punktach:

$$S_N^2 = \sum_{i=1}^N (\hat{W}_{Li} - W_{ni})^2 \quad (D3-3)$$

gdzie

$$\hat{W}_{Li} \equiv \hat{W}_L(D_{gi}; m) \quad (D3-4)$$

$$W_{ni} \equiv \sum_{k=0}^n a_k \cdot D_{gi}^k \quad (D3-5)$$

Obliczenia numeryczne przeprowadzono za pomocą opisanej w [12] procedury NKWIEL, wyznaczającej nie tylko współczynniki a_k , lecz również miarę jakości aproksymacji w postaci współczynnika korelacji R między wartościami funkcji \hat{W}_{Li} a wartościami wielomianu W_{ni} w N wybranych punktach D_{gi} ($i=1, \dots, N$).

Przyjmując wielomian stopnia $n=2$ oraz liczbę $N=13$ par danych liczbowych (D_{gi}, \hat{W}_{Li}) , gdzie $i=1, \dots, N$, uzyskano w zakresie $D_g \in [0;60]$ dB bardzo dobrą jakość dopasowania aproksymaty do funkcji (47): o współczynniku korelacji $R=0,9997$.

W tym przypadku wartości współczynników k występujących we wzorze (48) obliczono następująco:

$$k_0 = (a_0 - W_{L0})/m \quad (D3-6)$$

$$k_1 = a_1/m \quad (D3-7)$$

$$k_2 = a_2/m \quad (D3-8)$$

Przyjmując wielomian stopnia $n=1$ oraz liczbę $N=13$ par danych liczbowych (D_{gi}, \hat{W}_{Li}) , gdzie $i=1, \dots, N$, uzyskano w zakresie $D_g \in [0;60]$ dB dobrą jakość dopasowania aproksymaty do funkcji (47): o współczynniku korelacji $R=0,996$.

WYKAZ DOTYCHCZAS OPUBLIKOWANYCH ZESZYTÓW
REFERATÓW PROBLEMOWYCH IŁ

1. Białobrzęski R., Sołta S.: Zastosowanie testu chi kwadrat Pearsona do weryfikacji hipotezy statystycznej, na podstawie empirycznej gęstości prawdopodobieństwa. Grudzień 1977.
2. Blinkiewicz A., Mędrzycki B., Hutnik M., Sambierski R.: Zastosowanie pamięci kasetowej PK-1 do rejestracji danych w systemie komutacyjnym E-10. Styczeń 1978.
3. Orłowski A.: Optymalizacja układu ogranicznika dynamiki zwłaszcza dla radiofonii krótkofalowej. Luty 1978.
4. Frączek K.: Zasady opracowywania wymagań techniczno-eksploatacyjnych na urządzenia pomiarowe w resorcie łączności. Marzec 1978.
5. Białobrzęski R., Dudziewicz J.: Minimalna częstość próbkowania sygnału losowego przy pomiarze jego mocy średniej. Marzec 1978.
6. Lewandowski W.: Wprowadzenie komutacji teledycyjnych kanałów cyfrowych w powszechnej telefonicznej sieci komutacyjnej z centralami elektronicznymi E-10. Kwiecień 1978.
7. Dudziewicz J.: Ogólne wytyczne w sprawie prowadzenia i dokumentowania prac naukowo-badawczych wykonywanych w Instytucie Łączności. Kwiecień 1978.
8. Stagrowski A.: Metoda detekcji i pomiaru impulsów o maksymalnych i minimalnych czasach trwania w ciągu. Maj 1978.
9. Chański J.: System CTI-B dla maszyny cyfrowej R-10. Maj 1978.
10. Puchalski E.: Kompensator napięcia stałego stosowany w układach do sprawdzania przetworników termoelektrycznych i mikropotencjometrów. Czerwiec 1978.
11. Kozłowski A.: Elektroniczny sygnalizator przywołania abonenta w aparacie telefonicznym CB. Wrzesień 1978.

12. Stasiński L.: Wyładowania łukowe w.o.z. na izolatorach odciągów pionowych anten radiofonicznych. Październik 1978.
13. Walaszek S.: Zastosowanie uogólnionego rozwiązania układu o trzech stanach do analizy niezawodności. Styczeń 1979.
14. Sołta S.: Aparatura automatyczna badań sieci łączy międzymiastowych systemu ABA-3. Luty 1979.
15. Godlewski P.: Język programowania badań w systemie ABA2 i ABA3. Marzec 1979.
16. Waśniewski A.: Kombinatoryczne aspekty planowania badań sieci telekomunikacyjnej za pomocą systemu ABA-3. Kwiecień 1979.
17. Brennek L., Lebidziuk B.: System edycji, przechowywania i translacji programów w języku SAWIK dla minikomputera MERA 305. Maj 1979.
18. Godlewski P.: Aparatura sterująca systemem badaniowego ABA-3 - architektura urządzenia. Czerwiec 1979.
19. Chamski J.: Centrum eksploatacji technicznej w systemie E 10. Lipiec 1979.
20. Porada M.: Komunikat o badaniach zakłóceń impulsowych w łączach telefonicznych. Sierpień 1979.
21. Sołta S.: Generacja sygnałów losowych niezależnych obciążających kanały telefoniczne. Wrzesień 1979.
22. Karwowska-Lamparska A.: Koncepcja systemu WIDEOTEKS. Październik 1979.
23. Kowalska J.: Próba eksploatacyjna automatycznej aparatury badaniowej ABA-2 - analiza wyników, wnioski. Listopad 1979.
24. Tyrowicz M.: System zdalnej rejestracji kontroli obiektów specjalnych - REKO - . Grudzień 1979.

25. Frydrych Z.: Uwagi o wymiarowaniu wiązek łączy międzycentralowych. Styczeń 1980.
26. Frydrych Z.: O niezawodności sieci telekomunikacyjnej. Luty 1980.
27. Kisło M.: Automatyzoacja stacjonarnych pomiarów propagacyjnych. Marzec 1980.
28. Mieszczanek J.: Analiza i projektowanie oscylatorów kwarcowych pracujących w układzie Pierce'a-Colpitts'a. Kwiecień 1980.
29. Frydrych Z.: Niektóre problemy projektowania dróg kolejnego wyboru. Maj 1980.
30. Laube J.: Wybrane metody projektowania cyfrowych zespołów funkcyjnych na przykładzie projektu generatora połączeń telefonicznych. Czerwiec 1980.
31. Kowalski Z.: Pasmowe tłumienności ozwórników i ortotelefoniczne tłumienności odniesienia. Lipiec 1980.
32. Proga I.: Analiza i ocena odgromników zagranicznych oraz niezbędnego do nich osprzętu na podstawie badań i obserwacji w warunkach eksploatacyjnych. Sierpień 1980.
33. Godlewski P., Zejdel A.: System automatycznej kontroli obecności i ruchu załogi AKOR. Wrzesień 1980.
34. Waśniewski A.: Problem minimalizacji czasu badania sieci w systemie ABA-3. Październik 1980.
35. Kuśmirek Z.: Impedancja wewnętrzna źródła i jej pomiar. Listopad 1980.
36. Kowalski Z.: Zasady określania tłumienności pasmowej na podstawie danych punktowych. Grudzień 1980.
37. Kowalski Z.: Punktowe aproksymaty tłumienności pasmowej przy równomiernej gęstości wagi. Styczeń 1981.
38. Frydrych Z.: Wykorzystanie sygnałów informacyjnych dla poprawy jakości załatwiania ruchu w sieci telefonicznej. Luty 1981.

39. Lech J.: Analiza możliwości szacowania średniej 1-minutowej oraz 5-sekundowej mocy szumów w kanale telefonicznym na podstawie wyników pomiarów średniej 375-milisekundowej. Marzec 1981.
40. Strużak R.: O optymalnym przydziale mocy i częstotliwości radiokomunikacyjnym stacjom nadawczym. Kwiecień 1981.
41. Kawecki A.: Określenie kumulatywnego rozkładu prawdopodobieństwa natężeń opadów atmosferycznych w Polsce dla potrzeb radiokomunikacji. Maj 1981.
42. Trechoński J.: Korzyści z wprowadzania cyfrowych centrów komutacyjnych do telefonicznych sieci strefowych. Czerwiec 1981.
43. Chamski J.: Metody badań oprogramowania użytkowego centrum eksploatacji technicznej w systemie komutacji elektronicznej E-10. Lipiec 1981.
44. Kotz F.: Problemy sterowania zapłonem tyrystorów w przekształtnikach wielofazowych. Sierpień 1981.
45. Flisek T., Klimczewska I.: Wpływ służby "zapamiętaj i przekaż" na wielkość generowanego i załatwionego ruchu w krajowej sieci telegraficznej. Wrzesień 1981.
46. Stankiewicz S.: Kalkulator - jednostka sterująca typu K77 automatycznego stanowiska pomiarowego. Październik 1981.
47. Kowalski Z.: Metody wyznaczania parametrów punktowych aproksymat tłumienności pasmowej. Listopad 1981.
48. Kowalski Z.: Metoda wyznaczania najefektywniejszych 3-punktowych aproksymat tłumienności pasmowej. Grudzień 1981.
49. Laube J.: Analizator sygnatur - uniwersalny przyrząd diagnostyczny do urządzeń cyfrowych. Styczeń 1982.
50. Flisek T., Kuleszo Z.: Elementy optymalizacji struktury niższej płaszczyzny krajowej sieci telegraficznej. Luty 1982.

51. Kowalski Z.: Metoda kompensacyjna wyznaczania ortotelefonicznej funkcji wagi dla tłumionności pasmowej. Marzec 1982.
52. Trecheński J.: Wprowadzanie cyfrowych tranzytowych centrów komutacyjnych do międzymiastowej sieci krajowej. Kwiecień 1982.
53. Podemski A.: Określanie zniekształceń nieliniarnych amplitudy sygnału wizyjnego. Maj 1982.
54. Bzowski T.: Analiza możliwości wprowadzenia sygnału drugiego dźwięku do krajowej sieci telewizji. Czerwiec 1982.
55. Strużak R.: O pewnych grafach i funkcjach opisujących systemy radiokomunikacyjne. Lipiec 1982.
56. Bogucki J.: Trasa linii radiowej pasma K o bezpośredniej widoczności. Sierpień 1982.
57. Kowalski Z.: Ortotelefoniczne tłumionności niepupinizowanych torów kablowych. Wrzesień 1982.
58. Kuśmirek Z.: Symetria doziomna wejść odbiorników sygnałów - definicje iary zalecanych przez CCITT. Październik 1982.
59. Flisek T.: Metoda projektowania optymalnej struktury sieci telegraficzno-teleinformatycznej arytmicznej. /Określenie rodzaju węzła zbiorczego/. Listopad 1982.
60. Kaniewski R.: Rewersyjny licznik amperogodzina prądu stałego. Grudzień 1982.
61. Orłowski A.: Eksperymentalna centrala przywoławcza IL. /Charakterystyki i działanie urządzeń/. 1983.
62. Rau Z.: Algorytmy interkomparacji wzorca grupowego. 1983.
63. Rau Z.: O wyborze schematu interkomparacji wzorca grupowego. 1983.

64. Kawecki A.: Rozkłady prawdopodobieństwa gradientu refrakcji fal ol-mg w dolnej warstwie atmosfery w rejonie Warszawy, Poznania, Wrocławia i Koszalina. 1984.
65. Kowalski Z.: Porównanie skalarnych miar tłumienności niepupinizowanych torów kablowych. 1984.
66. Podolska M.J.: Układy i metody pomiarowe parametrów elektroakustycznych aparatów słuchowych dla niesłyszących. 1985.
67. Laube J.: Zasady projektowania urządzeń mikroprocesorowych z rezydentnymi testami, na przykładzie przystawki PPWA do redukcji danych pomiarowych. 1985.
68. Bobiński E.: Mierniki do pomiarów parametrów elektrycznych odgromników i do badań wytrzymałości urządzeń telekomunikacyjnych na przepięcia pochodzenia zewnętrznego. 1985.
69. Frydrych Z.: Problemy techniczno-ekonomiczne zamkniętych grup użytkowników w sieci telegraficznej. 1986.
70. Kawecki A.: Statystyczne charakterystyki gradientu wskaźnika refrakcji przygruntowej warstwy troposfery. 1986.
71. Trzaskowska M.J.: Kalibrator poziomu dźwięku typu 815 IŁ. 1986.
72. Trzaskowska M.J.: Metodyka pomiarowa aparatów słuchowych z "cewką telefoniczną", do odbioru sygnałów z pola elektromagnetycznego. 1986.
73. Pałczyńska J.: Ocena szczelności oraz lokalizacja uszkodzeń termoplastycznych osłon kabli doziemnych, w warunkach budowy i eksploatacji linii kablowych. 1986.
74. Kałkusińska L., Obrocka A., Morkowski W.: Sterowane mikrokomputerowo urządzenie UD, dołączające aparaturę pomiarową łączny międzymiastowych i międzynarodowych do central elektronicznych E10. 1986.

75. Borzycki K.: Pomiar dyspersji modowej światłowodów. 1987.
76. Sońta S.: Źródło jednorodnego pola magnetycznego niskiej częstotliwości o małym natężeniu oraz jego pomiar. 1987.
77. Kowalski Z., Palmowska K.: Nowa wersja rozdziału tłumienności w polskiej sieci telefonicznej. 1987.
78. Kawecki A.: Gradient refrakcji w przygruntowej warstwie atmosfery. 1987.
79. Pomećko G.: Generator sztucznego głosu. 1987.
80. Kawecki A., Bogucki J., Kocimowski B., Skonieczny W.: Doświadczalny ośrodek badań propagacji mikrofal na trasach horyzontowych i satelitarnych. 1987.
81. Orłowski A.: Zestaw pomiarowo-kontrolny na zakres 300 MHz. 1987.
82. Godłowski P., Kamionka L.: "UNISTER" - uniwersalny sterownik mikroprocesorowy o pakietach w standardzie MIKRO-STER-a. 1987.
83. Kudelski A., Kotz F., Kunert T.: Siłownia telekomunikacyjna 48 V; 1200-4800 A. 1987.
84. Kunert T.: Siłownia gwarantowanego prądu przemiennego do zasilania centrum eksploatacji technicznej. 1987.
85. Godłowski P., Sońta S., Zojdel A.: Automatyzacja badań telefonicznych sieci strefowych. 1987.
86. Saubierski R.: Cyfrowe łącze abonenckie TCKA. 1988.
87. Młiek J.: Pomiar sygnałów reprezentowanych cyfrowo w systemach PCM. 1988.
88. Kowalski Z.: Ewolucja tłumienności odniesienia jako miary jakości łańcuchów telefonicznych. 1988.
89. Borza J.: Przyrząd do rejestracji sygnałów kodu R2. 1988.

90. Kowalski Z.: Zmodyfikowana tłumienność odniesienia kanałów i łańcuchów telefonicznych. 1988.
91. Kobus R., Piątek K., Zejdel A.: UD-D - urządzenie dołączające aparaturę systemu ABA-30 do międzymiastowych, jednotorowych, wyjściowych łączy dekadowych. 1988.

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności
№ 5-9926

Biblioteka

IE

S-9926